Conditions d’utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d’œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s’inscrit dans le cadre de la loi nº 78-753 du 17 juillet 1978 :

- **la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr)**
- **la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l’objet d’une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.**

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- **les reproductions de documents protégés par le droit d’auteur, uniquement consultables dans l’enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l’autorisation préalable du titulaire des droits.**

4- Pour obtenir la reproduction numérique d’un document du Cnum en haute définition, contacter cnum(at)cnam.fr

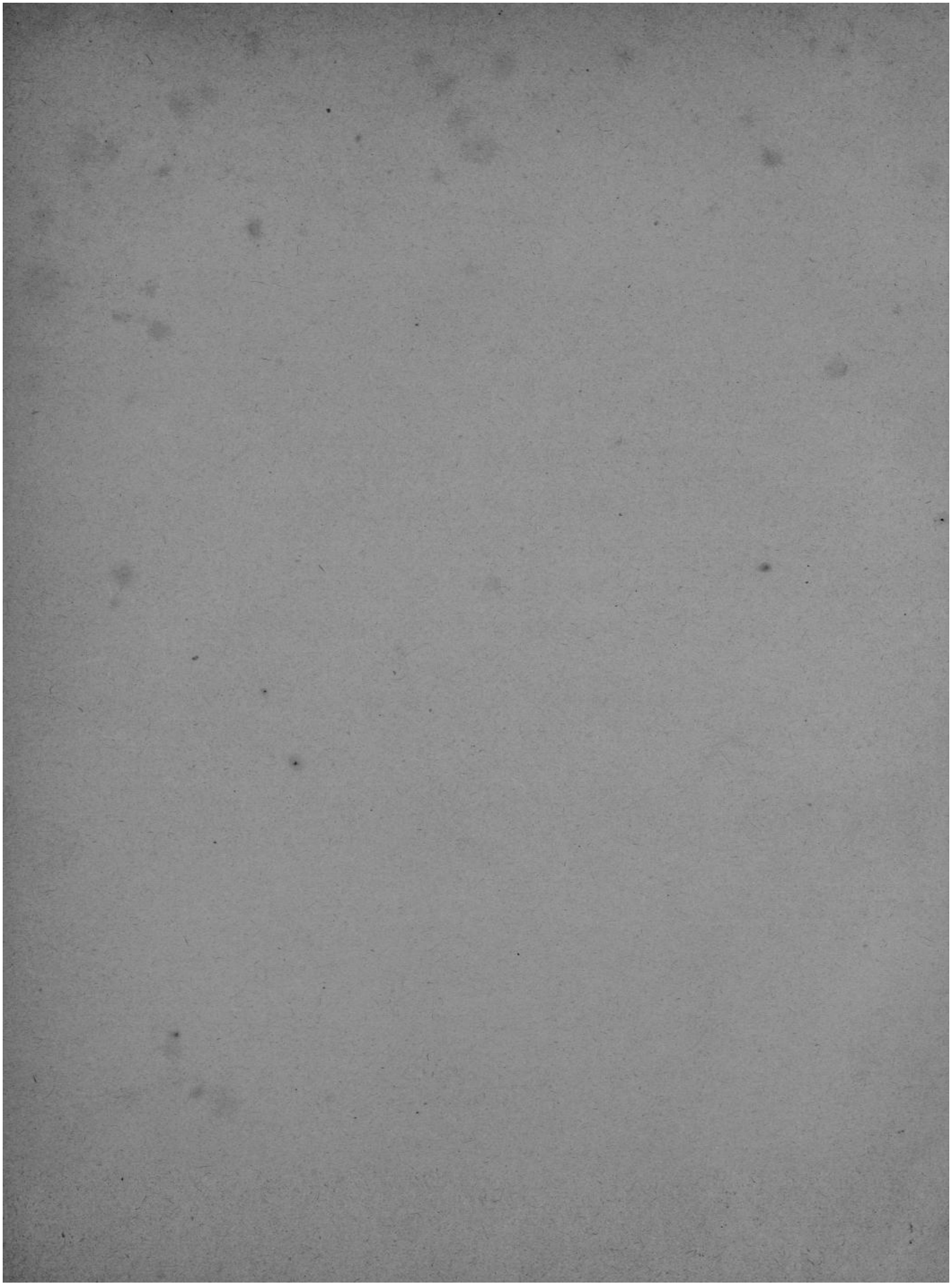
5- L’utilisateur s’engage à respecter les présentes conditions d’utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d’une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d’utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Congrès international des chemins de fer. 1900. Paris
Auteur(s)	Congrès international des chemins de fer (06 ; 1900 ; Paris)
Auteur(s) secondaire(s)	Weissenbruch, Pierre (18..?-19..?)
Titre	Congrès international des chemins de fer : sixième session : Paris : septembre-octobre 1900 : compte rendu général
Adresse	Bruxelles : P. Weissenbruch, 1901-1902
Collation	6 vol.
Nombre de volumes	6
Cote	CNAM-BIB 4 Le 247 bis
Sujet(s)	Chemins de fer -- Actes de congrès Transports ferroviaires -- Appareils et matériel -- Actes de congrès
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?4LE247BIS
LISTE DES VOLUMES	Premier volume
	Deuxième volume
	Troisième volume
	Quatrième volume
	Cinquième volume
	Sixième volume

NOTICE DU VOLUME	
Auteur(s) volume	Congrès international des chemins de fer (06 ; 1900 ; Paris)
Auteur(s) secondaire(s) volume	Weissenbruch, Pierre (18..?-19..?)
Titre	Congrès international des chemins de fer : sixième session : Paris : septembre-octobre 1900 : compte rendu général
Volume	Troisième volume
Adresse	Bruxelles : P. Weissenbruch, 1901
Collation	1 vol. ([4]-2-145-542-162-102-152-2 p.) : fig. : tabl. ; 25 cm
Nombre de vues	1059
Cote	CNAM-BIB 4 Le 247 bis (3)
Sujet(s)	Chemins de fer -- Actes de congrès Transports ferroviaires -- Appareils et matériel -- Actes de congrès
Thématique(s)	Transports
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	06/04/2018
Date de génération du PDF	24/02/2022
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?4LE247BIS.3



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONGRÈS INTERNATIONAL DES CHEMINS DE FER

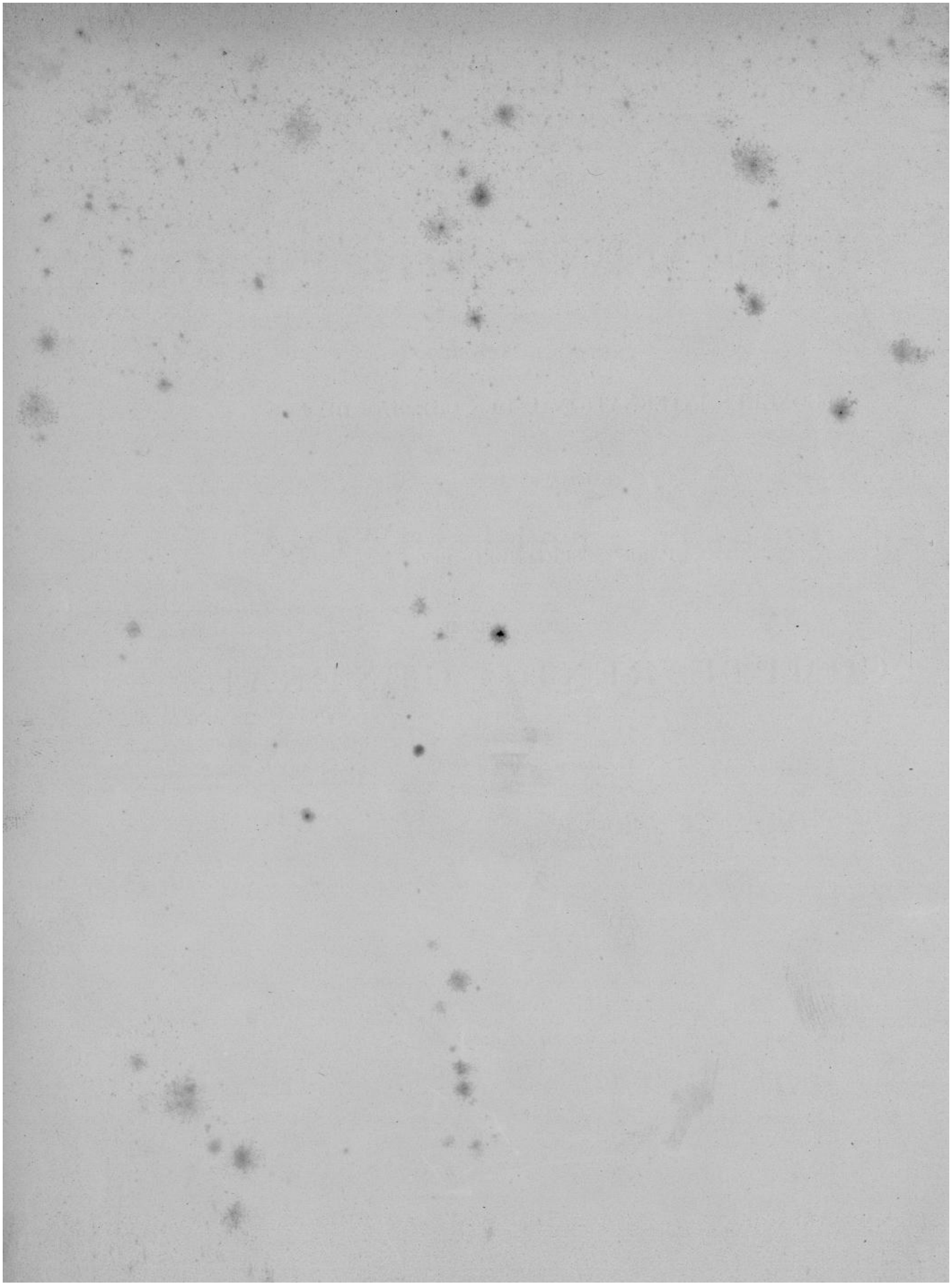
SIXIÈME SESSION

PARIS : SEPTEMBRE 1900

COMPTE RENDU GÉNÉRAL

TROISIÈME VOLUME

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4° Le 247

CONGRÈS INTERNATIONAL

DES

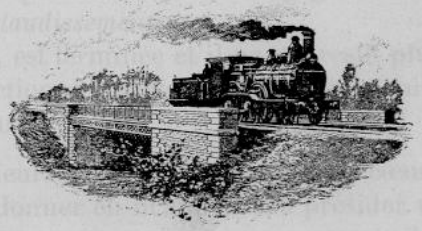
CHEMINS DE FER

SIXIÈME SESSION

PARIS : SEPTEMBRE 1900

COMPTE RENDU GÉNÉRAL

TROISIÈME VOLUME

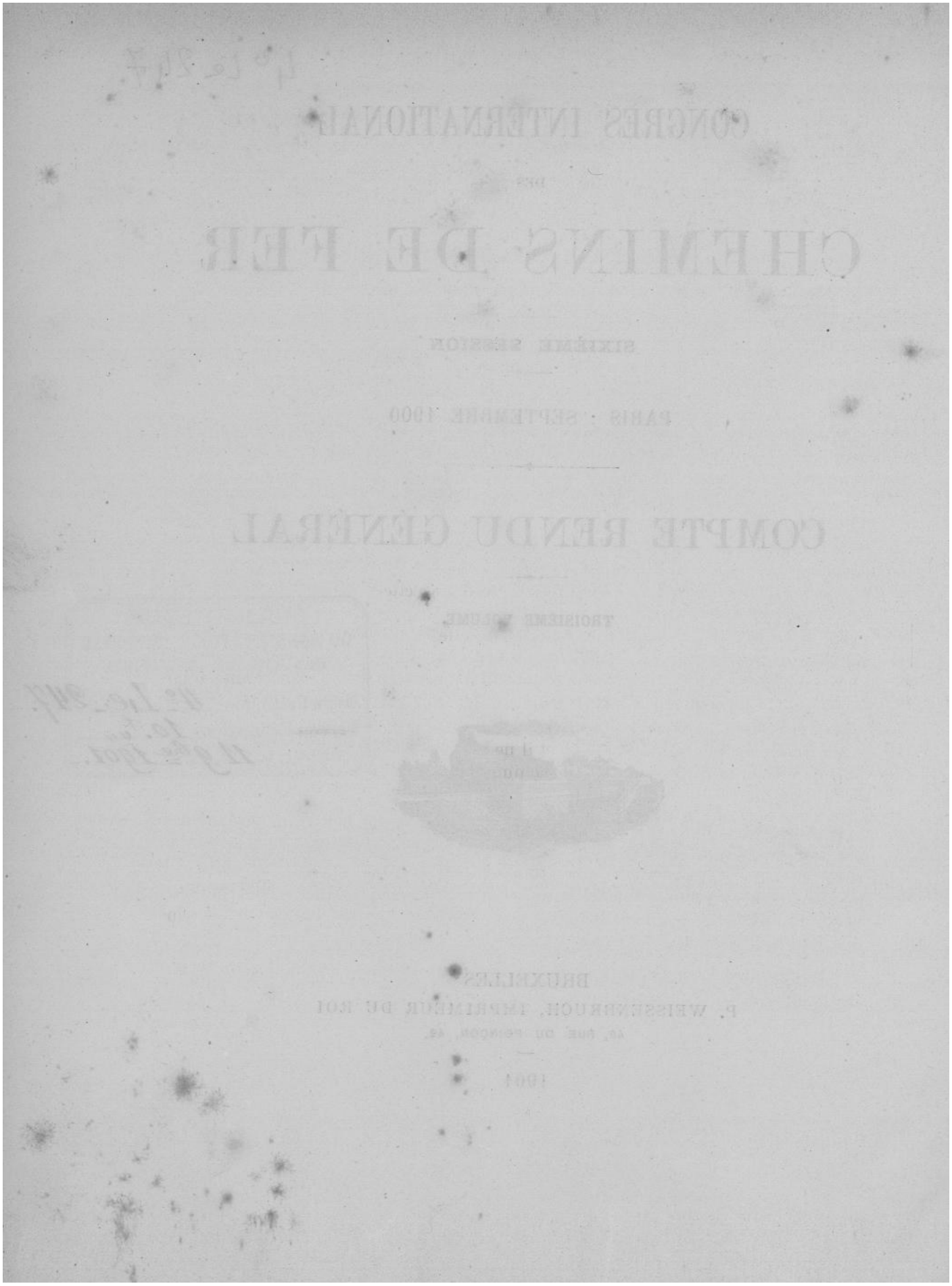


BIBLIOTHÈQUE
DU CONSERVATOIRE NATIONAL
des ARTS & MÉTIERS
N° du Catalogue 4° Le 247.
~~Prix ou~~ Estimation 10 f
Entrée, le 11 9bre 1901.

BRUXELLES
P. WEISSENBRUCH, IMPRIMEUR DU ROI
49, RUE DU POINÇON, 49

1901

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2e SECTION — TRACTION & MATÉRIEL

SÉANCE D'INSTALLATION

Le 20 septembre 1900, à 4 heures et quart de relevée.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS BIBLIOTHÈQUE

PRÉSIDENCE PROVISOIRE DE Mr SCHAAR,
MEMBRE DE LA COMMISSION INTERNATIONALE DU CONGRÈS.

Mr le Président. — Messieurs, j'ai été délégué par la Commission internationale pour présider à la constitution du bureau définitif de la seconde section « Traction et matériel ».

J'ai la satisfaction de proposer à votre ratification la nomination comme président d'un homme bien connu de la plupart d'entre vous, de Mr ALMGREN, administrateur des chemins de fer de l'État de Suède, qui a toujours montré au Congrès un grand dévouement et qui a, d'ailleurs, déjà présidé la section de la traction et du matériel, en 1885. Je vous propose, messieurs, de procéder à cette nomination par acclamations. (*Applaudissements.*)

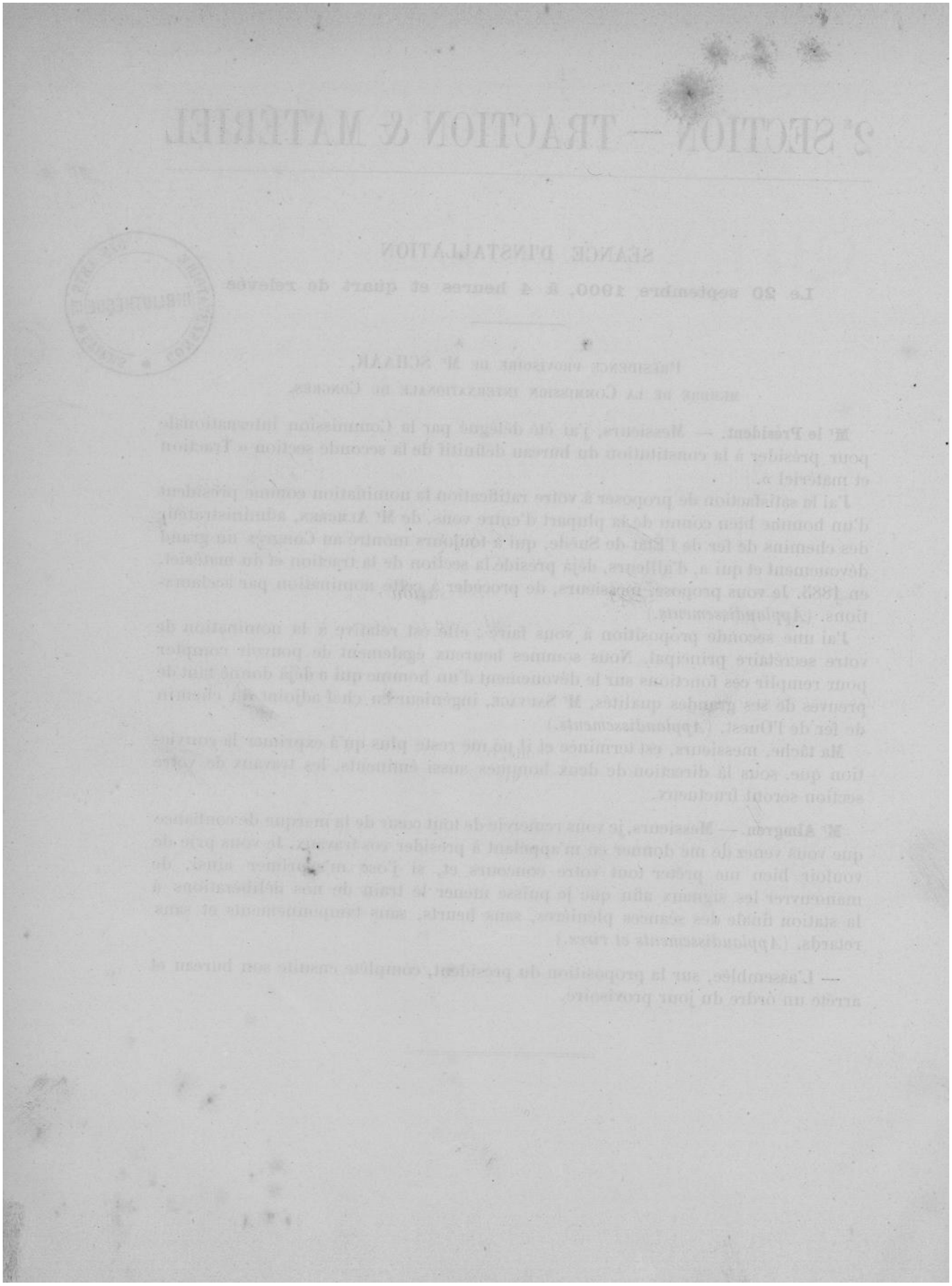
J'ai une seconde proposition à vous faire : elle est relative à la nomination de votre secrétaire principal. Nous sommes heureux également de pouvoir compter pour remplir ces fonctions sur le dévouement d'un homme qui a déjà donné tant de preuves de ses grandes qualités, Mr SAUVAGE, ingénieur en chef adjoint du chemin de fer de l'Ouest. (*Applaudissements.*)

Ma tâche, messieurs, est terminée et il ne me reste plus qu'à exprimer la conviction que, sous la direction de deux hommes aussi éminents, les travaux de votre section seront fructueux.

Mr Almgren. — Messieurs, je vous remercie de tout cœur de la marque de confiance que vous venez de me donner en m'appelant à présider vos travaux. Je vous prie de vouloir bien me prêter tout votre concours et, si j'ose m'exprimer ainsi, de manœuvrer les signaux afin que je puisse mener le train de nos délibérations à la station finale des séances plénières, sans heurts, sans tamponnements et sans retards. (*Applaudissements et rires.*)

— L'assemblée, sur la proposition du président, complète ensuite son bureau et arrête un ordre du jour provisoire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

[621 .133.5]

QUESTION XI.

L'échappement et le tirage dans les locomotives.

Dispositions ayant pour but d'augmenter la vaporisation en augmentant le tirage, d'éviter les incendies par les escarbilles de la cheminée, d'utiliser la chaleur de la vapeur d'échappement.

Rapporteurs :

États-Unis. — Mr Quereau (C. H.), Master Mechanic, Denver & Rio Grande Railroad.

Suède, Norvège, Danemark et Russie. — Mr Ekman (B. O.), directeur adjoint du matériel et de la traction des chemins de fer de l'État suédois.

Autres pays. — Mr Sauvage (Édouard), ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUESTION XI.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Exposé n° 2 (tous les pays, sauf les États-Unis, la Suède, la Norvège, le Danemark et la Russie), par Mr Ed. Sauvage. (Voir le *Bulletin* de janvier 1900, p. 3, et de mars 1900, p. 1100.)	XI — 3
Exposé n° 1 (États-Unis), par Mr C. H. Quereau. (Voir le *Bulletin* d'avril 1900, 1er fasc., p. 1101.)	XI — 53
Exposé n° 3 (Suède, Norvège, Danemark et Russie), par Mr B. O. Ekman. (Voir le *Bulletin* de juillet 1900, 1er fasc., p. 3816.)	XI — 91
Discussion en section.	XI — 107
Rapport de la 2e section.	XI — 137
Discussion en séance plénière	XI — 137
Conclusions.	XI — 139
Annexe I : Note, de Mr A. W. Gibbs, sur l'abandon des boîtes à fumée allongées en Amérique	XI — 141
— II : Note de Mr Quereau, rapporteur, sur la discussion de la question XI	XI — 142
— III : Errata à l'exposé n° 2 par Mr Sauvage.	XI — 145

N. B. — Voir aussi les tirés à part (à couverture brune) nos 7, 10 et 44.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621 .133.5]

EXPOSÉ N° 2

(tous les pays, sauf les États-Unis, la Suède, la Norvège, le Danemark et la Russie)

Par Ed. SAUVAGE,

INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'OUEST FRANÇAIS.

Fig. 1 à 24, p. XI-13 à XI-48.

Le rapporteur a reçu d'un grand nombre d'administrations de précieux renseignements sur l'échappement et le tirage dans les locomotives; il tient à leur en exprimer sa vive reconnaissance. Ces administrations sont les suivantes :

RÉPUBLIQUE ARGENTINE.

Buenos Ayres Great Southern Railway.
Central Argentine Railway.

AUTRICHE.

Chemins de fer de l'État autrichien.
K. K. priv. Südbahn-Gesellschaft.
Société austro-hongroise privilégiée des chemins de fer de l'État.
K. K. priv. Kaiser Ferdinands Nordbahn.
K. K. priv. österr. Nordwestbahn & K. K. priv. Süd-Nordd.-Verbindungsbahn.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

HONGRIE.

Chemins de fer de l'État hongrois.

BELGIQUE.

Chemins de fer de l'État belge.
Société nationale belge des chemins de fer vicinaux.

ÉGYPTE.

Administration des chemins de fer, des télégraphes et du port d'Alexandrie

ESPAGNE.

Chemins de fer du Nord de l'Espagne.
Chemin de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante.

FRANCE.

Chemins de fer de l'État français.
— — de Paris-Lyon-Méditerranée.
— — de Paris à Orléans.
— — de l'Est.
— — du Nord.
— — du Midi.

GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE (ROYAUME-UNI), EMPIRE DES INDES ET COLONIES.

A. — Royaume-Uni.

London & North Western Railway.
North Eastern Railway.
North British Railway.
Midland Railway.
Caledonian Railway.
Great Eastern Railway.
Great Northern Railway.
London & South Western Railway.
Lancashire & Yorkshire Railway.
Great Central Railway.
Great Northern of Ireland Railway.
Glasgow & South Western Railway.
Midland Great Western of Ireland Railway.
Metropolitan Railway.
Metropolitan District Railway.

B. — Empire des Indes et colonies.

Cape Government Railways.
New South Wales Government Railways.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

New Zealand Government Railways.
South Australia Government Railways.
Western Australia Government Railways.
East Indian Railways.

ITALIE.

Chemins de fer italiens de la Méditerranée.
— — méridionaux (réseau de l'Adriatique).

PAYS-BAS.

A. — CONTINENT.

Compagnie pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais.

B. — COLONIES.

Compagnie néerlandaise Sud-Africaine de chemins de fer.

ROUMANIE.

Chemins de fer de l'État roumain.

SUISSE.

Chemin de fer Central suisse.
— — du Gothard.

Les réponses de ces administrations forment une riche collection de documents et de dessins, que l'auteur du présent rapport regrette de ne pouvoir tous reproduire.

Bien que le présent exposé ne comprenne pas l'étude de la question aux États-Unis d'Amérique et dans le nord de l'Europe, le rapporteur n'a pas cru devoir s'abstenir absolument de toute mention relative à ces contrées; il a pensé qu'on ne saurait passer sous silence certains détails intéressants, tels que les expériences exécutées aux États-Unis sur les échappements des locomotives.

Bibliographie.

Des indications bibliographiques, si incomplètes qu'elles soient, peuvent être utiles; la liste qui suit comprend l'indication de quelques ouvrages anciens, de divers traités généraux et de mémoires récents.

SÉGUIN aîné, *De l'influence des chemins de fer et de l'art de les tracer et de les construire* (Paris, 1839), p. 472.

DE PAMBOUR, *Traité théorique et pratique des machines-locomotives*, 2e édition (1840), p. 197 et p. 296.

ZEUNER, *Das Locomotiven-Blasröhr*.

ZEUNER, « Ueber die Wirkung des Blasröhr-Apparatus bei Locomotiven mit conisch-divergenter Esse » (*Civil Ingenieur*, t. XVII, 1871, p. 1).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nozo et Geoffroy, « Expériences sur les conditions d'établissement des cheminées de locomotives » (*Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1864).

Clark (D. Kinnear), *Railway machinery*.

Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. III, chap. III.

Flamache, Huberti et Stévart, *Traité d'exploitation des chemins de fer*, t. IV, p. 147.

Blancquaert (Isidore), *Du tirage des locomotives, étude de l'équation qui lie le poids d'air appelé au poids de vapeur consommé et de la relation qui existe dans des conditions de combustion connues entre les éléments du tirage d'une locomotive, l'effet utile de celle-ci et le degré d'utilisation correspondant du combustible, avec application spéciale aux locomotives à marchandises à foyer système Belpaire, employées par l'État belge* (Bruxelles, 1872), 65 pages.

Heusinger von Waldegg, *Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik*, vol. III, p. 351.

Boulvin, *Cours de mécanique appliquée aux machines*, 6e fascicule. Locomotives et machines marines (Paris, 1898), p. 96.

Blum, von Borries, Barkhausen, *Das Eisenbahn-Maschinenwesen der Gegenwart* (1898), p. 124.

Whaley (Georges), *Exposition universelle de Chicago en 1893 : Matériel des chemins de fer* (dans la collection des rapports publiés sous la direction de M. C. Krantz, 1895), p. 232.

Demoulin (Maurice), *Traité pratique de la machine-locomotive*, t. IV, p. 33.

« Rapport adressé à S. Exc. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics par la commission chargée d'étudier les moyens d'empêcher la projection de fragments embrasés par la grille et par la cheminée des locomotives » (*Annales des Mines*, 5e série, t. XIII, 1858, p. 1).

von Borries, « Expériences sur la forme et les dimensions des tuyaux d'échappement et des cheminées des locomotives » (*Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, juin 1897, p. 897).

(Extrait de l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, fasc. 1, 2 et 3, 1896; *voir* aussi *Railroad Gazette*, 1896, p. 196 et 304.)

Report on exhaust and steam passages, dans les Reports of Proceedings of the American Railways Master Mechanic's Association, année 1896 (*Railroad Gazette*, 1894, p. 516; 1896, p. 196, 304 et 466.)

Goss (Wm. F. M.), « A glimpse on the exhaust jet » (*Railroad Gazette*, 1895, p. 737).

Deems (J. F.), « La forme du jet de vapeur dans les locomotives » (*Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, année 1897, p. 279 [d'après *Engineering News*, 4 juin 1896, et *Railroad Gazette*, 1896, p. 398]).

L'exposé de la question V (chaudières, foyers et tubes à fumée des locomotives) pour le Congrès de 1895 contient des détails sur les échappements.

De même, le second complément à l'exposé de la question X (production de la vapeur) pour le Congrès de 1892.

« Boîtes à fumée courtes » (1,100 mots et fig.) (*Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, n° 9, septembre 1899, p. 1271).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La question posée se divise en trois parties, qu'il convient d'étudier séparément.

I. — Dispositions pour augmenter la vaporisation en augmentant le tirage.

On peut dire qu'en principe il n'existe pas de disposition nouvelle pour augmenter le tirage des locomotives : l'air est toujours appelé dans le foyer par le jet de vapeur d'échappement, avec addition du souffleur pendant les stationnements et même, quelquefois, pendant la marche de la machine. Mais on cherche constamment à disposer le jet d'échappement pour en tirer le meilleur parti possible, soit par des tâtonnements, soit par des études théoriques et des expériences scientifiques.

Un ventilateur a été autrefois appliqué par Séguin; récemment, M. Serve en a de nouveau proposé l'emploi et en a même fait le montage sur une locomotive; mais c'est une exception unique.

Il est facile de résumer les qualités d'un bon appareil d'échappement : il donne, quand il est nécessaire, un tirage très énergique, mais ce tirage peut être modéré; l'appel d'air est régulier et uniforme (condition qu'il paraît difficile de réaliser quand la marche de la locomotive est lente); le courant gazeux n'entraîne pas d'escarbilles en grande quantité; la combustion est égale sur toute la surface de la grille (à moins qu'on ne charge systématiquement le combustible en couche très épaisse à l'arrière du foyer) et les gaz chauds traversent également tous les tubes. Enfin, le tirage, même très actif, est obtenu sans augmentation excessive de la contre-pression sur les pistons.

Les dispositions qui réalisent ce programme, ou du moins qui donnent des résultats assez satisfaisants, ne sont malheureusement connues que d'une manière incertaine. Ces dispositions doivent d'ailleurs varier suivant diverses circonstances, telles que la surface de grille, la nature du combustible, les proportions de la chaudière. Malgré des études théoriques et des recherches expérimentales fort importantes, on dispose souvent les échappements d'après des règles empiriques et même quelquefois un peu au hasard.

L'étude des échappements sera divisée comme suit :

1° Comparaison de l'échappement fixe et de l'échappement variable;
2° Section de l'orifice d'écoulement et forme de la tuyère;
3° Section, hauteur et profil de la cheminée;
4° Position de la tuyère;
5° Déflecteurs dans la boîte à fumée;
6° Examen de quelques dispositions spéciales d'échappement;
7° Mécanismes d'échappements variables;
8° Résultats d'expériences.

1° *Comparaison de l'échappement fixe et de l'échappement variable.*

L'ouverture des tuyères d'échappement est fixe ou variable; les avis des ingénieurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont divisés sur la valeur des deux dispositions. Il est intéressant de reproduire quelques-unes des opinions que le rapporteur a reçues à ce sujet.

L'*Administration du London & North Western Railway* reproche à l'échappement variable la difficulté d'entretien.

Celle du *Glasgow & South Western Railway* estime que la valeur pratique de l'échappement variable n'est presque jamais bien grande, parce que le diamètre d'une tuyère d'échappement fixe peut être déterminé à $^1/_8$ de pouce (3 millimètres) près, de manière à donner en général les meilleurs résultats. Les limites extrêmes de la section utile sont donc bien voisines.

Voici la réponse du *Metropolitan Railway* au sujet de la comparaison des deux genres d'échappement :

Pour des trains à longs parcours, à charges variables et sur des profils accidentés, il n'est pas douteux que l'emploi de l'échappement variable serait avantageux ; mais pour le service ordinaire, les meilleurs résultats paraissent être donnés par un échappement fixe, aussi grand qu'il est possible dans chaque cas ; le chauffeur est alors obligé de toujours maintenir le feu en bon état, et on évite l'excès de consommation causé par une chauffe irrégulière.

L'*Administration des East Indian Railways* estime que :

L'échappement variable serait préférable à l'échappement fixe si on en faisait un emploi judicieux ; mais, sur ses lignes, l'expérience a prouvé qu'on employait constamment la plus petite section et qu'il devenait impossible de faire manœuvrer l'appareil.

L'ingénieur de la traction du *Central Argentine Railway* fait remarquer que pour le service usuel sur ce réseau, dont les lignes sont de niveau, où on brûle du charbon du pays de Galles de bonne qualité, toujours la même, l'échappement variable n'aurait pas d'avantage sur un échappement fixe de proportion convenable.

D'une manière plus générale, il ajoute que, sur des locomotives en bon état, dont les chaudières sont bien proportionnées, la production de vapeur augmente avec la dépense ; une locomotive à laquelle on demande une grande puissance n'a pas besoin d'une tuyère d'échappement aussi petite qu'une locomotive légèrement chargée, à cause de l'accroissement du débit de vapeur dans le premier cas. L'échappement variable ne servirait alors qu'à activer le tirage avec des trains légers ; l'économie ne pourrait être grande, tandis qu'un mécanicien négligent s'en servirait à tort avec des trains lourds, augmentant inutilement la consommation de combustible et la contre-pression sur les pistons.

Le même ingénieur termine en disant qu'en pratique il est impossible de maintenir constamment en bon état un échappement variable, à cause de l'encrassement et de la corrosion des pièces mobiles.

L'ingénieur de la traction du *Buenos Ayres Great Southern Railway* estime que :

Sauf dans des conditions spéciales, les avantages de l'échappement variable ne sont pas suffisants pour compenser la complication du mécanisme de commande qu'il exige ; d'ailleurs, en ce qui concerne des lignes de niveau comme celles du *Buenos Ayres Great Southern*, l'échappement variable est certainement inutile.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les *Chemins de fer de l'État néerlandais* reconnaissent les mérites théoriques de l'échappement variable, mais ils jugent que c'est une complication additionnelle et que les chauffeurs en font un usage abusif : il en résulte une consommation excessive de combustible, entraîné par un tirage trop fort, parce que l'échappement est souvent trop serré. Les lignes de ce réseau étant d'ailleurs presque toutes de niveau, l'échappement fixe y est d'un usage général.

D'après les ingénieurs de la *Nordwestbahn* (*K. K. priv. österr. Nordwestbahn* et *K. K. priv. Süd-Nordd. Verbindungsbahn*), l'échappement fixe a l'avantage de la simplicité : il n'a pas de pièces mobiles ; l'entretien en est, par suite, plus facile et moins coûteux. Par contre, il a l'inconvénient de donner parfois un tirage trop actif et d'entraîner des flammèches ; on ne remédie à ces inconvénients que par un emploi judicieux des portes de cendrier.

Quant à l'échappement variable, il arrive souvent, par suite du manque d'entretien, que les valves se calent et ne peuvent plus être manœuvrées.

La *Direction du réseau Adriatique* (Italie) émet l'opinion suivante :

Les échappements fixes nous semblent préférables, surtout pour les machines à grande vitesse ; mais nos mécaniciens préfèrent, en général, l'échappement variable, avec lequel il leur est possible de remédier plus facilement à un manque accidentel de pression et de régler la marche sur sections en profil variable.

La *Direction du réseau de la Méditerranée* (Italie)

A expérimenté les échappements fixes, mais elle est convaincue que, si une telle disposition peut être avantageuse pour un type de locomotives desservant des lignes déterminées, il n'en est pas de même pour ses locomotives qui, en général, sont affectées à des services disparates et ont à circuler sur des lignes dont les conditions de profil se présentent sous des aspects multiformes. Aussi trouve-t-elle utile de garnir ses locomotives nouvellement construites d'un échappement variable.

La *Société nationale des chemins de fer vicinaux*, en Belgique,

Fait exclusivement usage de l'échappement variable. Cependant, ses premières machines étaient munies de l'échappement fixe ; elle a reconnu que, sur ses lignes à profil accidenté et avec ses trains à charge très variable, il était indispensable d'employer un échappement mobile, afin de régler le tirage et d'arriver à une meilleure utilisation du combustible.

M. l'ingénieur en chef du matériel et de la traction de la *Compagnie des chemins de fer du Nord* (France) expose comme suit l'utilité de l'échappement variable :

L'échappement variable à valves est à peu près le seul en usage à la *Compagnie du Nord*. En principe, les ingénieurs de cette Compagnie pensent qu'il vaut mieux donner aux mécaniciens le moyen de faire varier l'échappement, à la condition de s'assurer de temps en temps que les valves fonctionnent bien et qu'elles ne sont ni encrassées ni « désaxées ». Pour les locomotives express, l'échappement variable paraît nécessaire, car les trains que font ces machines, et notamment les locomotives compound à grande vitesse, sont généralement très rapides et souvent très lourds. Il faut pouvoir se ménager la possibilité de donner, le cas échéant, un coup de collier, surtout sur les rampes, en activant la combustion par tous les moyens possibles, et particulièrement en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

serrant l'échappement. Sur les pentes, au contraire, lorsque la vitesse atteint 110 ou 120 kilomètres à l'heure, il est fréquemment nécessaire de desserrer l'échappement, afin que la machine puisse mieux courir. On diminue ainsi la contre-pression derrière les pistons; celle-ci peut, notamment dans les machines compound, exercer une résistance très élevée, à cause du grand diamètre des cylindres à basse pression.

Avec un échappement fixe, les ingénieurs du Nord estiment qu'on éprouverait certainement, dans quelques cas, des difficultés pour remorquer les trains rapides, dans les limites souvent très resserrées des horaires. Il est probable que, dans ces conditions, au commencement du trajet, lorsque la grille n'est pas encore encrassée, lorsque la vaporisation est active et la pression de la vapeur égale à celle du timbre, on disposerait d'un tirage trop énergique, tandis qu'à la fin du parcours, quand la production s'est ralentie, le tirage deviendrait insuffisant. Ils ont donc la conviction que, tout au moins pour les machines express, l'échappement variable est nécessaire.

D'après la réponse de la *Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans*,

L'échappement variable permet de conduire le feu dans des conditions économiques et les mieux appropriées au tonnage et à la vitesse, au profil de la ligne et aux variations d'adhérence résultant de l'état des rails et de l'atmosphère.

Tout en donnant la préférence à l'échappement variable, les ingénieurs de la *Compagnie des chemins de fer de l'Est* (France) sont un peu moins affirmatifs :

L'échappement fixe ne convient, à notre avis, qu'aux locomotives peu chargées ou brûlant du combustible de qualité exceptionnelle sur profil peu accidenté.

L'échappement variable est, au contraire, indispensable pour les locomotives travaillant à leur limite de puissance et ne brûlant que des charbons médiocres sur de longs parcours. L'échappement variable est un auxiliaire utile, qui se recommande par sa grande simplicité, mais la manœuvre en est délicate, en raison de l'abaissement du rendement dynamique de la machine, qui est la conséquence du serrage des valves, et on peut dire qu'il est coûteux, particulièrement sur les locomotives des trains rapides, si l'on en fait un usage peu judicieux.

De même, l'Ingénieur en chef du matériel et de la traction des *Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée* dit :

L'échappement variable permet au mécanicien de faire varier le tirage à un moment donné, dans des limites assez étendues, d'où une élasticité de production de la chaudière qui est très avantageuse dans certains cas.

Par contre, le serrage de l'échappement conduit très rapidement à des contre-pressions exagérées sur les pistons et à des régimes de marche peu économiques. Toutefois, tant qu'on n'aura pas trouvé un dispositif de tuyère d'échappement permettant de mieux utiliser l'énergie de la vapeur d'échappement, nous estimons qu'il convient de conserver l'échappement variable.

Une réserve est faite de même par les ingénieurs du *Chemin de fer de Madrid à Saragosse et Alicante :*

A notre avis, les échappements variables n'offrent que des avantages avec l'emploi de combustibles médiocres. Cependant, si les mécaniciens l'emploient d'une façon abusive, les foyers, et en particulier les plaques tubulaires, se détériorent assez rapidement.

Les *Chemins de fer du Nord de l'Espagne* jugent

L'échappement variable très avantageux pour que le mécanicien puisse conduire la combustion

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

très régulièrement et pour permettre de forcer le tirage lorsque la grille est encrassée par le mâchefer, comme il arrive surtout après un long parcours.

L'échappement fixe annulaire, appliqué également sur quelques machines, n'a donné lieu à aucune observation particulière, ni démontré quelque avantage sur l'échappement variable. Après un service de quelques années, il a été remplacé par ce dernier.

La *Direction des chemins de fer roumains* s'exprime comme suit :

Nous croyons que l'échappement variable permet d'activer le feu dans des conditions avantageuses, car les mécaniciens peuvent aisément régler le tirage à volonté sur des portions de voie à fortes rampes. Nous constatons cependant qu'ils en abusent souvent, malgré toutes les instructions.

Il a également sa raison d'être dans les autres locomotives à voyageurs, qui sont fréquemment affectées à des services assez divers, au point de vue de la vitesse ou des charges remorquées, ce qui exige, suivant le cas, des tirages d'intensité différente.

Les *Chemins de fer du Midi* (France)

N'ont jamais fait usage d'échappements fixes. Toutefois, ils ont été conduits à limiter la course des valves d'échappement des machines qui circulent sur la ligne de Bordeaux à Bayonne, en temps de sécheresse, et cette limitation paraît augmenter sensiblement les difficultés de conduite lorsque les trains sont chargés.

La variété de ces opinions montre comme il est difficile d'indiquer une solution nette de la question. Elle prouve que, dans bien des cas, un des deux systèmes d'échappement ne s'impose pas, et que, pour faire un choix judicieux, il faut peser des motifs divers. On remarquera que plusieurs partisans de l'échappement variable reconnaissent que ce système n'est pas exempt de défauts.

Les services que peut rendre un échappement variable, comparé, sur une locomotive déterminée, à l'échappement fixe qui convient pour cette locomotive, sont de deux genres différents : on peut s'en servir pour augmenter la section de la tuyère lorsqu'on n'a pas besoin d'une vaporisation active, ou, au contraire, pour la diminuer quand on veut forcer la production. L'échappement variable sert ainsi soit à modérer le tirage, soit à l'activer. On peut le limiter à la première fonction (système Mac-Allan [fig. 20], appareil à dérivation [fig. 19] de quelques locomotives du Nord français); si la machine fonctionne souvent à faible charge et si le personnel fait la manœuvre bien simple nécessaire, il doit évidemment en résulter une économie de combustible. Avec l'échappement fixe, on peut modérer le tirage en fermant la porte du cendrier, mais ne risque-t-on pas alors de réduire par trop l'accès de l'air et de perdre des gaz combustibles non brûlés?

Au contraire, le serrage de l'échappement augmente la production de la machine, mais sans donner d'économie de charbon; il peut même exagérer inutilement la consommation, si on abuse de ce serrage. On peut d'ailleurs remédier, dans une certaine mesure, à cet inconvénient, en disposant l'appareil pour qu'il ne réduise jamais d'une façon excessive la section du passage ouvert à la vapeur.

Si on tient compte de ces conditions de service diverses, si on n'oublie pas que l'échappement variable est un appareil qui s'encrasse aisément, qui demande à être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bien entretenu, qui doit être manœuvré avec jugement et avec soin pour être véritablement utile, on conçoit que certaines administrations préfèrent s'en tenir à l'échappement fixe.

D'une manière générale, il ne faut pas oublier que tout organe de réglage des machines est en même temps un organe de déréglage; de sorte qu'en pratique, on ne doit pas se borner à estimer la valeur intrinsèque d'un tel organe : il faut aussi apprécier la valeur du personnel qui l'aura entre les mains.

L'échappement fixe est presque toujours adopté en Grande-Bretagne, ce qui s'explique d'ailleurs par la nature des combustibles généralement employés. Sur le continent européen, au contraire, les locomotives sont fréquemment munies de l'échappement variable.

2° *Section de l'orifice d'écoulement et forme de la tuyère.*

Quand l'échappement est fixe, dans bien des cas, la section de l'orifice est déterminée par tâtonnements et d'après les résultats donnés par les machines en service; parfois une partie facile à remplacer couronne la tuyère. La section de l'échappement variable peut être modifiée entre un minimum et un maximum souvent très éloignés. En fixant les proportions d'un échappement variable, on devrait déterminer, avec plus d'attention qu'on ne le fait généralement, le minimum admissible, car en serrant outre mesure l'échappement, on exagère la contre-pression sur les pistons et souvent sans augmenter beaucoup le tirage.

L'orifice de l'échappement variable à valves (fig. 1) est rectangulaire.

Parfois l'orifice est annulaire (fig. 2, 3 et 4), et les gaz sont entraînés par la surface extérieure et par la surface intérieure de la nappe de vapeur qu'il donne. On admet, en général, que l'orifice annulaire donne un meilleur tirage que l'orifice circulaire équivalent.

Cependant, la *Compagnie du Nord* (France), qui a appliqué quelques échappements annulaires, système Adams, en 1887, dit que ce dispositif ne paraît guère en faveur auprès de ses mécaniciens, qui constatent souvent des engorgements de la tuyère. Quoi qu'il en soit, cette même Compagnie a monté récemment cet échappement sur vingt locomotives, en y ajoutant une dérivation de vapeur (fig. 19).

A la *Compagnie des chemins de fer de l'Ouest* on a de même constaté des encrassements rapides et irréguliers des échappements annulaires. C'est surtout la partie arrière de la tuyère qui s'obstrue (fig. 5), au moins avec la forme de la figure 3. L'irrégularité des dépôts est moins grande avec la disposition représentée figure 2. La figure 6 montre une arrivée tangentielle de vapeur, destinée à répartir uniformément la vapeur dans la tuyère.

L'amélioration du tirage due à l'échappement annulaire ne tiendrait pas seulement à l'entraînement d'une plus grande masse de gaz, mais à une distribution plus égale des gaz dans tout le faisceau tubulaire, grâce à l'appel produit dans la partie inférieure de ce faisceau par la partie centrale de l'appareil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

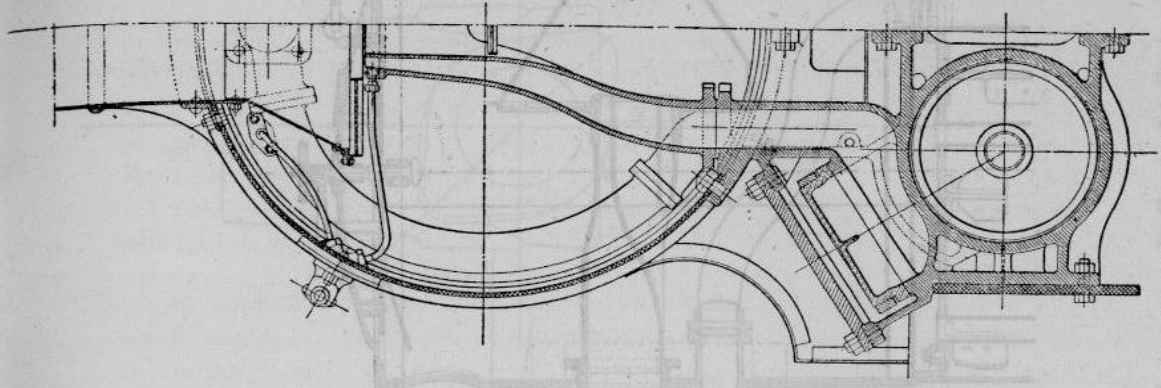
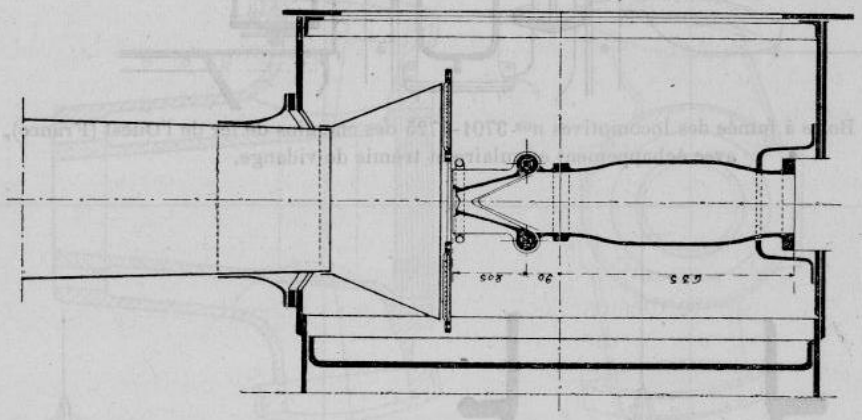


Fig. 2. — Échappement fixe annulaire des locomotives n°s 930-950 et 953-998 des chemins de fer de l'Ouest (France).



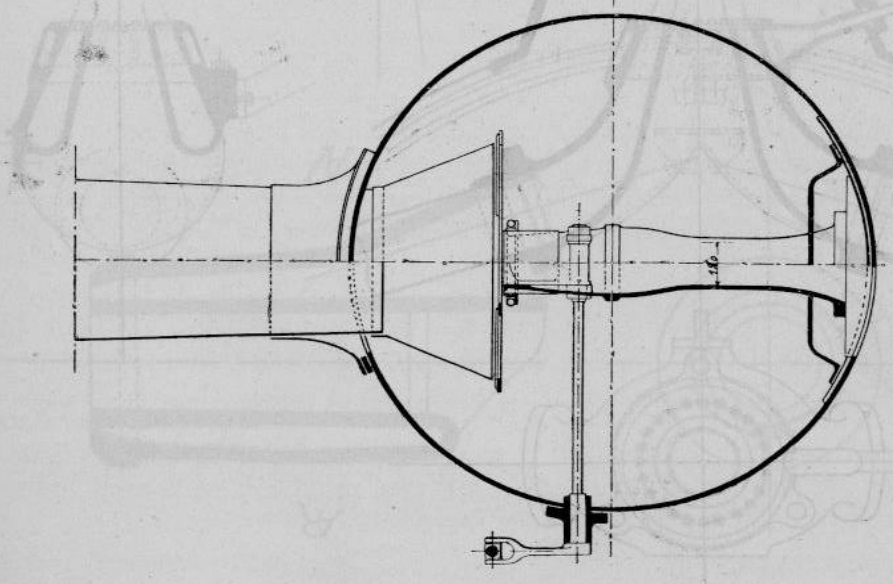


Fig. 1. — Échappement variable à valves de locomotives compound à grande vitesse des chemins de fer du Nord (France).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

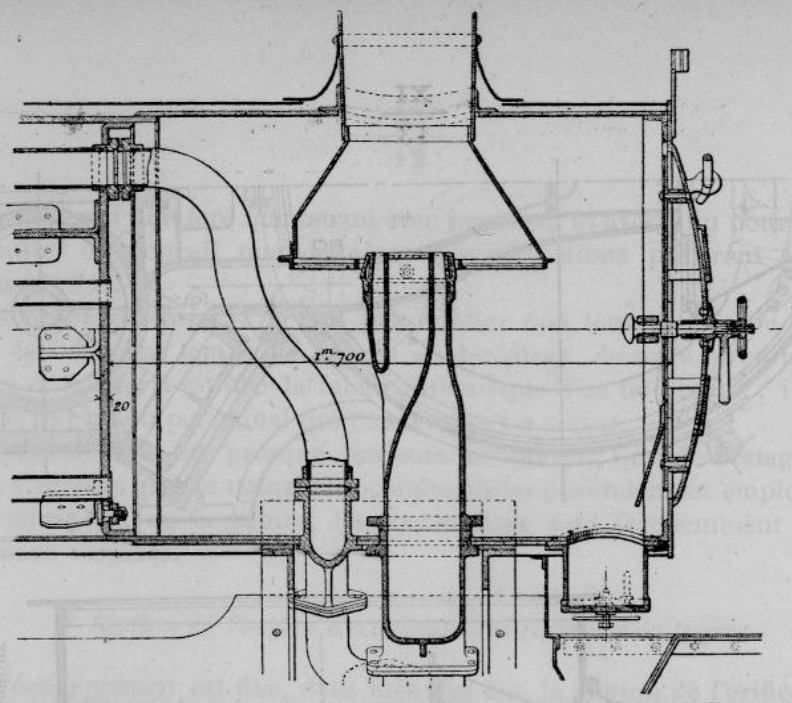


Fig. 3. — Boîte à fumée des locomotives nos 3701-3725 des chemins de fer de l'Ouest (France), avec échappement annulaire et trémie de vidange.

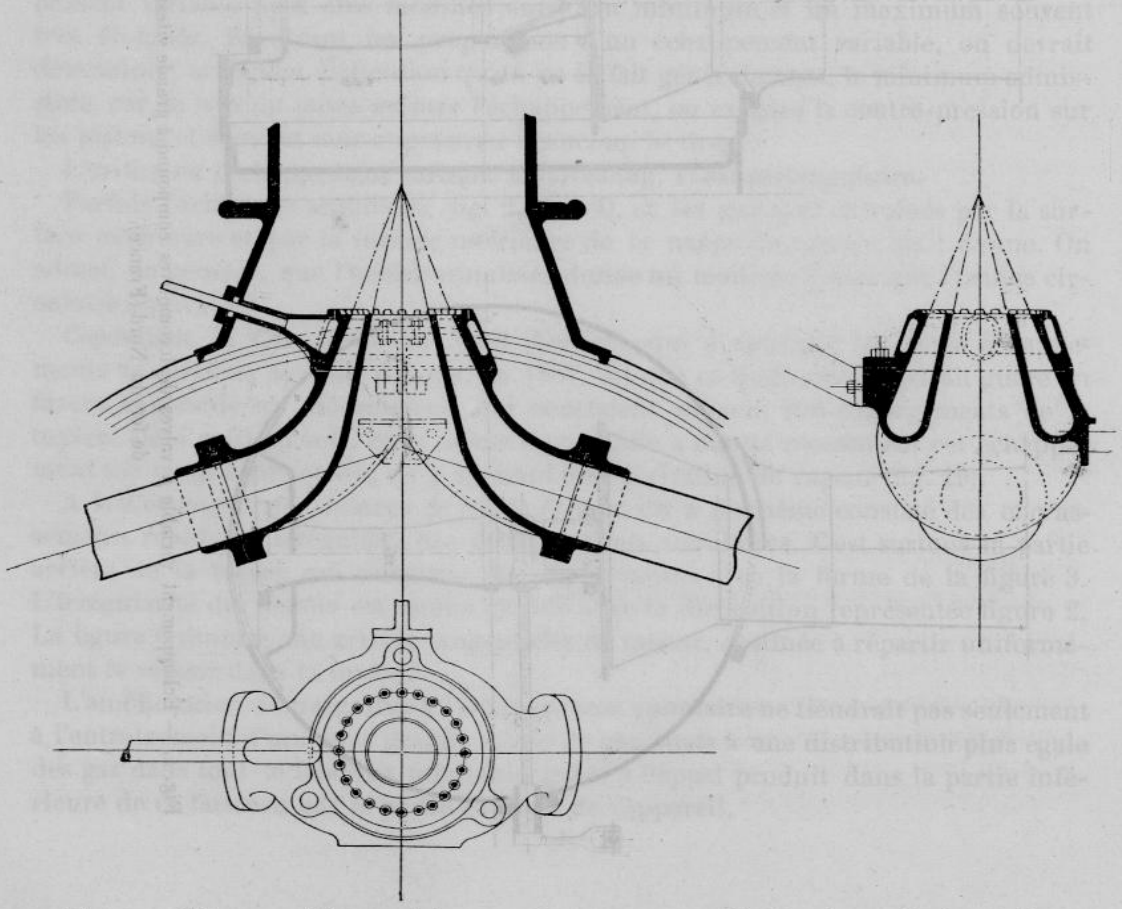


Fig. 4. — Echappement fixe annulaire et souffleur en couronne : K. K. priv. öst. Nordwestbahn.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

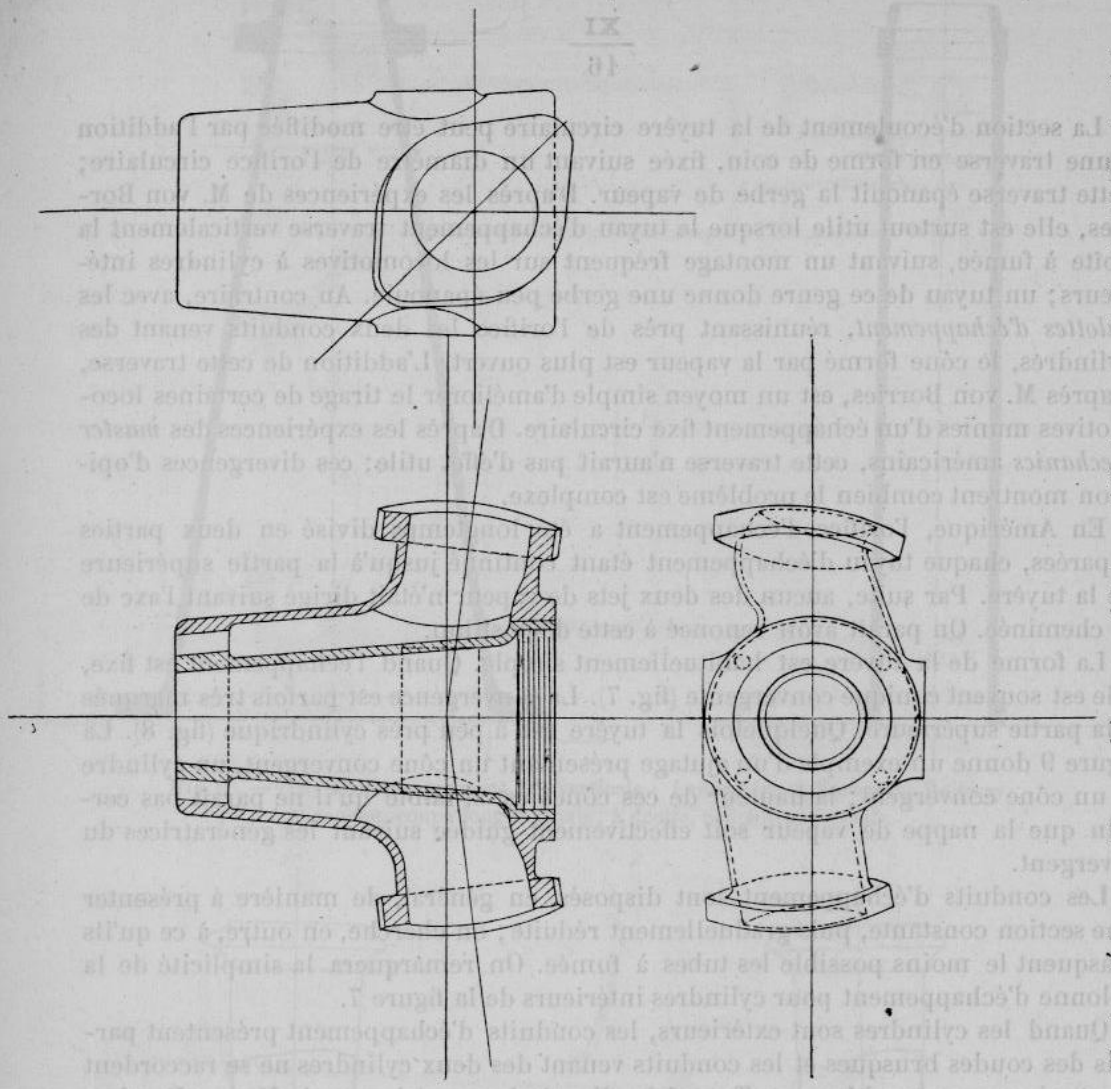


Fig. 6. — Échappement fixe annulaire avec arrivée tangentielle de vapeur : K. K. priv. öst. Nordwestbahn. L'arrivée tangentielle est destinée à mieux répartir la vapeur dans l'orifice annulaire d'échappement.

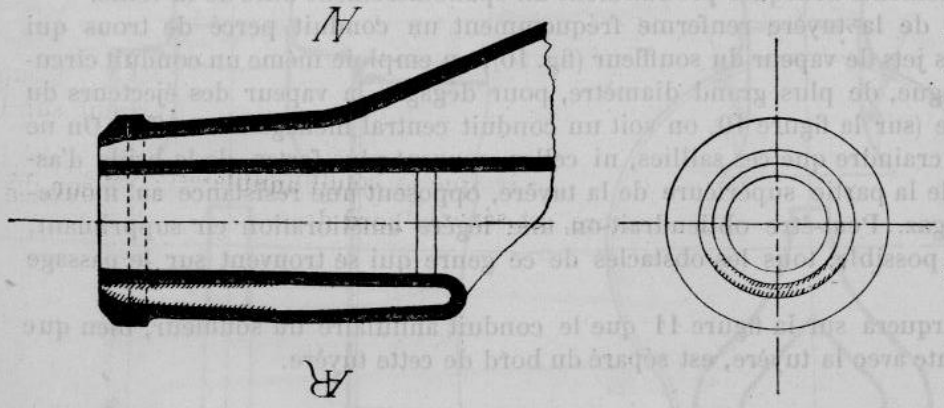


Fig. 5. — Échappement annulaire des locomotives nos 2245-2269 et 2301-2304 des chemins de fer de l'Ouest (France); encrassement vers l'arrière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La section d'écoulement de la tuyère circulaire peut être modifiée par l'addition d'une traverse en forme de coin, fixée suivant un diamètre de l'orifice circulaire; cette traverse épanouit la gerbe de vapeur. D'après les expériences de M. von Borries, elle est surtout utile lorsque le tuyau d'échappement traverse verticalement la boîte à fumée, suivant un montage fréquent sur les locomotives à cylindres intérieurs; un tuyau de ce genre donne une gerbe peu épanouie. Au contraire, avec les *culottes d'échappement*, réunissant près de l'orifice les deux conduits venant des cylindres, le cône formé par la vapeur est plus ouvert. L'addition de cette traverse, d'après M. von Borries, est un moyen simple d'améliorer le tirage de certaines locomotives munies d'un échappement fixe circulaire. D'après les expériences des *master mechanics* américains, cette traverse n'aurait pas d'effet utile; ces divergences d'opinion montrent combien le problème est complexe.

En Amérique, l'orifice d'échappement a été longtemps divisé en deux parties séparées, chaque tuyau d'échappement étant continué jusqu'à la partie supérieure de la tuyère. Par suite, aucun des deux jets de vapeur n'était dirigé suivant l'axe de la cheminée. On paraît avoir renoncé à cette disposition.

La forme de la tuyère est habituellement simple. Quand l'échappement est fixe, elle est souvent conique convergente (fig. 7). La convergence est parfois très marquée à la partie supérieure. Quelquefois la tuyère est à peu près cylindrique (fig. 8). La figure 9 donne un exemple d'un ajutage présentant un cône convergent, un cylindre et un cône convergent; la hauteur de ces cônes est si faible qu'il ne paraît pas certain que la nappe de vapeur soit effectivement guidée suivant les génératrices du divergent.

Les conduits d'échappement sont disposés, en général, de manière à présenter une section constante, puis graduellement réduite; on cherche, en outre, à ce qu'ils masquent le moins possible les tubes à fumée. On remarquera la simplicité de la colonne d'échappement pour cylindres intérieurs de la figure 7.

Quand les cylindres sont extérieurs, les conduits d'échappement présentent parfois des coudes brusques et les conduits venant des deux cylindres ne se raccordent pas toujours convenablement. Toutefois, d'après les expériences de M. von Borries, ces raccordements brusques produiraient un épanouissement utile de la veine.

Le bord de la tuyère renferme fréquemment un conduit percé de trous qui donnent les jets de vapeur du souffleur (fig. 10); on emploie même un conduit circulaire analogue, de plus grand diamètre, pour dégager la vapeur des éjecteurs du frein à vide (sur la figure 10, on voit un conduit central ménagé à cet effet). On ne paraît pas craindre que ces saillies, ni celles, souvent plus fortes, de la bride d'assemblage de la partie supérieure de la tuyère, opposent une résistance au mouvement des gaz. Peut-être obtiendrait-on une légère amélioration en supprimant, autant que possible, tous les obstacles de ce genre qui se trouvent sur le passage des gaz.

On remarquera sur la figure 11 que le conduit annulaire du souffleur, bien que venu de fonte avec la tuyère, est séparé du bord de cette tuyère.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

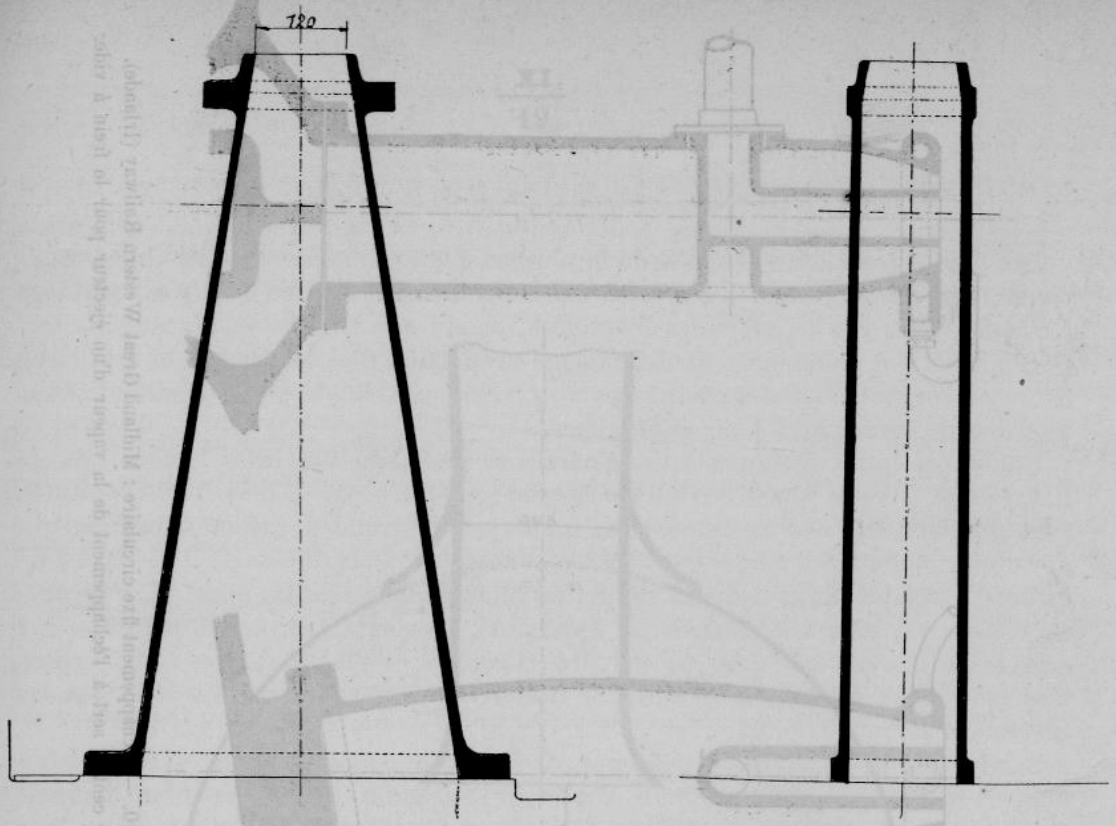


Fig. 7. — Tuyère d'échappement fixe verticale : Lancashire & Yorkshire Railway.
A gauche, coupe longitudinale; à droite, coupe transversale.

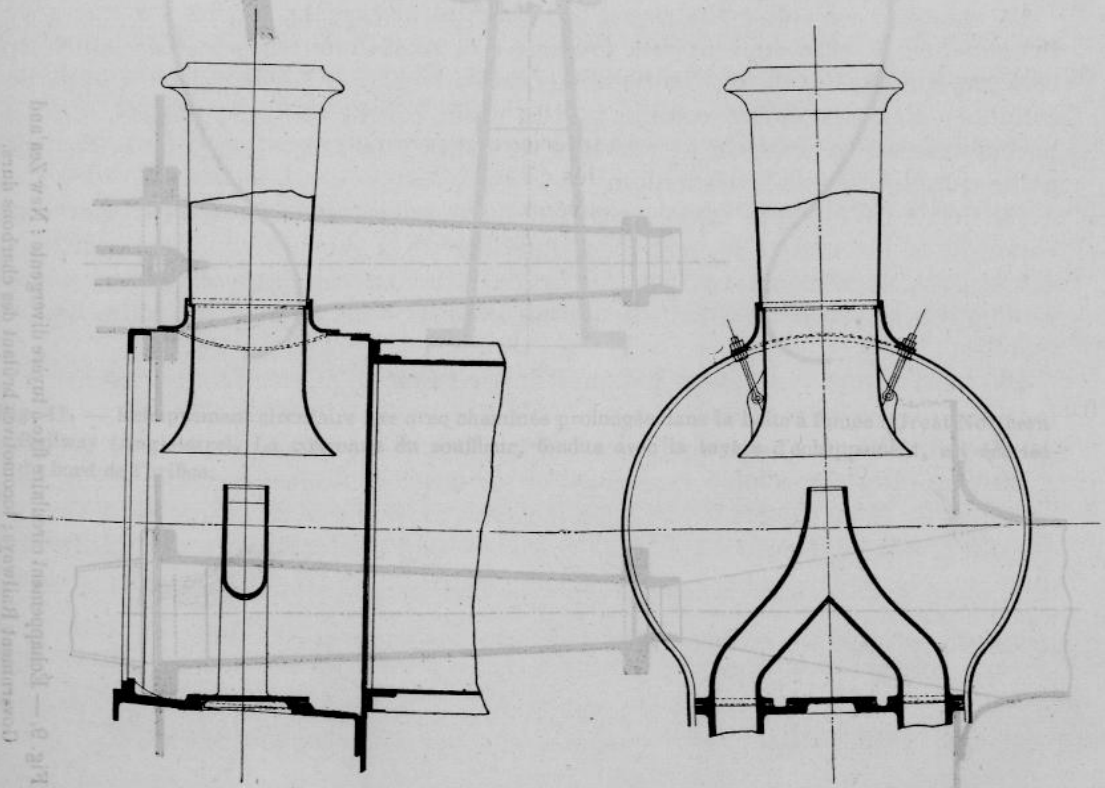


Fig. 8. — Échappement circulaire fixe et cheminée à entonnoir inférieur :
London & North Western Railway.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

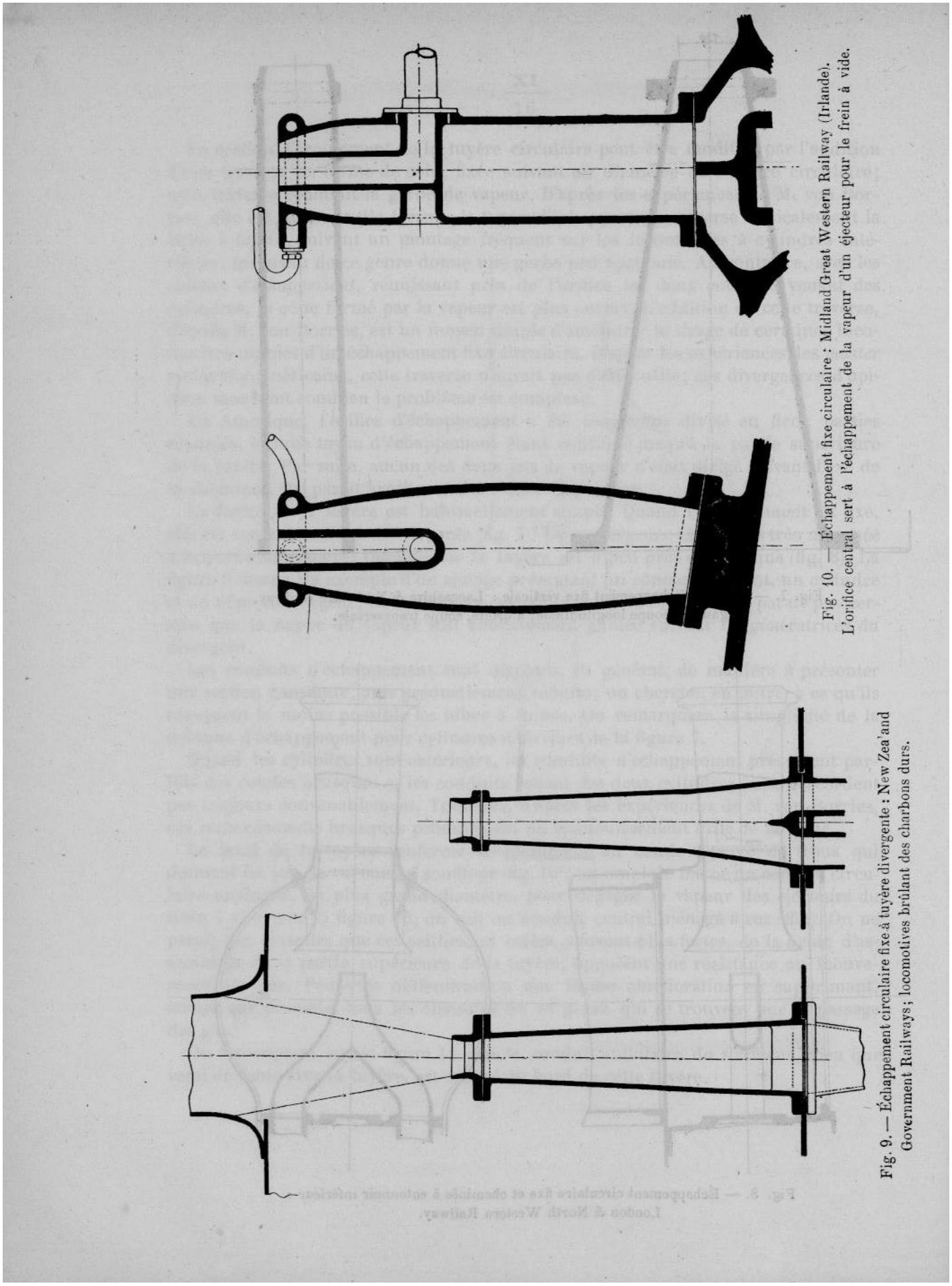


Fig. 10. — Échappement fixe circulaire : Midland Great Western Railway (Irlande). L'orifice central sert à l'échappement de la vapeur d'un éjecteur pour le frein à vide.

Fig. 9. — Échappement circulaire fixe à tuyère divergente : New Zealand Government Railways ; locomotives brûlant des charbons durs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

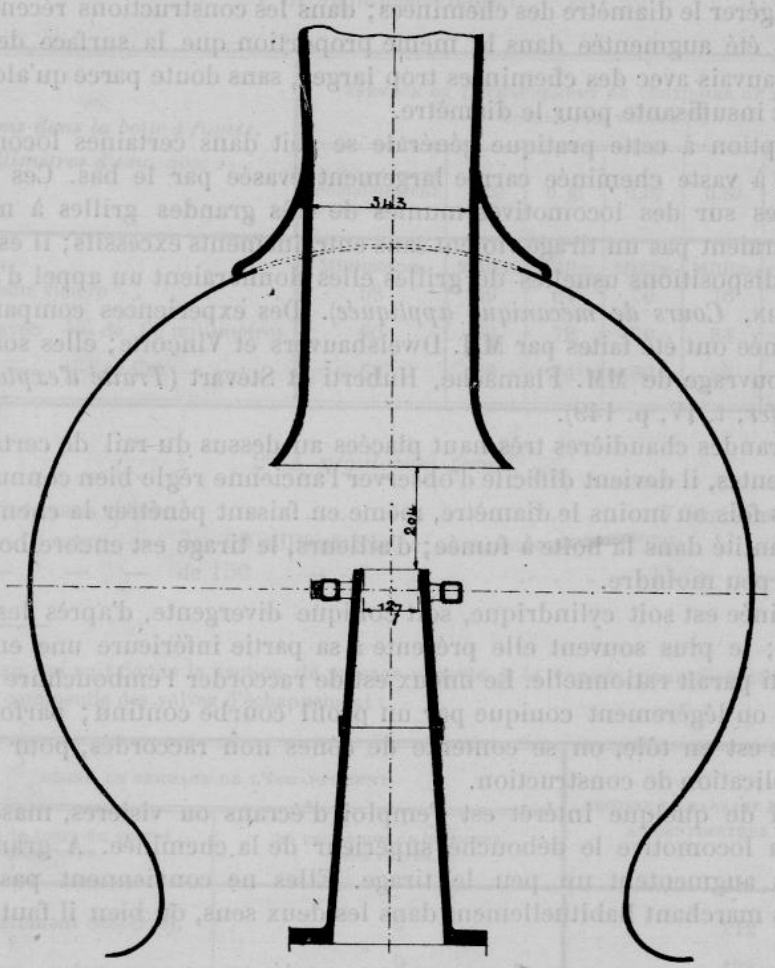


Fig. 11. — Échappement circulaire fixe avec cheminée prolongée dans la boîte à fumée : Great Northern Railway (Angleterre). La couronne du souffleur, fondue avec la tuyère d'échappement, est écartée du bord de l'orifice.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° *Section, hauteur et profil de la cheminée.*

Les dimensions des cheminées de la plupart des locomotives ont été fixées empiriquement, comme celles des tuyères d'échappement. Il semble qu'il y ait avantage à ne pas exagérer le diamètre des cheminées; dans les constructions récentes, la section n'a pas été augmentée dans la même proportion que la surface de grille. Le tirage est mauvais avec des cheminées trop larges, sans doute parce qu'alors la hauteur devient insuffisante pour le diamètre.

Une exception à cette pratique générale se voit dans certaines locomotives de l'*État belge*, à vaste cheminée carrée largement évasée par le bas. Ces cheminées sont montées sur des locomotives munies de très grandes grilles à menus, qui ne supporteraient pas un tirage violent sans entraînements excessifs; il est probable qu'avec les dispositions usuelles de grilles elles donneraient un appel d'air insuffisant (Boulvin, *Cours de mécanique appliquée*). Des expériences comparatives sur cette cheminée ont été faites par MM. Dwelshauvers et Vinçotte; elles sont rapportées dans l'ouvrage de MM. Flamache, Huberti et Stévart (*Traité d'exploitation des chemins de fer*, t. IV, p. 149).

Sur les grandes chaudières très haut placées au-dessus du rail de certaines locomotives récentes, il devient difficile d'observer l'ancienne règle bien connue, hauteur égale à trois fois au moins le diamètre, même en faisant pénétrer la cheminée d'une certaine quantité dans la boîte à fumée; d'ailleurs, le tirage est encore bon avec une hauteur un peu moindre.

La cheminée est soit cylindrique, soit conique divergente, d'après les tracés de Prüssmann; le plus souvent elle présente à sa partie inférieure une embouchure conique, qui paraît rationnelle. Le mieux est de raccorder l'embouchure à la partie cylindrique ou légèrement conique par un profil courbe continu; parfois, lorsque la cheminée est en tôle, on se contente de cônes non raccordés, pour éviter une petite complication de construction.

Un détail de quelque intérêt est l'emploi d'écrans ou visières, masquant vers l'avant de la locomotive le débouché supérieur de la cheminée. A grande vitesse, ces visières augmentent un peu le tirage. Elles ne conviennent pas pour des locomotives marchant habituellement dans les deux sens, ou bien il faut les rendre mobiles.

Ces visières sont employées notamment par l'*État belge*, par l'*État français*, par les *Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée*, par les *Chemins de fer du Nord*, qui ont fourni des renseignements à ce sujet.

L'action des visières a été expérimentée sur des locomotives compound à quatre cylindres du Nord (nos 2121 et 2122), à la vitesse moyenne de 80 kilomètres à l'heure en palier, avec une pression dans la chaudière de 13 kilogrammes par millimètre carré, un régulateur ouvert à moitié et une admission de 35 p. c. dans les cylindres à haute pression.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dépressions moyennes, en millimètres d'eau, observées dans la boîte à fumée, sont les suivantes :

1° *A régulateur ouvert.*

Dépressions dans la boîte à fumée, en millimètres d'eau, avec :	SERRAGE DE L'ÉCHAPPEMENT EN CENTIÈMES DE LA COURSE TOTALE DES VALVES (1).					
	0 (échappement complètement ouvert).	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00 (échappement complètement fermé).
	Millimètres.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millimètres.
Cheminée sans visière	53	59	64	70	76	83
— avec — de 60 millimètres	60	66	72	78	84	91
— — — de 150 —	63	68	74	80	85	93

2° *A régulateur fermé.*

Cheminée sans visière	7.5 millimètres.
— avec — de 60 millimètres	10 —
— — — de 150 —	11 —

(1) Le tableau qui suit donne la section de passage ouverte à la vapeur, pour diverses positions du mécanisme de commande des valves d'échappement :

DEGRÉ DE SERRAGE DE L'ÉCHAPPEMENT		SECTION DE PASSAGE DE LA VAPEUR EN CENTIMÈTRES CARRÉS.
en nombre de tours du volant de manœuvre.	en centièmes de la course des valves.	
0 (complètement desserré).	0	212
1	9	198
2	18	183
3	27	168
4	36	151
5	45	135
11 (complètement serré).	100	40

La position normale de l'échappement (pour ces nouvelles locomotives compound à grande vitesse) est aux 27 centièmes de la course, c'est-à-dire avec une ouverture de 163 centimètres carrés correspondant à la surface d'un cercle de 146 millimètres de diamètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit que les visières augmentent la dépression ; celles de 60 millimètres un peu moins que celles de 150 millimètres. Ces dernières sont appliquées d'une manière générale aux locomotives compound à grande vitesse du Nord. Les anciennes machines à grande vitesse non compound avaient, depuis longtemps, des visières de 60 millimètres.

Ces visières réduisent d'autant la hauteur qu'on peut donner à la cheminée, hauteur déjà bien limitée sur certaines locomotives.

On attribue quelquefois au *chapiteau*, qui couronne certaines cheminées, une action analogue à celle des visières, action qui s'exercerait dans tous les sens. On pourrait le vérifier en faisant des relevés manométriques sur une locomotive avec et sans chapiteau ; aucune observation de ce genre n'a été signalée au rapporteur.

Quelques administrations emploient encore le *capuchon* qui peut recouvrir la cheminée pendant les stationnements (fig. 14); on considère généralement que cet appendice est inutile quand le cendrier est muni de portes mobiles.

4° *Position de la tuyère.*

La tuyère d'échappement doit déboucher à bonne hauteur dans la boîte à fumée. Cette tuyère forme, avec la cheminée, un appareil pour l'entraînement des gaz, appareil dont les diverses parties doivent être bien proportionnées et bien placées l'une par rapport à l'autre. Ces conditions sont évidemment moins précises que pour un injecteur refoulant l'eau ; néanmoins, comme pour un injecteur, ces diverses parties dépendent l'une de l'autre.

La tuyère d'échappement des locomotives anciennes était souvent engagée dans la cheminée ; on paraît renoncer à cette disposition, et on se rapproche assez généralement de la règle suivie depuis longtemps en Angleterre, en plaçant l'ouverture de la tuyère très peu au-dessus de la rangée supérieure des tubes à fumée. La cheminée est munie d'un évasement conique qui descend plus ou moins bas, mais la tuyère se trouve assez éloignée de la section de la plus étroite.

Beaucoup de machines dont le tirage était défectueux ont été améliorées par le déplacement de la tuyère d'échappement, ainsi ramenée à hauteur convenable.

On peut même la descendre beaucoup plus bas, en reprenant une disposition autrefois fréquente en Amérique ; mais il faut alors monter dans la boîte à fumée un tuyau central (dit *petticoat*), ou un système de cônes superposés, au-dessus de la tuyère. Cette disposition a le défaut d'encombrer un peu la boîte à fumée.

Elle est à l'essai sur le *Great Northern Railway* (fig. 12), qui a imité le montage usité sur les locomotives du *Michigan Central Railway* (voir *Railroad Gazette* du 11 juin 1897). Les premiers résultats sont satisfaisants.

Les *New Zealand Government Railways* emploient des locomotives de types américains avec tuyère très basse surmontée du *petticoat* (fig. 13.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

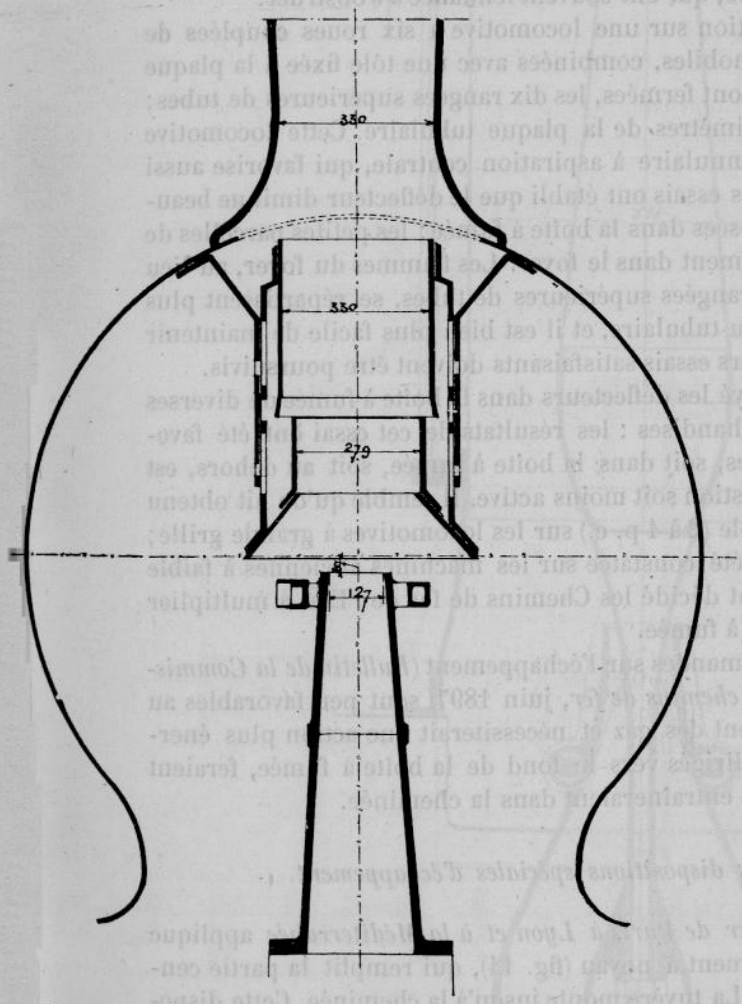


Fig. 12. — Échappement circulaire fixe surmonté du *petticoat* : Great Northern Railway (Angleterre) ; essai de la disposition du Michigan Central Railway.

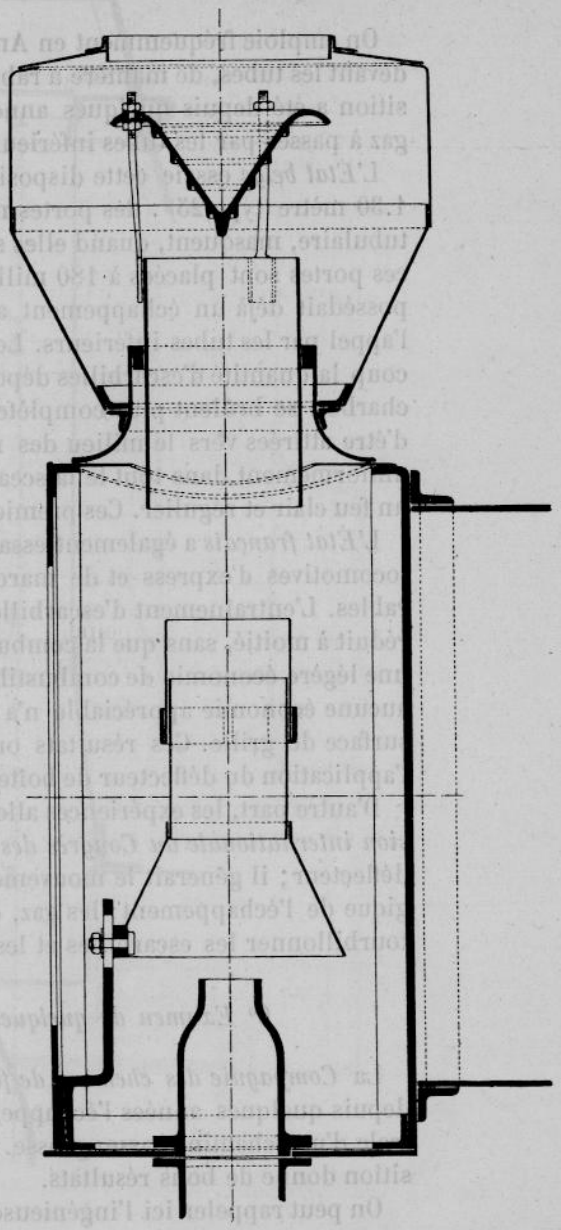


Fig. 13. — Échappement circulaire fixe surmonté du *petticoat* ; cheminée à cône déflecteur et à réservoir d'escarbilles : New Zealand Government Railways ; locomotives brûlant des charbons légers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

5° *Déflecteurs dans la boîte à fumée.*

On emploie fréquemment en Amérique un déflecteur monté dans la boîte à fumée devant les tubes, de manière à rabattre les gaz vers le fond de cette boîte. Cette disposition a été depuis quelques années introduite en Europe. Ce déflecteur incite les gaz à passer par les tubes inférieurs, qui ont souvent tendance à s'obstruer.

L'*État belge* essaie cette disposition sur une locomotive à six roues couplées de 1.30 mètre (type 25) : des portes mobiles, combinées avec une tôle fixée à la plaque tubulaire, masquent, quand elles sont fermées, les dix rangées supérieures de tubes; ces portes sont placées à 180 millimètres de la plaque tubulaire. Cette locomotive possédait déjà un échappement annulaire à aspiration centrale, qui favorise aussi l'appel par les tubes inférieurs. Les essais ont établi que le déflecteur diminue beaucoup la quantité d'escarbilles déposées dans la boîte à fumée; les petites parcelles de charbon se brûlent plus complètement dans le foyer. Les flammes du foyer, au lieu d'être attirées vers le milieu des rangées supérieures de tubes, se répartissent plus uniformément dans tout le faisceau tubulaire, et il est bien plus facile de maintenir un feu clair et régulier. Ces premiers essais satisfaisants doivent être poursuivis.

L'*État français* a également essayé les déflecteurs dans la boîte à fumée de diverses locomotives d'express et de marchandises : les résultats de cet essai ont été favorables. L'entraînement d'escarbilles, soit dans la boîte à fumée, soit au dehors, est réduit à moitié, sans que la combustion soit moins active. Il semble qu'on ait obtenu une légère économie de combustible (2 à 4 p. c.) sur les locomotives à grande grille; aucune économie appréciable n'a été constatée sur les machines anciennes à faible surface de grille. Ces résultats ont décidé les Chemins de fer de l'État à multiplier l'application du déflecteur de boîte à fumée.

D'autre part, les expériences allemandes sur l'échappement (*Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, juin 1897) sont peu favorables au déflecteur; il gênerait le mouvement des gaz et nécessiterait une action plus énergique de l'échappement; les gaz, dirigés vers le fond de la boîte à fumée, feraient tourbillonner les escarbilles et les entraîneraient dans la cheminée.

6° *Examen de quelques dispositions spéciales d'échappement.*

La *Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée* applique depuis quelques années l'échappement à noyau (fig. 14), qui remplit la partie centrale d'une cheminée assez grosse. La tuyère monte jusqu'à la cheminée. Cette disposition donne de bons résultats.

On peut rappeler ici l'ingénieuse disposition de l'échappement Kordina, qui a été essayé en Hongrie et en France sur le chemin de fer du Nord. Cet échappement comporte deux tuyères concentriques, en relation chacune avec l'un des cylindres. L'inventeur espérait ainsi obtenir une aspiration d'une tuyère dans l'autre et réduire la contre-pression sur les pistons. Certains diagrammes d'indicateur semblaient

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

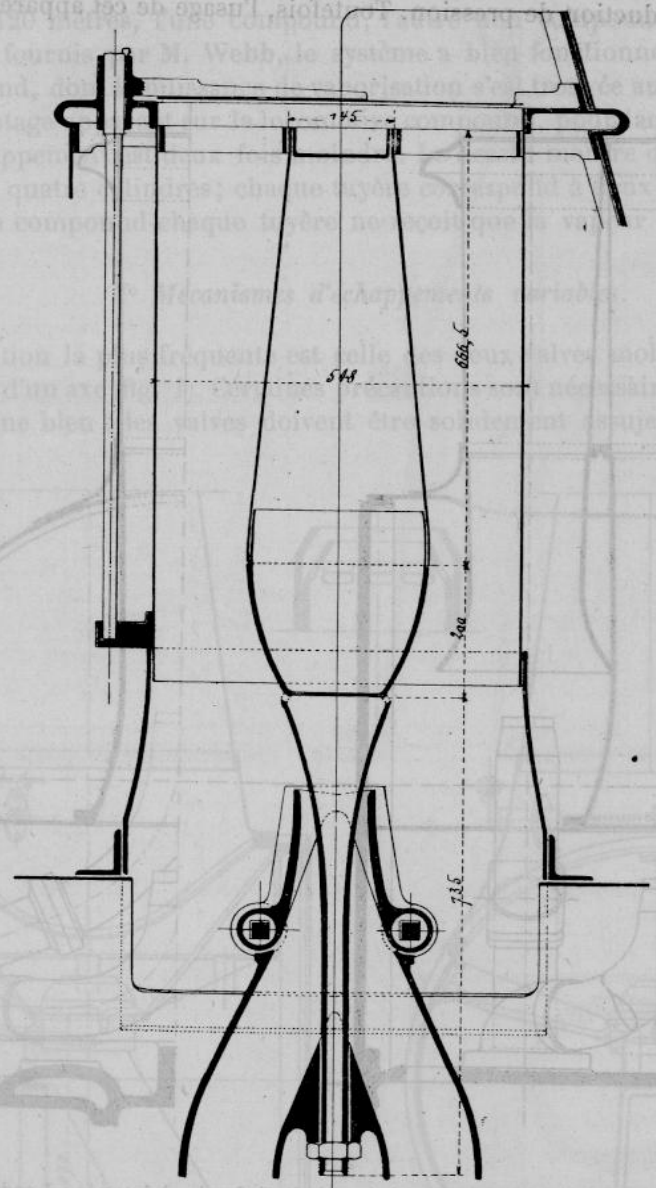


Fig. 14. — Échappement variable à valves, avec noyau central dans la cheminée : locomotives C 21-60 des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. La vapeur du souffleur s'échappe par une couronne de trous dans la partie inférieure du noyau. Le noyau est fixé par trois traverses à la partie supérieure de la cheminée. La cheminée porte une visière et un capuchon mobile; elle est revêtue d'une enveloppe à profil saillant vers l'avant et vers l'arrière (non figurée).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

montrer cette réduction de pression. Toutefois, l'usage de cet appareil ne paraît pas s'être développé.

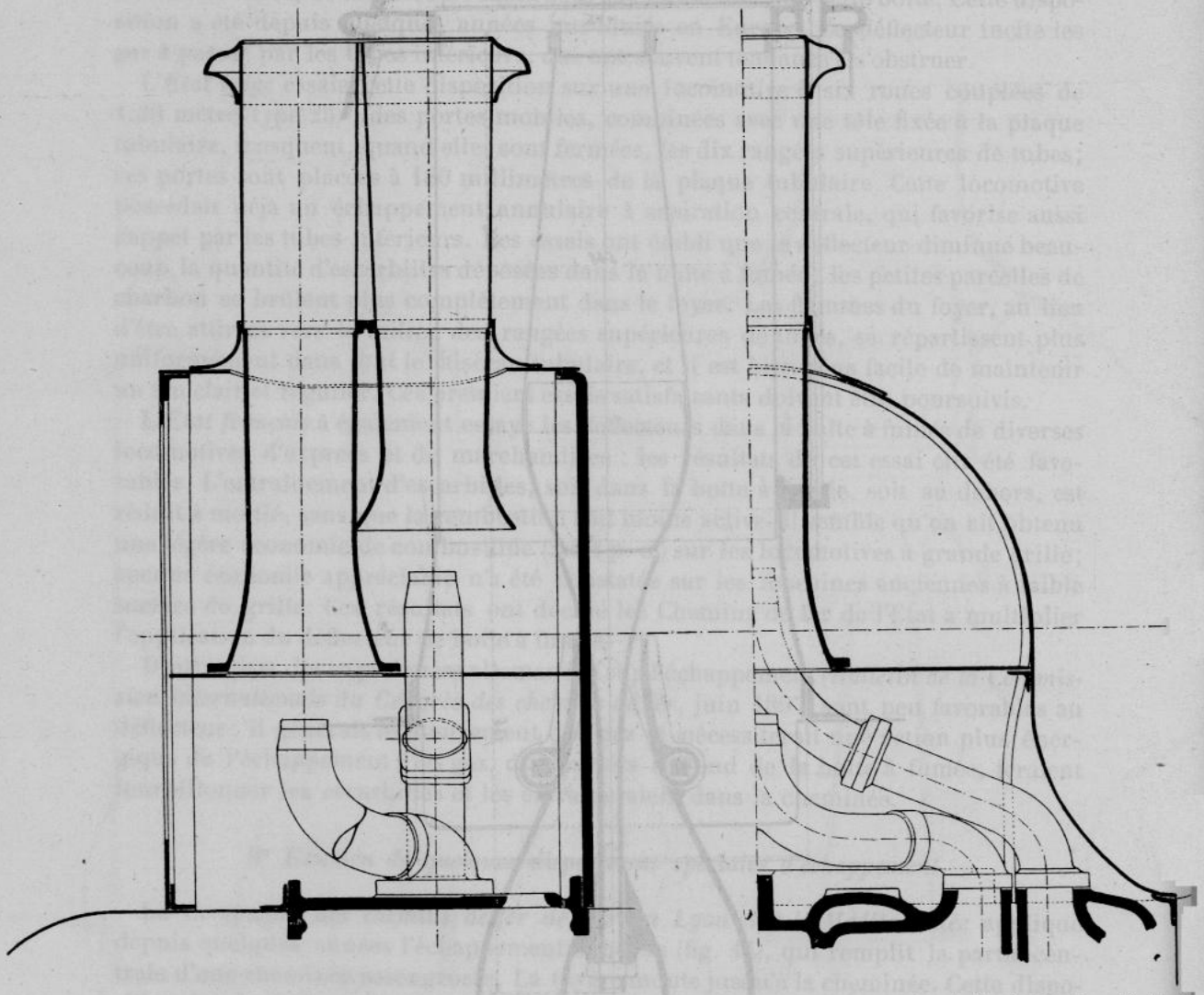


Fig. 15. — Échappement T. W. Webb, à double cheminée et boîte à fumée cloisonnée : London & North Western Railway. Disposition en essai sur des locomotives à quatre cylindres, non compound (cas de la figure) et compound.

Afin de régulariser la répartition du courant gazeux dans les tubes, M. Webb a récemment divisé la boîte à fumée en deux parties, séparées par une tôle horizontale; chacune est munie d'une cheminée et d'une tuyère d'échappement spéciales (fig. 15). Cette disposition a été appliquée sur deux locomotives à voyageurs, avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

roues de 2.120 mètres, l'une compound, l'autre non compound. D'après les renseignements fournis par M. Webb, le système a bien fonctionné sur la locomotive non compound, dont la puissance de vaporisation s'est trouvée augmentée. Il n'a pas donné d'avantage apparent sur la locomotive compound, pour laquelle le nombre de coups d'échappement est deux fois moindre. Le dessin montre que la machine non compound a quatre cylindres; chaque tuyère correspond à deux cylindres. Au contraire, sur la compound chaque tuyère ne reçoit que la vapeur d'un seul cylindre.

7° *Mécanismes d'échappements variables.*

La disposition la plus fréquente est celle des deux valves mobiles, tournant chacune autour d'un axe (fig. 1). Certaines précautions sont nécessaires pour que l'appareil fonctionne bien : les valves doivent être solidement assujetties sur leur axe;

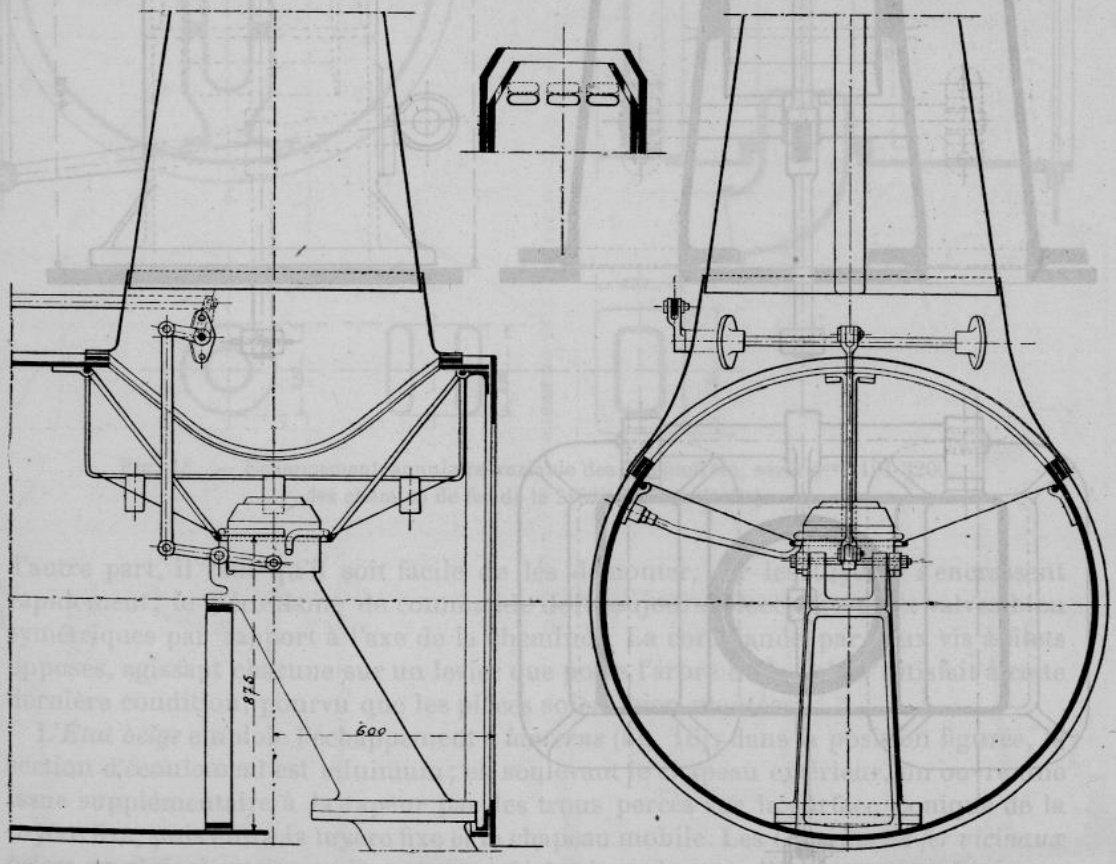


Fig. 16. — Échappement variable des locomotives express type 12 de l'État belge, avec grande cheminée carrée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

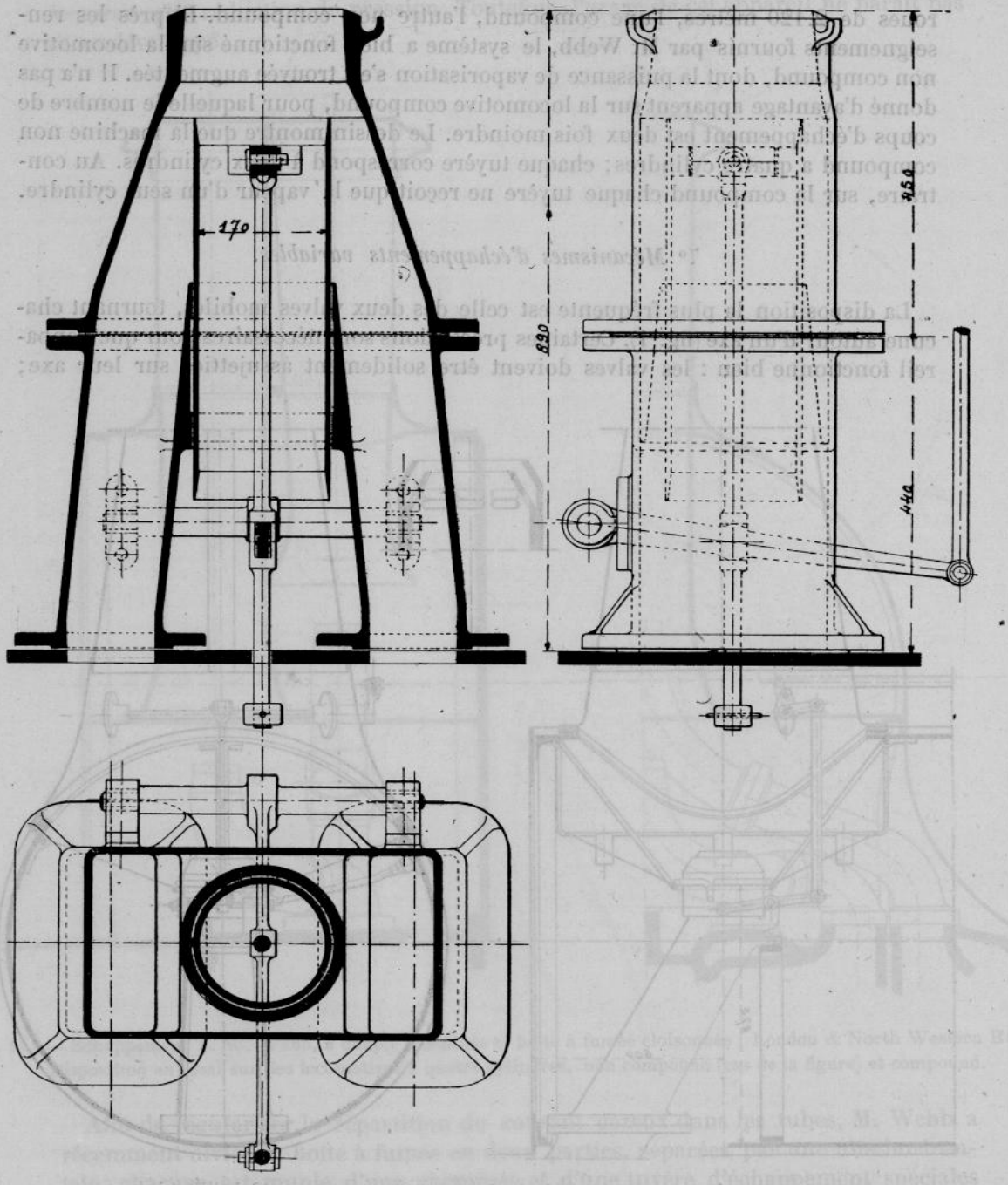


Fig. 17. — Échappement variable annulaire, à cylindre mobile, de l'État belge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

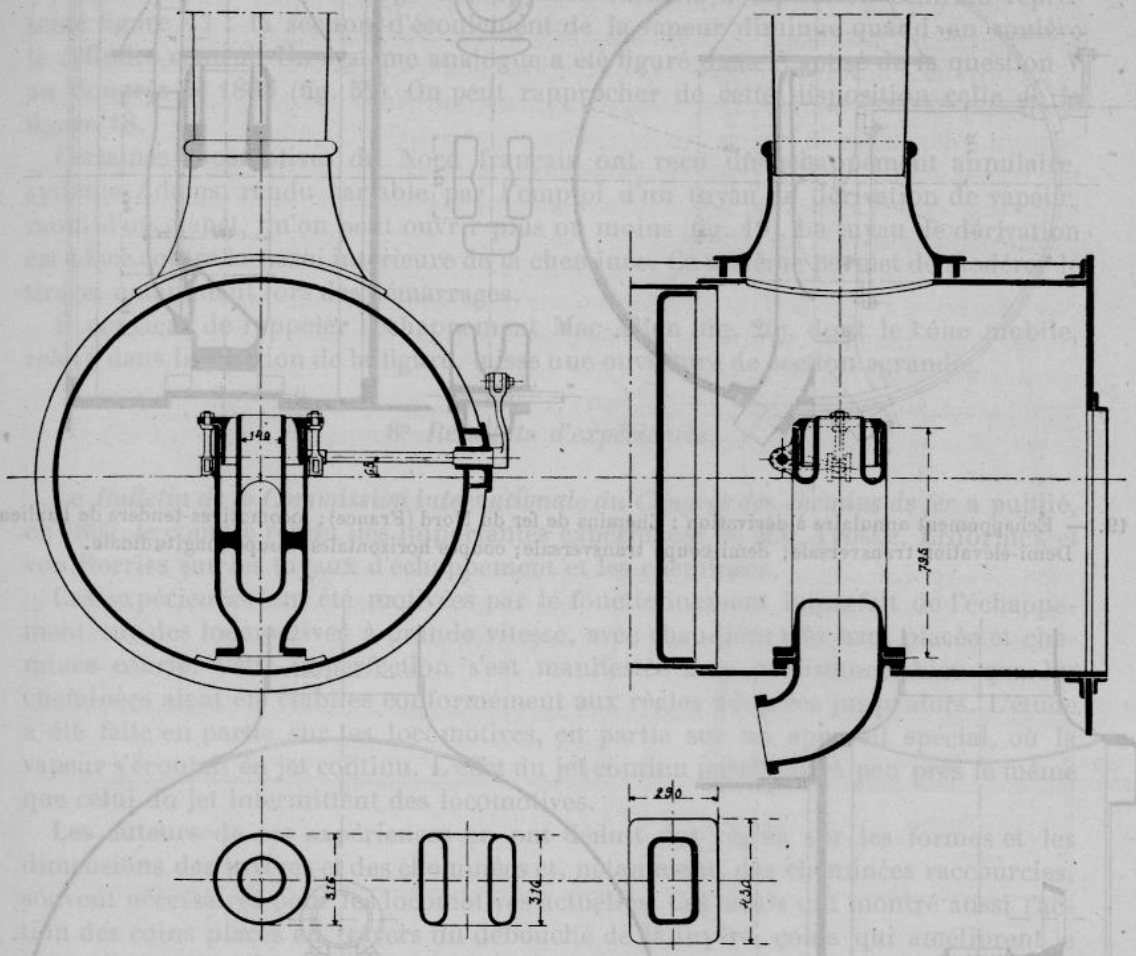


Fig. 18. — Échappement annulaire variable des locomotives, série nos 3101-3200, des chemins de fer de la Méditerranée (Italie).

d'autre part, il faut qu'il soit facile de les démonter, car les tuyères s'encrassent rapidement; le mécanisme de commande doit toujours placer les deux valves bien symétriques par rapport à l'axe de la cheminée. La commande par deux vis à filets opposés, agissant chacune sur un levier que porte l'arbre de la valve, satisfait à cette dernière condition, pourvu que les pièces soient bien montées.

L'*État belge* emploie l'échappement *à lanterne* (fig. 16); dans la position figurée, la section d'écoulement est minimum; en soulevant le chapeau extérieur, on ouvre une issue supplémentaire à la vapeur par les trous percés sur la surface conique de la tuyère fixe, puis entre la tuyère fixe et le chapeau mobile. Les *Chemins de fer vicinaux belges* emploient un appareil analogue, désigné par le nom d'échappement *Riga*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

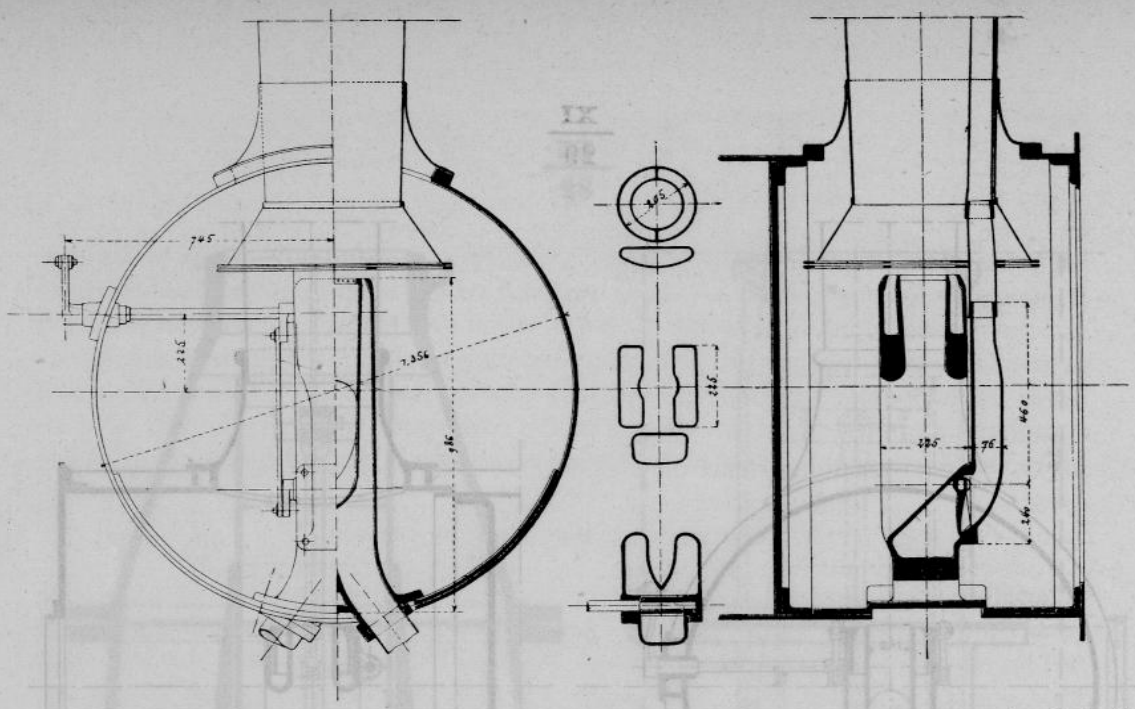


Fig. 19. — Échappement annulaire à dérivation : Chemins de fer du Nord (France); locomotives-tenders de banlieue. Demi-élévation transversale; demi-coupe transversale; coupes horizontales; coupe longitudinale.

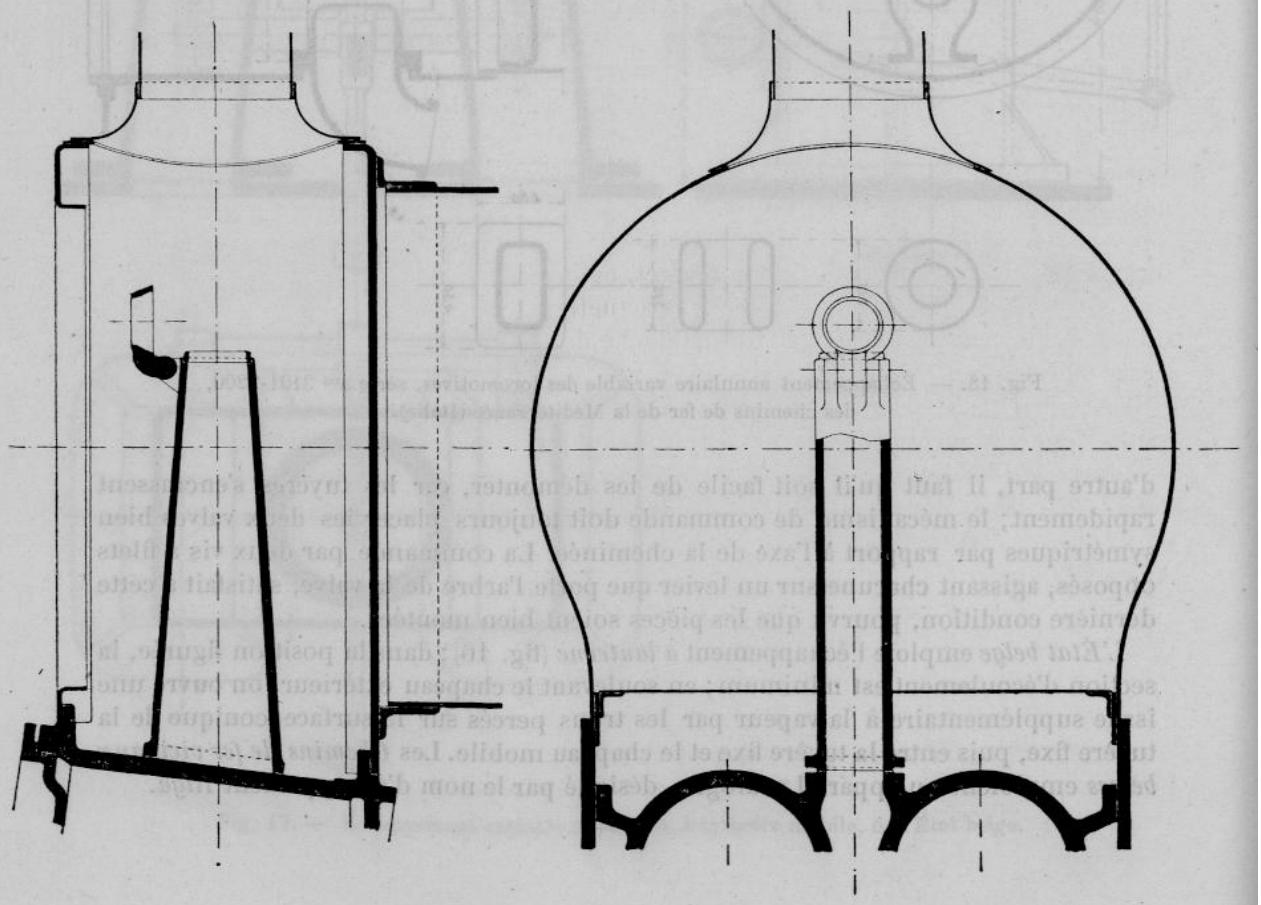


Fig. 20. — Échappement variable Mac Allan, du Great Eastern Railway. Échelle, 1 : 20.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'*État belge* fait aussi usage de l'appareil variable à aspiration centrale représenté figure 17 : la section d'écoulement de la vapeur diminue quand on soulève le cylindre central. Un système analogue a été figuré dans l'exposé de la question V au Congrès de 1895 (fig. 52). On peut rapprocher de cette disposition celle de la figure 18.

Certaines locomotives du Nord français ont reçu un échappement annulaire, système Adams, rendu variable par l'emploi d'un tuyau de dérivation de vapeur, muni d'un clapet, qu'on peut ouvrir plus ou moins (fig. 19). Le tuyau de dérivation est placé contre la paroi intérieure de la cheminée. Ce système permet de modérer le tirage, notamment lors des démarrages.

Il convient de rappeler l'échappement Mac-Allan (fig. 20), dont le cône mobile, relevé dans la position de la figure, laisse une ouverture de section agrandie.

8° *Résultats d'expériences.*

Le *Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer* a publié, en 1897, le compte rendu des importantes expériences de MM. Troske, Erdbrinck et von Borries sur les tuyaux d'échappement et les cheminées.

Ces expériences ont été motivées par le fonctionnement imparfait de l'échappement sur des locomotives à grande vitesse, avec chaudière très haut placée et cheminée courte. Cette imperfection s'est manifestée avec persistance, bien que les cheminées aient été établies conformément aux règles adoptées jusqu'alors. L'étude a été faite en partie sur les locomotives, en partie sur un appareil spécial, où la vapeur s'écoulait en jet continu. L'effet du jet continu paraît être à peu près le même que celui du jet intermittent des locomotives.

Les auteurs de ces expériences en ont déduit des règles sur les formes et les dimensions des tuyères et des cheminées et, notamment, des cheminées raccourcies, souvent nécessaires pour les locomotives actuelles. Ces essais ont montré aussi l'action des coins placés en travers du débouché de la tuyère, coins qui améliorent le tirage de certaines locomotives.

D'autre part, l'Association américaine des *Master Mechanics* a fait sur les échappements des expériences dont les résultats ont été publiés en 1896.

D'après les conclusions du rapport américain, l'action de la vapeur d'échappement dans la cheminée n'est pas comparable à celle d'un piston dans un cylindre; mais le jet de vapeur agit sur les gaz de la boîte à fumée par entraînement et par mélange, mais surtout par entraînement; un écoulement continu de vapeur produit le tirage comme l'échappement intermittent; le jet de vapeur, dans les cas ordinaires, ne remplit la cheminée que près du sommet (voir *Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, année 1897, p. 279); l'efficacité du jet paraît d'autant plus grande que le jet est plus concentré et moins épanoui; la modification des dimensions de la cheminée peut changer beaucoup la forme du jet; en général, l'augmentation de la quantité de vapeur diminue l'épanouissement du jet; la forme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la tuyère a une grande influence sur celle du jet et, par suite, sur l'efficacité de l'échappement; les coins, ou barres transversales, diminuent cette efficacité.

La profonde différence entre les conclusions des études allemandes et américaines est surprenante : tandis qu'en Allemagne, pour améliorer le tirage, on cherche à épanouir davantage le jet, on pense, en Amérique, qu'il vaut mieux en réduire l'épanouissement. Cette divergence d'opinions montre combien ces expériences sont délicates; sans doute aussi les résultats en sont modifiés par une foule de circonstances accessoires.

Le rapport américain donne enfin quelques indications pratiques sur le montage des appareils, à la suite d'essais effectués sur des cheminées convergentes, puis divergentes, avec diamètre minimum de 14 pouces (355 millimètres) et sur des cheminées cylindriques de 14 et de 16 pouces (355 et 406 millimètres) : la tuyère doit déboucher à une assez faible hauteur dans la boîte à fumée. L'ancienne tuyère double américaine est inférieure à la tuyère simple. Enfin, le *petticoat* bien disposé augmente l'efficacité du jet.

La *Compagnie du Nord* (France) a communiqué d'intéressants résultats d'essais sur le tirage de ses locomotives. L'étude de l'effet des *visières* a été rapportée plus haut. En ce qui concerne l'augmentation de la contre-pression sur les pistons, qui résulte du serrage de l'échappement et de la vitesse, les expériences du Nord ont donné, pour les locomotives compound à grande vitesse, les nombres résumés dans le tableau qui suit :

SERRAGE DE L'ÉCHAPPEMENT		CONTRE-PRESSIONS EN KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ, POUR UNE VITESSE A L'HEURE		
en centièmes de la course des valves (1).	en nombre de tours du volant de manœuvre (nombre total : 11).	de 60 kilomètres.	de 90 kilomètres.	de 120 kilomètres.
0	0	0.26	0.47	0.71
0.09	1	0.28	0.48	0.73
0.18	2	0.30	0.50	0.75
0.27	3	0.32	0.52	0.78
0.36	4	0.36	0.60	0.85
0.45 (2)	5	0.45	0.69	0.97

(1) Pour la section correspondante de l'échappement, voir note (1) figurant au 3e du chapitre I.
(2) Plus grand serrage usité en service courant.

Les expériences ont porté aussi sur l'effet de l'entrée de l'air dans les cendriers : quand la porte d'avant est seule ouverte, la pression dans le cendrier augmente avec la vitesse. Cette pression a été trouvée de 3 millimètres d'eau à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure, de 5.5 millimètres à 60 kilomètres, de 9.5 millimètres à 80 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètres et de 16 millimètres à 100 kilomètres. Quand les deux portes (avant et arrière) sont ouvertes, cette surpression est insensible dans le cendrier.

Pour les locomotives du Nord, la position la plus favorable de la tête d'échappement a été fournie par la pratique. Le meilleur tirage a été généralement obtenu lorsque le plan supérieur des valves se trouve à 100 millimètres environ au-dessus de l'axe horizontal de la première rangée de tubes et à une distance d'à peu près 30 millimètres de la base du cône inférieur de la cheminée. Ces résultats expérimentaux ont fait abaisser l'échappement, qui était trop élevé dans quelques types de machines.

La *Compagnie du Nord* a modifié, conformément aux données de M. von Borries, dans quelques types de machines choisis comme spécimens, les dimensions des cheminées, tout en supprimant les cônes inférieurs que ses locomotives possèdent presque toutes ; elle a appliqué un coin dans l'échappement de ces mêmes machines, ainsi que le conseille cet ingénieur.

Mais elle ne peut encore donner aucune indication sur l'efficacité de cette transformation, faite seulement à titre d'essai.

Lorsque l'échappement d'une locomotive ne suffit pas à assurer une production suffisante, on y ajoute quelquefois l'action du souffleur. La nécessité de recourir à l'emploi du souffleur semble indiquer que la tuyère d'échappement est mal disposée, ou trop grande, ou que l'échappement variable serait préférable à l'échappement fixe. Car, normalement, la vapeur d'échappement doit suffire à la production la plus active.

II. — Dispositions pour éviter les incendies par les escarbilles de la cheminée.

Les escarbilles projetées par les locomotives allument parfois des incendies ; mais le danger est très variable, suivant la nature des régions que traversent les chemins de fer, suivant les climats et les saisons, suivant la qualité des combustibles brûlés, enfin, suivant l'activité plus ou moins grande du tirage nécessaire. Avec ces conditions si diverses, on comprend aisément que les dispositions employées pour prévenir les incendies diffèrent beaucoup d'un chemin de fer à un autre ; parfois, on n'a besoin d'aucun appareil spécial pour arrêter les escarbilles enflammées ; dans d'autres cas, les systèmes les plus compliqués suffisent à peine.

Sauf quelques rares exceptions, aucun appareil destiné à arrêter les flammèches n'est en usage sur les locomotives de la Grande-Bretagne et de l'Irlande, en ne considérant pas comme appareil de ce genre la voûte dans le foyer, qu'on y emploie généralement. Le *Great Eastern Railway*, qui possédait des grilles à flammèches, les a supprimées en 1895. Le *Great Northern Railway* a remédié au danger d'incendie par une légère augmentation du diamètre des échappements. Toutefois, une application de grille à flammèches sur le *London & North Western Railway* est indiquée plus loin.

Il est évident qu'il y a tout avantage à se passer de grilles à flammèches autant que possible ; ces accessoires ne peuvent que gêner le tirage, et l'installation en est sou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vent assez compliquée; elle exige une série de cornières, de supports, exposés à une rapide détérioration dans la boîte à fumée.

Les dispositions dont on fait usage peuvent se ranger en trois catégories :

En premier lieu, emploi d'une grande boîte à fumée pouvant recueillir beaucoup d'escarbilles;

En second lieu, grilles, toiles métalliques ou tôles perforées, placées sur le trajet des gaz, horizontalement ou avec une faible inclinaison, quelquefois verticalement, enfin, suivant un cône qui relie la tuyère d'échappement à l'embouchure de la cheminée;

En troisième lieu, cheminées spéciales, à chicanes et à grillages.

Fréquemment, la grande boîte à fumée reçoit une grille à flammèches; quelquefois on réunit deux grilles différentes.

Le titre de rapport ne mentionne pas les incendies que peuvent causer les escarbilles qui tombent à travers les barreaux de la grille du foyer, rebondissant sur la voie ou projetées par les roues; l'emploi, très fréquent aujourd'hui, de cendriers clos, diminue beaucoup ces chutes d'escarbilles enflammées; lorsque des incendies s'allument très facilement, on peut munir les cendriers de portes perforées, qui empêchent la chute des escarbilles, et de robinets d'arrosage pour les éteindre. Enfin, on se prémunit contre ce danger d'incendie en ne laissant entre les barreaux de grilles que des intervalles étroits (ce qui est avantageux à divers points de vue), et en veillant à ce que les grilles soient toujours en bon état.

Les trois catégories d'appareils destinés à empêcher la projection d'escarbilles par les cheminées seront examinées successivement.

1° *Boîtes à fumée de grande capacité.*

La boîte à fumée « allongée » paraît originaire d'Amérique, où cette disposition a été appliquée vers l'année 1885. Depuis cette époque, elle s'y est beaucoup répandue, et, bien qu'à diverses époques quelques ingénieurs en aient contesté l'utilité, elle est devenue d'un usage général. Depuis quelques années, elle est fréquemment appliquée en Europe; en France, notamment, presque tous les types récents de locomotives ont une longue boîte à fumée.

On peut apprécier à divers points de vue les effets de l'allongement de la boîte à fumée; en ce qui concerne les projections de flammèches, elles peuvent emmagasiner une grande quantité d'escarbilles entraînées à travers les tubes, surtout lorsque la cheminée est placée vers l'arrière, ainsi qu'on le fait d'habitude.

Ces grandes boîtes sont utiles surtout lorsqu'on brûle des combustibles menus et légers et pour les longs parcours sans arrêt.

En outre, l'agrandissement de la capacité de la boîte semble devoir régulariser l'écoulement de l'air à travers le foyer, et, par suite, diminuer les entraînements de combustible.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin, les grandes boîtes à fumée peuvent recevoir des grilles serrées, assez étendues pour ne pas trop réduire la section de passage des gaz.

Parmi les administrations faisant usage de ces grandes boîtes, on peut citer, en France, les *Chemins de fer du Nord, de l'Est, de Paris à Lyon et à la Méditerranée, du Midi, de l'Ouest*.

Les dimensions des boîtes à fumée sont les suivantes pour les derniers types de locomotives des *Chemins de fer de l'Ouest :*

NUMEROS DES LOCOMOTIVES.	LONGUEUR INTÉRIEURE DE LA BOITE A FUMÉE.	DIAMÈTRE INTÉRIEUR DE LA BOITE A FUMÉE.
503 à 542	1.791 mètre.	1.412 mètre.
2501 à 2525	1.908 —	1.446 —
2301 à 2304	1.703 —	1.534 —
2702 à 2725	1.666 —	1.328 —

Il est clair que si, pour une cause quelconque, il n'y a pas d'entraînement d'escarbilles, l'augmentation du prix de la construction et du poids de la locomotive, qui résulte de l'allongement de la boîte à fumée, n'est plus justifiée.

2° *Grilles à flammèches.*

Lorsque les grilles à flammèches sont horizontales, suivant la disposition la plus fréquente, elles peuvent occuper toute la section de la boîte à fumée ; elles laissent alors une grande surface de passage aux gaz, surtout avec les boîtes allongées ; mais, en comparant les sections de passage aux divers points du trajet des gaz, on ne doit pas oublier que les chutes de pression, dues aux étranglements, augmentent à mesure que les orifices sont plus petits, pour une même section totale. Lorsque la cheminée pénètre dans la boîte à fumée par une large ouverture conique, on monte parfois la grille sur cette ouverture (fig. 1, 2, 3, 19). L'installation est très simple, mais la section de passage est bien réduite.

Avec les échappements annulaires, on garnit aussi d'une grille le passage central (fig. 2), ce qui doit beaucoup y diminuer le débit des gaz.

Pour les échappements variables à valves, débouchant au milieu de la grille, un petit garnissage spécial est nécessaire pour arrêter les escarbilles auprès des valves, quand elles sont rapprochées l'une de l'autre (fig. 1).

Au lieu des grilles proprement dites, formées de barreaux, on emploie aussi des toiles métalliques et des tôles perforées avec des orifices de formes variées.

En France, l'article 11 de l'ordonnance du 15 novembre 1846 prescrit que « les « locomotives devront être pourvues d'appareils ayant pour objet d'arrêter les frag- « ments de coke tombant de la grille et d'empêcher la sortie des flammèches par la « cheminée ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces prescriptions générales sont précisées par un arrêté ministériel du 1er août 1857, qui dit que « dans la boîte à fumée sera installée une grille ou une « plaque métallique percée d'ouvertures rectangulaires d'un centimètre de largeur « au maximum. Ces ouvertures auront leur long côté perpendiculaire à l'axe longi- « tudinal de la machine ».

Les locomotives françaises sont munies de ces grilles, à barreaux distants d'un centimètre, à moins que des circonstances spéciales n'exigent des précautions particulières; ce cas se présente pour les *Chemins de fer du Midi*, à la traversée des Landes de Gascogne, où les incendies se propagent avec une extrême facilité dans de vastes forêts de pins. Cette administration emploie deux grilles superposées, placées dans de grandes boîtes à fumée, longues d'environ 1.500 mètre, avec cheminée vers l'arrière. La grille inférieure a des barreaux distants de 10 millimètres; la grille supérieure est formée par une toile métallique en fil d'acier rond. Le diamètre des fils est de 2 millimètres, les vides sont des carrés de 4 millimètres de côté.

D'après la réponse de cette administration :

Ces dispositions, dont l'efficacité est bien établie par l'expérience, ont déjà été signalées au Congrès de Londres. Elles ont été appliquées depuis à 38 machines à grande vitesse (compound à 4 cylindres), à 27 machines à 6 roues accouplées (compound à 4 cylindres), à 9 machines à 6 roues accouplées transformées. Elles vont être appliquées également à 12 machines à grande vitesse et à 4 machines à 6 roues accouplées compound à 2 cylindres, actuellement en construction.

Les sections de passage sont données ci-dessous :

NUMÉROS DES MACHINES.	SURFACE DE LA GRILLE.	SURFACE DE LA GRILLE A FLAMMÈCHES.	SECTION DE PASSAGE DES GAZ PAR LA GRILLE A FLAMMÈCHES.
	Mètres carrés.	Mètre carré.	Mètre carré.
1301.	2.46	1.5560	0.5470
1601.	1.71	1.4213	0.5127
1701.	2.02	1.6213	0.5726
1751.	2.46	1.5560	0.5470
2851.	2.24	1.2870	0.5127

Les *Chemins de fer du Midi* ont fourni une note fort intéressante sur le fonctionnement de ces grilles.

Celles-ci ont évidemment une influence défavorable sur le tirage, et d'autant plus que la surface en est moindre; aussi ne conviennent-elles guère aux machines ayant de petites boîtes à fumée. Dans des expériences faites sur l'une de ces machines, des faits assez curieux se sont produits : par moment les grilles s'obstruaient complètement, toute dépression cessant dans la boîte à fumée au-dessous de ces grilles; mais il suffisait de fermer le régulateur pendant quelques instants pour que le tirage se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rétablit. Ce fait tenait à ce que les escarbilles se plaquaient contre la face inférieure de la grille par l'effet de l'appel d'air et retombaient quand cet appel cessait. Cet incident s'est produit sur une machine n° 1601, munie d'une petite boîte à fumée et avec une grille à trous carrés de 5 millimètres.

Ces grilles ont été appliquées à diverses séries de machines portées au tableau ci-dessous :

NUMÉROS DES MACHINES.	SURFACE DE LA GRILLE DU FOYER.	LONGUEUR DE LA BOITE A FUMÉE (BOITE A FUMÉE PRIMITIVE).	SURFACE DE LA GRILLE A FLAMMÈCHES.	DIMENSION DES VIDES DE LA TOILE (CÔTÉ DU CARRÉ).	SECTION DE PASSAGE OFFERTE AUX GAZ.
	Mètre carré.	Mètre.	Mètre carré.	Millimètres.	Mètre carré.
1 à 40 . . .	1.35	0.690	0.4692	5	0.1887
1601	1.71	0.694	0.5068	5	0 1665
601	1.35	0.980	0.7440	5	0.3063
801	1.46	0.984	0.9405	5	0.3883

Tandis que les grilles appliquées aux machines nos 1 à 40 et 1601 gênaient considérablement le tirage, il n'en était plus de même des grilles appliquées aux machines nos 601 et 801. Aussi, ces dernières grilles, dont l'emploi a été généralisé à la suite des premiers essais, ont-elles pu être maintenues en service jusqu'à ce jour sans modification.

Les dépressions observées dans les expériences sont données ci-après :

Machines de la série nos 1 à 40.

Parcours de Bordeaux à Arcachon par trains nos 65, 85 et 70. Charges de 100 à 120 tonnes. Vitesse de 60 à 65 kilomètres à l'heure.

DÉPRESSIONS CONSTATÉES (EN MILLIMÈTRES D'EAU)	
au-dessous de la grille.	au-dessus de la grille.
10 millimètres.	20 millimètres.
25 —	40 —
40 —	60 —
50 —	85 —

Avec une charge de 140 tonnes, il n'était plus possible d'obtenir la vitesse prescrite pour ces trains.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machine n° 1601.

Train n° 3, du 9 novembre 1893 (Bordeaux à Morcenx). (Charge non indiquée.)

POINTS KILOMÉTRIQUES.	DEGRÉ D'ADMISSION.	POSITION DES VALVES D'ÉCHAPPEMENT.	DÉPRESSION CONSTATÉE	
			au-dessous de la grille.	au-dessus de la grille.
4 à 6	35 p. c.	Complètement serrées.	90	140
8 à 10	35 —	— —	90	140
17 à 20	35 —	— —	90	140
30 à 36	30 —	— —	80	120
46 à 73	35 —	— —	80	130
77 à 88	35 —	— —	80	130
92 à 97	35 —	— —	90	140
98 à 105	30 —	— —	80	110

Train n° 4 du même jour (Morcenx à Bordeaux). (Charge non indiquée.)

POINTS KILOMÉTRIQUES.	DEGRÉ D'ADMISSION.	POSITION DES VALVES D'ÉCHAPPEMENT.	DÉPRESSION CONSTATÉE	
			au-dessous de la grille.	au-dessus de la grille.
105 à 100	28 p. c.	A moitié serrées.	80	120
86 à 80	25 —	— —	70	100
73 à 46	28 —	Aux trois quarts serrées.	80	110
38 à 24	35 —	Complètement serrées.	90	140
24 à 10	30 —	— —	70	100

Machine n° 601.

Train n° 1103 du 19 septembre 1893 (Bordeaux à Agen). 37 wagons chargés, 429 tonnes.

POINTS KILOMÉTRIQUES.	DEGRÉ D'ADMISSION.	POSITION DES VALVES D'ÉCHAPPEMENT.	DÉPRESSION CONSTATÉE	
			au-dessous de la grille.	au-dessus de la grille.
3 à 13.	1er cran 1/2	Droites.	50	50
14 à 22.	2e cran	Serrées de deux filets.	60	60
26 à 30.	1er cran	— —	30	30
74 à 77.	1er cran 1/2	— —	50	50

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le maximum de pression a été atteint sur tout le parcours et en employant le combustible ordinaire, composé de 60 p. c. de menus anglais, 25 p. c. grenus de Carmaux, 15 p. c. gros anglais.

Machine n° 801.

Vitesse de 60 à 65 kilomètres.

DEGRÉ D'ADMISSION.	POSITION DES VALVES D'ÉCHAPPEMENT.	DÉPRESSION	
		au-dessous de la grille.	au-dessus de la grille.
20 p. c.	Serrées à bloc.	60 millimètres.	60 millimètres.
30 —	— —	100 —	100 —
40 —	— —	180 —	160 —
50 —	— —	230 —	200 —
60 —	— —	Le liquide a été absorbé.	320 —

En pratique, les conditions de marche des machines considérées sont les suivantes :

DEGRÉ D'ADMISSION.	POSITION DES VALVES D'ÉCHAPPEMENT.	DÉPRESSION	
		au-dessous de la grille.	au-dessus de la grille.
20 à 30 p. c.	Serrées de deux filets.	35 à 60 millim.	35 à 60 millim.

Ainsi qu'il a été dit ci-dessus, les résultats obtenus avec les machines nos 601 et 801 ayant été jugés satisfaisants, toutes les machines de ces types, appelées à remorquer des trains sur les lignes des Landes, ont reçu des grilles à flammèches semblables, sans qu'il ait été jugé utile d'augmenter les dimensions de la boîte à fumée.

Pour ce qui est des machines de la série 1 à 40, il a été possible d'augmenter le développement de la grille à flammèches et d'en porter la surface à 6,442 centimètres carrés avec une section de passage de 2,623 centimètres carrés, sans toucher aux dimensions de la boîte à fumée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les observations faites sur cette nouvelle grille à trous carrés de 5 sur 5 millimètres comme la précédente, furent les suivantes :

DATES.	Nos DES TRAINS.	POINTS KILOMÉTRIQUES	CHARGES.	CRAN DE MARCHE.	VITESSES.	POSITION DES VALVES.	DÉPRESSION OBSERVÉE	
							au-dessous des grilles.	au-dessus des grilles.
			Tonnes.		Kilom.			
20 juin 1896.	71	10	104	3e cran.	56	Ouvertes.	40	44
— —	71	22	104	—	60	Serrées de 6 filets.	46	50
— —	71	32	104	—	80	— 1 filet.	36	40
— —	71	40	104	—	54	Ouvertes.	20	24
21 juin 1896.	77	5	271	2e cran.	44	Serrées de 2 filets.	42	46
— —	77	31	271	1er cran.	72	— 6 —	20	24

Cette nouvelle grille ayant donné satisfaction, des instructions ont été données pour qu'elle fût appliquée à toutes les machines de la série nos 1 à 40 appelées à circuler dans les Landes.

Quant aux machines de la série no 1601, pour laquelle on a eu recours à l'allongement de la boîte à fumée, les premières de ces machines (nos 1601 à 1634) avaient reçu de construction des boîtes à fumée de 694 millimètres de longueur. Les grilles en toile métallique placées dans ces boîtes ayant donné les mauvais résultats qui viennent d'être indiqués, on décida d'allonger de 360 millimètres, à titre d'essai, la boîte à fumée de quelques-unes de ces machines et, par suite, de porter la longueur de ces boîtes à 1.054 mètre.

Les machines nos 1635 à 1638, construites en 1893, reçurent de construction des boîtes à fumée de 1.094 mètre de longueur (qu'elles ont conservées jusqu'aujourd'hui).

Enfin, en 1894 et 1895, la longueur des boîtes à fumée des machines nos 1601 à 1634 fut portée uniformément à 1.550 mètre.

Tout en allongeant la boîte, on cherchait à réduire encore la dimension des mailles de la toile métallique. C'est ainsi que des toiles à trous carrés de 5 millimètres de côté, on est passé aux toiles à trous de 3 millimètres de côté. Un essai, dont les résultats ont d'ailleurs été négatifs, a même été fait avec une toile à trous de 2 millimètres de côté.

Finalement, on s'est arrêté, pour cette catégorie de machines, de même que pour toutes celles à boîte à fumée très allongée (machines compound nos 1701, 1751, 1301 et 1401), à la toile à trous carrés de 4 millimètres de côté.

Une série d'observations a été faite sur la machine no 1638, à boîte à fumée de 1.094 mètre de longueur, pourvue d'une grille en fil d'acier de 2 millimètres d'épaisseur, à mailles carrées de 3 millimètres de côté. La surface de cette grille est de 9,691 centimètres carrés.

Elle comporte une section de passage de 2,774 centimètres carrés, tandis que la grille à trous de 5 millimètres de la boîte à fumée primitive n'offrait au passage des gaz qu'une section libre de 1,665 centimètres carrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machine n° 1638.

NUMÉROS ET CHARGE DES TRAINS.	POINTS KILOMÉTRIQUES.	DEGRÉ D'ADMISSION.	DÉPRESSION CONSTATÉE au-dessous des grilles.	DÉPRESSION CONSTATÉE au-dessus des grilles.	POSITION DES VALVES D'ÉCHAPPEMENT.	FRAISIL RETIRÉ DE LA BOITE A FUMÉE.
Train n° 5 du 19 janvier 1894 : 155 tonnes de Bordeaux à Lamothe et 117 tonnes de Lamothe à Dax.	3 à 4	30 p. c.	90	90	Valves serrées de 3, 4 et 5 filets.	86 kilogrammes pour tout le parcours.
	5 à 7	30 —	110	110		
	8 à 20	25 —	100	100		
	30 à 36	20 —	90	90		
	46 à 72	25 —	90	90		
	78 à 105	20 —	80	80		
	110 à 116	25 —	90	90		
	117 à 127	20 —	90	90		
	131 à 134	25 —	100	100		
	135 à 144	20 —	90	90		
Train n° 9 du 20 janvier 1894 : 178 tonnes de Bordeaux à Morcenx et 152 tonnes de Morcenx à Dax.	3 à 4	35 —	120	120	Valves serrées de 4, 5, 6 filets sur tout le parcours.	264 kilogrammes pour tout le parcours.
	5 à 7	35 —	130	130		
	8 à 10	30 —	130	140		
	30 à 36	25 —	110	110		
	46 à 96	30 —	130	140		
	97 à 105	25 —	110	110		
	110 à 116	30 —	130	140		
	117 à 120	25 —	110	110		
	124 à 134	30 —	130	140		
	135 à 144	25 —	110	110		

Observations. — La grille à flammèches n'a occasionné aucune difficulté dans la conduite de ces trains et le maximum de pression a été presque constamment maintenu sur tout le parcours.

Le tableau ci-après est relatif aux dimensions des trois principaux types de boîtes à fumée qui ont été appliqués successivement aux machines n° 1601 et aux sections de passage d'air des grilles correspondantes.

NUMÉROS D'ORDRE.	LONGUEUR DE LA BOITE A FUMÉE.	SURFACE DE LA GRILLE A FLAMMÈCHES.	DIMENSION DES VIDES (CÔTÉ DU CARRÉ).	SECTION DE PASSAGE DES GAZ PAR LA GRILLE.
	Mètre.	Mètre carré.	Millimètres.	Centimètres carrés.
1	0.694	0.5068	5	0.1665
2	1.094	0.9691	3	0.2774
3	1.550	1.4213	4	0.5127

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Etant donnée l'amélioration considérable due à la substitution de la boîte à fumée n° 2 à la boîte à fumée n° 1, on peut admettre aisément que la boîte à fumée n° 3, avec grille en toile métallique à fils écartés de 4 millimètres, ne saurait gêner le tirage à un degré pratiquement appréciable.

Outre les dispositions spéciales de grilles à flammèches, on limite, pendant l'été, la course des valves d'échappement variable, afin d'éviter un serrage trop fort.

Une dernière remarque est relative à l'action de la grille sur le tirage à différentes vitesses :

La réduction de la dépression produite par la grille paraît être fonction non seulement de l'importance de cette dépression, mais encore de la vitesse de marche. A une certaine dépression au-dessus de la grille correspondaient, au-dessous de celle-ci, des valeurs différentes de la dépression, selon que la vitesse était plus ou moins considérable, et la différence des dépressions croissait avec la vitesse.

De plus, aux grandes vitesses, lorsque l'on provoquait de grandes dépressions au-dessus des grilles par une variation progressive du cran de marche, tandis que ces dépressions paraissaient croître proportionnellement à cette variation, les dépressions au-dessous de la grille tendaient vers une limite supérieure, qui a été grossièrement évaluée à 70 millimètres pour la vitesse de 65 kilomètres et à 80 millimètres pour la vitesse de 85 kilomètres à l'heure.

Parmi les administrations employant les grilles horizontales, en dehors de la France (où cette grille est obligatoire), on peut citer :

Les *Chemins de fer de l'État belge;* mais les ingénieurs de cette Administration ont constaté que les garde-flammèches gênent beaucoup le tirage; aussi, l'emploi en est-il limité aux locomotives circulant sur certaines sections particulièrement exposées aux incendies, et seulement pendant une partie de l'année. Avec les grandes cheminées (fig. 16), les projections de flammèches sont nulles ou insignifiantes;

Le *Chemin de fer de Madrid à Saragosse et Alicante;*

Les *Chemins de fer roumains;*

La *Nord Westbahn* (Autriche), pour les locomotives brûlant de la houille : une tôle horizontale à trous carrés de 6 millimètres de côté (les locomotives brûlant du lignite sont munies d'une cheminée spéciale mentionnée plus loin);

De même, la *Südbahn* (Autriche) emploie la grille pour les locomotives chauffées à la houille;

La *Staatsbahn* (Autriche), pour ses locomotives à voyageurs brûlant de la houille, emploie une tôle perforée à trous ronds de 5 millimètres de diamètre;

La *Kaiser Ferdinand Nordbahn* (Autriche);

Les *Chemins de fer de l'État hongrois* emploient une toile métallique, à mailles de 4 millimètres, dans une grande boîte à fumée;

Le *Central Argentine Railway* fait usage de toile métallique à mailles de 9 millimètres, qui n'est pas entièrement efficace; mais on trouve que des mailles plus serrées se bouchent;

Les *Cape Government Railways;*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les *Western Australian Railways* ont de même des grilles à flammèches horizontales.

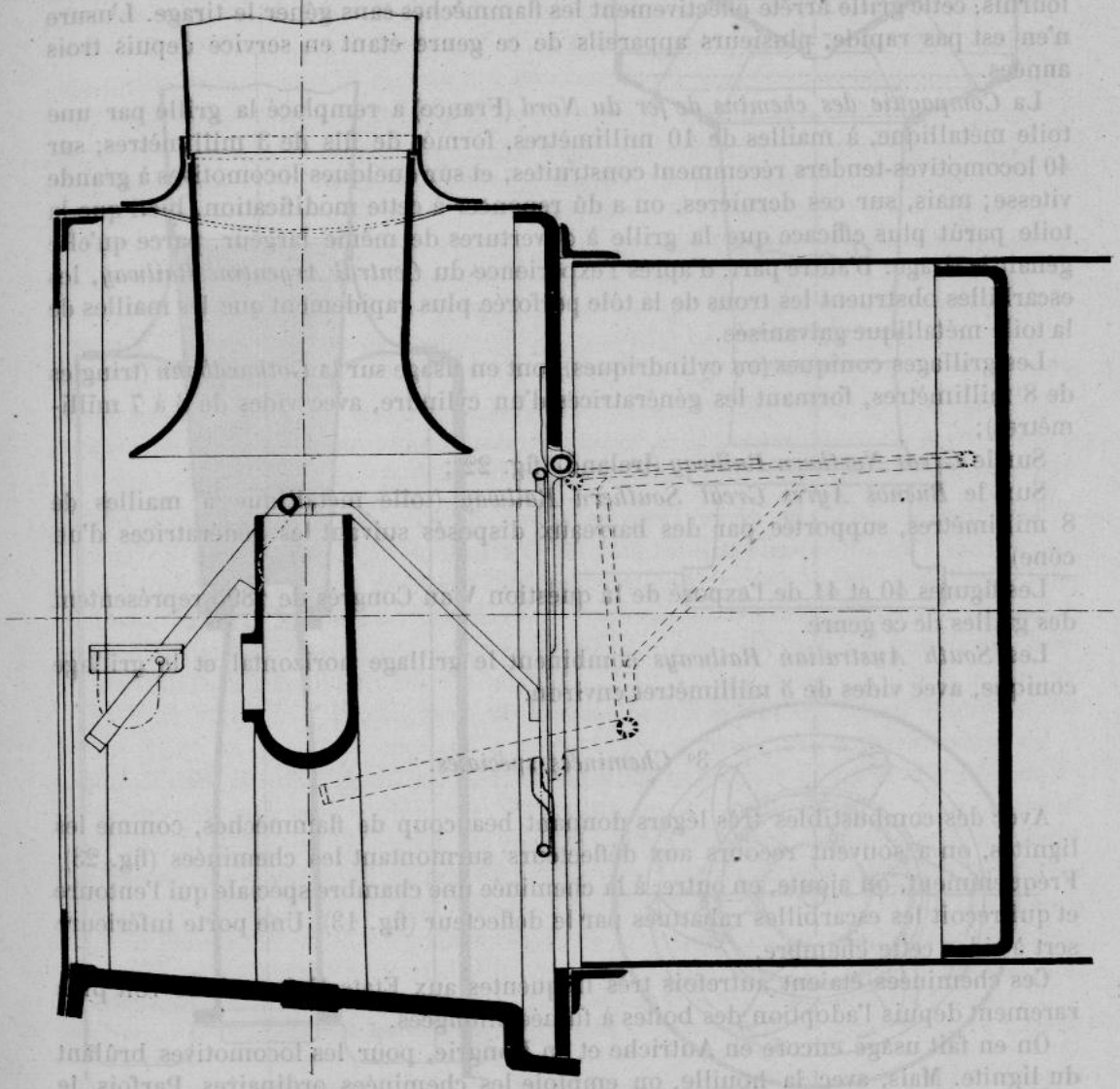


Fig. 21. — Grille à flammèches verticale de locomotives à marchandises du London & North Western Railway. Cette grille recouvre, en projection verticale, le faisceau tubulaire, mais elle laisse une ouverture à sa partie inférieure et sur ses côtés. Elle est formée d'une toile métallique à mailles de 9.5 millimètres ($^3/_8$ de pouce). Pour le nettoyage des tubes, on la relève dans la position figurée en ponctué.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le *London & North Western Railway* a monté une grille verticale (fig. 21) dans une boîte à fumée appropriée; cette grille recouvre, en projection, toute la division tubulaire de la boîte à fumée, mais laisse un vide sur les côtés et à la base. Pour le nettoyage des tubes, on peut la relever horizontalement. D'après les renseignements fournis, cette grille arrête effectivement les flammèches sans gêner le tirage. L'usure n'en est pas rapide, plusieurs appareils de ce genre étant en service depuis trois années.

La *Compagnie des chemins de fer du Nord* (France) a remplacé la grille par une toile métallique, à mailles de 10 millimètres, formée de fils de 3 millimètres, sur 40 locomotives-tenders récemment construites, et sur quelques locomotives à grande vitesse; mais, sur ces dernières, on a dû renoncer à cette modification, bien que la toile parût plus efficace que la grille à ouvertures de même largeur, parce qu'elle gênait le tirage. D'autre part, d'après l'expérience du *Central Argentine Railway*, les escarbilles obstruent les trous de la tôle perforée plus rapidement que les mailles de la toile métallique galvanisée.

Les grillages coniques (ou cylindriques) sont en usage sur la *Gothardbahn* (tringles de 8 millimètres, formant les génératrices d'un cylindre, avec vides de 6 à 7 millimètres);

Sur le *Great Northern Railway* (Ireland) (fig. 22);

Sur le *Buenos Ayres Great Southern Railway* (toile métallique à mailles de 8 millimètres, supportée par des barreaux disposés suivant les génératrices d'un cône).

Les figures 40 et 41 de l'exposé de la question V au Congrès de 1895 représentent des grilles de ce genre.

Les *South Australian Railways* combinent le grillage horizontal et le grillage conique, avec vides de 5 millimètres environ.

3° *Cheminées spéciales.*

Avec des combustibles très légers donnant beaucoup de flammèches, comme les lignites, on a souvent recours aux déflecteurs surmontant les cheminées (fig. 23). Fréquemment, on ajoute, en outre, à la cheminée une chambre spéciale qui l'entoure et qui reçoit les escarbilles rabattues par le déflecteur (fig. 13). Une porte inférieure sert à vider cette chambre.

Ces cheminées étaient autrefois très fréquentes aux États-Unis; on les voit plus rarement depuis l'adoption des boîtes à fumée allongées.

On en fait usage encore en Autriche et en Hongrie, pour les locomotives brûlant du lignite. Mais, avec la houille, on emploie les cheminées ordinaires. Parfois, le déflecteur est disposé de manière à pouvoir être démonté et remplacé par un tuyau cylindrique qui forme une cheminée ordinaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

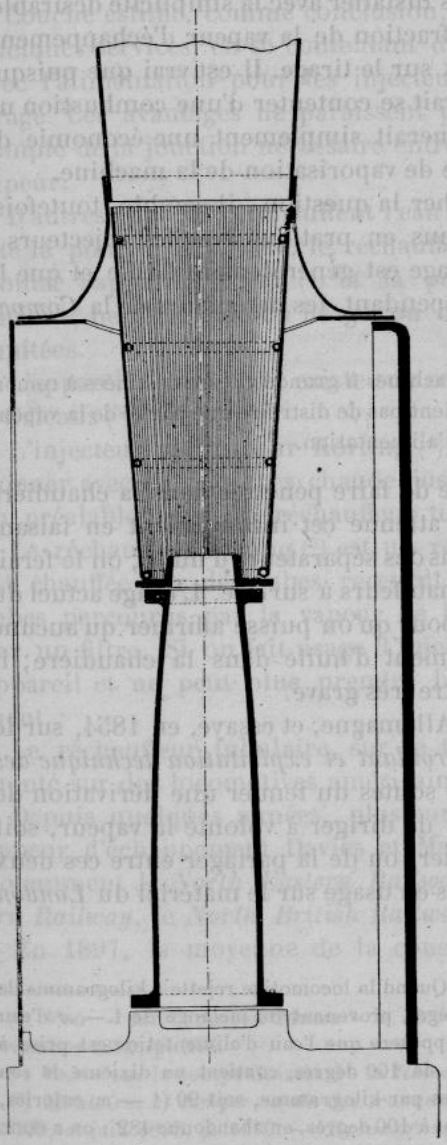


Fig. 22. — Échappement circulaire fixe et grille à flammèches coniques : Great Northern Railway (Ireland).

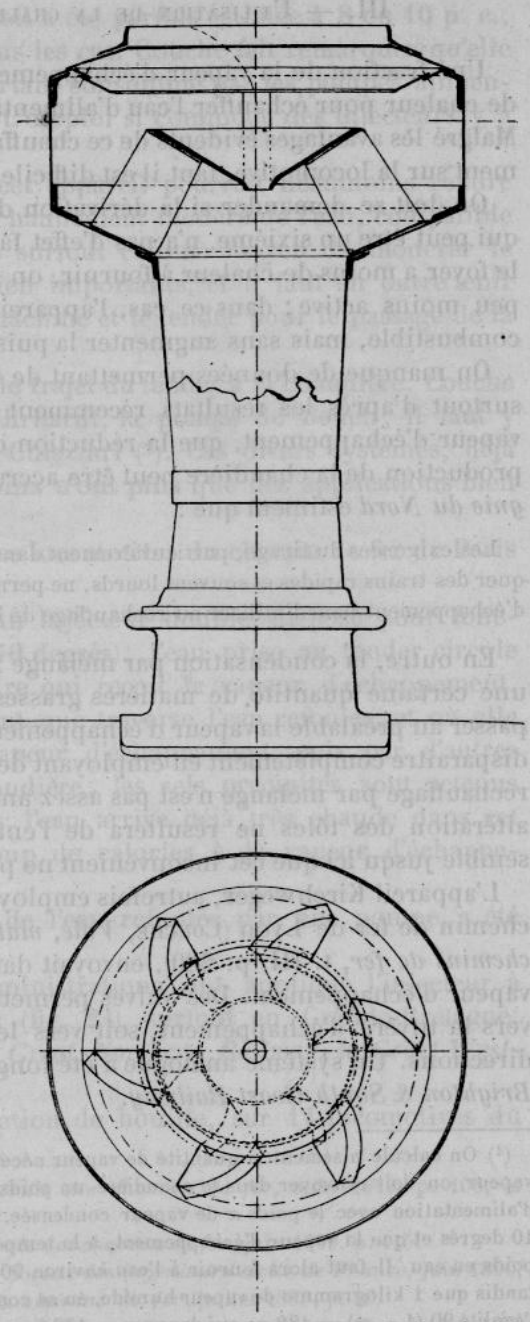


Fig. 23. — Cheminée à ailettes : K. K. priv. öst. Nordwestbahn ; locomotives brûlant du lignite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III. — Utilisation de la chaleur de la vapeur d'échappement.

Une fraction de la vapeur d'échappement, inférieure au cinquième, contient assez de chaleur pour échauffer l'eau d'alimentation jusque vers la température de 100° (1). Malgré les avantages évidents de ce chauffage, les appareils nécessaires se voient rarement sur la locomotive, tant il est difficile de les installer avec la simplicité désirable.

On doit se demander si la dérivation d'une fraction de la vapeur d'échappement, qui peut être un sixième, n'a pas d'effet fâcheux sur le tirage. Il est vrai que puisque le foyer a moins de chaleur à fournir, on pourrait se contenter d'une combustion un peu moins active; dans ce cas, l'appareil donnerait simplement une économie de combustible, mais sans augmenter la puissance de vaporisation de la machine.

On manque de données permettant de trancher la question : il semble, toutefois, surtout d'après les résultats récemment obtenus en pratique avec les injecteurs à vapeur d'échappement, que la réduction du tirage est généralement faible et que la production de la chaudière peut être accrue. Cependant, les ingénieurs de la *Compagnie du Nord* estiment que :

> Les exigences du tirage, particulièrement dans les machines à grande vitesse destinées à remorquer des trains rapides et souvent lourds, ne permettraient pas de distraire une partie de la vapeur d'échappement pour l'utiliser au réchauffage de l'eau d'alimentation.

En outre, la condensation par mélange risque de faire pénétrer dans la chaudière une certaine quantité de matières grasses. On atténue cet inconvénient en faisant passer au préalable la vapeur d'échappement dans des séparateurs d'huile; on le ferait disparaître complètement en employant des réchauffeurs à surface. L'usage actuel du réchauffage par mélange n'est pas assez ancien pour qu'on puisse affirmer qu'aucune altération des tôles ne résultera de l'entraînement d'huile dans la chaudière; il semble jusqu'ici que cet inconvénient ne peut être très grave.

L'appareil Kirchweger, autrefois employé en Allemagne, et essayé, en 1854, sur le chemin de fer de Lyon (Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. III, p. 280), envoyait dans les soutes du tender une dérivation de vapeur d'échappement. Des valves permettaient de diriger à volonté la vapeur, soit vers la tuyère d'échappement, soit vers le tender, ou de la partager entre ces deux directions. Un système analogue a été longtemps en usage sur le matériel du *London Brighton & South Coast Railway*.

---

(1) On calcule aisément la quantité de vapeur nécessaire. Quand la locomotive rejette 1 kilogramme de vapeur, on doit renvoyer dans la chaudière un poids d'eau égal, provenant du mélange de $1 - x$ d'eau d'alimentation avec le poids x de vapeur condensée. On supposera que l'eau d'alimentation est prise à 10 degrés et que la vapeur d'échappement, à la température de 100 degrés, contient un dixième de son poids en eau. Il faut alors fournir à l'eau environ 90 calories par kilogramme, soit $90\ (1 - x)$ calories, tandis que 1 kilogramme de vapeur humide, en se condensant à 100 degrés, en abandonne 482 : on a donc l'égalité $90\ (1 - x) = 482\ x$, qui donne $x = 158$ grammes pour 842 grammes d'eau.

Ce calcul suppose la condensation par mélange; quand la vapeur condensée reste séparée de l'eau d'alimentation, la proportion de vapeur d'échappement nécessaire est un peu plus grande.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'économie due à l'emploi de cet appareil a été parfois estimée à 8 ou 10 p. c., mais elle ne paraissait pas réalisée dans tous les cas. Couche fait remarquer qu'elle était réduite du fait du travail assez important consommé par les pompes alimentaires, nécessaires pour l'eau très chaude. L'emploi si commode des injecteurs y a fait renoncer.

Couche estime, comme conclusion, que cet appareil pourrait néanmoins rendre quelques services, en se contentant d'un échauffement modéré de l'eau, compatible avec l'alimentation pour les injecteurs, et surtout comme moyen de modérer le tirage. Ces avantages ne paraissent pas bien importants, et il faut en outre tenir compte de la jonction nécessaire entre la machine et le tender pour le passage de la vapeur.

D'autres appareils réchauffent l'eau dans le trajet du tender à la chaudière. Couche cite la pompe de Clarke, le réchauffeur Ehrhardt, la pompe de Bouch; il faut y ajouter l'appareil Mazza (1) et la pompe Chiazzari (2). Ces divers systèmes, déjà anciens, ne sont plus en usage, ou du moins n'ont plus que des applications bien limitées.

L'appareil Lencauchez existe sur certaines locomotives du chemin de fer de Paris à Orléans (3).

L'injecteur-réchauffeur Korting (4) est un injecteur double, disposé pour fonctionner avec de l'eau très chaude (jusqu'à 70 degrés); l'eau prise au tender circule au préalable dans un réchauffeur tubulaire qui reçoit la vapeur d'échappement.

Le réchauffeur Strong (5) est un récipient que traverse l'eau refoulée, et où elle est chauffée par des tubes recevant la vapeur d'échappement, puis par d'autres tubes parcourus par la vapeur de la chaudière; les sels précipités sont retenus par un filtre. Si on fait usage d'injecteurs, l'eau arrive déjà très chaude dans cet appareil et ne peut plus prendre beaucoup de calories à la vapeur d'échappement.

Le réchauffeur tubulaire, sur le trajet de l'eau refoulée par une pompe, a été monté sur des locomotives américaines (6).

Depuis quelques années, plusieurs administrations ont appliqué l'injecteur à vapeur d'échappement Davies et Metcalfe (fig. 24), surtout en Grande-Bretagne, notamment le *North Eastern Railway*, le *Great Northern Railway*, le *Great Western Railway*, le *North British Railway*.

En 1897, la moyenne de la consommation de houille, sur 14 locomotives du

---

(1) *Voir* « sur l'appareil Mazza » la *Revue générale des chemins de fer*, août 1879, p. 106, et novembre 1882, p. 355.

(2) *Voir* « sur la pompe Chiazzari » la *Revue générale des chemins de fer*, juin 1879, p. 445.

(3) *Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des ingénieurs civils de France*, juin 1890, p. 729, et juin 1898, p. 1110. — *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1883, p. 10.

(4) *Revue générale des chemins de fer*, mai 1880, p. 319.

(5) *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1883, p. 9.

(6) *Revue générale des chemins de fer*, avril 1882, p. 280.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

North Eastern Railway, était tombée de 37.1 à 34.4 livres par mille (10.4 à 9.7 kilogrammes par kilomètre), grâce à l'emploi de cet appareil.

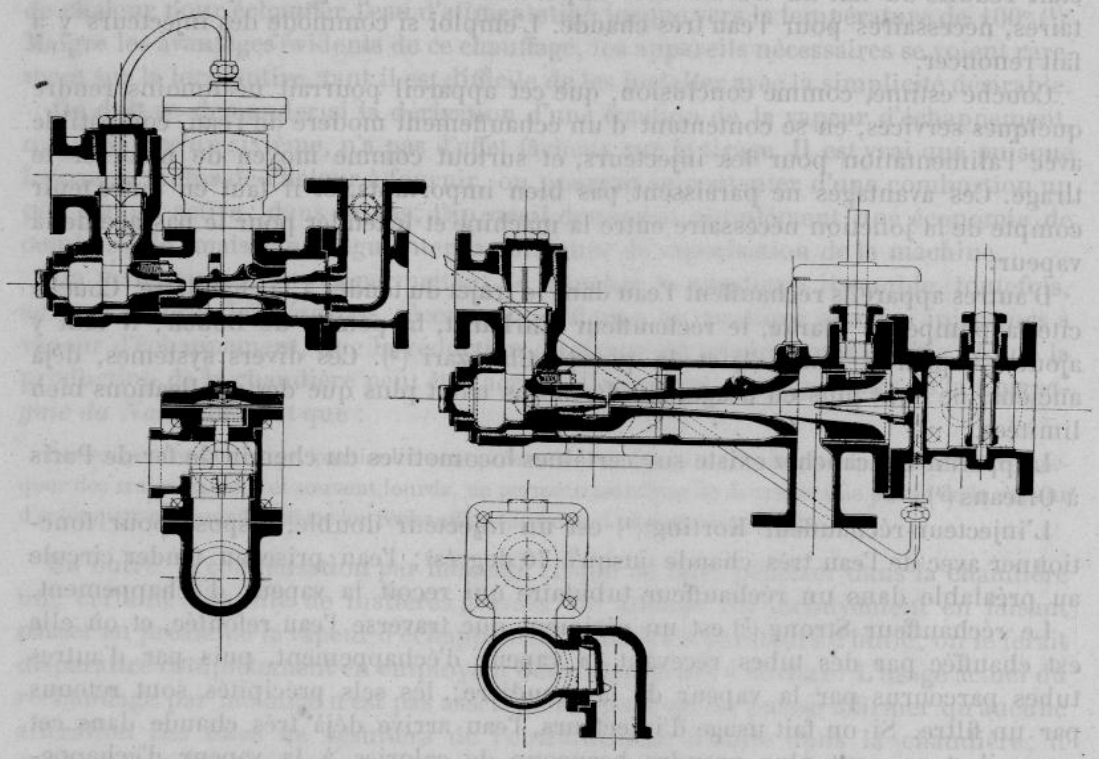


Fig. 24. — Injecteur à vapeur d'échappement Davies et Metcalfe pour locomotives.

Il a été monté, à titre d'essai, sur deux locomotives des *Chemins de fer de l'Ouest français*.

Les observations faites sur ces locomotives ont montré que l'eau s'échauffait, dans le premier injecteur, de 12 à 60 degrés ; mais cet échauffement n'est pas dû entièrement à la vapeur d'échappement, car ce premier injecteur reçoit toujours, en outre, une petite quantité de vapeur de la chaudière.

D'après les renseignements fournis au rapporteur, l'injecteur Davies et Metcalfe est également en essai sur les lignes de l'*État belge*, de l'*État néerlandais*, de l'*État de la Nouvelle-Zélande*.

Il convient de mentionner ici la condensation totale de la vapeur d'échappement dans les soutes de locomotives-tenders, pour certains trajets en souterrain. Comme l'eau ainsi chauffée sert à l'alimentation par les pompes, une partie de la chaleur de la vapeur d'échappement se trouve utilisée; mais la plus grande partie de l'eau chaude est rejetée et remplacée par de l'eau froide, après un parcours de quelques kilomètres avec condensation. Cette condensation est un expédient, qui permet

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'exploitation par locomotives ordinaires de certaines lignes urbaines ; mais c'est un système qui est loin de donner des économies de combustible.

Il est appliqué à Londres, sur les locomotives du *Metropolitan Railway* et du *Metropolitan district Railway*, ainsi que sur celles des autres réseaux qui circulent sur les lignes métropolitaines ; à Liverpool, sur les locomotives du *Mersey Railway* ; à Glasgow, sur certaines locomotives du *Caledonian Railway* ; à Paris, sur des locomotives des *Chemins de fer de Paris à Orléans* et *de l'Ouest*.

Sur certaines locomotives américaines, on réchauffe l'eau du tender à l'aide de la vapeur d'échappement du petit cheval compresseur d'air. Un clapet spécial permet d'envoyer à volonté cette vapeur d'échappement dans la soute du tender ou dans la cheminée de la locomotive (*Railroad Gazette*, 1897, p. 205; 1898, p. 808 et 815). Une des dispositions adoptées consiste à faire passer la vapeur dans un tuyau en serpentin plongé dans l'une des caisses latérales du tender; comme l'eau s'échauffe surtout dans cette caisse et comme la machine est munie de deux injecteurs, prenant l'eau l'un à droite et l'autre à gauche, si par mégarde on laisse l'eau trop s'échauffer dans l'une des caisses, jusqu'à empêcher l'amorçage de l'injecteur, on peut toujours se servir de l'autre injecteur. Enfin, lorsque l'eau baisse dans le tender, la surface immergée du serpentin diminue et la vapeur n'échauffe pas l'eau d'une manière excessive. Il paraît qu'en donnant à l'appareil des proportions convenables, on n'a pas besoin d'envoyer l'échappement dans la cheminée, sauf en été quand l'eau mise dans le tender est déjà assez chaude.

Cet emploi de la vapeur d'échappement du petit cheval est de nature à donner une économie appréciable de combustible.

Conclusions.

Suivant les règles établies par la Commission internationale, le rapporteur termine l'exposé par des conclusions qui lui paraissent résumer l'état actuel de la question. Plusieurs de ces conclusions sont plutôt des opinions, formées d'après l'ensemble des faits, que des déductions tirées d'expériences précises.

Sur certains détails, ces conclusions diffèrent un peu de celles qu'avait proposées le rapporteur en 1895 (exposé de la question V). Notamment, en ce qui concerne la comparaison de l'échappement fixe et de l'échappement variable, le rapporteur ne croit plus devoir affirmer positivement la supériorité du second dans tous les cas.

« 1. — Le choix de l'échappement fixe ou de l'échappement variable est une question d'espèce, pour laquelle on ne peut pas formuler de règle générale. Ce choix doit tenir compte du service des locomotives (uniforme ou varié), du profil des lignes qu'elles parcourent, des charges qu'elles remorquent, de la longueur des étapes, de la nature des combustibles brûlés, des dépenses d'entretien des appareils, du soin et de l'adresse du personnel.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« 2. — La simple tuyère fixe circulaire et la tuyère variable à deux valves mobiles paraissent pouvoir suffire à la plupart des besoins de la pratique.

« 3. — Les dispositions plus compliquées, telles que l'échappement surmonté du *petticoat*, le déflecteur dans la boîte à fumée, l'échappement annulaire fixe ou variable, les échappements variables à lanterne, à dérivation de vapeur, etc., peuvent donner de bons résultats, mais ne paraissent pas présenter, en général, une supériorité très grande sur les deux appareils simples mentionnés ci-dessus, quand ces appareils simples sont convenablement disposés.

« Les tuyères d'échappement sont exposées à un encrassement rapide, ce qui rend difficile l'entretien des mécanismes compliqués ; cet encrassement est souvent inégal dans les tuyères annulaires.

« 4. — Les proportions de la tuyère et de la cheminée, ainsi que la position relative de ces deux organes doivent être déterminées, pour chaque type de locomotive, d'après les résultats obtenus en service sur des machines analogues ou d'après des essais directs. On peut aussi se servir d'expériences faites à l'aide d'appareils spéciaux, mais ces appareils doivent se rapprocher des conditions de la pratique dans chaque cas.

« 5. — D'une manière générale, on peut dire qu'il est bon de ne pas élever l'ouverture de la tuyère beaucoup au-dessus de la rangée supérieure des tubes à fumée. Il y a moins d'inconvénients à la placer trop bas qu'à la monter trop haut.

« On a tendance, pour éviter les cheminées trop courtes, à les descendre dans la boîte à fumée, en les terminant, à la partie inférieure, par un orifice en forme d'entonnoir. Le profil conique un peu divergent, raccordé par une courbe continue avec l'entonnoir inférieur, paraît le plus convenable. Toutefois, le profil cylindrique, avec entrée inférieure conique, peut aussi donner de bons résultats.

« 6. — La boîte à fumée allongée est utile pour recueillir les escarbilles : elle évite la projection abondante de ces escarbilles et l'engorgement des tubes à fumée inférieurs. La cheminée doit être montée vers l'arrière de la boîte allongée. Cette boîte permet aussi de donner une grande surface à la grille à flammèches. La boîte à fumée allongée est inutile si, pour une cause quelconque, il n'y a pas entraînement d'escarbilles.

« 7. — Les appareils destinés à arrêter les flammèches sont rarement très efficaces sans gêner le tirage. Il y a donc intérêt à les réduire autant que le permet la qualité du combustible et la nature des régions traversées.

« 8. — Les toiles métalliquess ont plus gênantes que les grilles, et les tôles perforées encore plus que les toiles métalliques.

« 9. — Avec les combustibles donnant beaucoup de flammèches, tels que le bois et le lignite, il peut être utile de recourir à la cheminée surmontée d'un déflecteur, qui rabat les escarbilles dans une chambre spéciale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« 10. — De tous les appareils destinés à utiliser la chaleur perdue de la vapeur, il n'y a que l'injecteur à vapeur d'échappement dont les applications soient actuellement assez nombreuses : cet appareil paraît donner une petite économie de combustible et faciliter la conduite de la machine.

« 11. — Il est assez facile de réchauffer modérément l'eau du tender à l'aide de la vapeur d'échappement du petit cheval compresseur d'air : l'essai de cette disposition paraît devoir être recommandé. Cet essai serait particulièrement facile sur les machines-tenders. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621 .133.5]

EXPOSÉ N° 1

(États-Unis)

Par C. H. QUEREAU,

« ASSISTANT SUPERINTENDENT OF MACHINERY » DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE « DENVER & RIO GRANDE », A DENVER (ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE).

INTRODUCTION.

(Toutes les cotes des dessins sont en pouces.)

Les renseignements relatifs à cette question en ce qui concerne l'Amérique ont été établis d'après les réponses à une lettre-circulaire envoyée aux fonctionnaires placés à la tête du service de la traction d'environ cent et vingt chemins de fer importants des États-Unis, du Canada et du Mexique. Les réponses ont été envoyées par trente-trois compagnies dont les lignes sont distribuées sur la surface entière des États-Unis et qui possèdent plus de 15,000 locomotives, sur un total de 36,234.

Les renseignements contenus dans les notes historiques sont également extraits des réponses à la lettre-circulaire et se rapportent à une période de dix ans, savoir, de 1890 à 1900. Il est regrettable qu'une période plus longue n'ait pu être envisagée.

Dans la circulaire, la recommandation suivante a été faite : « En répondant aux « questions concernant votre pratique journalière, veuillez bien vous rapporter à vos « derniers types, sans avoir égard aux systèmes à l'essai, même si l'expérience dure « depuis un temps assez long pour permettre d'en tirer des conclusions définitives. »

Comme il est à supposer que toutes les personnes qui liront ce rapport ne sont pas entièrement familiarisées avec les termes employés aux États-Unis pour désigner les différentes parties de l'appareil de tirage, les schémas (fig. 1 et 2) ont été dressés.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

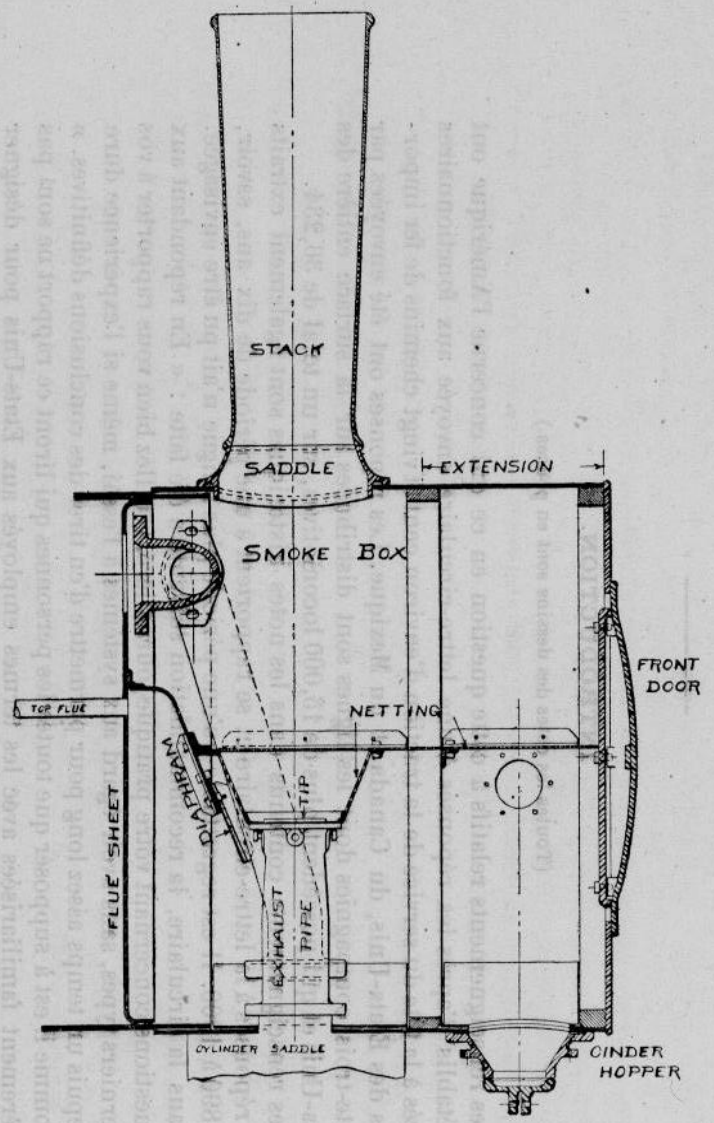


Fig. 1.

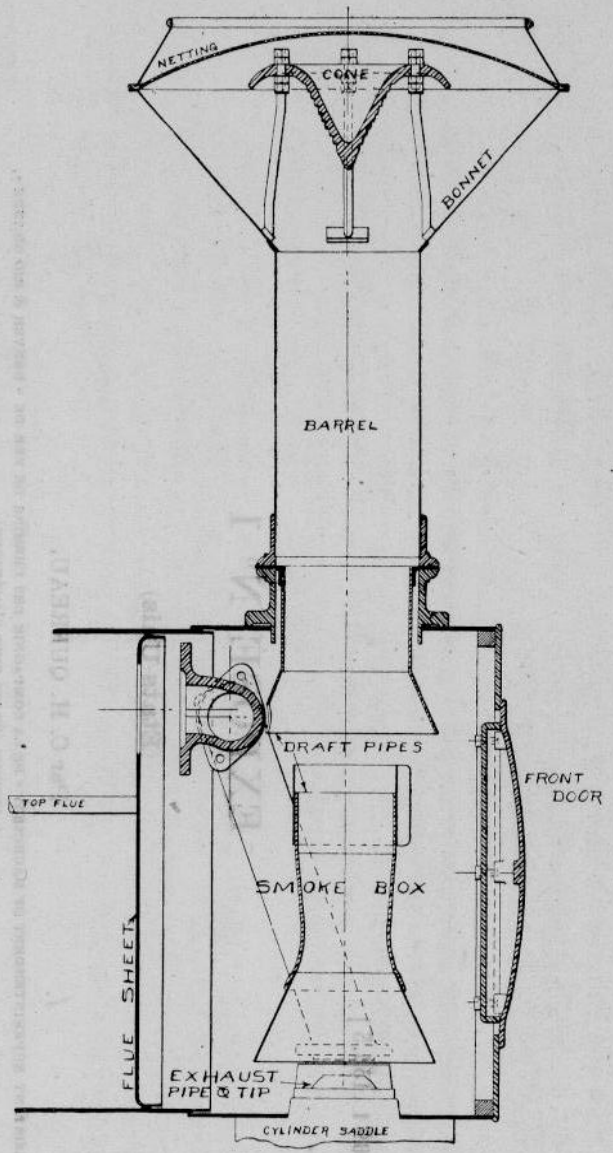


Fig. 2.

SIGNIFICATION DES TERMES ANGLAIS : *Stack* = Cheminée. *Saddle* = Embase. *Extension* = Prolongement. *Smokebox* = Boîte à fumée. *Top flue* = Tube de la rangée supérieure. *Flue sheet* = Tôle tubulaire d'avant. *Diaphragm* = Déflecteur. *Netting* = Grillage. *Exhaust pipe* = Tuyau de décharge. *Tip* = Tuyère. *Cylinder saddle* = Chapelle du cylindre. *Cinder hopper* = Trémie à escarbilles. *Front door* = Porte d'avant. *Cone* = Cône. *Bonnet* = Bonnet. *Exhaust pipe and tip* = Tuyau de décharge et tuyère. *Draft pipes* = Ejecteur.

SECTION 1.

Pratique américaine.

1-A. — Combustible.

Des différentes compagnies qui ont répondu à la circulaire, trente et une emploient le charbon bitumineux; deux, l'anthracite, et trois, le lignite, soit seul, soit mélangé à partie égale de charbon bitumineux. Les analyses suivantes et les résultats d'essais effectués en service donneront une idée de la qualité des charbons :

Analyses.

	Pocahoutas demi bitumineux.	Streator bitumineux.	Almy lignite.
Matières volatiles	19.85	39.19	37.92
Carbone fixe	77.48	44.05	37.97
Humidité	0.47	4.45	15.01
Cendres.	2.19	12.31	9.10
Soufre	0.63	?	0.75

(Analysées par le professeur B. Silliman de Yale College).

Essais faits en service.

(Livres d'eau vaporisées par livre de charbon de et à 212° Fahr. [100° C.]).

Pocahoutas.	Streator.	Almy.
10.76	6 57	3.10

1-B. — Tuyaux de décharge.

Vingt-trois lignes emploient le tuyau de décharge simple au moyen duquel la vapeur des deux cylindres s'échappe dans la boîte à fumée par un même ajutage, lequel est séparé en deux parties par une cloison régnant sur une moitié ou deux tiers de sa longueur (fig. 3).

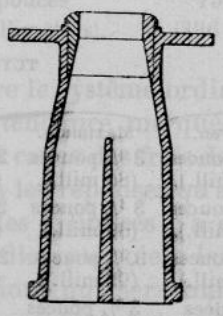


Fig. 3.

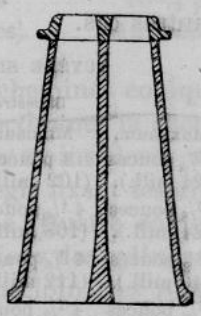


Fig. 4.

Six lignes utilisent le tuyau de décharge double dans lequel il y a un passage séparé pour la vapeur d'échappement de chaque cylindre (fig. 4).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Historique. — Neuf lignes n'ont apporté aucun changement à leur système de tuyau de décharge, au cours de ces dix dernières années. Vingt ont raccourci leur tuyau pendant la même période; la réduction a été de 26 pouces (660 millimètres) au maximum et de 2 pouces (5.1 millimètres) au minimum; en moyenne, les tuyaux sont plus courts de 13 pouces (330 millimètres) qu'en 1890. Aucun rapport ne fait mention d'une augmentation de la longueur des tuyaux de décharge.

Trois lignes ont adopté comme type le tuyau simple en remplacement du double, et une ligne a fait l'opération inverse au moment où elle a substitué la cheminée en losange et la boîte à fumée courte à la cheminée conique et à la boîte à fumée prolongée.

1-C. — Tuyère d'échappement.

Pratique actuelle. — La figure 5 montre les systèmes de tuyères d'échappement les plus généralement employés; les chiffres marqués sur le dessin indiquent, pour chacun d'eux, le nombre de lignes qui les ont adoptés comme types.

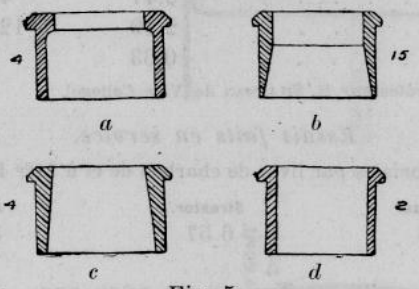


Fig. 5.

Il est aisé de comprendre que les dimensions de la tuyère doivent varier avec la qualité du charbon employé. Aussi doit-on se servir avec discernement des moyennes indiquées pour les dimensions des tuyères, ainsi que des autres pièces qui influent sur la production de vapeur. Moyennant quoi, elles peuvent être utilement employées. C'est dans cet ordre d'idées que les chiffres suivants sont présentés, et il en sera de même dans d'autres cas.

CYLINDRES.	TUYÈRE SIMPLE. Diamètre.			TUYÈRE DOUBLE. Diamètre.		
	Maximum.	Minimum.	Moyen.	Maximum.	Minimum.	Moyen.
17 × 24 pouces (432 × 610 mill.).	4 3/4 pouces (121 mill.).	4 pouces (102 mill.).	4 1/4 pouces (108 mill.).	3 3/8 pouces (86 mill.).	2 3/4 pouces (70 mill.).	3 1/8 pouces (79 mill.).
18 × 24 pouces (457 × 610 mill.).	4 7/8 pouces (124 mill.).	4 1/4 pouces (108 mill.).	4 1/2 pouces (115 mill.).	3 1/2 pouces (89 mill.).	2 3/4 pouces (70 mill.).	3 3/8 pouces (86 mill.).
19 × 24 pouces (483 × 610 mill.).	5 1/2 pouces (140 mill.).	4 3/8 pouces (112 mill.).	4 3/4 pouces (121 mill.).	3 5/8 pouces (92 mill.).	2 7/8 pouces (73 mill.).	3 3/8 pouces (86 mill.).
20 × 24 pouces (508 × 610 mill.).	5 1/2 pouces (140 mill.).	4 1/2 pouces (115 mill.).	5 pouces (127 mill.).	3 3/4 pouces (95 mill.).	3 pouces (76 mill.).	3 3/8 pouces (86 mill.).
20 × 26 pouces (508 × 660 mill.).	5 1/2 pouces (140 mill.).	4 3/4 pouces (121 mill.).	5 pouces (127 mill.).	3 7/8 pouces (98 mill.).	3 1/4 pouces (82 mill.).	3 1/2 pouces (89 mill.).

Tous les rapports condamnent l'emploi d'entretoises dans les tuyères.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Historique. — Pendant la période de 1890 à 1900, seize compagnies n'ont pas changé la forme de leur tuyère, tandis que dix l'ont modifiée.

1-D. — Cheminées.

Pratique actuelle. — Les réponses reçues montrent que dix-neuf compagnies emploient comme type la cheminée conique, sept la cheminée cylindrique et une la cheminée en losange.

Seize lignes ont adopté la cheminée en fonte et onze la cheminée en tôle.

Cheminées coniques.

CYLINDRES.	Diamètre de la cheminée à l'étranglement. MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYEN.
17 × 24 pouces . . .	15 pouces	12 pouces	13 pouces
(432 × 610 millimètres) .	(381 mill.).	(305 mill.).	(330 mill.).
18 × 24 pouces . . .	16 pouces	13 pouces	14 pouces
(457 × 610 millimètres) .	(406 mill.).	(330 mill.).	(356 mill.).
19 × 24 pouces . . .	16 pouces	13 pouces	14 pouces
(483 × 610 millimètres) .	(406 mill.).	(330 mill.).	(356 mill.).
20 × 24 pouces . . .	16 pouces	14 pouces	14 1/2 pouces.
(508 × 610 millimètres) .	(406 mill.).	(356 mill.).	(369 mill.).
20 × 26 pouces . . .	16 pouces	14 pouces	14 1/2 pouces.
(508 × 660 millimètres) .	(406 mill.).	(356 mill.).	(369 mill.).

Cheminées cylindriques.

Diamètre. MAXIMUM.	MINIMUM.	MOYEN.
18 pouces	15 5/8 pouces	16 1/2 pouces
(457 millimètres).	(396 millimètres).	(419 millimètres).

La figure 1 montre le système ordinaire de cheminée conique avec embase séparée; mais il y a une tendance marquée à confectionner la cheminée et son embase en une seule pièce, à cause des frais de montage moins élevés (*voir* fig. 10).

Il résulte de toutes les réponses qu'aucune règle fixant les dimensions des cheminées d'après celles des cylindres n'a été établie. Quatre compagnies emploient la même cheminée, quelles que soient les dimensions des cylindres.

A part une exception, qui sera indiquée plus loin, les réponses ne contiennent aucune indication quant à la distance à observer entre la tuyère d'échappement et l'étranglement ou la base de la cheminée. Certaines réponses indiquent une relation approximative entre la position de la tuyère et l'axe de la boîte à fumée, la tuyère devant se trouver à une distance variant de 1 à 3 pouces (25 à 76 millimètres) au-dessus de cet axe. Deux compagnies ont adopté la même hauteur de tuyère d'échap-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pement pour tous les diamètres de boîtes à fumée. La distance entre la tuyère et l'étranglement varie de 23 à 48 pouces (0.584 à 1.219 mètre).

L'exception indiquée plus haut consiste dans la règle suivante formulée par une commission de l'*American Railway Master Mechanic's Association :* « Pour atteindre « l'efficacité maximum, la distance de l'étranglement de la cheminée à la tuyère « d'échappement, pour une cheminée conique de 14 pouces (356 millimètres) de « diamètre et 52 pouces (1.321 mètre) de longueur, ne doit pas excéder 50 pouces « 1.270 mètre), ni être inférieure à 40 pouces (1.016 mètre). Avec une cheminée « cylindrique de 14 pouces (356 millimètres) de diamètre et de 52 pouces (1.321 mètre) « de longueur, la distance du point le plus élevé de la boîte à fumée à la tuyère « d'échappement ne doit pas dépasser 38 pouces (965 millimètres), ni être inférieure « à 23 pouces (584 millimètres). Pour une cheminée cylindrique de même longueur, « mais de 16 pouces (406 millimètres) de diamètre, la distance du sommet de la « boîte à fumée à la tuyère ne doit pas être supérieure à 32 pouces (813 millimètres), « ni inférieure à 28 pouces (711 millimètres). »

Huit compagnies déclarent qu'elles se sont conformées à cette règle et s'en sont bien trouvées.

Le rapport de l'*American Railway Master Mechanic's Association* relatif aux tuyaux de décharge et aux passages de vapeur est inséré dans les annales de 1896 de cette Association; on en trouvera un résumé à la section 3, littera C, ci-après.

Historique. — En ce qui concerne les modifications apportées dans les types au cours de ces dix dernières années, neuf compagnies ont substitué la cheminée conique à la cheminée cylindrique, trois ont remplacé la cheminée en losange par la cheminée cylindrique, et une a adopté la cheminée en losange, en remplacement de la cheminée conique; enfin, quatorze n'ont apporté aucun changement à leur type. Huit lignes ont diminué le diamètre de leur cheminée, les dimensions des cylindres restant les mêmes.

1-E. — Diaphragmes ou déflecteurs.

Pratique actuelle. — La figure 6 montre les types de déflecteurs généralement employés. La disposition *a*, dans laquelle le déflecteur se trouve à l'arrière du tuyau d'échappement, représente le type adopté par dix-huit compagnies ; avec la disposition *b* où le déflecteur s'étend à l'avant du tuyau de décharge, les escarbilles sont expulsées de la boîte à fumée, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de s'en débarrasser en cours de route ou aux points terminus; en outre, la trémie à cendres, pièce sujette à s'avarier est écartée; neuf compagnies ont adopté cette disposition. Deux lignes emploient le système figuré en *c;* on ne voit pas bien l'avantage spécial qu'il peut présenter. Une autre disposition, comportant deux plaques de déviation, est représentée en *d;* elle est employée par deux compagnies pour des chaudières d'un diamètre de 62 pouces (1.575 mètre) à la virole d'avant. Avec les chaudières de cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dimension, on éprouve de fréquentes difficultés à distribuer uniformément le tirage dans le foyer et à enlever convenablement les escarbilles de la boîte à fumée; le système *d* remédie admirablement à ces inconvénients.

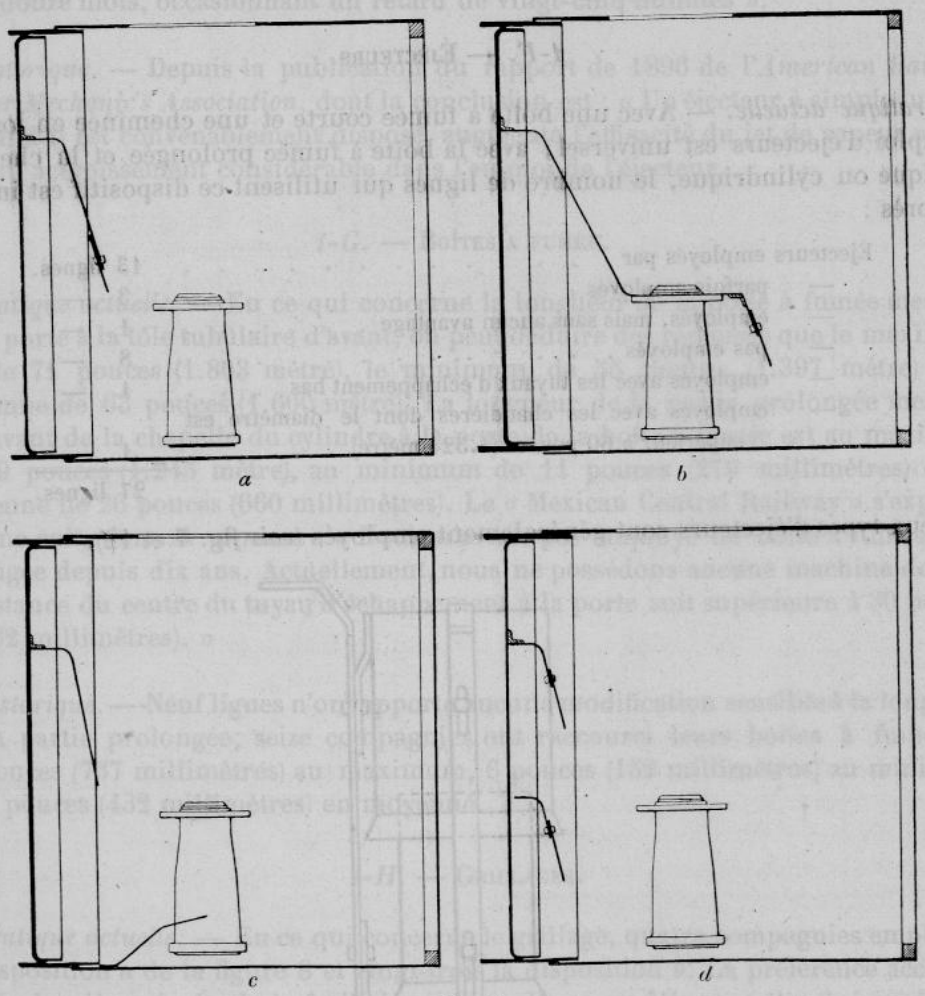


Fig. 6.

Historique. — Il n'y a guère eu de modifications dans les systèmes de déflecteurs depuis 1890. Trois lignes ont placé à l'avant du tuyau de décharge le déflecteur qui se trouvait à l'arrière; trois compagnies ont fait l'opération inverse. Le passage suivant est extrait de l'une des réponses : « La seule modification que nous ayons faite « depuis 1890 a été de placer le diaphragme derrière le tuyau de décharge et les « tuyaux de vapeur, pour éviter l'usure excessive de ces pièces. Nous avons reconnu « également que cette modification a amélioré la combustion. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Presque tous les déflecteurs se composent d'une tôle fixe et d'une tôle pouvant être ajustée dans différentes positions, afin de pouvoir faire varier la distance du bord supérieur du diaphragme au sommet de la boîte à fumée, ce qui permet d'obtenir un tirage uniforme à travers les tubes et sur la grille.

1-F. — Éjecteurs.

Pratique actuelle. — Avec une boîte à fumée courte et une cheminée en losange, l'emploi d'éjecteurs est universel; avec la boîte à fumée prolongée et la cheminée conique ou cylindrique, le nombre de lignes qui utilisent ce dispositif est indiqué ci-après :

Éjecteurs employés par	13	lignes.
— parfois employés	3	—
— employés, mais sans aucun avantage	1	—
— pas employés	8	—
— employés avec les tuyaux d'échappement bas . . .	1	—
— employés avec les chaudières dont le diamètre est supérieur à 60 pouces (1.524 mètre)	1	—
	27	lignes.

Deux types d'éjecteurs sont généralement employés (*voir* fig. 7 et 12).

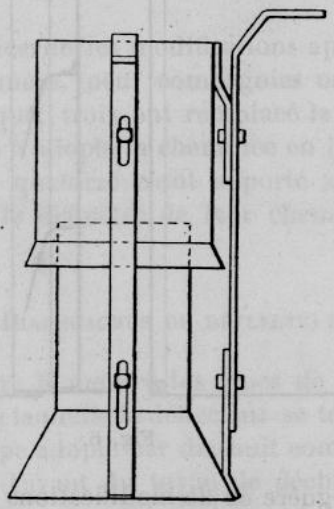


Fig. 7.

Les réponses à la question : « Jusqu'à quel point éprouvez-vous des difficultés par suite du manque de vapeur due au dérangement des éjecteurs ? » montrent la diversité des résultats obtenus.

Neuf lignes déclarent que les éjecteurs ne donnent lieu à aucune difficulté; une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dit qu'elle éprouve des difficultés considérables, ces pièces se gauchissant et se déjetant par l'action de la chaleur; pour une autre compagnie, elles donnent lieu à des difficultés « environ une fois par mois »; enfin, une ligne n'a eu « qu'un seul cas « en douze mois, occasionnant un retard de vingt-cinq minutes ».

Historique. — Depuis la publication du rapport de 1896 de l'*American Railway Master Mechanic's Association*, dont la conclusion est : « Un éjecteur à simple tuyère, « quand il est convenablement disposé, augmente l'efficacité du jet de vapeur », il y a eu un accroissement considérable dans l'emploi de l'éjecteur.

1-G. — Boîtes a fumée.

Pratique actuelle. — En ce qui concerne la longueur de la boîte à fumée mesurée de la porte à la tôle tubulaire d'avant, on peut déduire des réponses que le maximum est de 71 pouces (1.803 mètre), le minimum de 55 pouces (1.397 mètre) et la moyenne de 63 pouces (1.600 mètre). La longueur de la partie prolongée mesurée de l'avant de la chapelle du cylindre à la porte de la boîte à fumée est au maximum de 49 pouces (1.245 mètre), au minimum de 11 pouces (279 millimètres) et en moyenne de 26 pouces (660 millimètres). Le « Mexican Central Railway » s'exprime comme suit, dans sa réponse : « Nous n'avons pas employé de boîte à fumée pro- « longée depuis dix ans. Actuellement, nous ne possédons aucune machine dont la « distance du centre du tuyau d'échappement à la porte soit supérieure à 30 pouces « (762 millimètres). »

Historique. — Neuf lignes n'ont apporté aucune modification sensible à la longueur de la partie prolongée; seize compagnies ont raccourci leurs boîtes à fumée de 29 pouces (737 millimètres) au maximum, 6 pouces (152 millimètres) au minimum et 17 pouces (432 millimètres) en moyenne.

1-H. — Grillages.

Pratique actuelle. — En ce qui concerne le grillage, quatre compagnies emploient la disposition *a* de la figure 8 et vingt-trois la disposition *b*. La préférence accordée à cette dernière résulte de la facilité avec laquelle ce modèle peut être fixé au déflecteur et à la tuyère d'échappement, ainsi que de l'augmentation de la surface du grillage. L'emploi du dispositif *c* appelé généralement « grillage panier » prend une certaine extension. C'est la disposition la plus convenable si l'on ne considère que la facilité de fixation au déflecteur et au tuyau de décharge; en outre, elle est aussi avantageuse que la disposition *b*, lorsque le grillage doit s'étendre jusqu'à la tuyère; mais, dans les boîtes à fumée de grand diamètre, la forme *c* donne lieu à une accumulation d'escarbilles dans la boîte à fumée, vraisemblablement parce que les courants passant de chaque côté se rencontrent à l'avant en formant tourbillon, et parce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que les courants ne frappent pas le grillage normalement, ce qui augmente la résistance.

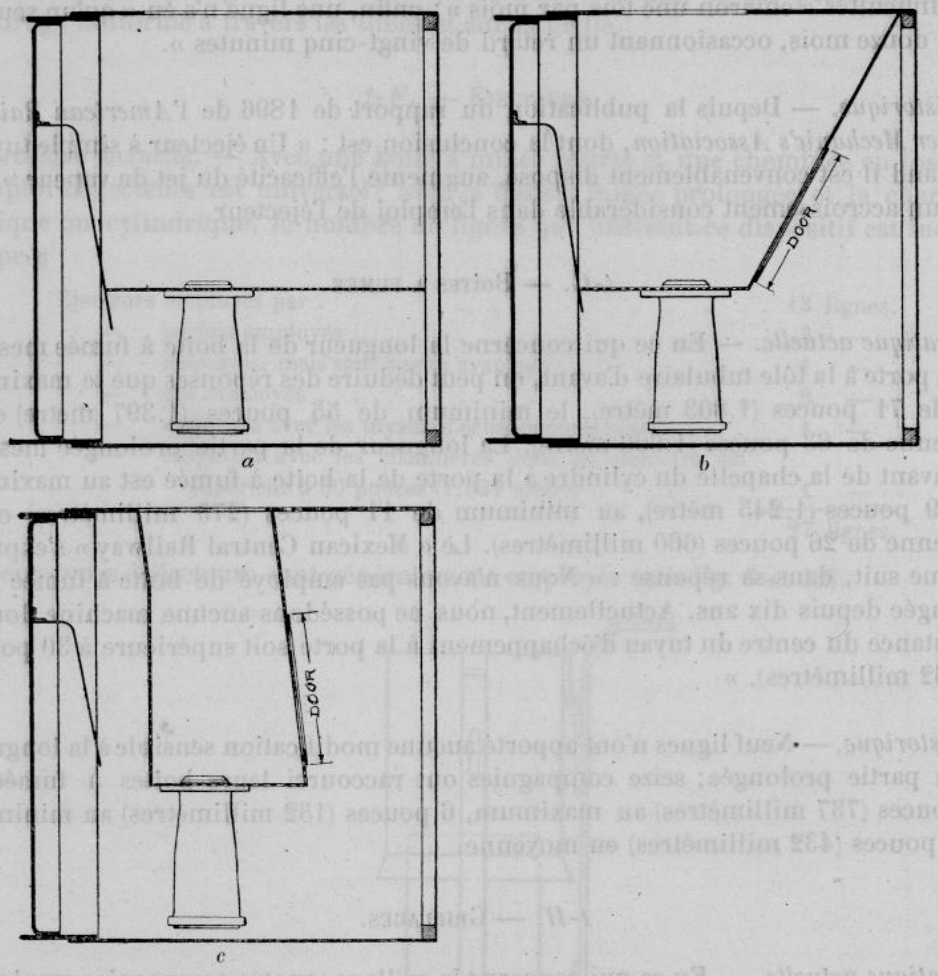


Fig. 8.

La préférence des compagnies au sujet de la matière à employer pour la confection des grillages se révèle par ce fait que vingt lignes utilisent un treillis et sept des tôles perforées. Neuf lignes emploient un treillis ayant $2\ ^1/_2 \times 2\ ^1/_2$ mailles par pouce carré (0.39×0.39 maille par centimètre carré), le diamètre du fil étant 0.12 pouce (3 millimètres); cinq compagnies emploient la même maille, mais le fil a un diamètre de 0.109 pouce (2.8 millimètres). Une compagnie qui dessert une contrée exposée spécialement aux incendies a adopté un treillis à mailles serrées de 8×8 par pouce carré (1.24×1.24 par centimètre carré), dont le fil a un diamètre de 0.049 pouce (1.2 millimètre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les tôles perforées, les ouvertures, dont les angles sont arrondis, ont généralement 1 $^1/_2 \times {}^3/_{16}$ ou $^1/_4$ pouce (1.61 centimètre carré) ; elles sont séparées par un intervalle de $^1/_8$ pouce (3.2 millimètres), l'épaisseur de la tôle est en général de $^1/_8$ pouce (3.2 millimètres) (*voir* fig. 9).

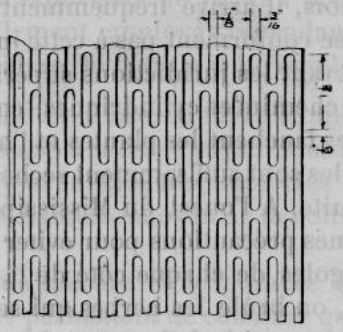


Fig. 9.

Les compagnies qui emploient le treillis en fil déclarent « que c'est le meilleur « moyen de prévenir les incendies ; le nombre d'ouvertures par unité de surface « étant plus considérable, le grillage ne peut être traversé par d'aussi longues flam- « mèches. Les treillis sont meilleur marché, ils s'adaptent plus facilement et, « comme ils sont plus flexibles que les tôles perforées, les ouvertures ne se bouchent « pas aussi aisément ».

Les partisans des tôles perforées font valoir que « quand elles sont convenable- « ment disposées, elles ne s'obstruent pas aussi facilement que le treillis, qu'elles « s'usent moins rapidement et que les escarbilles sont mieux réduites en poudre ».

Les ouvertures pratiquées dans les tôles perforées ont une section trapézoïdale et leur plus petite entrée se trouve à l'extérieur du grillage, c'est-à-dire du côté où arrivent les escarbilles ; de cette façon, celles-ci ne peuvent se loger dans les ouvertures.

Toutes les compagnies déclarent que les grillages sont visités régulièrement. Certaines lignes font procéder à la visite à la fin de chaque parcours, d'autres une fois tous les mois. Les constatations faites sont consignées dans un formulaire spécial. Généralement, ces rapports sont signés par le visiteur et indiquent l'état dans lequel le grillage a été trouvé, ainsi que les réparations faites. Ces annotations ont une valeur considérable en cas de procès : elles atténuent la responsabilité du chemin de fer dans les dommages causés, ou lui permettent d'établir avec grande probabilité que leurs machines n'ont pu occasionner l'incendie.

Les lois relatives à la responsabilité des chemins de fer, quant aux dommages causés par les incendies, varient considérablement. Dans quelques États, notamment dans l'Est, s'il est prouvé que la machine a été la cause de l'incendie, la Compagnie est responsable de tous les dommages, même si elle démontre qu'elle possède les derniers perfectionnements des meilleurs systèmes de garde-flammèches et que les pièces étaient en bon état.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans plusieurs États où la jurisprudence est ainsi établie, les chemins de fer ont fait assurer les propriétés riveraines ; mais cette façon de procéder donne lieu à des abus.

Dans d'autres États, spécialement dans le Centre, le Sud et l'Ouest, la possession du système le plus récent, « en bon état », exonère généralement les compagnies de toute responsabilité. Toutefois, il arrive fréquemment que les tribunaux locaux et les tribunaux inférieurs ne se conforment pas à cette jurisprudence ; les compagnies doivent alors se pourvoir devant les juridictions supérieures. Les tribunaux ne font aucune distinction entre les cheminées cylindriques, coniques ou en losange.

La plupart des compagnies fauchent les plantes et l'herbe qui croissent le long des voies et les brûlent lorsqu'elles sont suffisamment sèches, ou bien, les laissent sécher sur pied et les brûlent ensuite. A l'ouest du Mississipi et spécialement à l'ouest du Missouri, on prend d'extrêmes précautions pour éviter les incendies. C'est ainsi que l'on creuse deux ou trois rigoles de chaque côté de la ligne et, pour autant que les circonstances le permettent, on brûle les herbes qui se trouvent entre la ligne et les rigoles. Très fréquemment on procède de la même façon pour protéger les meules de foin ou de paille dont la locomotive pourrait causer l'incendie.

1-I. — Mesures destinées a prévenir les incendies.

Il résulte de toutes les réponses qu'en ce qui concerne les moyens préventifs des incendies, les compagnies mettent leur confiance dans les dispositifs placés dans la boîte à fumée et dans leur maintien en bon état.

1-J. — Tuyères a échappement variable.

Les tuyères à échappement variable ont été employées par dix-sept compagnies ; dix ne les ont pas utilisées. Toutes les lignes qui s'en servent donnent un avis défavorable, non pas que le principe en soit mauvais, mais parce que l'on éprouve de grandes difficultés à maintenir les pièces en parfait état de fonctionnement. L'opinion générale est parfaitement résumée par cette phrase de l'un des rapports : « Les « tuyères à échappement variable sont en usage depuis trente ans environ et le prin- « cipe en a été reconnu bon, mais elles ont été écartées à cause des soins tout spé- « ciaux que l'on doit prendre pour les maintenir en parfait état de fonctionnement. »

1-K. — Vapeur d'échappement.

Aucune des lignes qui ont répondu à la circulaire n'a adopté de disposition permettant d'utiliser une partie quelconque de la vapeur de décharge. Deux lignes ont répondu qu'elles examinent la question, mais que cette étude n'est pas encore assez avancée pour qu'elles puissent en faire le rapport.

Nombre de lignes utilisent la vapeur de décharge de la pompe du frein à air pour chauffer l'eau du tender. Le tuyau de décharge possède un robinet à trois voies qui permet d'envoyer la vapeur dans la soute à eau du tender lorsque la chose est nécessaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION 2.

Conclusions en ce qui concerne la pratique américaine.

—

Combustible. — Le charbon vaporisant de 10.76 à 3.10 livres d'eau par livre de charbon est presque universellement employé; cependant, dans l'Ouest, où le charbon est cher et de qualité médiocre, le pétrole a été employé avec succès.

Tuyau de décharge. — A toute évidence, le tuyau simple a la préférence de la plupart des lignes et, selon toute apparence, le tuyau double tend à disparaître. Dans ces dix dernières années, il y a eu une tendance très prononcée à raccourcir le tuyau de décharge, bien que le diamètre moyen de la boîte à fumée ait dû augmenter pendant la même période.

L'adoption générale de cette mesure et le nombre considérable de tuyaux de décharge qui ont été raccourcis permettent de conclure que la modification a produit de notables avantages.

Tuyère d'échappement. — La tuyère représentée à la figure 5*b* est celle que la commission des *Master Mechanic's* recommande essentiellement. Comme 60 p. c. des lignes qui ont répondu à la circulaire ont adopté cette forme comme type, on peut admettre qu'elle constitue la forme la plus efficace.

Les tuyères 5*c* et 5*d* ne diffèrent guère de la tuyère 5*b* que par l'absence de l'épaulement, lequel doit donner lieu à une contre-pression.

Si l'on considère le nombre total de tuyères, y compris le type *b*, il est à noter que 80 p. c. de ces pièces ne possèdent pas d'épaulement. On peut en déduire que les modèles pourvus d'un épaulement sont moins efficaces que les autres. Les tuyères avec épaulement présentent pourtant un avantage, c'est que l'huile entraînée par la vapeur d'échappement ne peut s'y accumuler. L'accroissement du nombre de tuyaux de décharge simples doit donner lieu à un emploi de plus en plus étendu de la tuyère simple. Le paragraphe *1-C* donne les diamètres moyens des tuyères simples et des tuyères doubles employées avec les différents cylindres. Ces chiffres ont servi à dresser le tableau suivant qui donne la section en pouces carrés des différentes tuyères :

	TUYÈRES SIMPLES.		TUYÈRES DOUBLES.	
CYLINDRES.	DIAMÈTRE.	SECTION.	DIAMÈTRE.	SECTION.
17 × 24 pouces (432 × 610 millimètres).	4 1/4 pouces (108 mill.).	14.2 pouces carrés (91.60 cent. carrés).	3 1/8 pouces (79 mill.).	7.7 pouces carrés (49.67 cent. carrés).
18 × 24 pouces (457 × 610 millimètres).	4 1/2 pouces (115 mill.).	15.9 pouces carrés (102.57 cent. carrés).	3 3/8 pouces (86 mill.).	8.9 pouces carrés (57.41 cent. carrés).
19 × 24 pouces (483 × 610 millimètres).	4 3/4 pouces (121 mill.).	17.7 pouces carrés (114.18 cent. carrés).	3 3/8 pouces (86 mill.).	8.9 pouces carrés (57.41 cent. carrés).
20 × 24 pouces (508 × 610 millimètres).	5 pouces (127 mill.).	19.6 pouces carrés (126.44 cent. carrés).	3 3/8 pouces (86 mill.).	8.9 pouces carrés (57.41 cent. carrés).
20 × 26 pouces (508 × 660 millimètres).	5 pouces (127 mill.).	19.6 pouces carrés (126.44 cent. carrés).	3 1/2 pouces (89 mill.).	9.6 pouces carrés (61.93 cent. carrés).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La section de la tuyère double est sensiblement la moitié de celle de la tuyère simple. En admettant que la section de chacune de ces tuyères soit suffisante pour assurer un échappement satisfaisant, dans les conditions ordinaires du service, il est évident que deux cylindres déchargeant alternativement dans une même tuyère rencontreront moins de résistance et, par conséquent, donneront lieu à une moindre contre-pression que les mêmes cylindres dont la décharge se fait par des tuyères séparées, dont la section n'est que la moitié de celle de la tuyère simple. On peut en déduire que la tuyère simple est plus efficace que la double. Cette conclusion n'offrirait aucune garantie, s'il n'avait pas été démontré qu'avec un tuyau de décharge et une tuyère simples, ainsi qu'avec une cloison de hauteur convenable, la décharge d'un cylindre n'influe pas sur celle de l'autre.

L'emploi d'une entretoise dans la tuyère d'échappement est universellement condamné, sauf comme expédient provisoire.

Cheminée. — La cheminée conique a été adoptée par 80 p. c. des lignes qui ont répondu à la circulaire, et ce type est de plus en plus en faveur. Il y a aussi une tendance croissante à réduire le diamètre de la cheminée, les cylindres restant les mêmes. La cheminée en losange n'est en usage que sur quelques lignes et, fait significatif, deux lignes, qui autrefois se trouvaient sous le contrôle de réseaux qui possèdent la cheminée en losange, ont commencé à abandonner ce type pour le remplacer par la cheminée conique.

On peut conclure de ce qui précède que la forme en losange est moins efficace que la forme conique ou cylindrique. Avec la cheminée en losange, la vapeur de décharge ne peut s'échapper en ligne directe dans l'atmosphère, à cause du cône et parce que la surface du grillage que les gaz doivent traverser est moindre qu'avec les autres systèmes.

Les rapports n'ont fait mention d'aucune formule fixant les dimensions de la cheminée d'après celles du cylindre.

Il est évident que la règle formulée par la Commission des *Master Mechanic's* concernant la meilleure relation entre la cheminée et la tuyère d'échappement a eu une influence considérable.

Diaphragme. — La principale fonction du diaphragme, lequel est employé seulement avec les cheminées coniques et cylindriques, est de régulariser le tirage à travers le faisceau tubulaire et la grille. Il sert accessoirement à éteindre et à réduire en poudre les escarbilles entraînées à travers les tubes.

Le « Michigan Central » a augmenté leur efficacité à cet égard en garnissant les surfaces que les escarbilles viennent frapper d'un treillis en acier de $2\,^1/_2 \times 2\,^1/_2$ mailles par pouce carré (0.39 × 0.39 maille par centimètre carré) et dont le fil a un diamètre de 0.109 pouce (2.8 millimètres). Les différents buts sont atteints aussi bien par les systèmes de déflecteurs placés à l'arrière du tuyau de décharge que par les dispositifs qui s'étendent à l'avant de cette pièce. L'avantage que les partisans de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce dernier système lui attribuent est d'expulser pratiquement toutes les escarbilles de la boîte à fumée.

Le « Chicago Great Western » a constaté que le déflecteur qui s'étend à l'avant du tuyau de décharge donne lieu à une usure excessive de cette pièce et du tuyau de prise de vapeur.

Éjecteurs. — L'emploi d'éjecteurs, avec la boîte à fumée prolongée, a considérablement augmenté au cours de ces dix dernières années. A en juger par les rapports, il n'est pas douteux que l'emploi de cet appareil améliore considérablement le tirage, en augmentant l'efficacité de la décharge, car il permet de donner un plus grand diamètre à la tuyère et, par conséquent, de réduire la contre-pression. Mais, par contre, l'éjecteur présente l'inconvénient de donner lieu à des retards dans la marche des trains, par suite de fréquentes avaries résultant d'un montage défectueux des pièces ou de leur gauchissement par l'action de la chaleur. Cet inconvénient est souvent dû à l'emploi de systèmes peu perfectionnés, mais, plus fréquemment encore, au manque de soins des ouvriers chargés de l'ajustage des pièces. L'on ne peut obvier entièrement à ce dernier inconvénient, car il n'est pas toujours possible d'exercer une surveillance efficace sur ces ouvriers.

D'un autre côté, il est très probable qu'une grande partie des retards n'est pas connue des fonctionnaires placés à la tête des services de traction auxquels la circulaire a été adressée.

Boîtes à fumée. — A l'origine, le but poursuivi par la création des boîtes à fumée prolongées était d'obtenir un réceptacle pour les escarbilles. Mais, à ce point de vue, le système n'a pas donné les résultats efficaces que l'on en attendait, ainsi qu'il a été démontré par l'essai effectué à l'université de Purdue. Les résultats de cette expérience sont consignés dans un rapport intitulé : « L'effet des hauts degrés de combustion sur l'efficacité des chaudières de locomotives » et présenté par le professeur Goss au *New York Railroad Club*, le 17 septembre 1896.

La locomotive d'expérience avait une surface de grille de 17.5 pouces carrés (112.89 centimètres carrés); elle avait une boîte à fumée de 52 pouces (1.321 mètre) de diamètre et de 64 pouces (1.626 mètre) de longueur y compris le prolongement; elle possédait des cylindres de 17 × 24 pouces (432 × 610 millimètres) et une tuyère d'échappement double, dont chaque orifice avait 3 pouces (76 millimètres) de diamètre. La vitesse moyenne était de 25 miles (40.2 kilomètres) par heure, et la durée de l'essai de six heures, ce qui correspondait à un parcours de 150 milles (241.4 kilomètres).

Comme la locomotive reposait sur des roues enrayées par un frein et n'était pas en mouvement sur une voie établie sur le sol, les observations faites et les mesures prises étaient aussi exactes qu'on peut le désirer. Les résultats ont montré que la boîte à fumée avait retenu 65 livres (29.5 kilogrammes) d'escarbilles à la fin de l'expérience, tandis que 294 livres (133 kilogrammes) s'étaient échappées par la cheminée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le fait que, sur vingt-cinq compagnies, seize ont raccourci leur boîte à fumée (de 17 pouces [432 millimètres] en moyenne) démontre d'une façon tout à fait concluante que le but poursuivi n'a pas été atteint ; ou bien que l'amélioration du tirage obtenue par le raccourcissement de la boîte donne lieu à plus d'avantages.

SECTION 3.

Résultats des essais effectués en Amérique.

---

a) Goss.

Dans le bulletin du *Western Railway Club* d'octobre 1895, est inséré un rapport du professeur W. F. M. Goss, intitulé : *A Glimpse of the Exhaust Jet*. Les expériences qui en sont la base ont été faites surtout en vue de déterminer les méthodes et appareils devant servir à étudier la forme et l'action de l'échappement.

Les meilleurs résultats ont été obtenus par l'emploi d'un manomètre qui est pourvu, à une des ouvertures, d'un tube en fer à petit orifice, pouvant se mouvoir en avant et en arrière, à la partie supérieure de la boîte à fumée; à l'autre extrémité se trouve fixé un tube en U permettant de mesurer les pressions et les dépressions. En faisant mouvoir le tube en fer de la paroi de la boîte à fumée vers le jet de vapeur, on observe qu'il existe un point où il n'y a ni pression ni dépression et qui peut être appelé le point neutre ; au delà de ce point, c'est une pression que le manomètre enregistre. On peut admettre que le point neutre se trouve au bord du jet de vapeur.

b) Chemin de fer du « Chicago, Burlington & Quincy ».

En avril 1896, une commission du chemin de fer de « Chicago, Burlington & Quincy » et de la *Master Mechanic's Association*, composée de MM. C. H. Quereau, J. F. Deems et F. A. Chase, a présenté un rapport sur les essais auxquels elle avait procédé, en service normal, au moyen d'un tuyau d'échappement spécial pouvant être placé à différentes hauteurs et d'un certain nombre de manomètres semblables à ceux de M. Goss et appliqués en différents points de la cheminée et de la boîte à fumée. Les conclusions de ce rapport sont les suivantes : « La tuyère d'échappement « doit être placée le plus bas possible dans la boîte à fumée, en tenant compte de la « hauteur à donner à la cloison du tuyau de décharge. Cette disposition permettra « d'utiliser la plus large tuyère, assurera un tirage uniforme dans le foyer et procu- « rera une économie de combustible. L'action de l'échappement n'est pas celle du « piston d'une pompe aspirant les gaz vers le haut, mais plutôt l'action d'un éjecteur, « les gaz étant entraînés par la vapeur. La vapeur d'échappement ne touche la che- « minée qu'en un endroit voisin du sommet pour les vitesses ordinaires des trains « de marchandises; pour les grandes vitesses des trains de voyageurs, elle ne la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« touche en aucun point. Il a été constaté que la dépression est plus grande à l'étran-
« glement de la cheminée qu'en aucun autre endroit de celle-ci ou de la boîte à
« fumée. Le diamètre du jet de vapeur dans la cheminée et spécialement au-dessus
« de l'étranglement est d'autant moindre que le diamètre de la cheminée est plus
« petit. Il est très probable que le contour du jet de vapeur varie avec le diamètre de
« la tuyère ou de la cheminée et avec les changements de vitesse. »

On peut trouver les expériences qui ont servi de base au rapport dans le travail présenté par M. Deems à la réunion d'avril 1896, du *Western Railway Club* et intitulé : « Another Glimpse of the Exhaust Jet ».

La figure 10 représente le contour général du jet de vapeur, tel qu'il a été déterminé par ces expériences, lesquelles ont été confirmées par les essais de l'université de Purdue et ceux de la Commission des *Master Mechanic's*.

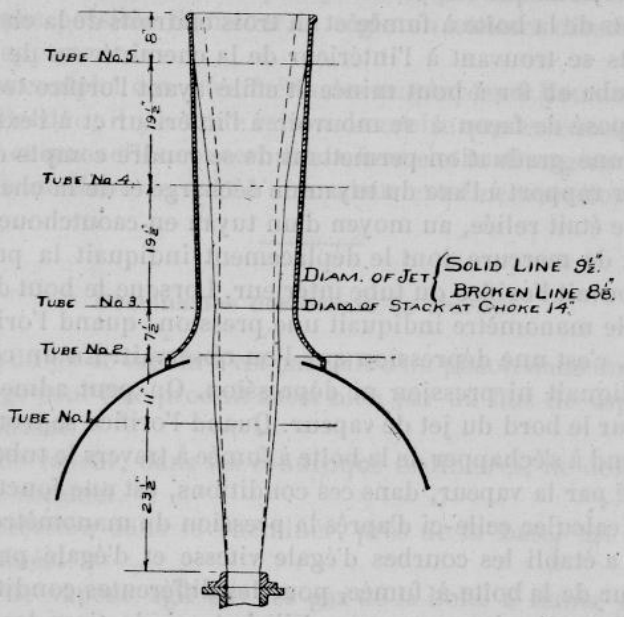


Fig. 10.

c) Rapport de la Commission de l'« American Railway Master Mechanic's Association » sur les tuyaux de décharge et les passages de vapeur (résumé des méthodes et appareils), présenté a la réunion de juin 1896.

La Commission était composée de MM. Robert Quayle, *superintendent* de la traction du chemin de fer de « Chicago & North Western »; William Forsyth, ingénieur du chemin de fer de « Chicago, Burlington & Quincy »; James Mc Vaughton, *superintendent* de la traction du chemin de fer du « Wisconsin Central »; W. S. Morris, *superintendent* de la traction du chemin de fer de « Cheasapeake & Ohio »; D. S. Bar-

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nes, ingénieur et éditeur de la *Railroad Gazette*, et W. F. M. Goss, professeur à l'université de Purdue, où les essais ont été effectués.

Les roues motrices de la locomotive d'expérience reposent sur d'autres roues enrayées par un frein spécial construit de façon à absorber l'énergie de la locomotive. Il en résulte que les conditions dans lesquelles les essais ont été faits peuvent être assimilées aux conditions réelles du service, bien que la machine demeurât stationnaire. Il est évident que l'on a eu ainsi la plus grande facilité pour recueillir des observations exactes, ce qui n'aurait pas été possible en service courant. Une grande partie des appareils accessoires était placée aux endroits convenables des murs du laboratoire. Le travail a été fait sous la surveillance de M. Richard A. Smart assisté d'un étudiant, M. L. S. Kinaird, et d'un certain nombre d'observateurs expérimentés.

Les appareils spéciaux qui ont été utilisés consistaient en une série de manomètres fixés en cinq points de la boîte à fumée et en trois endroits de la cheminée; la partie de ces instruments se trouvant à l'intérieur de la cheminée ou de la boîte à fumée consistait en un tube en fer à bout mince et effilé ayant l'orifice tourné vers le bas. Le tube était disposé de façon à se mouvoir à l'intérieur et à l'extérieur du jet de vapeur et portait une graduation permettant de se rendre compte de la position de son extrémité, par rapport à l'axe du tuyau de décharge et de la cheminée. La partie extérieure du tube était reliée, au moyen d'un tuyau en caoutchouc, à un tube en U rempli en partie de mercure dont le déplacement indiquait la pression existant à l'endroit où se trouvait l'orifice du tube intérieur. Lorsque le bout du tube était dans le jet de vapeur, le manomètre indiquait une pression; quand l'orifice se trouvait à l'extérieur du jet, c'est une dépression que l'on observait. En un certain endroit, le manomètre n'indiquait ni pression ni dépression. On peut admettre que ce point neutre est situé sur le bord du jet de vapeur. Quand l'orifice se trouve dans le jet de vapeur, celle-ci tend à s'échapper de la boîte à fumée à travers le tube. Il est démontré que l'effort exercé par la vapeur, dans ces conditions, est une fonction de sa vitesse, ce qui permet de calculer celle-ci d'après la pression du manomètre. A l'aide de ces indications, l'on a établi les courbes d'égale vitesse et d'égale pression du jet de vapeur à l'intérieur de la boîte à fumée, pour les différentes conditions d'essai. Ces courbes ont été d'un grand secours quand il s'est agi de tirer les conclusions des expériences.

La dépression dans la boîte à fumée était déterminée à l'aide de deux manomètres différents et enregistrée automatiquement par un enregistreur Bristol. Un indicateur de vitesse Boyer permettait de maintenir la locomotive à une vitesse constante. Aucune observation n'était faite avant d'avoir atteint la vitesse et la pression voulues.

Il est important de faire observer que, dans ces essais, la forme et l'action de l'échappement sont les mêmes que quand la machine est réellement en service, si, bien entendu, les autres conditions ne sont pas modifiées. Il y a lieu de noter, en outre, que les circonstances étaient exceptionnellement favorables pour obtenir des observations exactes; que les observateurs étaient nombreux et possédaient une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

expérience spéciale de ce genre de travaux ; que les appareils spéciaux répondaient admirablement au but poursuivi ; enfin, que la contre-pression dans les cylindres et la dépression dans la boîte à fumée étaient enregistrées automatiquement, au moyen d'instruments étalonnés servant à vérifier les observations des expérimentateurs.

Les essais de l'université de Purdue comprennent 31 séries de combinaisons.

Les essais de Hanovre relatifs à la forme et à la divergence du jet de vapeur ont été faites probablement sans employer de cheminée, ce qui a dû influer sur la forme et l'action de l'échappement ; en outre, les mesures dont les conclusions ont été tirées, ont été prises au moyen d'une règle à main amenée en contact avec le jet de vapeur aussi exactement que les circonstances le permettaient. Le rapport s'exprime comme suit, à ce sujet : « On doit admettre que des mesurages exacts n'étaient pas praticables au milieu du bruit violent et presque insupportable d'un fort jet de vapeur ; « il n'était donc pas possible d'amener la règle en contact direct avec le courant « rapide de l'échappement. »

Le contraste est complet entre les méthodes employées à Hanovre et celles suivies à l'université de Purdue ; il y a toute raison de croire que les conclusions de Purdue doivent prévaloir et que celles concernant la forme et la divergence du jet de vapeur déduites des essais de Hanovre sont d'une valeur extrêmement douteuse.

Conclusions des essais de Purdue.

« 1. — L'action du jet de vapeur n'est pas celle d'un piston dans un corps de pompe.

« 2. — Le tirage peut être produit aussi bien par un flux de vapeur continu que par un jet intermittent.

« 3. — Le jet de vapeur, dans les conditions ordinaires, ne doit toucher la cheminée que vers le sommet.

« 4. — La dépression dans la cheminée, près de la base, est plus grande que dans la boîte à fumée.

« 5. — Le jet de vapeur agit sur les gaz de la boîte à fumée de deux façons : d'abord il les met en mouvement par suite du frottement produit par son contact et, ensuite, il les entraîne.

« 6. — Dans tous les jets examinés, la première action était relativement forte et la seconde faible.

« 7. — Toute condition qui tendra à réduire l'étendue du jet semble devoir augmenter son efficacité.

« 8. — Des changements dans les proportions de la cheminée peuvent affecter considérablement la forme du jet.

« 9. — En général, une diminution ou une augmentation de la quantité de vapeur déchargée modifiera la forme du jet, l'étendue de celui-ci étant réduite lorsque le volume de vapeur augmente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« 10. — Les autres conditions restant les mêmes, les changements qui surviennent dans la vitesse et dans l'admission n'affectent guère la forme du jet.

« 11. — La forme de la tuyère d'échappement a une influence considérable sur la forme du jet et, par conséquent, sur son efficacité. »

Des expériences en vue de déterminer « le système le plus efficace d'appareil d'échappement » ont été effectuées au laboratoire d'essais de la Compagnie du chemin de fer de « Chicago & North Western » au moyen d'une locomotive prise parmi celles affectées au service ordinaire, dans des conditions analogues à celles de Purdue et au moyen d'appareils semblables. Ces essais ont été effectués sous la surveillance immédiate de M. E. M. Herr, à cette époque *superintendent* adjoint du chemin de fer de « Chicago & North Western »; les observations étaient faites et enregistrées par un certain nombre d'aides expérimentés.

Les premiers essais ont été faits en alimentant le foyer au moyen de charbon, ainsi que la chose se pratique en service ordinaire; mais on se rendit compte rapidement de l'impossibilité de maintenir un feu régulier et une pression de vapeur uniforme, conditions absolument nécessaires pour obtenir des résultats exacts. Les variations de la pression de vapeur faisaient varier la contre-pression et les différences dans l'état du feu influaient sur la dépression. Or, pour arriver à des conclusions exactes, il était nécessaire que la contre-pression et la dépression ne pussent être affectées que par le système expérimenté.

En vue de maintenir une ouverture de dimension constante pour le passage de l'air à travers la grille, celle-ci a été recouverte d'un revêtement en briques, à l'exception d'une partie de la surface d'environ 185 pouces carrés (1,193.50 centimètres carrés). La vapeur était produite au moyen de deux brûleurs alimentés d'huile. Quelques expériences préliminaires permirent de s'assurer que la pression de vapeur dans la chaudière pouvait être maintenue à un degré sensiblement uniforme. Il est évident que la disposition adoptée donnait passage à la même quantité d'air à travers la grille et, par conséquent, à ne considérer que le foyer, les conditions de tirage étaient uniformes.

Une vitesse constante était maintenue au moyen d'un régulateur spécial agissant sur le frein appliqué aux roues de support; un enregistreur de vitesse Boyer indiquait le nombre de révolutions par minute pour chaque observation. Le nombre de 188 révolutions par minute que l'on désirait maintenir, n'a pas varié de plus de trois unités pendant la série entière des essais, et cette petite différence ne s'est montrée que pendant fort peu de temps. Il n'était pas rare de voir, de jour en jour, la machine marcher avec une différence d'un tour par minute, sur le chiffre de 188 tours correspondant à la vitesse de 35 milles (56.3 kilomètres) à l'heure.

L'on utilisait deux enregistreurs automatiques Bristol, dont l'un enregistrait la pression de vapeur de la chaudière et servait à contrôler les indications du manomètre ordinaire de la locomotive; ces deux instruments étaient soigneusement vérifiés avant et après les expériences. L'autre appareil Bristol enregistrait la pression de la vapeur d'échappement dans la chapelle du cylindre de gauche; il était

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

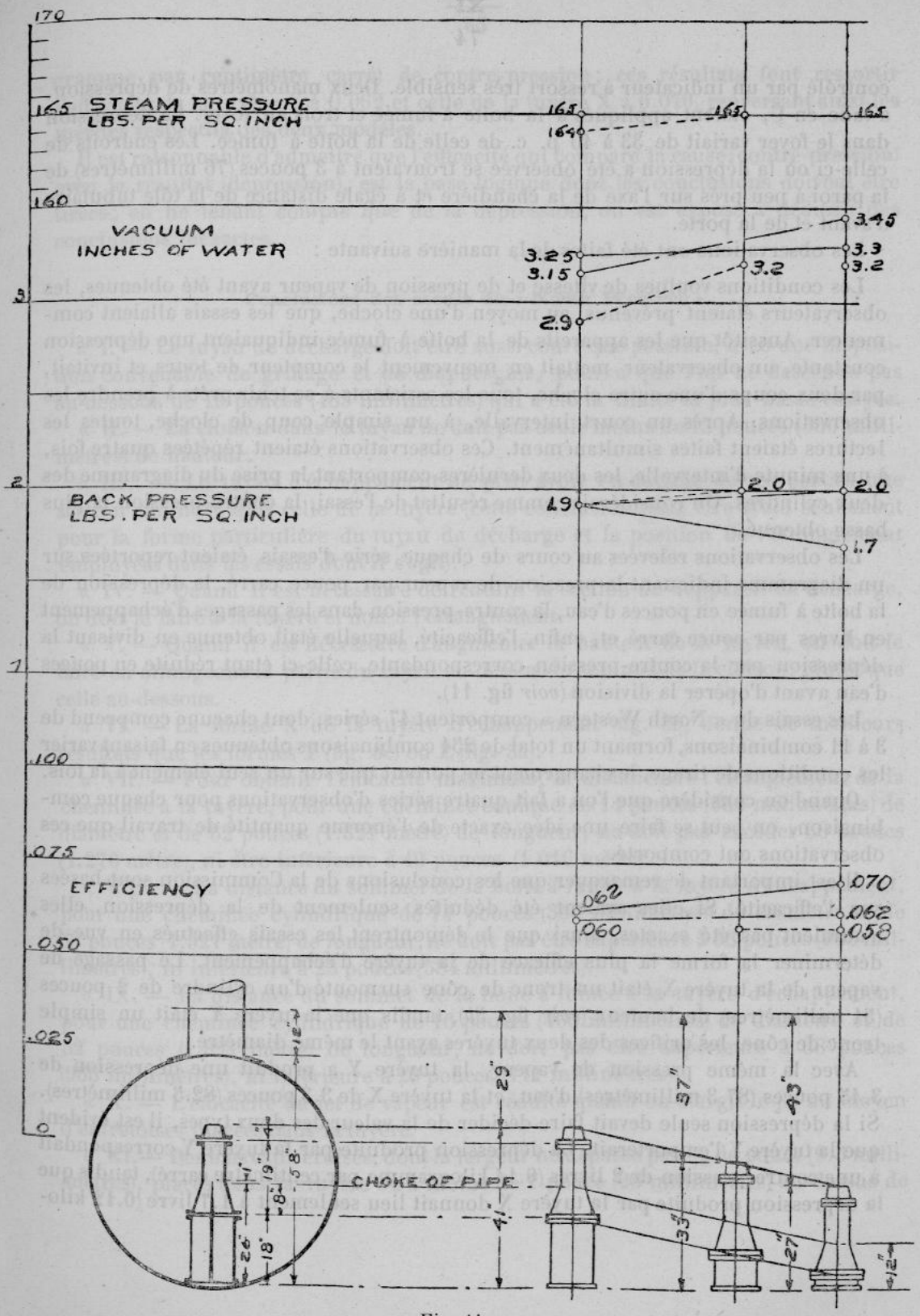


Fig. 11.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contrôlé par un indicateur à ressort très sensible. Deux manomètres de dépression, à tube en U, étaient appliqués à la boîte à fumée et trois au foyer. La dépression dans le foyer variait de 33 à 40 p. c. de celle de la boîte à fumée. Les endroits de celle-ci où la dépression a été observée se trouvaient à 3 pouces (76 millimètres) de la paroi à peu près sur l'axe de la chaudière et à égale distance de la tôle tubulaire d'avant et de la porte.

Les observations ont été faites de la manière suivante :

Les conditions voulues de vitesse et de pression de vapeur ayant été obtenues, les observateurs étaient prévenus, au moyen d'une cloche, que les essais allaient commencer. Aussitôt que les appareils de la boîte à fumée indiquaient une dépression constante, un observateur mettait en mouvement le compteur de tours et invitait, par deux coups d'une autre cloche, tous les assistants à se tenir prêts à prendre les observations. Après un court intervalle, à un simple coup de cloche, toutes les lectures étaient faites simultanément. Ces observations étaient répétées quatre fois, à une minute d'intervalle, les deux dernières comportant la prise du diagramme des deux cylindres. On considérait comme résultat de l'essai, la contre-pression la plus basse obtenue.

Les observations relevées au cours de chaque série d'essais étaient reportées sur un diagramme indiquant la pression de vapeur par pouce carré, la dépression de la boîte à fumée en pouces d'eau, la contre-pression dans les passages d'échappement en livres par pouce carré et, enfin, l'efficacité, laquelle était obtenue en divisant la dépression par la contre-pression correspondante, celle-ci étant réduite en pouces d'eau avant d'opérer la division (*voir* fig. 11).

Les essais du « North Western » comportent 47 séries, dont chacune comprend de 3 à 11 combinaisons, formant un total de 254 combinaisons obtenues en faisant varier les conditions de tirage, le changement ne portant que sur un seul élément à la fois.

Quand on considère que l'on a fait quatre séries d'observations pour chaque combinaison, on peut se faire une idée exacte de l'énorme quantité de travail que ces observations ont comporté.

Il est important de remarquer que les conclusions de la Commission sont basées sur l'efficacité. Si elles avaient été déduites seulement de la dépression, elles n'auraient pas été exactes, ainsi que le démontrent les essais effectués en vue de déterminer la forme la plus efficace de la tuyère d'échappement. Le passage de vapeur de la tuyère X était un tronc de cône surmonté d'un cylindre de 2 pouces (51 millimètres) de hauteur (*voir* fig. 5*b*), tandis que la tuyère Y était un simple tronc de cône, les orifices des deux tuyères ayant le même diamètre.

Avec la même pression de vapeur, la tuyère Y a produit une dépression de 3.45 pouces (87.3 millimètres) d'eau, et la tuyère X de 3.3 pouces (82.5 millimètres). Si la dépression seule devait faire décider de la valeur des deux types, il est évident que la tuyère Y l'emporterait. La dépression produite par la tuyère Y correspondait à une contre-pression de 2 livres (0.14 kilogramme par centimètre carré), tandis que la dépression produite par la tuyère X donnait lieu seulement à 1.7 livre (0.12 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gramme par centimètre carré) de contre-pression; ces résultats font ressortir l'efficacité de la tuyère Y à 0.062 et celle de la tuyère X à 0.070, renversant ainsi les mérites respectifs des deux modèles.

Il est raisonnable d'admettre que l'efficacité qui compare la cause (contre-pression) avec le résultat (dépression), est la base logique dont les conclusions doivent être tirées; en ne tenant compte que de la dépression, on est exposé à déduire des conclusions inexactes.

Conclusions des essais du « North Western ».

« I. — Le tuyau de décharge doit être aussi court que possible, avec une disposition convenable de grillage et de diaphragme, pourvu que l'on ne descende pas au-dessous de 19 pouces (483 millimètres) qui a été la limite la plus basse essayée.

« II. — La cloison dans le tuyau ne doit pas avoir moins de 13 pouces (330 millimètres) de hauteur.

« III. — Le tuyau d'échappement ne peut avoir en aucune de ses parties une section moindre que celle de la tuyère (cette conclusion peut être vraie seulement pour la forme particulière du tuyau de décharge et la position de l'étranglement employées dans les essais dont il s'agit).

« IV. — Quand il est nécessaire de réduire la section de l'appareil de décharge, on doit le faire à la tuyère et non à l'étranglement.

« V. — Quand il est nécessaire d'augmenter la hauteur de la tuyère, on doit le faire en allongeant la partie du tuyau au-dessus du sommet de la cloison, plutôt que celle au-dessous.

« VI. — La forme X de la tuyère d'échappement (fig. 5*b*) donne de meilleurs résultats que les formes Y (fig. 5*c*) ou Z (fig. 5*a*).

« VII. — Pour obtenir l'efficacité maximum, la distance de l'étranglement de la cheminée à la tuyère, pour une cheminée conique de 14 pouces (356 millimètres) de diamètre et de 52 pouces (1.321 mètre) de longueur, ne doit pas excéder 50 pouces (1.270 mètre), ni être inférieure à 40 pouces (1.016 mètre).

« VIII. — La distance du sommet de la boîte à fumée à la tuyère d'échappement, pour une cheminée cylindrique de 14 pouces (356 millimètres) de diamètre et de 52 pouces (1.321 mètre) de longueur, ne doit pas être supérieure à 38 pouces (965 millimètres), ni inférieure à 23 pouces (584 millimètres).

« IX. — La distance du sommet de la boîte à fumée à la tuyère d'échappement, pour une cheminée cylindrique de 16 pouces (406 millimètres) de diamètre et de 52 pouces (1.321 mètre) de longueur, ne doit pas être supérieure à 38 pouces (965 millimètres), ni inférieure à 28 pouces (711 millimètres).

« X. — L'efficacité du jet de vapeur est réduite quand on élargit le jet au moyen d'entretoises placées dans la tuyère.

« XI.— Des barreaux croisés, dont la largeur ne dépasse pas $^3/_8$ de pouce (9.5 millimètres), placés dans la tuyère ou à moins de 1 pouce (25 millimètres) au-dessus de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cette pièce, augmentent la contre-pression ; des barreaux plus larges accroissent la contre-pression en proportion de leur largeur.

« XII. — Un éjecteur simple, lorsqu'il est convenablement disposé, augmente l'efficacité du jet.

« XIII. — Le tuyau de décharge double avec une cheminée conique à étranglement de 14 pouces (356 millimètres), ou avec une cheminée cylindrique de 16 pouces (406 millimètres) de diamètre, n'est pas aussi efficace que le tuyau de décharge simple ; toutefois, la différence est très peu sensible.

« XIV. — Le tuyau de décharge double doit être placé, par rapport à la cheminée, de la même façon que le tuyau de décharge simple. »

La figure 12 montre la disposition recommandée par la Commission des *Master Mechanic's*.

En outre, la Commission préconise certaines limites dont on ne peut sortir sans affecter notablement l'efficacité des appareils de la boîte à fumée, pris dans leur ensemble. Ces recommandations sont les suivantes :

« a^1. — La hauteur de la cloison ne doit pas descendre au-dessous de 13 pouces (330 millimètres), quoique l'efficacité ne soit que légèrement diminuée par la réduction de hauteur.

« a^2. — La distance de la tuyère à l'étranglement de la cheminée peut varier de 49 à 39 pouces (1.245 mètre à 991 millimètres) ; il est préférable de se rapprocher du premier chiffre plutôt que du second.

« a^3. — Dans les conditions de vitesse et d'admission où les expériences ont été faites, la section de chaque ouverture à l'étranglement du tuyau de décharge peut être abaissée jusqu'à 20 p. c. en dessous de celle de la tuyère, sans diminuer notablement l'efficacité. On doit donner la préférence aux plus larges ouvertures, lorsqu'il s'agit de machines marchant à une faible admission.

« a^4. — Pour les chaudières analogues à la chaudière d'expérience (61 pouces [1.549 mètre] de diamètre) et probablement pour les chaudières de plus grande dimension, l'éjecteur peut augmenter considérablement l'efficacité de l'appareil de décharge ; mais il doit être parfaitement réglé d'après les conditions exactes de la machine. Ce but ne pourra vraisemblablement être atteint qu'après la mise en service de la locomotive. Dans les chaudières d'un diamètre inférieur à 61 pouces, il est probable que les éjecteurs seront peu ou point utiles. Les essais effectués par les commissions ne sont pas suffisamment détaillés pour que l'on puisse en déduire les limites dans lesquelles les éjecteurs doivent être établis. Ils indiquent que la partie supérieure d'un éjecteur ayant 13 pouces (330 millimètres) de diamètre à cet endroit, ne doit pas se trouver à plus de 2 pouces (51 millimètres) au-dessous du sommet de la boîte à fumée, lorsque la locomotive possède une cheminée conique de 14 pouces (356 millimètres) de diamètre à l'étranglement ou une cheminée cylindrique de 16 pouces (406 millimètres).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

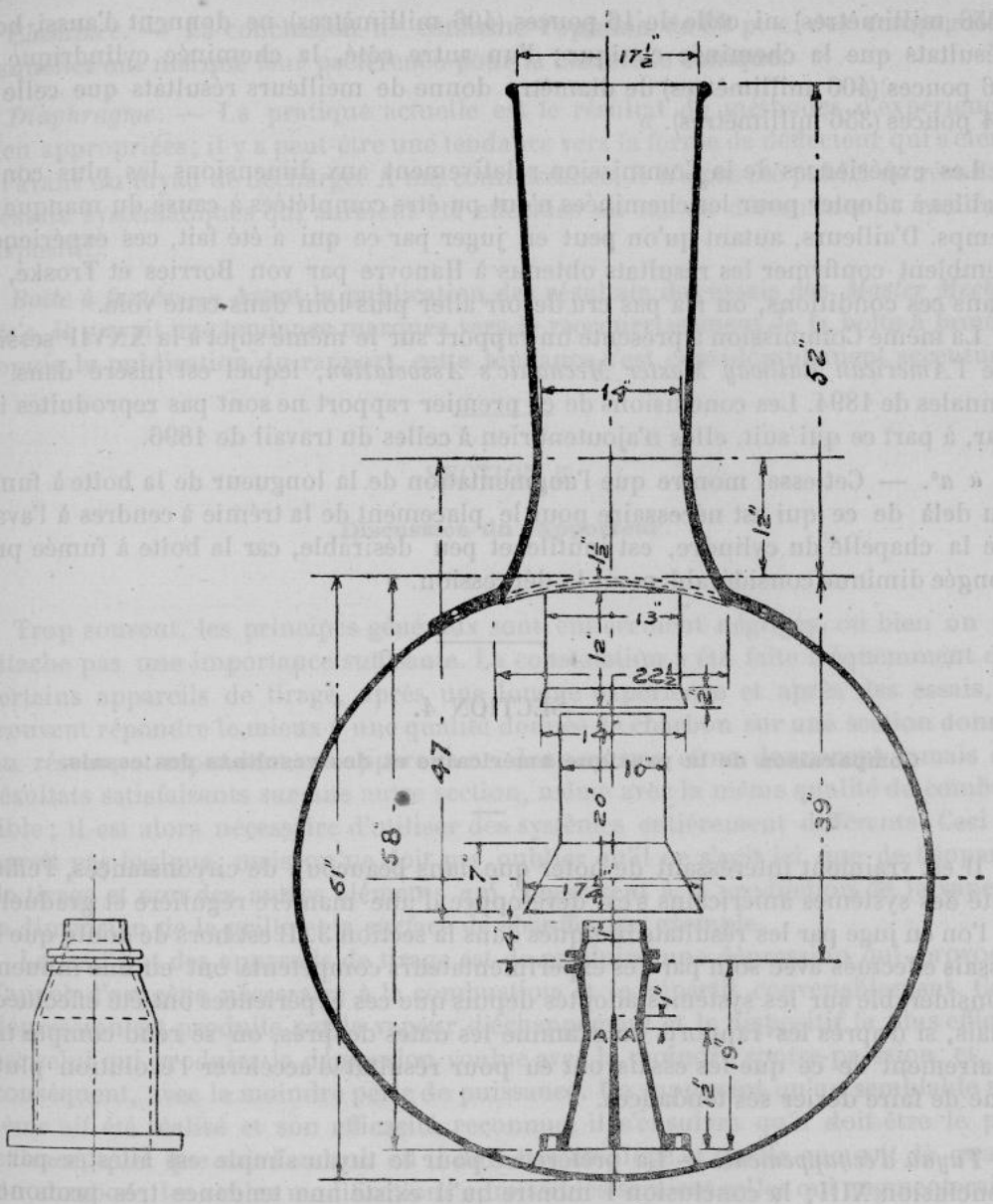


Fig. 12.

« a^5. — La cheminée conique à étranglement peut vraisemblablement être raccourcie, sans que la dépression en soit notablement affectée. Mais de combien, les essais ne le disent pas. Une cheminée cylindrique doit avoir plus de 14 pouces (356 millimètres) de diamètre; mais, ni la cheminée cylindrique de 14 pouces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(356 millimètres) ni celle de 16 pouces (406 millimètres) ne donnent d'aussi bons résultats que la cheminée conique; d'un autre côté, la cheminée cylindrique de 16 pouces (406 millimètres) de diamètre donne de meilleurs résultats que celle de 14 pouces (356 millimètres). »

Les expériences de la Commission relativement aux dimensions les plus convenables à adopter pour les cheminées n'ont pu être complétées à cause du manque de temps. D'ailleurs, autant qu'on peut en juger par ce qui a été fait, ces expériences semblent confirmer les résultats obtenus à Hanovre par von Borries et Troske, et, dans ces conditions, on n'a pas cru devoir aller plus loin dans cette voie.

La même Commission a présenté un rapport sur le même sujet à la XXVIIe session de l'*American Railway Master Mechanic's Association*, lequel est inséré dans les annales de 1894. Les conclusions de ce premier rapport ne sont pas reproduites ici, car, à part ce qui suit, elles n'ajoutent rien à celles du travail de 1896.

« a^6. — Cet essai montre que l'augmentation de la longueur de la boîte à fumée au delà de ce qui est nécessaire pour le placement de la trémie à cendres à l'avant de la chapelle du cylindre, est inutile et peu désirable, car la boîte à fumée prolongée diminue considérablement la dépression. »

SECTION 4.

Comparaison de la pratique américaine et des résultats des essais.

Il est vraiment intéressant de noter que dans beaucoup de circonstances, l'efficacité des systèmes américains s'est développée d'une manière régulière et graduelle, si l'on en juge par les résultats indiqués dans la section 3. Il est hors de doute que les essais effectués avec soin par des expérimentateurs compétents ont eu une influence considérable sur les systèmes adoptés depuis que ces expériences ont été effectuées; mais, si d'après les rapports on examine les dates de près, on se rend compte très clairement de ce que les essais ont eu pour résultat d'accélérer l'évolution plutôt que de faire dévier ses tendances.

Tuyau d'échappement. — La préférence pour le tuyau simple est attestée par la conclusion XIII; la conclusion I montre qu'il existe une tendance très prononcée vers le raccourcissement de cette pièce.

Tuyère d'échappement. — La conclusion VI montre que la forme employée comme type par 60 p. c. des lignes qui ont répondu à la circulaire est la plus efficace. L'opposition générale au placement d'une entretoise dans la tuyère est prouvée par la conclusion X.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cheminée. — La conclusion a^5 confirme l'opinion de 80 p. c. des compagnies, lesquelles ont marqué leur préférence pour la cheminée conique.

Diaphragme. — La pratique actuelle est le résultat de méthodes d'expériences bien appropriées; il y a peut-être une tendance vers la forme de déflecteur qui s'étend à l'avant du tuyau de décharge. A ma connaissance, il n'a pas été publié de résultats d'essais systématiques qui auraient été effectués en vue de déterminer le meilleur dispositif.

Boîte à fumée. — Avant la publication des résultats des essais des *Master Mechanic's*, il y avait une tendance marquée vers le raccourcissement de la boîte à fumée; depuis la publication du rapport, cette tendance s'est considérablement accentuée.

SECTION 5.

Discussion du rapporteur.

Trop souvent, les principes généraux sont entièrement négligés, ou bien on n'y attache pas une importance suffisante. La constatation a été faite fréquemment que certains appareils de tirage, après une longue expérience et après des essais, se trouvent répondre le mieux à une qualité donnée de charbon sur une section donnée du réseau, et cependant ces appareils ne donnent pas et ne donneront jamais des résultats satisfaisants sur une autre section, même avec la même qualité de combustible; il est alors nécessaire d'utiliser des systèmes entièrement différents. Ceci ne paraît pas logique, mais on ne doit pas oublier qu'il ne s'agit ici que de l'appareil de tirage et non des autres éléments qui concourent à la production de la vapeur, la dimension de la grille et la surface de chauffe, par exemple.

Le seul but des appareils de tirage est de produire une dépression qui provoque l'appel d'oxygène nécessaire à la combustion et le répartit convenablement. Cette dépression est produite par la vapeur d'échappement et le dispositif le plus efficace est celui qui produira la dépression voulue avec la moindre contre-pression, et, par conséquent, avec la moindre perte de puissance. En supposant qu'un semblable système ait été réalisé et son efficacité reconnue, il s'ensuivra qu'il doit être le plus efficace, quel que soit l'endroit où il doit être employé et quelle que soit la qualité du charbon; les seules modifications admissibles seraient celles qui augmenteraient ou diminueraient la dépression de façon à faire face aux nécessités de chaque cas, en augmentant ou diminuant la contre-pression. Rien dans les déclarations des compagnies ne montre que cette disposition la plus efficace ait été proposée; mais on peut admettre que cela rentre dans les choses possibles, et si un semblable système était proposé, il serait universellement reconnu comme le plus efficace. Par exemple, il a été démontré que le jet de vapeur est d'autant plus efficace que la boîte à fumée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est plus courte; ceci est universellement vrai, quelles que puissent être la qualité du combustible et les autres conditions. D'un autre côté, il a été reconnu que la tuyère fournit le moyen le plus efficace de régler la contre-pression; or, tout système dans lequel on néglige de donner à la tuyère une section moindre qu'en tout autre endroit du tuyau de décharge doit être défectueux, n'importe où il est employé. Il est admis que des considérations autres que celles relatives à la plus grande efficacité, la facilité et l'économie de la fabrication par exemple, doivent souvent entrer en ligne de compte pour déterminer le choix d'un système.

On croit et on affirme généralement que le montage définitif des différentes parties de l'appareil de tirage, de l'éjecteur par exemple, ne peut être fait d'après des expériences de laboratoire, mais seulement d'après des essais effectués avec la locomotive en service, et que l'efficacité des systèmes de cheminées peut seulement être démontrée de la même façon. En résumé, les résultats obtenus par les essais de laboratoire servent seulement à indiquer les dispositions les plus efficaces ou le meilleur système de certaines pièces. Mais, quand les essais de laboratoire se pratiquent comme à l'université de Purdue et aux chemins de fer de « Chicago & North-Western », où la locomotive peut être essayée dans les conditions du service, nous pouvons discuter d'après des arguments certains la justesse de cette opinion. Aucune objection de ce genre ne serait certainement faite en ce qui concerne la distribution de vapeur la plus efficace. Pourquoi les investigations sur la production et la distribution du tirage seraient-elles basées sur un principe différent?

Le système de tirage le plus efficace est celui qui produit une dépression donnée et la distribue convenablement, avec la moindre contre-pression. Il n'est pas raisonnable de croire que les méthodes et appareils qui démontrent que le jet de vapeur est d'autant plus efficace que la boîte à fumée est plus courte ne pourraient être employés avec succès, pour indiquer les meilleures conditions de montage de l'éjecteur, la meilleure forme et les meilleures proportions de la cheminée, et enfin, la disposition de déflecteur la plus convenable pour assurer la distribution du tirage tel qu'on désire l'avoir. Il est certain que cela demandera un temps considérable et des expériences soigneusement faites, mais les résultats ainsi obtenus auront l'avantage incontestable d'être affranchis de tout préjugé personnel et auront une base beaucoup plus solide que s'ils sont étayés sur une simple opinion.

Fréquemment des systèmes très efficaces sont condamnés, parce que les fonctionnaires chargés de les essayer ne supposent pas que les machinistes peuvent être insuffisants ou médiocrement expérimentés; mais concluent comme une chose toute naturelle, que les défauts constatés sont inhérents à l'appareil de tirage. Un exemple fera mieux comprendre ce point : un dispositif qui assurait un tirage uniforme, avait pleinement réussi sur une certaine section. Par une augmentation du diamètre de la tuyère, on avait accru la production de vapeur, la puissance et le rendement de la locomotive; mais il était nécessaire de maintenir sur la grille un feu relativement peu épais et uniformément distribué, ce qui exigeait un travail soigneux de la part, à la fois, du chauffeur et du machiniste. Dans la suite, ces locomotives furent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

envoyées sur une section où, par suite d'une disposition différente de l'appareil de tirage, l'appel d'air se faisait principalement sur la moitié d'avant de la grille, ce qui nécessitait un feu épais en cet endroit et, par suite, moins de soin de la part du personnel. Comme conséquence naturelle, ces machines qui étaient classées parmi les meilleures sur une partie du réseau, furent déclarées défectueuses sur une autre, uniquement parce que le personnel se trouvait en défaut. Toutefois, à cause de l'expérience faite sur la première section, ces locomotives devinrent favorites sur l'autre; mais si elles y avaient été envoyées directement de l'atelier du constructeur, il est plus que probable que le système de tirage aurait été définitivement condamné. Une période de modifications aurait suivi, et finalement quand les machinistes et les chauffeurs auraient été habitués aux nouvelles conditions et que, par conséquent, la production de vapeur serait devenue normale, tout le mérite de l'amélioration constatée aurait été attribué aux modifications apportées au système.

SECTION 6.

Conclusions du rapporteur.

—

a) Moyens adoptés pour augmenter la production de vapeur en augmentant le tirage.

Ce sujet peut être scindé en deux parties : la production de la dépression et la distribution du tirage.

Production de la dépression.

1. — Les moyens les plus efficaces de produire la dépression sont évidemment ceux qui atteignent ce but, tout en donnant lieu à la moindre contre-pression dans les cylindres.

2. — Ces moyens peuvent être le mieux déterminés par des essais de laboratoire, en employant une locomotive réalisant les conditions du service régulier.

3. — La base rationnelle pour déterminer l'efficacité est celle qui compare la cause, contre-pression, et les résultats, dépression; les résultats déduits de la dépression seule sont de valeur douteuse.

4. — Les passages de vapeur du cylindre doivent avoir de grandes dimensions.

5. — Les passages du tuyau de décharge doivent se contracter graduellement de la partie inférieure à la tuyère, sans courbes trop prononcées.

6. — La section à l'ouverture de la tuyère doit être moindre qu'en tout autre endroit du tuyau de décharge entre la tuyère et le cylindre.

7. — Le tuyau de décharge doit être simple et pourvu d'une cloison qui, si elle excède 13 pouces (330 millimètres), ne peut dépasser cette dimension que légèrement. Sa hauteur doit être aussi petite que possible, mais sans descendre au-dessous de 19 pouces (483 millimètres). Il ne doit pas présenter de courbes trop prononcées et il doit posséder un grillage convenablement disposé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8. — Le passage de vapeur dans la tuyère doit avoir la forme représentée à la figure 5*b*.

9. — Les entretoises dans la tuyère diminuent l'efficacité du jet de vapeur.

10. — La boîte à fumée doit être aussi courte que possible.

11. — Avec les boîtes à fumée de plus de 60 pouces (1.524 mètre) de diamètre, l'éjecteur double, disposé comme le montre la figure 12, augmente l'efficacité; mais un montage très soigneux est nécessaire pour empêcher l'éjecteur de se gauchir ou de se déplacer; dans ce dernier cas, l'éjecteur est plutôt nuisible qu'utile.

12. — Avec un éjecteur convenablement disposé, il est vraisemblable que l'efficacité est d'autant plus grande que la distance de l'orifice de la tuyère à la base ou à l'étranglement de la cheminée est plus considérable.

13. — La cheminée cylindrique et la cheminée conique sont plus efficaces que la cheminée en losange.

14. — Il est probable que la cheminée conique est un peu plus efficace que la cheminée cylindrique, quand les proportions de chacune d'elles sont les meilleures pour un cas donné, parce que l'entrée et la sortie des gaz se font plus facilement dans la cheminée conique.

15. — Des règles exactes, en ce qui concerne les proportions de la meilleure cheminée, sont encore à trouver (*voir* appendice).

16. — La théorie de la tuyère à échappement variable est admirable; mais les résultats des expériences ont démontré que les systèmes essayés deviennent rapidement inefficaces. Pour conserver son efficacité, d'une manière durable, le système doit être automatique et en dehors du contrôle du machiniste, en connexion avec l'appareil de changement de marche par exemple.

17. — Dans la mesure du possible, le grillage doit être disposé de façon à être traversé normalement par les courants gazeux, de manière à offrir la moindre résistance possible.

18. — La section des ouvertures du grillage doit, si possible, être plus grande que la section totale des tubes.

Distribution du tirage.

A ma connaissance, il n'a été publié aucun résultat relativement aux dispositions les plus efficaces de déflecteurs et d'éjecteurs; aussi, les conclusions concernant ces pièces sont-elles plutôt questions d'opinion et d'expérience personnelles.

19. — Avec la cheminée en losange, la distribution du tirage est mieux accomplie par l'emploi d'un éjecteur.

20. — Avec la boîte à fumée prolongée et la cheminée conique ou cylindrique, la régularisation et la distribution du tirage dépendent presque entièrement du déflecteur.

21. — Il semble très probable qu'avec la boîte à fumée prolongée, il peut se révéler un système qui permettra d'abandonner le déflecteur et de faire dépendre la distri-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bution du tirage uniquement de l'éjecteur; un tel système paraît devoir être plus efficace que ceux qui exigent l'emploi de déflecteurs.

b) Dispositions ayant pour but d'éviter les incendies causés par les escarbilles passant par la cheminée.

22. — La boîte à fumée prolongée est d'un usage peu pratique comme réceptacle à escarbilles.

23. — Les déflecteurs et les grillages doivent être disposés de façon à éteindre les escarbilles, à les réduire en poudre et à les expulser ensuite en plein air.

24. — Une visite méthodique des pièces de la boîte à fumée et spécialement du grillage doit être faite par des hommes compétents, à intervalles réguliers; les dates des visites et les constatations faites doivent être consignées dans un registre.

25. — Il convient de recourir à l'emploi des moyens préventifs des incendies tels qu'ils sont indiqués dans le corps du rapport.

c) Utilisation de la chaleur de la vapeur de décharge.

26. — La pratique américaine n'a pas encore révélé de système efficace en vue d'utiliser la vapeur de décharge pour chauffer l'eau du tender; cependant deux compagnies font actuellement une tentative dans cette voie.

27. — La vapeur de décharge de la pompe à air a été utilisée avec succès par nombre de lignes pour chauffer l'eau du tender.

28. — La plupart des locomotives américaines étant munies d'injecteurs au lieu de pompes, et les injecteurs ne fonctionnant pas lorsque la température de l'eau d'alimentation est supérieure à 120° Fahr. (48.8° C.), il semble probable que l'on ne pourra retirer le bénéfice maximum du chauffage de l'eau du tender, par la décharge de la pompe à air, que quand un système automatique permettra de contrôler la température de l'eau d'alimentation. Des expériences ont été entreprises dans ce but.

APPENDICE.

Les essais de von Borries et Troske à Hanovre [1].

Malheureusement, le rapporteur a obtenu une copie originale du rapport des essais de Hanovre, trop tard pour pouvoir faire parvenir, à la date prescrite, son travail complet au Comité exécutif. Aussi, afin de pouvoir consulter le rapport original, avant d'oser le discuter, a-t-il obtenu le privilège de présenter cette partie du travail sous forme d'appen-

[1] Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer* de 1897, p. 897.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dice. Il le regrette sincèrement, car, dans un but de clarté et de continuité, les matières contenues dans cet appendice devraient naturellement se trouver dans le corps du rapport.

La discussion ci-après, qui est loin d'être complète, est entreprise avec grande hésitation, car il s'agit d'expériences très laborieuses faites par des hommes éminents; d'un autre côté, il y a dans leur rapport un manque complet de détails quant aux méthodes et aux appareils dont ils se sont servis. On comprendra que si quelque inexactitude se rencontre dans l'exposé suivant, relatif aux essais de Hanovre, elle devra être attribuée au défaut de renseignements suffisants, bien que le rapporteur ait puisé dans le rapport original, tel qu'il a été publié, les renseignements concernant les conclusions, méthodes et appareils.

Les détails suivants se rapportent aux méthodes suivies et aux appareils utilisés dans les essais de Hanovre ainsi que dans ceux des *Master Mechanic's*, et ils montrent les contrastes existant entre les conclusions qui ont été déduites des expériences.

Autant qu'on puisse en juger par le rapport donnant les résultats des essais de Hanovre, les conclusions sont uniquement basées sur la dépression obtenue, en se plaçant dans l'hypothèse que la pression dans le tuyau de décharge, c'est-à-dire la contre-pression, ainsi que la pression dans la chaudière ont été les mêmes pour tous les essais et sont restées constantes pendant toute la durée des expériences, ou du moins que les variations de la pression ont été relativement peu importantes.

Il semble résulter de la discussion suivante que cette hypothèse n'est pas exacte, ou tout au moins qu'elle a conduit à deux conclusions inexactes.

Forme des tuyères d'échappement.

Dans la section 3, littéra *c*, du rapport, l'attention a été attirée sur ce fait que les conclusions relatives à la forme la plus efficace de tuyère auraient été inexactes, si elles avaient été basées sur la dépression seule.

Dans un but de compréhension, l'argument est reproduit dans cet appendice, et les conclusions des essais de Hanovre sont comparées à celles des *Master Mechanic's*.

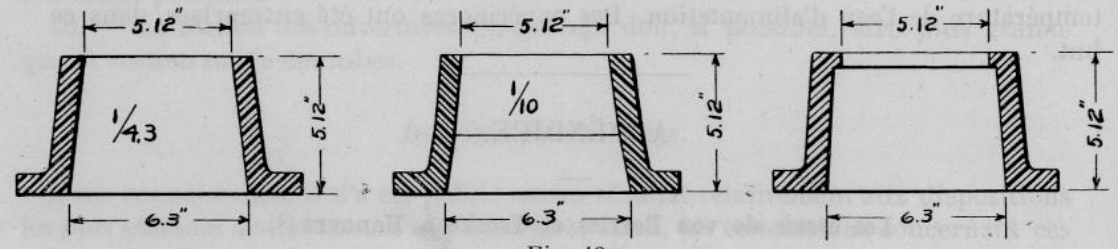


Fig. 13.

La figure 13 représente les tuyères essayées à Hanovre. Il est à remarquer que la conclusion déduite des essais est basée simplement sur la dépression produite : « Les expériences « faites avec des tuyères de même orifice, mais de forme et d'inclinaisons différentes, n'ont « pas donné lieu de croire que l'inclinaison de la génératrice du cône de la tuyère ou la « forme de son orifice exerce une influence digne d'attention sur l'action de l'échappe- « ment. » (*Die mit Blasröhren gleicher Mündungsweite, jedoch verschiedener Neigung und Form angestellten Versuche ergeben keinen Anhalt, das die Neigung der Kegel-*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

seite des Blasrohres oder eine hakenförmige Mundung einer nennenswerthen Einfluss auf die Zugwirkung ausübt.)

Aucun chiffre concernant la dépression produite ou la pression dans le tuyau de décharge n'accompagne ces conclusions.

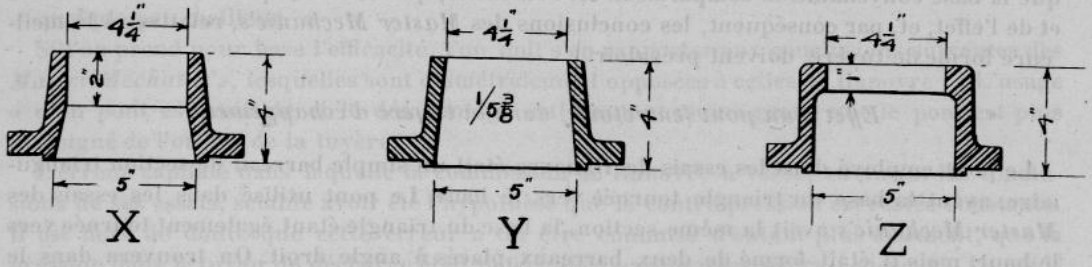


Fig. 14.

La figure 14 représente les tuyères d'échappement essayées au « North-Western ». Les conclusions suivantes ont été déduites des expériences. « La forme X de tuyère d'échappe- « ment a donné de meilleurs résultats, dans les essais, que les formes Y ou Z. » On lit également, dans le corps du rapport, que « la tuyère Y occupe le second rang et que la tuyère « Z possède l'efficacité la moins élevée des trois formes ».

Les chiffres dont les conclusions ont été tirées, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau A.

	Pression dans la chaudière.	Dépression en pouces d'eau.	Contre-pression.	Efficacité.
	Livres par pouce carré (kilog. par centimètre carré).	Pouces (millimètres).	Livres par pouce carré (kilog. par centimètre carré).	
Tuyère X	165 (11.60)	3.30 (82.5)	1.7 (0.12)	0.070
— Y	165 (11.60)	3.45 (87.3)	2.0 (0.14)	0.062
— Z	165 (11.60)	3.20 (81)	2.0 (0.14)	0.058

N. B. — Ainsi qu'il a été dit dans le rapport, l'efficacité a été déterminée en divisant la dépression produite par la contre-pression correspondante préalablement réduite en pouces d'eau.

Le tableau B, qui a été déduit du précédent, montre les valeurs relatives des différentes tuyères, basées sur la dépression ou sur l'efficacité; la valeur de la meilleure tuyère est représentée par 100.

Tableau B.

	Valeur basée sur la dépression.	Valeur basée sur l'efficacité.
Tuyère X	95.6	100
— Y	100.0	88.6
— Z	92.8	82.9

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on se base sur la dépression, la tuyère Y est la meilleure de celles essayées, et la différence entre sa valeur et celle de la moins bonne est de 7.2 p. c. Si l'on prend pour base l'efficacité, la meilleure forme est X et la différence entre sa valeur et celle de la tuyère Z, qui occupe le dernier rang, est de 17.1 p. c. Il résulte, à toute évidence, de ce qui précède, que la base convenable de comparaison est l'efficacité, qui tient compte à la fois de la cause et de l'effet, et, par conséquent, les conclusions des *Master Mechanic's*, relatives à la meilleure forme de tuyère, doivent prévaloir.

Effet d'un pont (entretoise) dans la tuyère d'échappement.

Le pont employé dans les essais de Hanovre était un simple barreau de section triangulaire, ayant la base du triangle tournée vers le haut. Le pont utilisé dans les essais des *Master Mechanic's* avait la même section, la base du triangle étant également tournée vers le haut, mais il était formé de deux barreaux placés à angle droit. On trouvera dans le tableau C les résultats obtenus par les *Master Mechanic's* pour le pont dont les barreaux ont une largeur de $^3/_8$ de pouce (9.5 millimètres) à la base. Le tableau donne également les résultats obtenus sans pont. La première colonne du tableau C et la deuxième du tableau D, indiquent la distance entre le sommet du pont et l'orifice de la tuyère.

Tableau C.

DISTANCE.	Pression de la chaudière.	Dépression en pouces d'eau.	Contre-pression.	Efficacité.
	Livres par pouce carré kilog. par centimètre carré).	Pouces (millimètres).	Livres par pouce carré (kilog. par centimètre carré.	
0 pouce (0 mill.) . . .	165 (11.60)	3.05 (77.3)	1.3 (0.09)	0.085
$^1/_2$ — (12.7 mill.) . .	165 (11.60)	3.00 (76)	1.0 (0.07)	0.108
1 — (25 —) . .	165 (11.60)	2.85 (72.3)	0.9 (0.06)	0.115
Sans pont	165 (11.60)	3.00 (76)	0.8 (0.056)	0.135

Le tableau D est déduit du tableau C, et permet de comparer les conclusions tirées de la dépression avec celles déduites de l'efficacité. Les chiffres relatifs à la valeur comparative des différents systèmes ont été établis en représentant par 100 les meilleurs résultats obtenus.

Tableau D.

	Distance.	Valeur basée sur la dépression.	Valeur basée sur l'efficacité.
Avec pont.	0 pouce (0 mill.)	100	63
—	$^1/_2$ — (12.7 mill.)	98	80
—	1 — (25 mill.)	93	85
Sans pont.	...	98	100

Si l'on base les conclusions sur la dépression seule, elles montrent que les systèmes comportant l'emploi d'un pont sont plus avantageux que ceux où il n'en existe pas, et que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les meilleurs résultats sont obtenus quand le sommet du pont affleure l'orifice de la tuyère. Ce sont là pratiquement les conclusions de Hanovre, ainsi qu'il résulte de l'extrait ci-après :

« De même façon, l'action du tirage d'une locomotive peut être considérablement aug-« mentée par l'application d'un pont, la position de la tuyère n'étant pas modifiée. »

En outre : « Nous voyons que le résultat obtenu avec le pont qui affleure l'orifice est « quelque peu meilleur. »

Si l'on prend pour base l'efficacité, l'on doit s'en rapporter aux conclusions suivantes des *Master Mechanic's*, lesquelles sont diamétralement opposées à celles de Hanovre : « L'usage « d'un pont est nuisible et le désavantage est d'autant moins grand que le pont est plus « éloigné de l'orifice de la tuyère. »

L'erreur capitale dans laquelle la commission de Hanovre a versé, en tirant les conclusions de ses essais, semble avoir été l'hypothèse que la contre-pression est restée constante. Il est hors de doute que cette erreur a dû être commise d'autant plus aisément, que la pression dans le tuyau de décharge était déterminée par un manomètre à mercure. Le poids spécifique de l'eau étant 13.58 fois moindre que celui du mercure, les différences relativement petites dans la contre-pression auraient moins facilement échappé aux observateurs, s'ils avaient employé un manomètre à eau au lieu d'un manomètre à mercure. En outre, si un instrument enregistreur automatique avait été utilisé à Hanovre pour vérifier les indications du manomètre à mercure, il n'est pas douteux que cet appareil aurait considérablement aidé à se rendre compte de l'erreur de l'hypothèse. Les *Master Mechanic's* ont utilisé le manomètre à eau et un enregistreur automatique pour déterminer la contre-pression.

Les indications du tableau C montrent que l'augmentation de dépression obtenue par l'emploi du pont est accompagnée d'une augmentation de contre-pression, mais que cette augmentation ne donne pas lieu à un accroissement proportionnel de dépression.

Dans les essais de Hanovre, la pression de la chaudière pouvait varier dans les limites de 67 à 75 livres (4.71 à 5.27 kilogrammes par centimètre carré), soit d'environ 12 p. c., ce qui a donné lieu, sans aucun doute, à des variations dans la contre-pression, si l'on considère, notamment, qu'un purgeur de la chambre de vapeur est resté ouvert pendant toute la durée de l'expérience.

Eu égard à ce qui précède, il paraît certain qu'il doit y avoir eu des variations dans la contre-pression, et que, par conséquent, l'hypothèse de la contre-pression constante constitue une erreur. De plus, il semble évident que les conclusions basées sur la dépression seule sont erronées.

Forme du jet de vapeur.

Les essais de Hanovre, effectués en vue de déterminer la forme et la divergence du jet de vapeur, sont de valeur contestable, pour les motifs suivants. Ces essais ont été faits sans cheminée, ce qui a dû influencer considérablement la forme et la divergence du jet, excepté jusqu'à une distance relativement faible de la tuyère.

La partie de l'appareil de Hanovre qui correspond à la partie supérieure de la boîte à fumée dans les locomotives, était beaucoup plus petite que dans aucun cas de la pratique, car elle n'avait que 2 pieds 3 $^1/_2$ pouces (699 millimètres) de diamètre et 1 pied 11 $^1/_4$ pouces (590 millimètres) de hauteur. Il paraît évident que, dans de telles conditions, la forme et la divergence du jet de vapeur n'ont pu être les mêmes qu'en service. Une considération bien plus importante encore, et qui jette le doute sur la valeur des conclusions relatives au jet de vapeur, est que les mesurages ont été faits au moyen d'une règle à main amenée en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contact avec le jet, aussi exactement que possible, dans des conditions considérées comme très défavorables à cause « du bruit presque intolérable et de la pluie de vapeur condensée ».

Les conditions dans lesquelles la commission des *Master Mechanic's* a effectué ses expériences, ainsi que les appareils qu'elle a employés, forment un contraste complet avec ce qui a été fait à Hanovre. En effet, les expériences ont été faites avec une locomotive fonctionnant dans les conditions de marche, avec une boîte à fumée et une cheminée de dimensions normales; en outre, la forme et la divergence de l'échappement ont été déterminées au moyen d'une série de manomètres qui indiquaient exactement le contour du jet de vapeur, ainsi que la chose a été décrite dans le corps du rapport.

Il y a donc toute raison d'admettre que les conclusions de la commission des *Master Mechanic's* doivent prévaloir.

La conclusion d'après laquelle, avec une distance convenable de la tuyère, le jet de vapeur remplit la cheminée à l'endroit de son plus petit diamètre, a été déduite des essais de Hanovre, ainsi qu'il résulte du passage suivant : « Ceci est probablement dû à ce fait que « la cheminée est remplie par le courant de vapeur à sa plus petite section. »

La conclusion des *Master Mechanic's* était : « Le jet de vapeur, dans les circonstances « ordinaires, ne doit remplir la cheminée que vers le sommet », tandis que les essais de la commission de « Chicago, Burlington & Quincy » ont démontré que le jet de vapeur ne doit toucher la cheminée en aucun point, pour les grandes vitesses des trains de voyageurs, comme le montre la figure 10 du rapport.

Les conclusions des commissions des *Master Mechanic's* et de « Chicago, Burlington & Quincy » semblent logiques, car, abstraction faite des méthodes et appareils, on peut difficilement concevoir de quelle façon le jet de vapeur et les produits de la combustion pourraient passer en même temps par la cheminée, si celle-ci était remplie complètement par le jet à son plus petit diamètre, à moins que la vapeur et les produits de la combustion ne fussent complètement mélangés avant d'avoir atteint l'étranglement, ce qui n'est guère possible.

Essais des cheminées effectués à Hanovre.

Les appareils employés à Hanovre étaient primitivement disposés de façon à pouvoir faire varier la distance de la tuyère d'échappement à la base de la cheminée, en élevant ou en abaissant la tuyère; mais ce système a été abandonné, parce que l'on a reconnu, qu'avec la cheminée enlevée, l'on obtenait une dépression de $^1/_4$ de pouce (6.3 millimètres) d'eau, lorsque la tuyère était placée dans sa position la plus basse. Pour ce motif, les essais ont été effectués en faisant varier, au moyen de viroles, la distance entre le sommet de la chambre contenant la tuyère et la base de la cheminée. Ces viroles, au nombre de dix, avaient un diamètre de 17.72 pouces (450 millimètres) et une hauteur variant de 1.57 pouce à 30 pouces (39.3 à 762 millimètres). A ce propos, il est utile de noter que le diamètre des cheminées cylindriques variait de 17.72 à 13.78 pouces (450 à 349 millimètres); celui des cheminées coniques, au milieu, variait de 15.75 à 12.80 pouces (400 à 325 millimètres), et que le plus petit diamètre des cheminées, en forme d'entonnoir, variait de 15.75 à 13.78 pouces (400 à 349 millimètres).

Si des conclusions, déduites d'essais effectués avec une chambre à air de 27 $^1/_2$ pouces (699 millimètres) de diamètre et de 23 $^1/_4$ pouces (590 millimètres) de hauteur, où l'on a obtenu une dépression de $^1/_4$ de pouce (6.3 millimètres), sont peu dignes de confiance, n'y

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a-t-il pas toute raison de croire que l'addition de viroles ayant les dimensions indiquées plus haut, placées entre la chambre à air et la cheminée, dont elles deviennent en réalité partie intégrante, conduira à des conclusions bien moins dignes de foi encore ?

Les autres conditions restant les mêmes, il est évident que la dépression produite sera d'autant plus grande que l'espace dans lequel agit l'échappement est plus petit. La capacité de la chambre à air en négligeant le tuyau d'échappement, était de 13,810 pouces cubes (226.293 décimètres cubes); celle d'une virole ayant 17 3/4 pouces (451 millimètres) de diamètre et 1.57 pouce (39.3 millimètres) de hauteur est de 388 pouces cubes (6.358 décimètres cubes), tandis que la capacité de la virole ayant 17 3/4 pouces (451 millimètres) de diamètre et 30 pouces (762 millimètres) de hauteur est de 7,424 pouces cubes (121.651 décimètres cubes).

Il paraît donc évident que l'erreur introduite par le placement de viroles entre la cheminée et la chambre à air sera plus grande que celle à laquelle on arrive avec la chambre à air seule, surtout si on veut bien se rappeler que le diamètre des viroles était le même que celui de la cheminée la plus large et seulement de 5 pouces (127 millimètres) plus grand que celui de la cheminée la plus étroite.

Dans l'appareil de Hanovre, l'emplacement du tuyau relié au manomètre de dépression avait été choisi d'une façon malheureuse, savoir, à l'intérieur de la cheminée et à une distance d'environ 6 pouces (152 millimètres) de la base de celle-ci. Les résultats obtenus à « Chicago, Burlington & Quincy », avec une cheminée conique, ont démontré que la dépression à l'étranglement de la cheminée est plus grande qu'en aucun autre point de la cheminée ou de la boîte à fumée. Les essais de la commission des *Masters Mechanic's* ont démontré qu'avec une cheminée cylindrique la dépression est plus grande, en un point situé à 13 pouces (330 millimètres) au-dessus de la base de la cheminée, qu'en aucun autre point plus élevé, et égale à une fois et demie la dépression qué l'on observe dans la boîte à fumée, en un point situé sur l'axe de celle-ci et à peu près à égale distance de la tuyère et de la paroi.

D'après ces faits, il y a toute raison de supposer que, dans les essais de Hanovre, les résultats obtenus ont été influencés d'une façon excessive par la dépression dans la cheminée et qu'ils représentent à peine la dépression moyenne dans la boîte à fumée, laquelle, au lieu de la dépression dans la cheminée, détermine, selon toute probabilité, la dépression dans le foyer.

Par opposition à cette conclusion, et bien que les résultats des essais de Hanovre puissent ne pas représenter exactement la dépression moyenne dans la boîte à fumée, il semblerait naturel de prétendre que quelles que soient les conditions de la cheminée qui influençaient les résultats obtenus, elles auraient dû influencer de la même façon la dépression moyenne dans la boîte à fumée. Il deviendra évident que cette affirmation n'est pas bien fondée, si nous supposons que le manomètre était disposé de façon à relever les dépressions à l'endroit du plus petit diamètre des cheminées essayées, là où se trouve, selon toute probabilité, la plus grande dépression et où des changements relativement faibles dans le diamètre auraient donné lieu à des variations bien marquées dans la dépression enregistrée, sans produire des variations correspondantes dans la dépression de la boîte à fumée.

Conclusions.

On ne doit pas se hâter de déduire de ce qui précède, que les conclusions tirées des essais

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de Hanovre sont de peu de valeur ; mais l'exactitude des conclusions ci-après semble pouvoir être garantie :

« 1° Là où les conclusions de la commission des *Master Mechanic's* et celles tirées des essais de Hanovre ne concordent pas, les conclusions des *Master Mechanic's* doivent prévaloir ;

« 2° Il existe de bonnes raisons de douter de l'exactitude des conclusions de Hanovre quant aux meilleures proportions et à la meilleure forme des cheminées, quoique, selon toute probabilité, ces conclusions aient une plus grande valeur que n'importe quelle autre relative à cet objet. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621.133.5]

EXPOSÉ N° 3

(Suède, Norvège, Danemark et Russie)

Par B. O. EKMAN,

DIRECTEUR ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT SUÉDOIS.

Nous avons reçu très peu de réponses à notre questionnaire. C'est un fait que nous regrettons, car l'autorité des renseignements que nous tirons de notre enquête est diminuée d'autant. Voici, d'ailleurs, les noms des administrations ayant envoyé des réponses :

Suède	Chemins de fer de l'État suédois.			
Norvège.	—	—	—	norvégien Norsk-Hovedjernbane.
Danemark	—	—	—	danois, Lolland-Falstereke-Jernbane.
Finlande	—	—	—	
Russie	Chemin de fer de Moscou à Brest.			
—	—	—	de Kharkov à Nicolaïev.	
—	—	—	militaire transcaspien.	
—	—	—	de Moscou à Koursk et Nijni-Novgorod.	
—	—	—	du Vladicaucase.	

La question posée se divise en trois parties, qu'il convient d'étudier séparément. C'est la division adoptée par M. Édouard Sauvage, dans son exposé de la même question, publié dans le *Bulletin* de janvier 1900; nous nous permettrons de la reprendre pour notre compte.

I. — Dispositions pour augmenter la vaporisation en augmentant le tirage.

Aucune disposition nouvelle ne paraît avoir été introduite dans ces dernières années, mais des efforts sérieux ont été tentés en vue de déterminer les dimensions qui conviennent le mieux pour les appareils existants.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette matière peut se subdiviser en plusieurs parties :

1° *Comparaison de l'échappement fixe et de l'échappement variable.*

Les ingénieurs de chemins de fer paraissent être assez peu d'accord sur la valeur de l'échappement variable. Nous reproduisons ci-après, d'après les réponses reçues, quelques-unes des opinions formulées à ce sujet :

Les *chemins de fer de l'État danois* sont satisfaits de l'échappement fixe et ont abandonné l'échappement variable, il y a des années.

Le *chemin de fer de Moscou-Brest* estime très difficile de décider quel est celui des deux systèmes qui offre le plus d'avantages, en raison des nombreuses difficultés auxquelles on se heurte en effectuant des essais de ce genre. Il ne faut pas seulement faire la part d'un grand nombre de circonstances diverses, telles que les conditions atmosphériques et autres, mais encore les résultats obtenus dans tel cas ne peuvent pas être appliqués avec certitude à tel autre, du moment que l'une quelconque des conditions vient à se modifier. En conséquence, pour savoir s'il y a lieu de préférer l'échappement fixe ou l'échappement variable, il faudra expérimenter les deux systèmes sur chaque machine et dans des conditions variables.

Le *chemin de fer de Kharkov-Nicolaïev* emploie exclusivement l'échappement variable.

Le *chemin de fer militaire transcaspien* dit :

Nous munissons le haut de la colonne d'échappement d'un cône ordinaire, à section variable. D'après nous, l'avantage de l'échappement variable consiste dans la possibilité qu'il offre de forcer le tirage et d'augmenter, par ce moyen, la vaporisation : c'est un avantage précieux lorsqu'il s'agit de gravir une longue rampe dans de mauvaises conditions atmosphériques.

Le *chemin de fer de Moscou à Koursk et à Nijni-Novgorod* exprime l'opinion suivante :

Les deux systèmes d'échappement, fixe et variable, sont appliqués l'un et l'autre sur les machines de notre réseau. D'une façon générale et en principe, il faut admettre que l'échappement variable, permettant de modérer le tirage et, par suite, la vaporisation, suivant les besoins de la marche, est supérieur à l'échappement fixe; mais dans la pratique, tout dépend de la manière dont le mécanicien fait usage de cette facilité : si le mécanicien en abuse en serrant l'échappement à l'excès ou en s'en servant de toute autre manière préjudiciable à la chaudière, il est préférable d'employer un échappement fixe, en déterminant la section et la position de la tuyère de manière à obtenir les meilleurs résultats donnés par la pratique moderne.

Le *chemin de fer du Vladicaucase* préfère l'échappement fixe, pour des raisons identiques à celles qui viennent d'être indiquées.

Sur les chemins de fer suédois et norvégiens, on n'a pas encore essayé l'échappement variable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° *Section de l'orifice d'écoulement et forme de la tuyère.*

Les réponses que nous avons reçues ne parlent que de types anciens et bien connus d'orifices et de tuyères. En Suède, en Norvège, au Danemark et en Finlande, on emploie généralement la tuyère unique, à section circulaire, et la colonne d'échappement du type usuel. La seule exception se rencontre sur les Norsk Hovedjernbane, qui font usage du système à colonne et tuyère d'échappement séparées pour chaque cylindre, comme l'indique la figure 10.

Sur les locomotives russes, les dispositifs employés paraissent différer quelque peu. Le chemin de fer de Moscou-Brest se sert « du système américain, du système Adams, et de la tuyère d'échappement à section variable ». Le chemin de fer militaire transcaspien emploie « le cône ordinaire, avec section d'ouverture variable ». Enfin, le chemin de fer de Moscou à Koursk et à Nijni-Novgorod fait usage « de l'échappement variable ordinaire (système Polonceau), du système Adams à orifice d'écoulement fixe et, en outre, d'un dispositif spécial à double ou quadruple tuyère ». Ce dispositif, représenté sur la figure 15, comprend une colonne d'échappement unique ordinaire, se terminant en haut par une tuyère à quatre orifices circulaires, disposés symétriquement autour de l'axe de la cheminée. Les orifices d'échappement sont donc fixes, mais le haut de la tuyère peut être facilement retiré et remplacé par un autre à ouvertures plus grandes ou plus petites, selon les besoins du service. On est extrêmement satisfait de cet appareil. De même que l'Etat suédois, ce chemin de fer a essayé, avec de bons résultats, d'améliorer le tirage par le moyen bien connu d'une traverse en forme de coin placée dans l'orifice d'échappement.

Quant au souffleur, plusieurs chemins de fer répondent que le souffleur annulaire donne d'excellents résultats. Le Vladicaucase dit :

> Toutes nos locomotives sont munies de souffleurs annulaires, dont l'action est très énergique et qui peuvent donc, au besoin, servir à augmenter sensiblement la vaporisation.

3° *Section de la cheminée et position de la tuyère d'échappement.*

La tendance paraît être d'employer la cheminée conique, avec une tuyère montant jusqu'aux environs du niveau de la rangée supérieure des tubes à fumée, quelquefois plus haut encore.

Les chemins de fer de l'État norvégien ont modifié plusieurs fois la disposition de la tuyère et la forme de la cheminée (*voir* les dessins 1 à 8). La tuyère basse (fig. 2 et 3) a été trouvée défectueuse et nécessite un tirage exceptionnellement intense.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

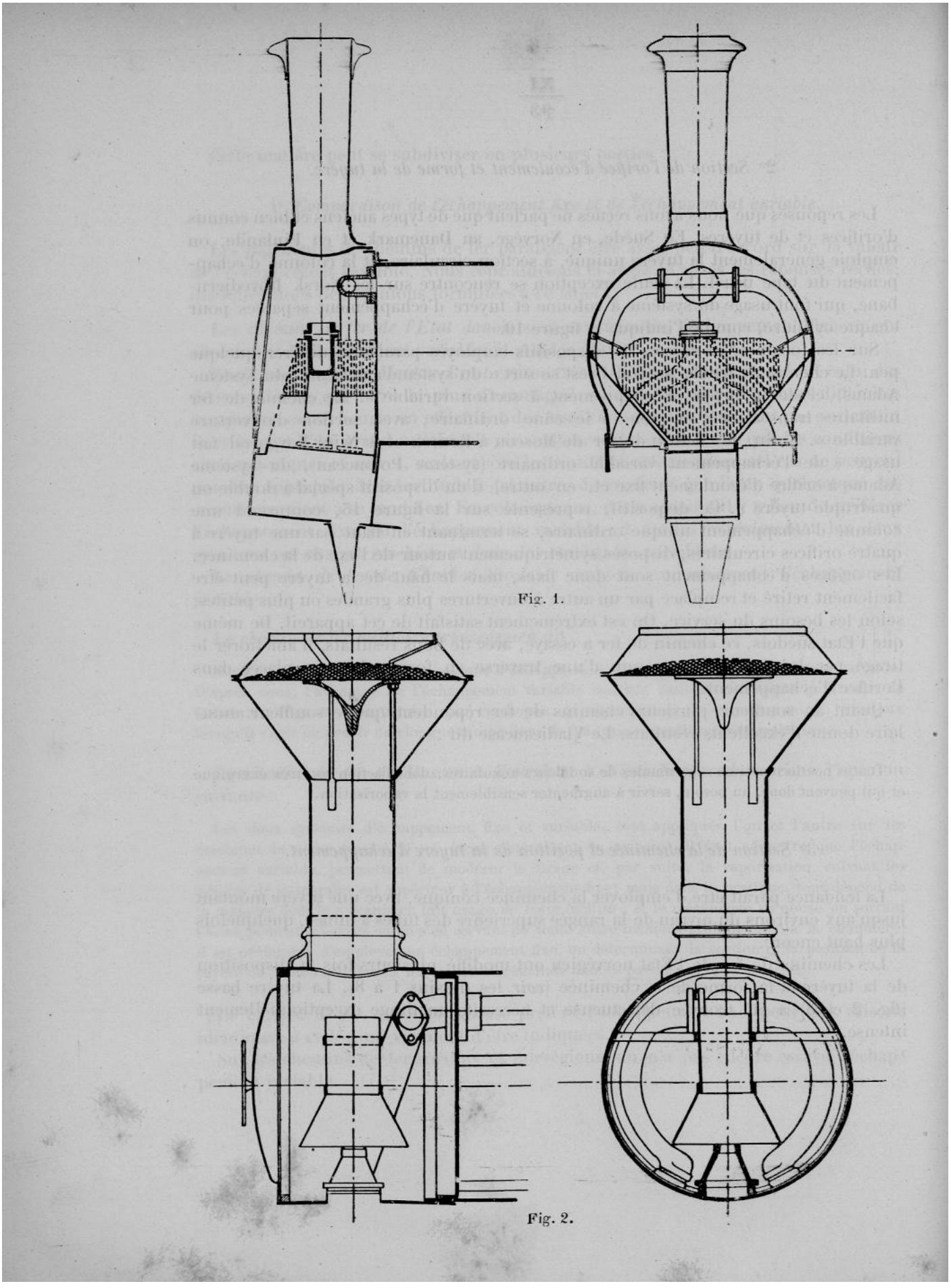


Fig. 1.

Fig. 2.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

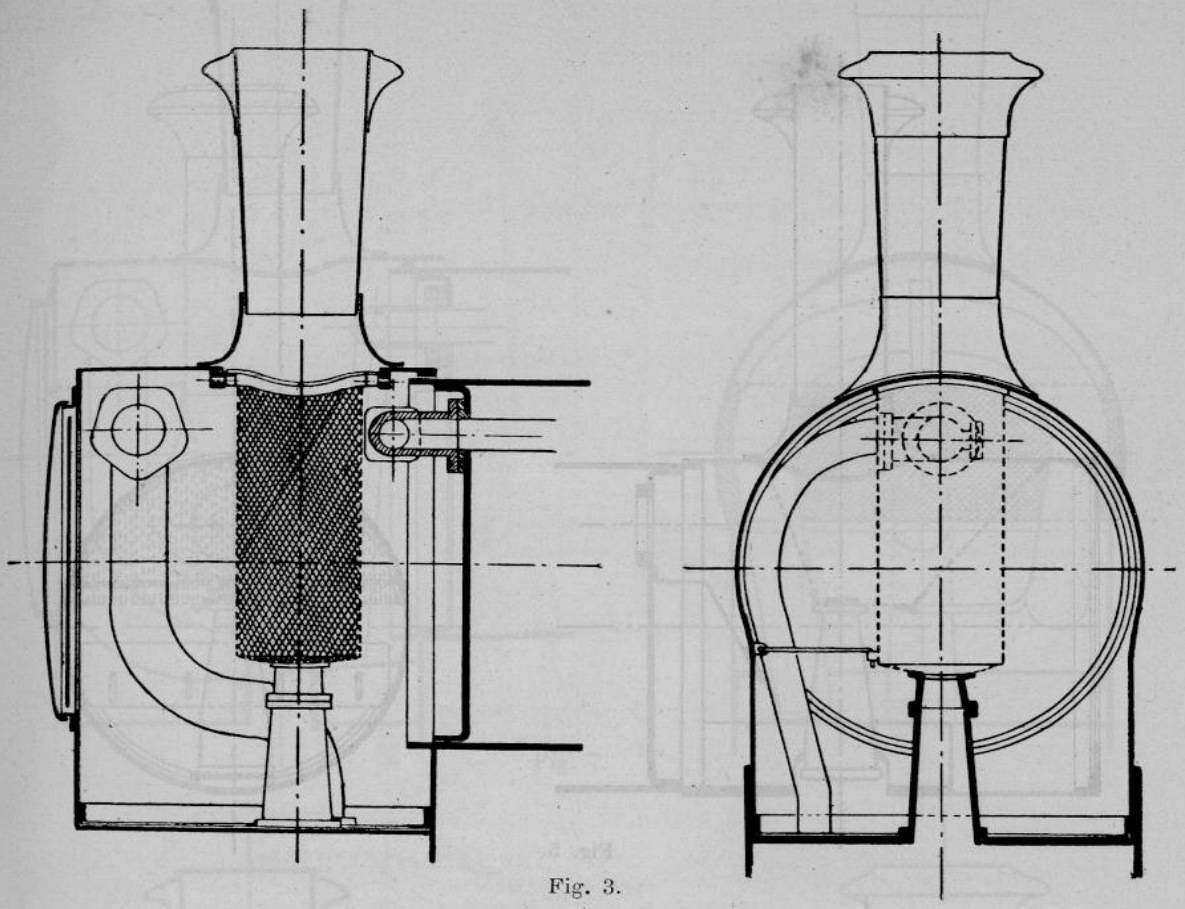


Fig. 3.

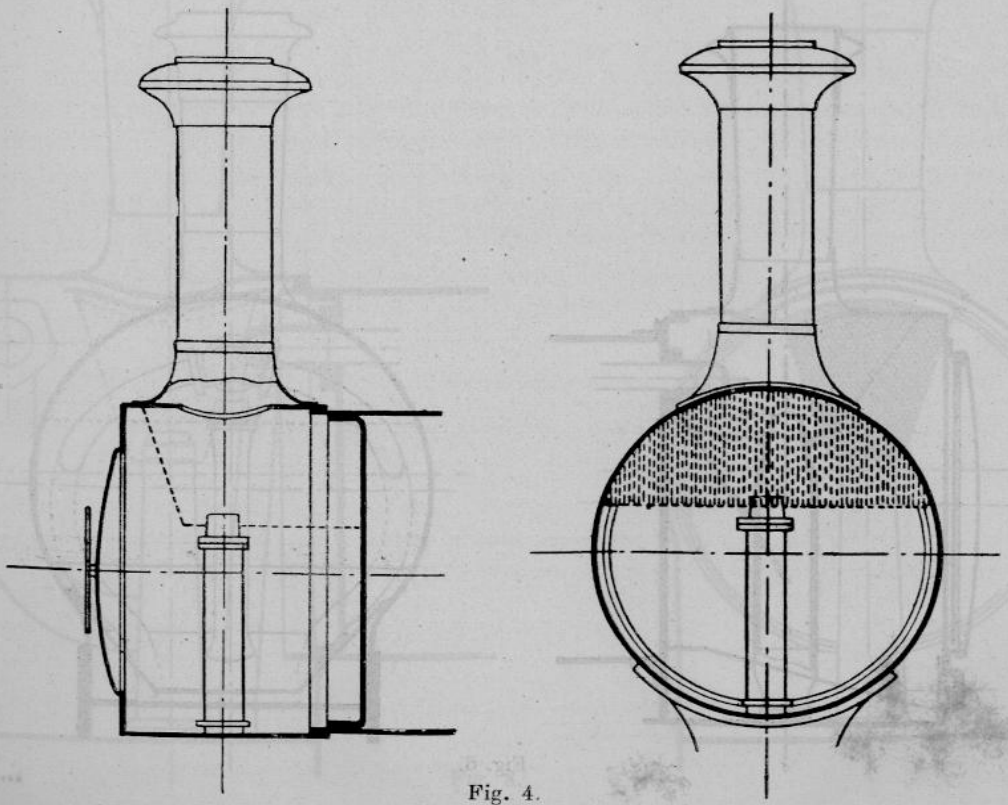


Fig. 4.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

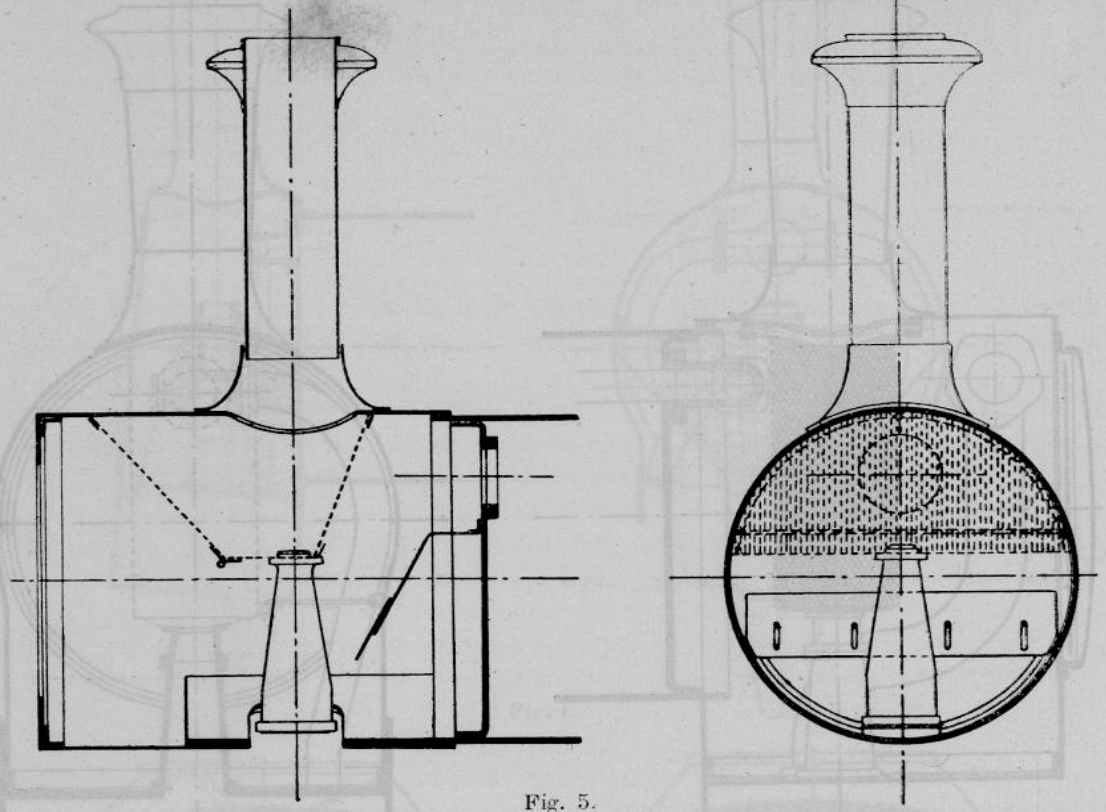


Fig. 5.

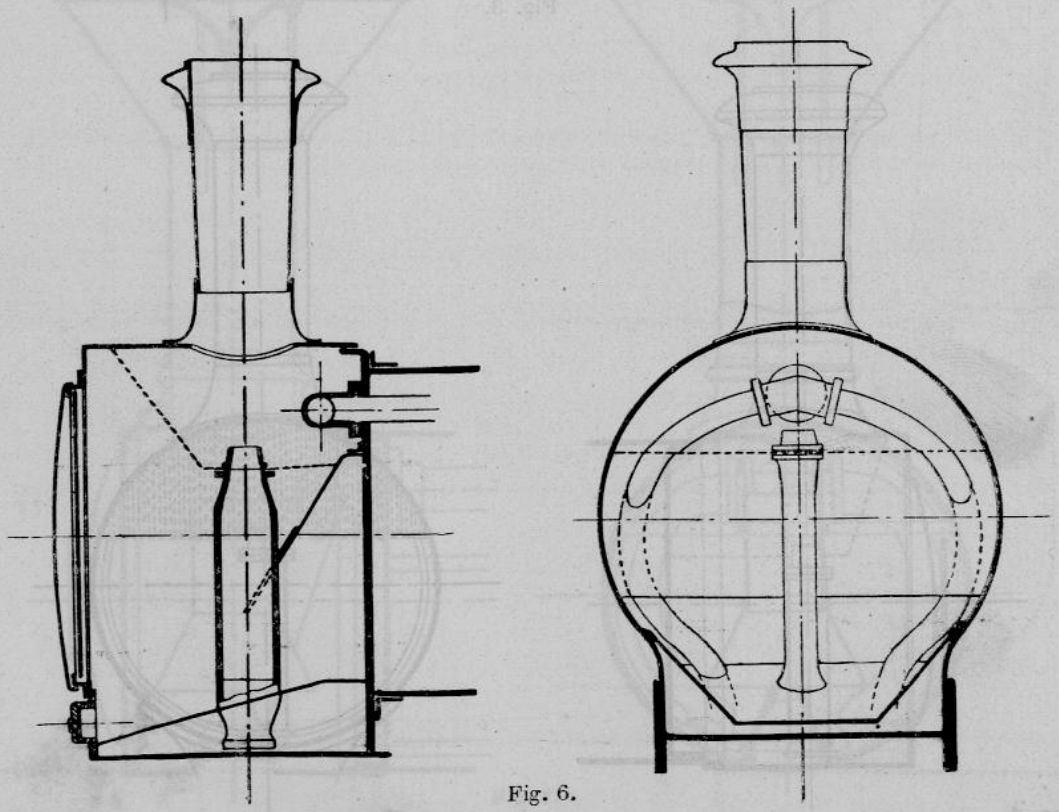


Fig. 6.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

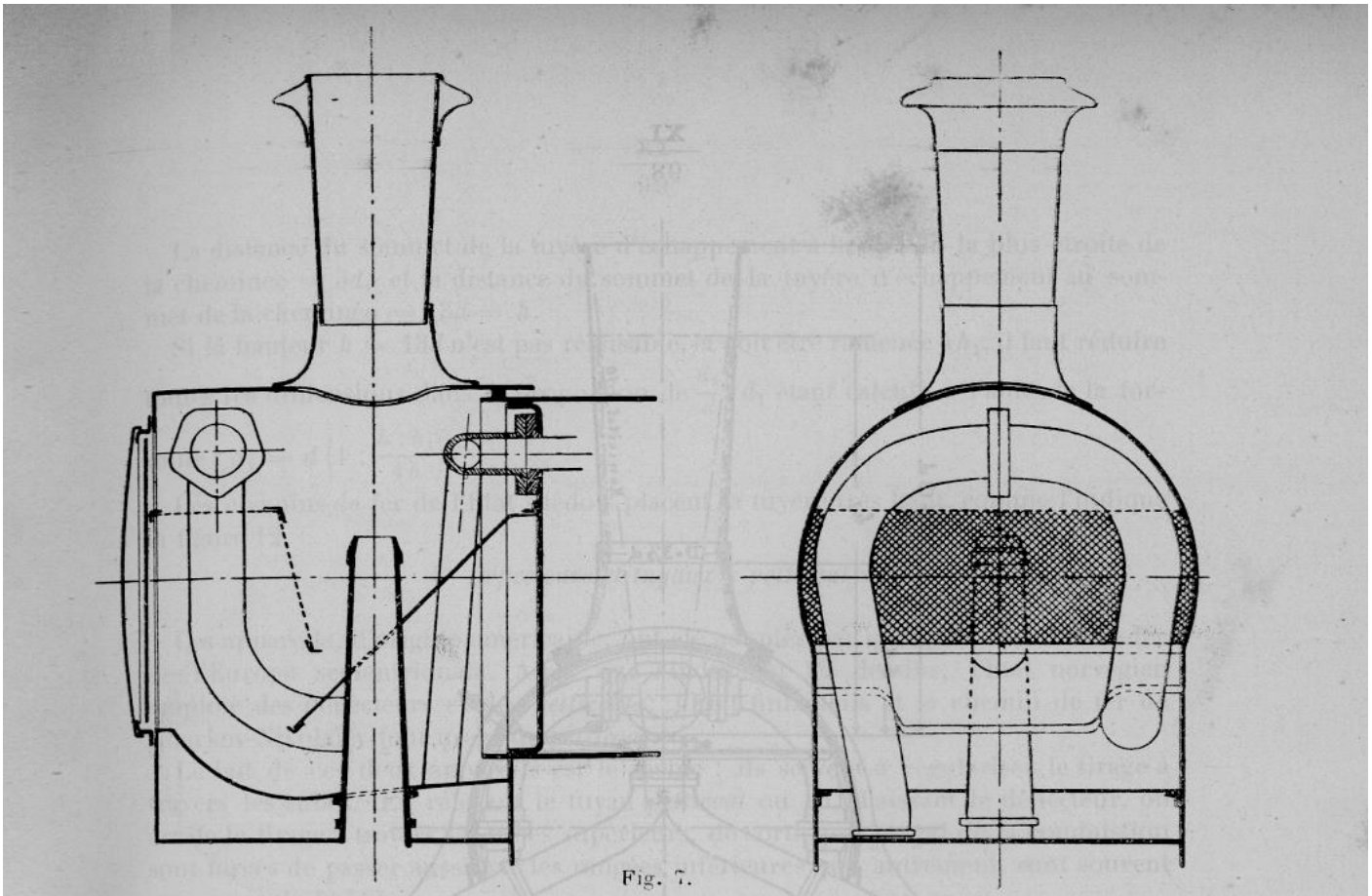


Fig. 7.

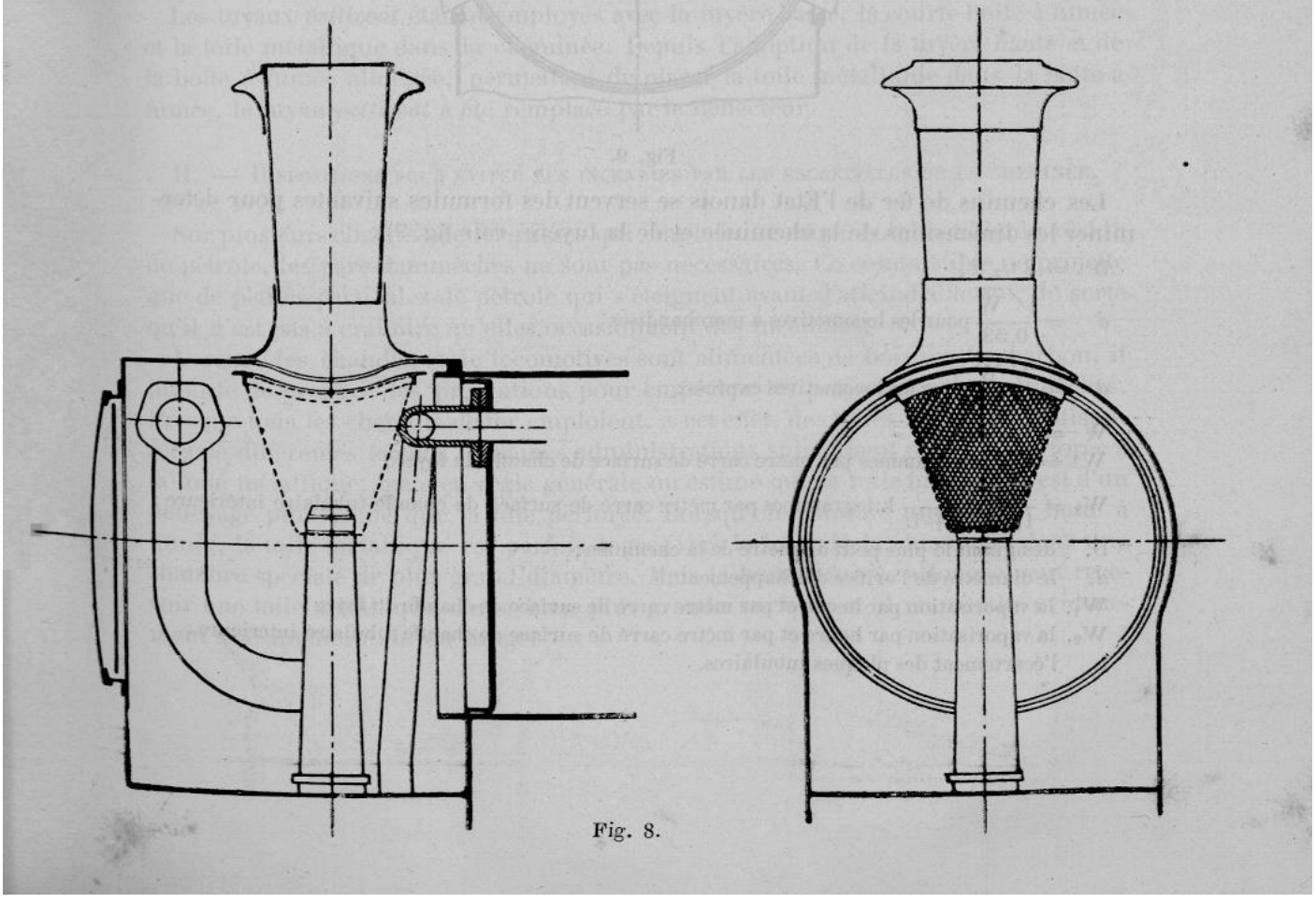


Fig. 8.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

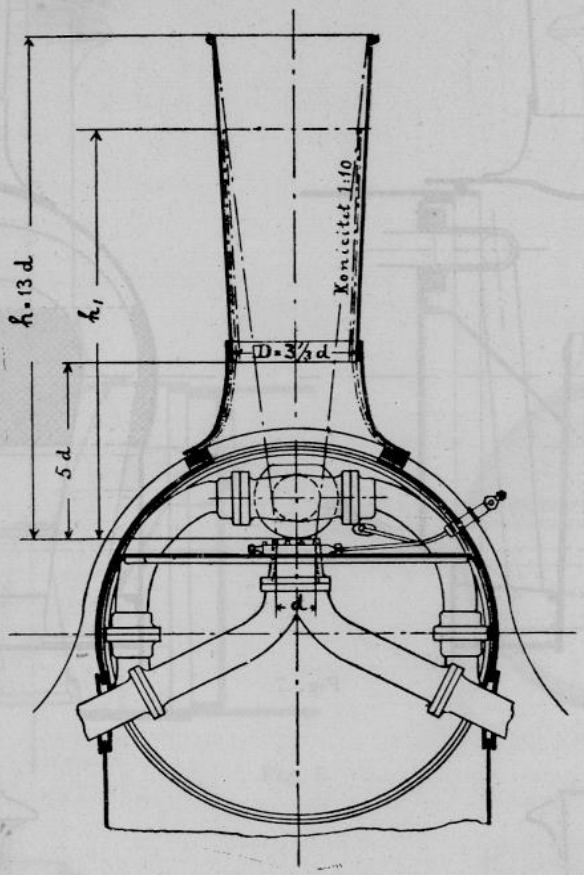


Fig. 9.

Les chemins de fer de l'État danois se servent des formules suivantes pour déterminer les dimensions de la cheminée et de la tuyère (*voir* fig. 9) :

$D = 3\,{}^1/_3\, d$;

$d = \frac{\sqrt{W}}{0{,}53}$ pour les locomotives à marchandises ;

$d = \frac{\sqrt{W}}{0{,}6}$ pour les locomotives express ;

$W = W_1 + W_2$;

$W_1 = 230$ kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe du foyer ;

$W_2 = \frac{349}{1{,}8\,(1{,}8 + L)}$ kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe tubulaire intérieure ;

D, désignant le plus petit diamètre de la cheminée ;

d, le diamètre de l'orifice d'échappement ;

W_1, la vaporisation par heure et par mètre carré de surface de chauffe du foyer ;

W_2, la vaporisation par heure et par mètre carré de surface de chauffe tubulaire intérieure ;

L, l'écartement des plaques tubulaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La distance du sommet de la tuyère d'échappement à la section la plus étroite de la cheminée $= 5d$, et la distance du sommet de la tuyère d'échappement au sommet de la cheminée $= 13d = h$.

Si la hauteur $h = 13d$ n'est pas réalisable, et doit être ramenée à h_1, il faut réduire toutes les dimensions dans la proportion de $\frac{d_1}{d}$, d_1 étant calculé à l'aide de la formule : $d_1 = d\left(1 : \frac{h : h_1}{4\,h}\right)$.

Les chemins de fer de l'État suédois placent la tuyère très haut, comme l'indique la figure 12.

4° Déflecteurs et tuyaux « petticoat ».

Ces appareils, d'origine américaine, ont été adoptés par quelques chemins de fer de l'Europe septentrionale. Ainsi que l'indiquent les dessins, l'État norvégien emploie des déflecteurs et des *petticoats;* l'État finlandais et le chemin de fer de Kharkov-Nikolaïev font usage du *petticoat*.

Le but de ces deux appareils est le même : ils servent à régulariser le tirage à travers les tubes. En relevant le tuyau *petticoat* ou en abaissant le déflecteur, on arrête le tirage à travers les tubes supérieurs, de sorte que les gaz de la combustion sont forcés de passer aussi par les rangées inférieures qui, autrement, sont souvent engorgées de fraisil.

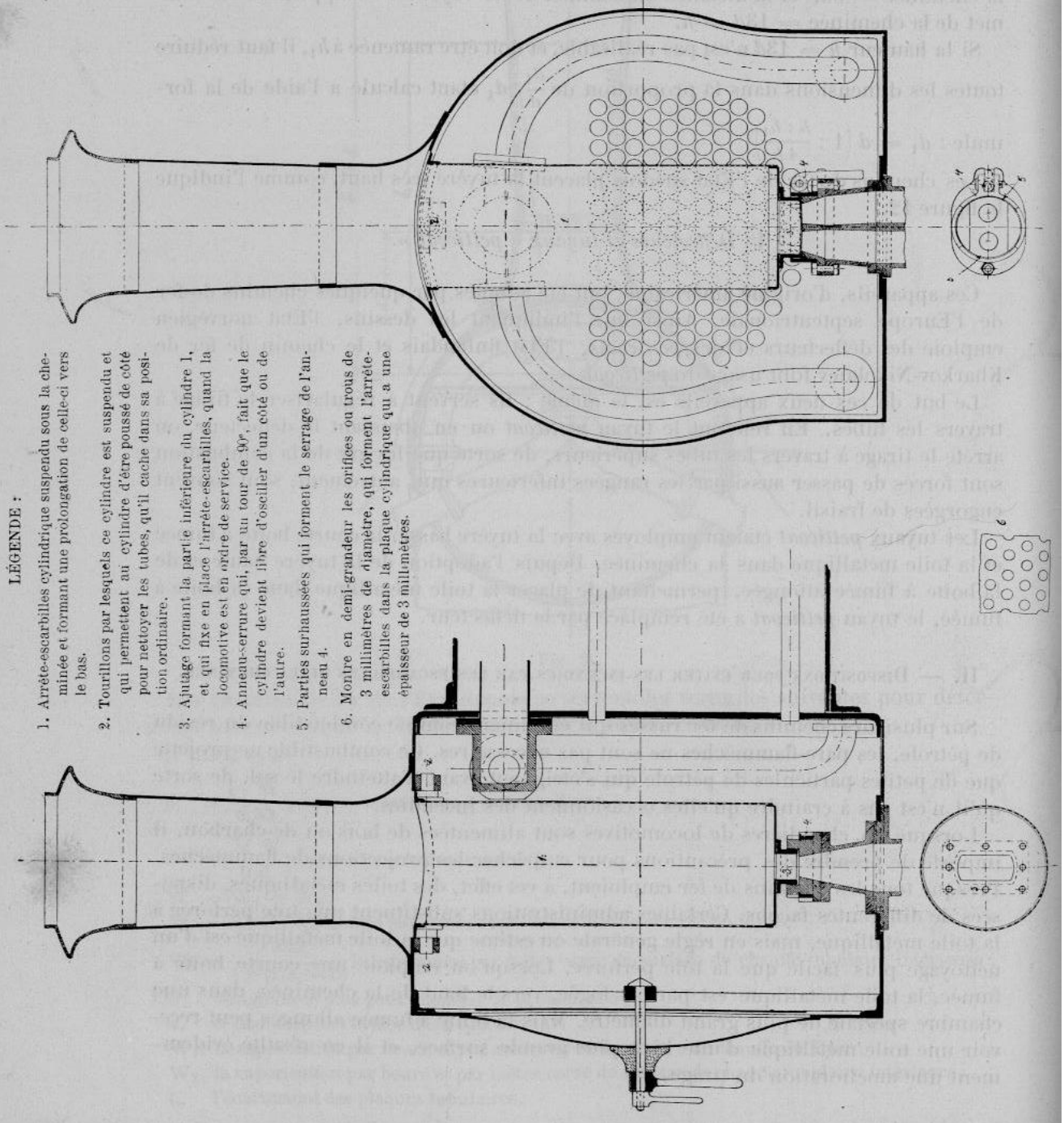
Les tuyaux *petticoat* étaient employés avec la tuyère basse, la courte boîte à fumée et la toile métallique dans la cheminée. Depuis l'adoption de la tuyère haute et de la boîte à fumée allongée, permettant de placer la toile métallique dans la boîte à fumée, le tuyau *petticoat* a été remplacé par le déflecteur.

II. — Dispositions pour éviter les incendies par les escarbilles de la cheminée.

Sur plusieurs chemins de fer russes qui emploient comme combustible du résidu de pétrole, les pare-flammèches ne sont pas nécessaires. Ce combustible ne projette que de petites particules de pétrole qui s'éteignent avant d'atteindre le sol, de sorte qu'il n'est pas à craindre qu'elles occasionnent des incendies.

Lorsque les chaudières de locomotives sont alimentées de bois ou de charbon, il importe de prendre des précautions pour empêcher les projections de flammèches. Presque tous les chemins de fer emploient, à cet effet, des toiles métalliques, disposées de différentes façons. Certaines administrations substituent une tôle perforée à la toile métallique, mais en règle générale on estime que la toile métallique est d'un nettoyage plus facile que la tôle perforée. Lorsqu'on emploie une courte boîte à fumée, la toile métallique est parfois logée, vers le haut de la cheminée, dans une chambre spéciale de plus grand diamètre. Mais la boîte à fumée allongée peut recevoir une toile métallique d'une bien plus grande surface, et il en résulte évidemment une amélioration du tirage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



LÉGENDE :

1. Arrête-escarbilles cylindrique suspendu sous la cheminée et formant une prolongation de celle-ci vers le bas.
2. Tourillons par lesquels ce cylindre est suspendu et qui permettent au cylindre d'être poussé de côté pour nettoyer les tubes, qu'il cache dans sa position ordinaire.
3. Ajutage formant la partie inférieure du cylindre 1, et qui fixe en place l'arrête-escarbilles, quand la locomotive est en ordre de service.
4. Anneau-serrure qui, par un tour de 90°, fait que le cylindre devient libre d'osciller d'un côté ou de l'autre.
5. Parties surhaussées qui forment le serrage de l'anneau 4.
6. Montre en demi-grandeur les orifices ou trous de 3 millimètres de diamètre, qui forment l'arrête-escarbilles dans la plaque cylindrique qui a une épaisseur de 3 millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

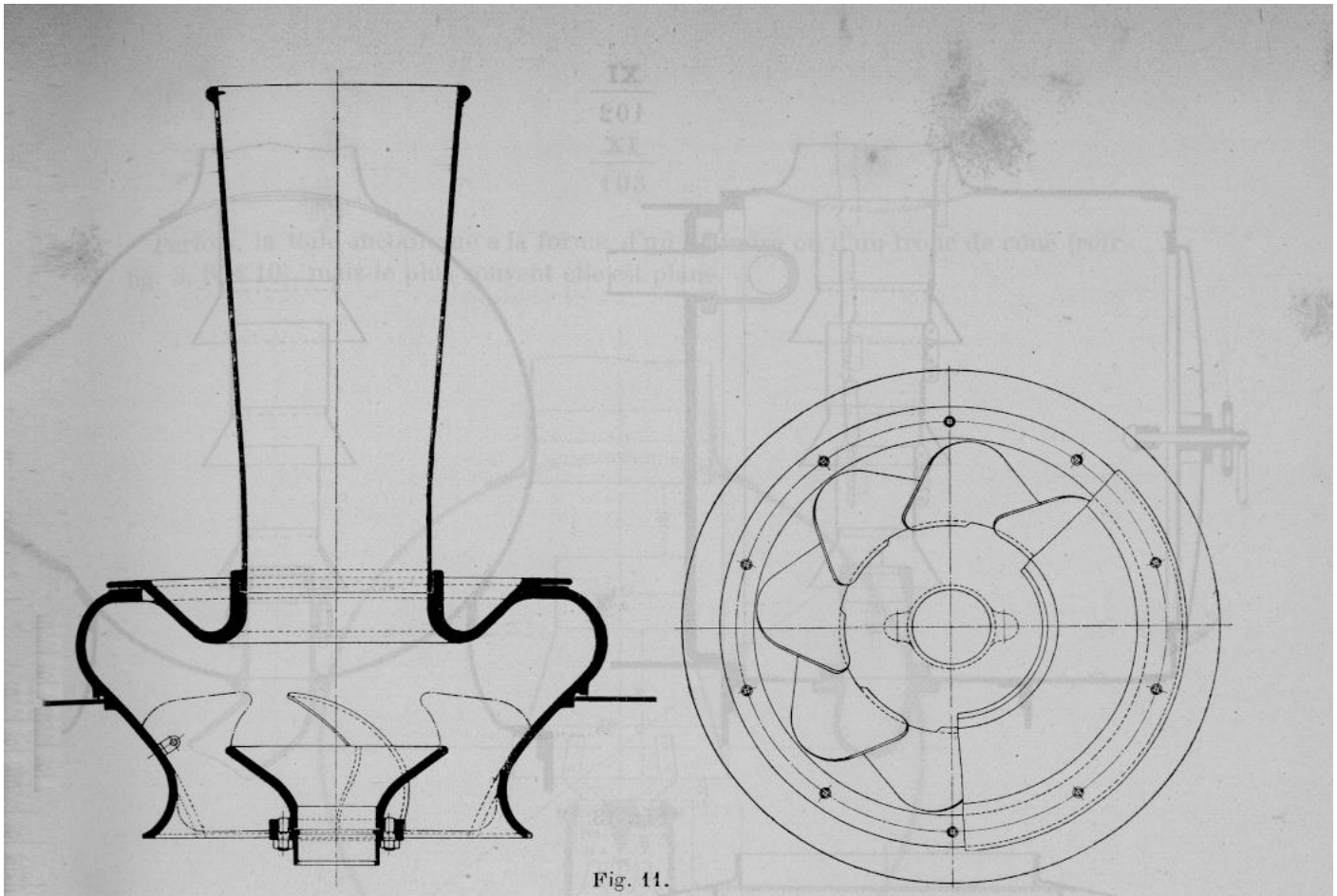


Fig. 11.

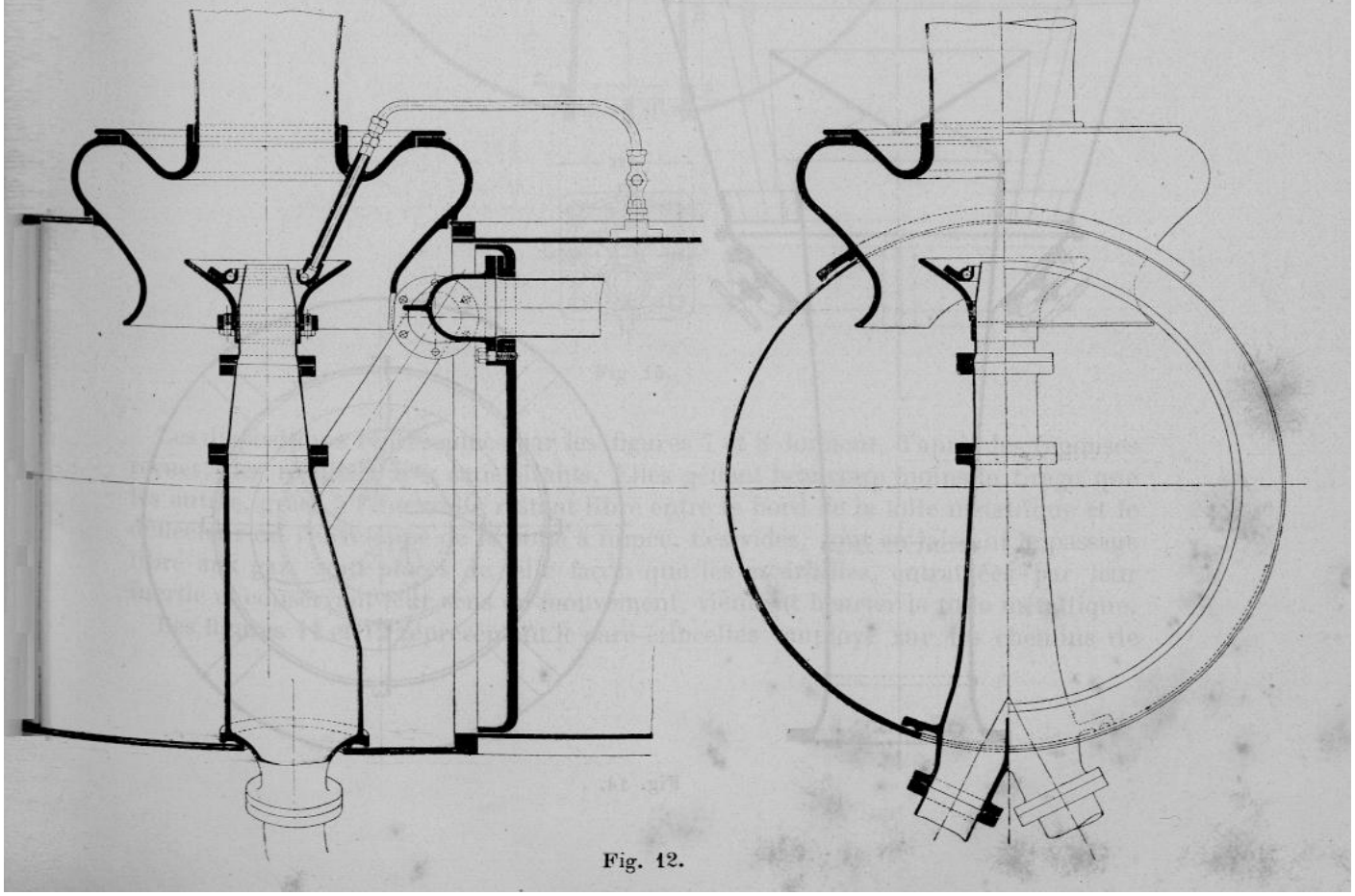


Fig. 12.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

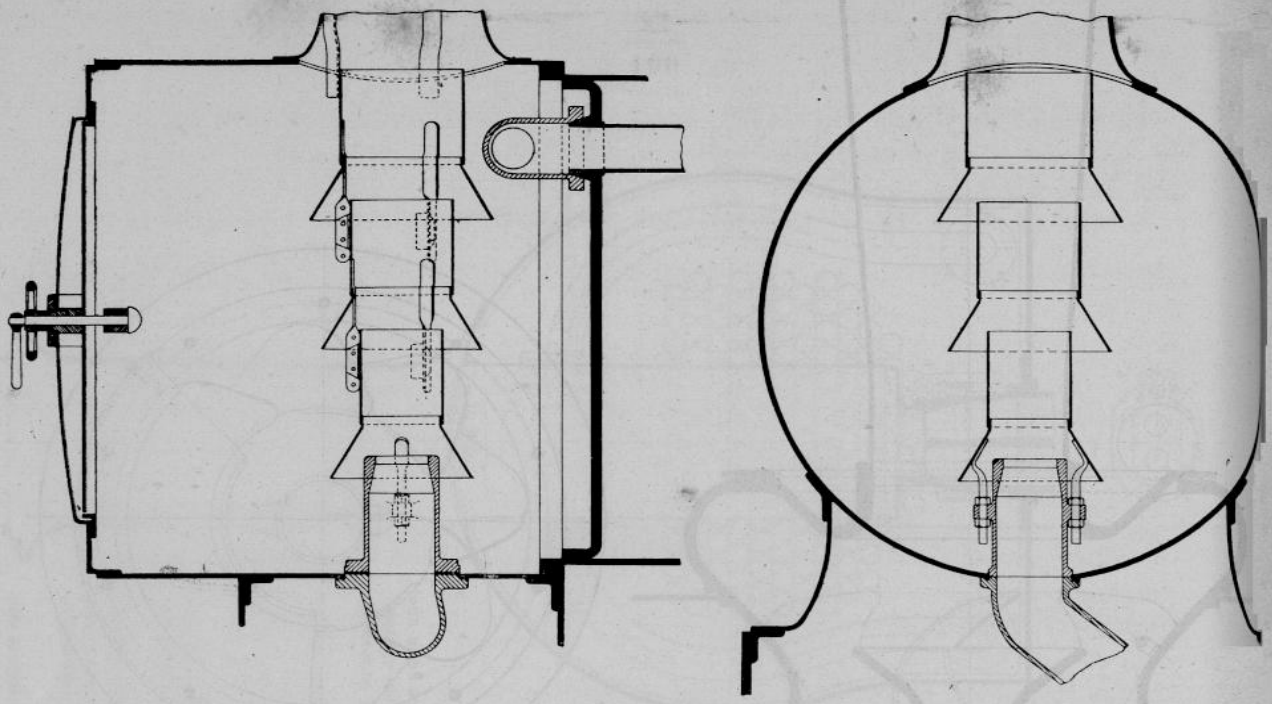


Fig. 13.

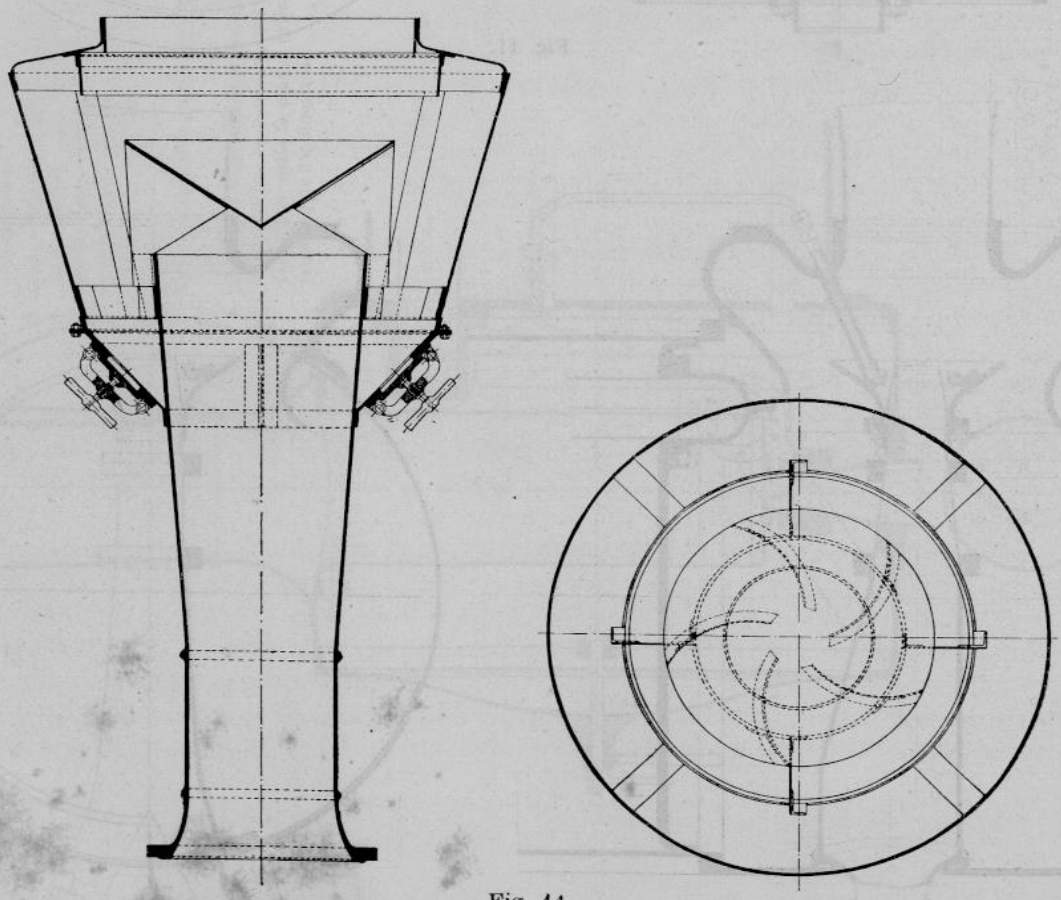


Fig. 14.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Parfois, la toile métallique a la forme d'un cylindre ou d'un tronc de cône (*voir* fig. 3, 8 et 10), mais le plus souvent elle est plane.

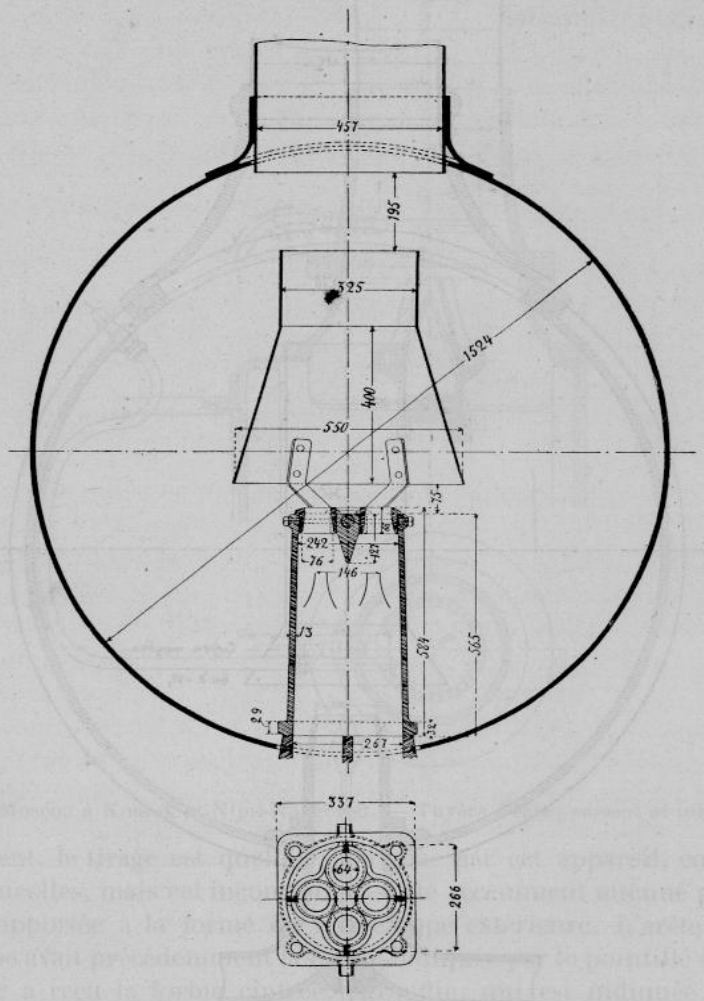


Fig. 15.

Les dispositions représentées par les figures 7 et 8 donnent, d'après les réponses reçues, des résultats très satisfaisants. Elles gênent beaucoup moins le tirage que les autres, grâce à l'intervalle restant libre entre le bord de la toile métallique et le déflecteur ou l'enveloppe de la boîte à fumée. Ces vides, tout en laissant le passage libre aux gaz, sont placés de telle façon que les escarbilles, entraînées par leur inertie et conservant leur sens de mouvement, viennent heurter la toile métallique.

Les figures 11 et 12 représentent le pare-étincelles employé sur les chemins de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fer de l'État suédois et sa position dans la boite à fumée. La vapeur d'échappement s'écoule sans interruption au milieu, tandis que les gaz de la combustion sont obligés de traverser le pare-étincelles, en forme de turbine, qui entoure l'échappement. Les

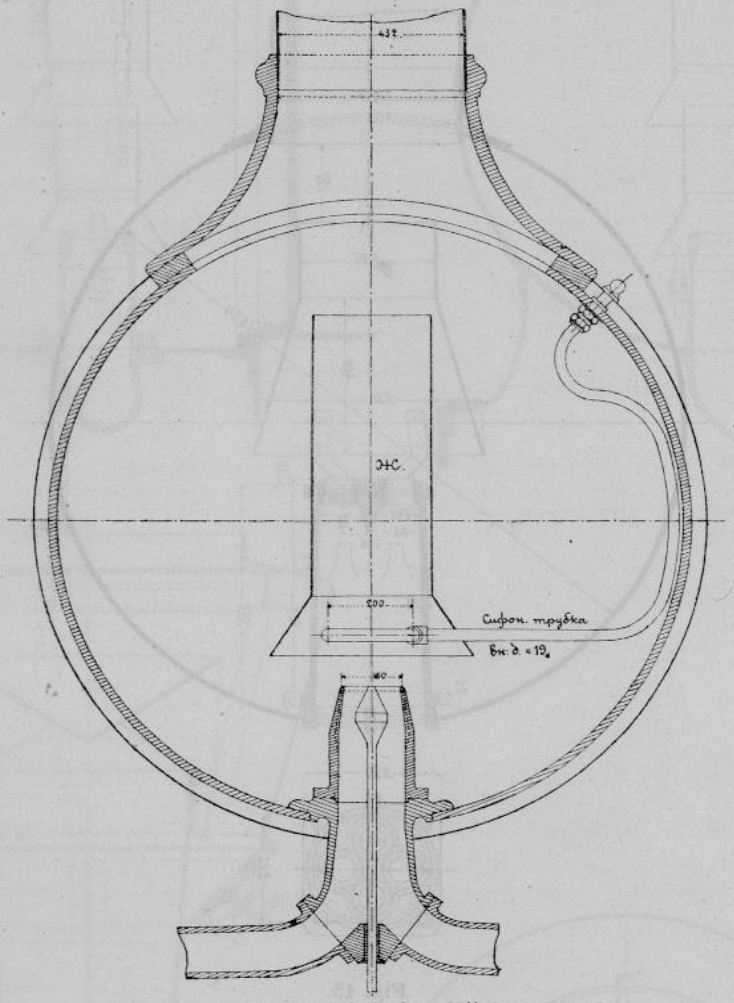


Fig. 16. — Moscou à Koursk et Nijni-Novgorod.

Explication des termes russes : *Сифон трубка* = tube à souffler.

escarbilles heurtent avec violence contre les lames de cette turbine, leur vitesse se ralentit et en même temps elles sont réduites en menues particules. La turbine est logée dans une enveloppe en fonte construite de façon que les escarbilles qui s'échapperaient soient projetées contre la partie supérieure, en forme d'arc de cercle, du pare-étincelles, et arrêtées dans leur mouvement. D'autre part, la force centrifuge

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

imprimée aux escarbilles par l'action de la turbine tend à les entraîner dans la même direction.

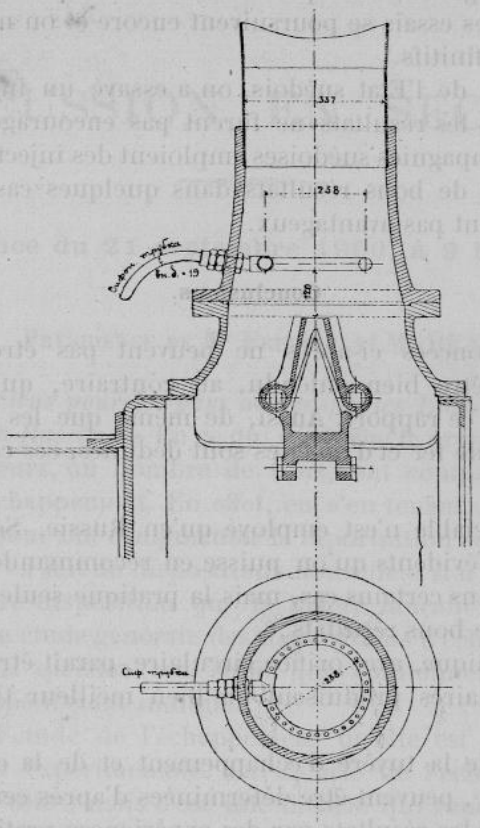


Fig. 17. — Moscou à Koursk et Nijni-Novgorod. — Tuyère d'échappement et tube à souffler.

Naturellement, le tirage est quelque peu gêné par cet appareil, comme par tout autre pare-étincelles, mais cet inconvénient a été récemment atténué par une légère modification apportée à la forme de l'enveloppe extérieure. L'arête inférieure de cette enveloppe avait précédemment la forme indiquée par le pointillé de la figure 11 ; depuis qu'elle a reçu la forme cintrée, agrandie, qui est indiquée par les traits pleins, elle donne une entrée plus libre aux gaz et il en résulte une amélioration notable du tirage. L'appareil fonctionne maintenant très bien et, s'il a les dimensions voulues, il donne entière satisfaction. Un de ses avantages est qu'il ne peut jamais s'engorger de crasse et de suie, contrairement à ce qui se produit régulièrement pour les toiles métalliques.

III. — Utilisation de la vapeur d'échappement.

En général, la vapeur d'échappement n'est employée à aucun autre usage qu'à la production du tirage nécessaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur deux chemins de fer russes, celui de Kharkov à Nicolaïev et celui de Moscou Koursk et à Nijni-Novgorod, on expérimente actuellement des injecteurs à vapeur d'échappement, mais les essais se poursuivent encore et on n'a pas obtenu, jusqu'à présent, de résultats définitifs.

Aux chemins de fer de l'État suédois, on a essayé un injecteur analogue il y a quelques années, mais les résultats ne furent pas encourageants et l'appareil fut démonté. Certaines compagnies suédoises emploient des injecteurs à vapeur d'échappement qui ont donné de bons résultats dans quelques cas, tandis que d'autres compagnies ne les jugent pas avantageux.

Conclusions.

Les conclusions énoncées ci-après ne peuvent pas être considérées comme « générales »; il doit être bien entendu, au contraire, qu'elles ne s'appliquent qu'aux pays visés dans ce rapport. Aussi, de même que les renseignements reçus des différents chemins de fer et d'où elles sont déduites, ces conclusions paraîtront-elles assez maigres :

1° L'échappement variable n'est employé qu'en Russie. Ses avantages n'ont pas été reconnus tellement évidents qu'on puisse en recommander la généralisation. Il peut être avantageux dans certains cas, mais la pratique seule permet de dire où on peut l'employer avec de bons résultats;

2° L'échappement unique, avec orifice circulaire, paraît être le plus en faveur.

Les souffleurs annulaires produisent un bien meilleur tirage que les anciens appareils;

3° Les dimensions de la tuyère d'échappement et de la cheminée, ainsi que la position de la première, peuvent être déterminées d'après certaines formules, mais il convient d'en vérifier les résultats par des expériences pratiques avec chaque type de locomotives. La pratique est, dans ce cas, le seul critérium sûr;

4° D'une manière générale, la tuyère est placée à peu près au niveau de la rangée supérieure des tubes à fumée, et cette pratique paraît être la bonne. Il importe beaucoup de ménager aux gaz une entrée large et facile dans la partie inférieure de la cheminée;

5° La boîte à fumée allongée paraît offrir plusieurs avantages et se répand de plus en plus;

6° Pour arrêter les flammèches, on emploie généralement des toiles métalliques, quelquefois aussi d'autres appareils. Tous ces dispositifs gênent plus ou moins le tirage. Il convient de nettoyer les toiles métalliques de temps en temps; dans le cas contraire, elles s'engorgent de crasse et de suie ;

7° La vapeur d'échappement n'est utilisée que dans les injecteurs; encore les avantages des appareils construits dans ce but sont-ils contestés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SECTION

Séance du 21 septembre 1900, à 9 heures.

PRÉSIDENCE DE Mr FREDRIK ALMGREN.

Mr Sauvage, *rapporteur pour les pays autres que les États-Unis, la Suède, la Norvège, le Danemark et la Russie.* — En ce qui concerne le premier point de la question à traiter, les rapporteurs, au nombre de trois, ont compris qu'il s'agissait d'une étude générale de l'échappement. En effet, en s'en tenant au sens strict des mots : « dispositions ayant pour but d'augmenter la vaporisation en augmentant le tirage, » on ne trouverait rien en fait de dispositions nouvelles. Il n'y a pas, pour provoquer l'échappement, d'autre disposition que la tuyère lançant la vapeur dans la cheminée. C'est donc une étude générale des dispositions d'échappement et des perfectionnements de détail qu'elles ont subis que contiennent les rapports, aucun changement de principe n'étant indiqué.

On peut dire de l'étude de l'échappement qu'elle est actuellement purement empirique, purement expérimentale. La théorie de l'échappement existe depuis longtemps et elle est utile; mais c'est une théorie qui rend compte de l'ensemble des phénomènes et qui n'a pas pu, jusqu'à présent, pénétrer dans les détails au point qu'on puisse par avance et théoriquement déterminer l'effet de telle disposition, d'une tuyère de telle forme placée à telle hauteur. Les renseignements se trouvent donc forcément limités à la description de ce qui existe et au compte rendu des expériences en petit nombre qui ont été faites.

Ces expériences sont de deux espèces. Il y a d'abord celles qu'on fait généralement, les expériences tout à fait pratiques; dans ces expériences, on cherche par des tâtonnements quelle est la disposition à donner à la tuyère d'échappement, jusqu'à ce qu'on soit arrivé aux meilleurs résultats. Cette méthode, assez généralement suivie jusqu'ici, est peut-être meilleure qu'on pourrait le croire. Cependant, elle a l'inconvénient d'exiger beaucoup de tâtonnements, et peut-être ne s'arrête-t-on pas toujours à la disposition la meilleure pour le cas considéré.

Il y a ensuite les expériences spéciales, qui sont certainement très intéressantes, mais qui ne sont pas très nombreuses; ce sont surtout celles faites en Allemagne, sous la direction de Mr von Borries, et en Amérique, sous la direction de la *Master Mechanic's Association*.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les expériences américaines présentent cet intérêt que, bien que constituant des expériences de laboratoire, elles sont faites dans des conditions qui se rapprochent autant que possible des conditions pratiques, c'est-à-dire qu'elles sont faites sur les locomotives elles-mêmes. Il est clair qu'en opérant sur la locomotive elle-même, mais dans des conditions d'expérience telles qu'on puisse observer l'effet de la variation d'un seul des organes de l'appareil, on se trouve, pour l'étude de la question de l'échappement, dans d'excellentes conditions d'expérimentation.

Je demande la permission de passer rapidement en revue les différents paragraphes de mon rapport.

Le premier paragraphe concerne *la comparaison de l'échappement fixe et de l'échappement variable*. En principe, tout le monde est d'accord pour reconnaître que l'échappement variable présente certains avantages théoriques ; mais, en pratique et sauf sur quelques réseaux, les progrès de l'échappement variable ne sont pas aussi grands qu'on pourrait le supposer en présence de cette opinion unanime sur ses avantages théoriques.

Si beaucoup d'administrations n'appliquent pas l'échappement variable, c'est qu'elles craignent une certaine complication de mécanisme, ou, si ces mécanismes ne paraissent pas bien compliqués à première vue, elles craignent qu'ils ne fonctionnent dans des conditions défavorables et ne soient exposés à des encrassements très forts et très rapides. En outre, ces mécanismes se dérèglent assez facilement.

Une seconde objection, peut-être plus importante, contre l'échappement variable, c'est qu'on s'en sert mal, c'est-à-dire qu'on abuse de la faculté de réduire la section de l'échappement, alors qu'on ne devrait en user que dans des circonstances spéciales.

Une troisième raison, un peu du même ordre, est que, d'après certaines administrations, on n'utilise pas l'échappement variable : en fait, le personnel le place dans une position fixe, dans laquelle on le retrouve au bout de plusieurs mois, ce qui démontre qu'il n'a pas été manœuvré depuis longtemps.

Il y a là une question sur laquelle il est assez difficile d'émettre un avis bien net, car l'échappement variable donne de bons résultats, et, d'autre part, beaucoup d'administrations trouvent l'échappement fixe satisfaisant. L'argument le plus frappant en faveur de l'échappement variable a été donné par la Compagnie du Nord. D'une part, la théorie semble indiquer que l'échappement variable n'est pas utile, puisqu'on démontre que le poids d'air appelé est proportionnel au poids de vapeur qui s'écoule par la tuyère ; on peut donc dire qu'un échappement fixe se règle de lui-même, qu'on appelle toujours une quantité d'air proportionnelle à la dépense de vapeur, ou encore qu'on force la combustion au moment où on veut dépenser le plus de vapeur. Mais l'ingénieur de la Compagnie du Nord a insisté sur un point très intéressant qui est la variabilité de l'état des grilles. Le fait théorique, c'est que la quantité d'air appelée est proportionnelle à la quantité de vapeur dépensée et il apparaît donc que l'échappement fixe est tout à fait suffisant ; mais ce fait suppose que tout se trouve toujours dans les mêmes conditions. Or, en réalité, il n'en est pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi. Au commencement du trajet, les grilles sont propres et l'air peut facilement les traverser ; au contraire, à la fin du trajet, surtout avec certains combustibles, les grilles s'obstruent, les mâchefers empêchent le passage de l'air. Il est nécessaire alors d'avoir un tirage beaucoup plus intense pour obtenir la même combustion. Il y a certainement là un argument assez important en faveur de l'échappement variable, mais il est clair que c'est un argument d'espèce et que tout dépend de la nature du combustible. En somme, il est difficile d'émettre un avis général sur les mérites comparatifs de l'échappement fixe et de l'échappement variable, en présence des pratiques très divergentes des différentes administrations.

Le second paragraphe du rapport est relatif *à la section de l'orifice d'écoulement et à la forme de la tuyère*. Avec l'échappement variable, on peut, dans chaque cas, régler la section. Avec un échappement fixe, la section doit naturellement être déterminée. Généralement, c'est par tâtonnements qu'on arrive à cette détermination ; le plus souvent, on se ménage la possibilité de faire varier la section assez facilement.

Il est bon que la partie supérieure de la colonne d'échappement puisse être facilement modifiée ; si, à la suite de modifications de service ou d'un changement de combustible, on constate que la section adoptée n'est pas la meilleure, il faut qu'on puisse y fixer une bague un peu plus grande ou un peu plus petite.

Quant à la forme de la tuyère, elle a fait l'objet d'un assez grand nombre d'essais, mais il ne semble pas qu'aucune forme spéciale compliquée se soit beaucoup répandue. Lorsque l'échappement est fixe, il présente le plus souvent un simple orifice circulaire. Lorsque l'échappement est variable, il présente parfois un orifice circulaire, ou, assez souvent en France et dans l'Europe continentale, un orifice rectangulaire.

Vous savez que l'on a cherché à améliorer l'échappement par l'emploi de tuyères d'autres formes : tuyère annulaire qui aspire les gaz à l'extérieur et à l'intérieur et même jets multiples d'échappement donnant des nappes de forme plus ou moins compliquée.

Les administrations qui emploient ou qui ont essayé ces formes spéciales de tuyères d'échappement s'en déclarent en général assez satisfaites. On annonce même que, dans certains cas, on aurait constaté une très légère économie de combustible résultant de l'emploi de ces sections. Cependant et d'une façon générale, on peut dire que personne n'est en mesure d'affirmer qu'il y ait là un progrès très réel qui s'impose. Il semble donc que les formes très simples de tuyère peuvent suffire aux besoins de la pratique.

Le troisième paragraphe est relatif à la section, *à la hauteur et au profil de la cheminée*. En effet, il ne faut pas seulement considérer la tuyère, il faut considérer l'ensemble de l'appareil servant à assurer l'appel d'air et constitué par la tuyère, la boîte à fumée et la cheminée qui la surmonte. Quant aux dispositions de la cheminée, les règles suivies sont assez confuses. D'une façon générale, il semble qu'il est avantageux d'employer la cheminée conique divergente ; bien entendu la forme est conique convergente au-dessus de la tuyère jusqu'au débouché de la boîte à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fumée, mais au-dessus de la partie la plus étroite elle prend une forme légèrement divergente. Cette forme est très ancienne et c'est celle qu'on semble considérer en général comme préférable.

Quant au diamètre de la cheminée, on peut dire très nettement qu'il est plutôt petit et qu'il n'augmente pas en proportion de l'augmentation de la surface de la grille et de la dimension des cylindres. Il semblerait que quand on a voulu notablement agrandir ce diamètre, on a rendu le tirage moins bon. Dans toutes les locomotives très puissantes construites récemment, le diamètre des cheminées n'est pas beaucoup plus grand que dans les locomotives plus anciennes et beaucoup moins puissantes. Cela tient sans doute à ce que la hauteur de la cheminée est forcément très réduite, surtout à cause de la grande élévation actuelle des chaudières. C'est à cause de cette insuffisance de hauteur qu'il paraît généralement préférable de prolonger la cheminée à l'intérieur de la boîte à fumée.

On doit citer comme une pratique tout à fait exceptionnelle l'emploi des cheminées convergentes à section carrée en usage en Belgique sur certaines des locomotives munies de la grille Belpaire. Il est assez difficile pour ceux qui n'ont pas expérimenté ces machines de formuler un avis très net sur ces grandes cheminées à section excessivement large à l'entrée, qui se raccordent complètement avec la boîte à fumée, mais il semble que, dans l'opinion des ingénieurs belges, elles peuvent convenir pour de très vastes grilles brûlant des menus en couche mince avec une faible vitesse d'air. Ces grandes cheminées ne donnent pas un tirage très fort et ne conviendraient pas dans les cas où un tel tirage serait nécessaire.

Le quatrième paragraphe est relatif à *la position de la tuyère*. D'une manière générale, on semble être arrivé à préférer la position adoptée en Angleterre depuis très longtemps et qui consiste à la faire déboucher à la hauteur de la rangée supérieure des tubes. Sur le continent européen, les tuyères des locomotives anciennes étaient fréquemment placées très haut et même engagées dans l'intérieur de la cheminée. On semble renoncer de plus en plus à cette disposition qui cependant subsiste encore et peut, dans certains cas peut-être, fonctionner en donnant des résultats satisfaisants.

A ce sujet, il faut mentionner une autre position de la tuyère très employée autrefois aux États-Unis et actuellement encore d'un usage assez fréquent : c'est la tuyère extrêmement basse, débouchant dans la boîte à fumée soit tout à fait au fond, soit à une très faible hauteur. Il est nécessaire de placer au-dessus de cette tuyère une conduite cylindrique en tôle, sorte de petite cheminée intérieure désignée sous le nom de *petticoat* (mot traduit dans le rapport de Mr Quereau par le mot *éjecteur*). D'après l'expérience américaine, cette disposition peut donner de bons résultats. Cependant, les Américains font observer que le *petticoat* doit être très bien monté; c'est une pièce en tôlerie assez sujette à se déjeter sous l'effet de la chaleur de la boîte à fumée et qui alors contrarie un peu le passage du jet d'échappement. On peut reprocher, en outre, à cette pièce d'obstruer un peu la boîte à fumée, spécialement au point de vue du nettoyage des tubes. Il semble donc que cette disposi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion, tout en pouvant donner un bon fonctionnement lorsque tout est en bon état, ne présente cependant pas d'avantages saillants; tout compte fait, la disposition ordinaire, la tuyère débouchant au niveau de la rangée supérieure des tubes, paraît en général préférable.

Le cinquième paragraphe est consacré *à la boîte à fumée et aux déflecteurs* qu'on y installe parfois, surtout dans la pratique américaine. C'est là un point assez intéressant. Ces déflecteurs, qui recouvrent le débouché des tubes supérieurs et rabattent les gaz vers la partie inférieure de la boîte à fumée, sont fort employés aux États-Unis. En Europe, on en a fait quelques applications à titre d'essai, notamment sur le chemin de fer de l'État français, qui s'en déclare satisfait. On attribue à cette disposition l'avantage de mieux régler le passage des gaz à travers tous les tubes et même de leur faire traverser de préférence les tubes inférieurs. Il semble cependant qu'on devrait plutôt s'imposer comme programme de les faire passer aussi également que possible par tous les tubes.

Un point particulier signalé aux États-Unis, c'est que ce déflecteur, en forçant les gaz à passer dans le fond de la boîte à fumée et en les rapportant vers le fond, évite l'accumulation d'escarbilles dans la boîte à fumée. Au contraire, dans les locomotives sans déflecteurs, les plus employées en Europe, les escarbilles s'accumulent vers l'avant de la boîte à fumée contre la porte, et c'est même pour pouvoir recevoir et emmagasiner les escarbilles ainsi accumulées que les boîtes à fumée américaines allongées ont obtenu la préférence en Europe.

Il y a là un point d'une certaine importance. Tout d'abord, quelle est l'influence de la capacité de la boîte à fumée sur le tirage? A première vue, il semblerait que la petite boîte à fumée dût donner un meilleur tirage. Cependant, les résultats de la pratique actuelle en Europe pour toutes les locomotives montrent que, si les petites boîtes à fumée présentent un avantage au point de vue du tirage, cet avantage n'est pas bien important, car les grandes boîtes à fumée si employées aujourd'hui en Europe paraissent donner un tirage très satisfaisant.

Ces boîtes à fumée allongées sont en usage aux États-Unis depuis très longtemps et il semble même que c'est à la suite de leur adoption presque générale dans ce pays qu'elles ont été employées en Europe. Or, il paraît qu'il se produit en ce moment aux États-Unis une réaction, et le rapporteur américain signale qu'un assez grand nombre d'administrations de son pays en reviennent aux boîtes à fumée assez petites et que, d'après la *Master Mechanic's Association*, la petite boîte à fumée est plus recommandable que la grande.

Ce n'est cependant pas là l'opinion des ingénieurs européens, qui se déclarent très satisfaits de la grande boîte à fumée et qui paraissent n'y avoir trouvé aucun inconvénient.

Peut-être cette divergence d'opinion provient-elle de la solution qu'on donne à la question des escarbilles, selon qu'on les conserve ou qu'on ne les conserve pas dans la boîte à fumée. En Amérique, le tirage est extrêmement énergique, et, avec le rabattement des gaz vers le fond de la boîte à fumée, tend à entraîner au dehors les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

escarbilles. La théorie américaine semble être celle-ci : les escarbilles stationnent un moment dans la boîte à fumée et s'y éteignent; par leur mouvement et le choc contre les parois elles se brisent en petites particules et sont alors sans inconvénient entraînées vers l'extérieur. En Europe, au contraire, on ne rabat pas les gaz, on place la cheminée vers l'arrière de la boîte à fumée et l'idée semble être plutôt de conserver dans la boîte à fumée une assez grande quantité d'escarbilles, sans inconvénient pour le tirage, et cela en vue d'éviter les incendies. De plus, cette conservation peut offrir un certain avantage économique, ces escarbilles pouvant être utilisées comme combustible.

Le sixième paragraphe traite une question de détail et comporte l'examen de *quelques dispositions spéciales d'échappement*. En dehors des échappements très simples employés presque partout, on trouve sur quelques chemins de fer des échappements spéciaux. C'est ainsi que la Compagnie du Paris-Lyon-Méditerranée emploie un échappement avec noyau central dans la cheminée et s'en déclare satisfaite.

L'ingénieur anglais Webb a imaginé de diviser en deux parties la boîte à fumée par une cloison horizontale et de munir chacune de ces moitiés d'une tuyère d'échappement et d'une cheminée; l'échappement est ainsi divisé en deux branches absolument indépendantes, c'est-à-dire qu'on aspire séparément et indépendamment les gaz chauds par la moitié supérieure et par la moitié inférieure des tubes. Cette disposition peut présenter des avantages, mais elle est évidemment destinée à rester toujours bien spéciale.

Le septième paragraphe est consacré à la description d'un certain nombre *de mécanismes d'échappement variable*. Je ne puis que renvoyer aux quelques figures données dans le rapport.

Enfin, le huitième paragraphe donne *certains résultats d'expériences* : un des points particuliers à signaler dans ces expériences, est l'emploi de coins placés en travers de la tuyère d'échappement en vue d'augmenter le tirage; cette disposition revient, en somme, à avoir, au lieu d'une tuyère à ouverture unique, deux tuyères à ouverture demi-circulaire dont la section se trouve un peu réduite. Ce serait d'abord un moyen de réduire la section d'échappement lorsqu'elle est un peu trop large. D'après les expériences allemandes, on obtiendrait un assez bon résultat avec ces tuyères, mais ces résultats sont très contestés par les expérimentateurs américains : ceux-ci pensent que si, par ce moyen, on augmente un peu le tirage, par contre on augmente beaucoup la contre-pression sur les pistons; ils ne paraissent pas, en somme, très partisans de cette disposition.

La Compagnie du Nord a fait quelques essais de ce coin, mais au moment où le rapport a été rédigé elle n'avait pas encore pu indiquer les résultats obtenus. Je crois que l'on peut dire que cette disposition présente certainement quelque intérêt, mais qu'elle est spéciale et qu'elle n'est probablement pas appelée à être employée d'une manière bien générale.

En vous parlant des cheminées, j'ai omis de signaler un point qui présente un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

certain intérêt : c'est l'emploi de capuchons ou de visières placées à l'avant de la cheminée en vue d'activer le tirage. Des renseignements fournis par la Compagnie du Nord, il résulte qu'on augmente ainsi d'un certain nombre de millimètres d'eau la dépression dans la boîte à fumée, rien que par l'action mécanique de ces visières, qui forment un certain vide au-dessus du débouché de la cheminée.

Les visières présentent cependant un petit inconvénient : c'est que, lorsque la cheminée est déjà très courte, il faut encore la raccourcir d'une quantité égale à la hauteur de la visière. Il semble cependant que cet inconvénient soit moindre que l'avantage que procure la visière. Cette disposition est employée par quelques administrations.

La seconde question qui fait l'objet du rapport est l'étude des *dispositions prises pour éviter les incendies par les escarbilles* de la cheminée. Ces dispositions sont diverses. Il y a d'abord l'emploi d'une boîte à fumée de grande capacité, en supposant au moins qu'elle fonctionne comme nous l'imaginons en Europe et comme il nous semble bien qu'elle fonctionne d'après les résultats pratiques. En Amérique, l'opinion n'est probablement pas la même, puisqu'on dispose les choses de telle sorte que les escarbilles soient constamment entraînées au dehors de la boîte à fumée.

La grande boîte à fumée est d'ailleurs presque toujours combinée avec des grillages pour arrêter les escarbilles. Ces grillages sont plus ou moins serrés. Leur action est évidemment assez favorable et dans certains pays, en France notamment, ils sont réglementaires. Ils sont loin cependant d'être tout à fait efficaces. En effet, à moins d'employer des grillages excessivement serrés, qui pourraient aller jusqu'à supprimer complètement le tirage, il faut laisser un certain intervalle entre les barreaux ou donner aux trous des tôles une dimension suffisante, et l'on constate que certaines escarbilles peuvent passer encore par ces intervalles ou par ces trous. Comme d'autre part, par suite de l'obstacle opposé au tirage, on est forcé d'employer un échappement plus serré produisant un appel d'air plus énergique et une dépression plus forte, on peut se demander si le bon effet obtenu n'a pas jusqu'à un certain point sa contrepartie. D'une part, on met une grille qui arrête certaines escarbilles, mais, d'autre part, on est obligé d'avoir un courant plus intense qui facilite l'entraînement des escarbilles par les trous. D'ailleurs, les escarbilles lourdes restent probablement au fond de la boîte à fumée par suite de leur poids, et il semble donc que les grilles ne reçoivent que les escarbilles qui peuvent les traverser. Cependant, parmi les escarbilles qui peuvent passer entre les barreaux d'une grille, il en est qui viennent frapper ces barreaux et qui doivent ainsi être rabattues vers le fond de la boîte à fumée; il y a donc en tout cas une certaine quantité d'escarbilles qui ne traversent pas les grilles et qui retombent dans la boîte à fumée. On n'a guère trouvé beaucoup mieux que ces grilles, auxquelles on a donné diverses dispositions qui sont décrites dans le rapport et sur lesquelles il n'y a pas grande utilité à insister. En résumé, l'arrêt des escarbilles est une question excessivement délicate et les grilles, quelle que soit la façon dont elles sont disposées, ne peuvent pas s'opposer absolument à l'entraînement des escarbilles par la cheminée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On peut aussi employer des cheminées spéciales, munies de dispositions qui arrêtent les escarbilles au passage ou à la sortie de la cheminée. Aux États-Unis et dans certains pays d'Europe où l'on brûlait du bois, on a beaucoup employé et l'on emploie encore dans certains cas la cheminée surmontée d'un capuchon de très grande dimension, muni d'une pièce qui forme déflecteur, et qui, par suite d'un changement brusque de direction, rabat les escarbilles et les empêche de s'échapper au dehors.

Le rapport de Mr Ekman signale à ce sujet une disposition employée en Suède et qui, paraît-il, fonctionne d'une manière tout à fait satisfaisante. L'appareil est placé non pas à la partie supérieure, mais à la partie inférieure de la cheminée. Il se produit un changement brusque de la direction du courant gazeux; il y a de plus des ailettes courbes qui font tourbillonner les escarbilles, qui sont projetées contre les parois d'une petite chambre placée au bas de la cheminée avec assez de force pour être réduites en poudre. Ici ce n'est plus une chambre où viennent s'accumuler les escarbilles séparées du courant gazeux et que l'on vide de temps en temps. Il y a, au contraire, un appareil qui broie les escarbilles en poudre très fine, et il n'y a plus alors de danger à ce qu'elles soient entraînées par le courant gazeux. Cet appareil est signalé comme donnant en Suède des résultats très satisfaisants.

Le troisième chapitre du rapport est relatif à l'*utilisation de la chaleur de la vapeur d'échappement*. C'est là évidemment un point qui présente un très grand intérêt théorique, car la vapeur d'échappement emporte inutilement au dehors une quantité assez considérable de chaleur, qui pourrait être récupérée et servir à chauffer l'eau d'alimentation jusqu'à près de 100 degrés. Le peu d'extension donnée jusqu'à ce jour aux appareils qui permettent d'utiliser la chaleur perdue de la vapeur d'échappement montre combien la question de simplicité, d'abord, et les questions d'économie dans l'entretien, ensuite, ont d'importance en matière de locomotives, puisque des appareils dont l'effet économique est évident et même assez important sont aussi peu employés.

Il y a cependant à ce sujet un point à considérer. Il s'agit de savoir si en empruntant une partie de la vapeur d'échappement pour réchauffer l'eau d'alimentation, on ne détermine pas une réduction nuisible du tirage. Cette opinion est exprimée par les ingénieurs de la Compagnie du Nord.

En principe cependant, il semble qu'on pourrait arriver à combiner des appareils d'échappement qui donneraient encore un tirage suffisant en utilisant les quatre cinquièmes de la vapeur d'échappement, de manière à obtenir le bénéfice du réchauffage avec le cinquième restant. Cette utilisation de la vapeur peut se faire par condensation directe et préalable de la vapeur dans l'eau; on a utilisé pour cela des appareils déjà anciens qui ne paraissent plus guère employés : il fallait avec des pompes spéciales aspirer l'eau chaude dans le tender ou dans les soutes de la locomotive-tender. Plusieurs appareils ont été combinés dans ce sens. D'autres appareils réchauffent l'eau dans le trajet entre le tender et la chaudière, ce qui paraît préférable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a quelquefois installé des réchauffeurs tubulaires placés sur le trajet entre les injecteurs ordinaires et la chaudière. Ces réchauffeurs tubulaires peuvent présenter un certain intérêt. Il faut cependant remarquer que, comme l'injecteur ordinaire porte déjà l'eau à une température assez élevée, il ne reste plus beaucoup de calories à lui fournir par la vapeur d'échappement : le bénéfice ne peut donc pas être très grand.

Un des appareils les plus récents paraît avoir reçu en Angleterre des applications assez nombreuses : c'est l'*injecteur à vapeur d'échappement*. Malheureusement, pour faire fonctionner cet injecteur il ne suffit pas de la vapeur d'échappement et il est nécessaire de prendre aussi une certaine quantité de vapeur vive à la chaudière. Il semble cependant que, dans cet appareil, la quantité de vapeur d'échappement utilisée soit assez grande pour produire un effet appréciable.

Cet appareil paraît être assez largement employé en Angleterre et cette considération a une certaine valeur pratique car, dans ce pays, on a toujours attaché une très grande importance à ne pas compliquer les locomotives en y ajoutant des appareils inutiles ou peu utiles. L'emploi de cet appareil accessoire, qui n'est pas sans entraîner un certain encombrement et sans être d'une manœuvre un peu délicate, semble donc indiquer qu'on lui reconnaît un avantage sérieux.

Avant d'entamer la lecture des conclusions de mon rapport, je vous demanderai la permission de vous rendre compte sommairement du contenu des deux autres rapports.

Mr le Président. — Nous vous en serons obligés.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — En résumant mon rapport, j'ai naturellement dû toucher plusieurs des points traités dans les deux autres rapports. Il s'y trouve cependant encore des points très spéciaux qui méritent de vous être tout particulièrement signalés.

Le rapport de Mr Quereau pour les États-Unis nous fournit des renseignements très intéressants sur la pratique américaine et d'abord sur la forme des tuyères. On a longtemps employé en Amérique deux tuyères séparées, complètement distinctes pour chacun des cylindres, accolées et ayant chacune un orifice indépendant. Le défaut de cette disposition, c'est que ces orifices sont excentriques par rapport à l'axe de la cheminée, et, bien que cet échappement double soit encore quelquefois employé, on semble renoncer en Amérique à cette disposition que l'on considère comme inférieure à la tuyère unique ; les Américains sont maintenant bien d'accord avec nous sur ce point.

Nous trouvons ensuite, dans le rapport de Mr Quereau, une indication intéressante sur la forme de la tuyère d'échappement, basée sur la pratique générale et sur des expériences spéciales. La forme qui paraît préférée en Amérique est la forme légèrement conique convergente suivie d'une petite partie cylindrique. On considère comme moins satisfaisante la forme conique convergente, la forme simplement cylindrique, ainsi qu'une forme qui, *a priori*, paraît évidemment inférieure

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux précédentes et qui est la forme cylindrique avec rétrécissement brusque à la partie supérieure.

Le rapport de Mr Quereau donne ensuite des détails sur les différentes dispositions qu'on peut donner aux diaphragmes, aux déflecteurs de boîte à fumée; nous y trouvons le dessin de différentes dispositions qui sont assez intéressantes, mais qui ne peuvent, semble-t-il, donner lieu à aucune remarque spéciale.

Mr Quereau s'occupe de ces *éjecteurs* ou *petticoats*, qui surmontent le tuyau d'échappement placé lui-même dans la partie inférieure de la boîte à fumée. Il signale, comme je l'ai déjà dit, les difficultés qu'en présentent le bon montage et l'entretien.

Quant aux boîtes à fumée, il constate qu'il se manifeste plutôt une tendance à un certain raccourcissement, qui d'ailleurs est préconisé par la *Master Mechanic's Association*. Les différentes dispositions de grilles à flammèches sont indiquées et décrites. Il est à remarquer qu'avec les grandes boîtes à fumée on peut donner un grand développement à ces grilles, formées soit de treillis métalliques, soit de tôles perforées.

En ce qui concerne les mesures destinées à prévenir les incendies, on n'a pas trouvé en Amérique mieux qu'en Europe. Le rapport de Mr Quereau dit seulement : « Il résulte de toutes les réponses qu'en ce qui concerne les moyens préventifs des incendies, les compagnies mettent leur confiance dans les dispositifs placés dans la boîte à fumée et dans leur maintien en bon état. »

La tuyère d'échappement variable paraît très peu usitée aux États-Unis. C'est surtout pour des considérations d'entretien qu'on paraît ne pas s'en servir.

Enfin, aucune compagnie américaine ne signale de disposition permettant d'utiliser la vapeur d'échappement. Par contre, on emploie assez fréquemment aux États-Unis l'injection dans l'eau du tender de la vapeur du petit cheval Westinghouse. Il y a là un point intéressant, parce que ce petit cheval consomme beaucoup de vapeur pour le travail qu'il produit; en réchauffant l'eau du tender au moyen de la vapeur de ce petit cheval, on élimine en partie cet inconvénient. Il paraît qu'en Amérique on se sert assez fréquemment de cette vapeur pour réchauffer l'eau jusqu'au point où l'injecteur peut encore fonctionner, c'est-à-dire jusqu'à 40 ou 45° C. On peut, spécialement en hiver, trouver là un certain avantage économique, obtenu sans troubler le moins du monde le fonctionnement de la locomotive elle-même.

Mr Quereau fait un compte rendu très intéressant des expériences faites en Amérique sur les échappements. Cette partie descriptive demanderait à être lue tout entière : elle contient des détails, des croquis, des diagrammes qui seront certainement d'une très grande utilité pour l'étude du tirage et de l'échappement. Enfin, le rapport conclut en comparant les expériences allemandes et américaines et en cherchant à expliquer certaines divergences qui existent entre elles.

Le rapport de Mr Ekman, qui m'a demandé d'en présenter le résumé, traite la question pour la Suède, la Norvège, le Danemark et la Russie. En ce qui concerne l'échappement fixe et l'échappement variable, Mr Ekman signale que c'est en Russie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

seulement qu'il a trouvé des applications de l'échappement variable. Dans les autres pays, on paraît s'en tenir à l'échappement fixe.

Au point de vue de la section de l'orifice d'écoulement et de la forme de la tuyère, Mr Ekman signale des expériences faites sur un certain nombre de tuyères de forme spéciale et notamment sur des échappements annulaires, mais sans qu'on soit arrivé à aucun résultat bien général. Il constate, comme on pourrait d'ailleurs le constater pour tous les autres pays d'Europe, que le souffleur annulaire donne de très bons résultats. Je crois, en effet, qu'on est d'accord partout que le souffleur annulaire est supérieur au souffleur donnant un jet unique de vapeur : l'effet utile est meilleur et on évite le bruit causé par les anciens souffleurs à jet unique.

Pour la section de la cheminée et la position de la tuyère d'échappement, on est arrivé aux mêmes conclusions que dans le reste de l'Europe, à savoir qu'il convient de placer la tuyère de telle sorte que son débouché se trouve à peu près à la hauteur de la rangée supérieure des tubes.

Au point de vue des dispositions destinées à éviter les incendies, le rapport de Mr Ekman contient des détails intéressants sur les cheminées suédoises, qu'il signale tout spécialement comme donnant de très bons résultats.

Enfin, il fait connaître qu'on a fait quelques essais d'injecteurs à vapeur d'échappement, mais que jusqu'à présent on ne peut présenter aucune conclusion à ce sujet.

Mr le Président. — Messieurs, je crois parler au nom de vous tous en remerciant Mr Sauvage tant pour son intéressant rapport que pour l'exposé si clair qu'il vient de nous présenter. (*Applaudissements.*) Je le prie maintenant de vouloir bien nous donner lecture des conclusions sur lesquelles nous pourrons engager la discussion.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Voici la première conclusion de mon rapport :

« 1° Le choix de l'échappement fixe ou de l'échappement variable est une question d'espèce, pour laquelle on ne peut pas formuler de règle générale. Ce choix doit tenir compte du service des locomotives (uniforme ou varié), du profil des lignes qu'elles parcourent, des charges qu'elles remorquent, de la longueur des étapes, de la nature des combustibles brûlés, des dépenses d'entretien des appareils, du soin et de l'adresse du personnel. »

Voici la conclusion de Mr Ekman sur la même question :

« 1° L'échappement variable n'est employé qu'en Russie. Ses avantages n'ont pas été reconnus tellement évidents qu'on puisse en recommander la généralisation. Il peut être avantageux dans certains cas, mais la pratique seule permet de dire où on peut l'employer avec de bons résultats. »

Voici, enfin, la conclusion de Mr Quereau :

« La théorie de la tuyère à échappement variable est admirable; mais les résultats

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des expériences ont démontré que les systèmes essayés deviennent rapidement inefficaces. Pour conserver son efficacité, d'une manière durable, le système doit être automatique et en dehors du contrôle du machiniste, en connexion avec l'appareil de changement de marche par exemple. »

Mr Salomon, Ch. de f. de l'Est français. — Je crois pouvoir dire au nom de tous nos collègues français que nous nous rallions à la conclusion de Mr Sauvage.

En France, comme dans tous les pays où l'on emploie l'échappement variable, cette disposition présente, à notre avis, des avantages incontestables. La rédaction de Mr Sauvage est très prudente et très complète et elle peut satisfaire en même temps nos collègues suédois, norvégiens, américains et les délégués de tous les autres pays européens.

Mr Clérault, Ch. de f. de l'Ouest français. — La première conclusion de Mr Sauvage est très générale et comprend d'ailleurs les autres conclusions. Je suis d'avis de l'adopter.

— La première conclusion de Mr Sauvage est adoptée.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Voici ma seconde conclusion :

« 2° La simple tuyère fixe circulaire et la tuyère variable à deux valves mobiles paraissent pouvoir suffire à la plupart des besoins de la pratique. »

Il y a dans le rapport de Mr Quereau plusieurs conclusions relatives à la disposition de la tuyère; la conclusion qui se rapproche le plus de la mienne est la conclusion 6° :

« La section à l'ouverture de la tuyère doit être moindre qu'en tout autre endroit du tuyau de décharge entre la tuyère et le cylindre. »

Enfin, Mr Ekman conclut comme suit :

« 2° L'échappement unique, avec orifice circulaire, paraît être le plus en faveur. Les souffleurs annulaires produisent un bien meilleur tirage que les anciens appareils. »

Il est fâcheux que nous n'ayons parmi nous aucun des ingénieurs qui ont préconisé certaines formes spéciales de tuyères, comme la tuyère annulaire; ils auraient pu nous fournir des renseignements spéciaux à ce sujet.

Je crois pouvoir vous donner à cette occasion une indication peut-être un peu prématurée, puisqu'il s'agit d'une question qui doit encore faire l'objet d'études plus complètes. Un théoricien qui a beaucoup étudié la question de l'écoulement des fluides et qui l'étudie encore, Mr l'ingénieur Rateau, serait partisan de tuyères de forme plus compliquée que les tuyères en usage et donnant à la nappe une surface de contact avec l'air plus étendue. Peut-être, cependant, est-il assez difficile de tenir

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

compte de cette indication qui résulte d'expériences que nous ne connaissons pas encore (1).

Mr **Clérault**. — Je crois que le but de Mr Sauvage en rédigeant cette conclusion n'a pas été du tout d'exclure pour l'avenir ou même pour le présent l'application de systèmes plus compliqués. Il a simplement voulu dire qu'avec des appareils simples comme la tuyère fixe circulaire et la tuyère variable à deux valves mobiles, on arrive en pratique à des résultats satisfaisants. En effet, les autres systèmes plus ou moins compliqués n'ont pas fourni jusqu'à présent de preuves suffisantes de leur supériorité pour que leur complication paraisse justifiée. Je crois que c'est là la portée de cette conclusion de Mr Sauvage et, pour ma part, dans cet ordre d'idées, je l'approuve entièrement.

— La seconde conclusion de Mr Sauvage est adoptée.

Mr **Sauvage**, *rapporteur*. — Voici ma troisième conclusion :

« 3° Les dispositions plus compliquées, telles que l'échappement surmonté du *petticoat*, le déflecteur dans la boîte à fumée, l'échappement annulaire fixe ou variable, les échappements variables à lanterne, à dérivation de vapeur, etc., peuvent donner de bons résultats, mais ne paraissent pas présenter, en général, une supériorité très grande sur les deux appareils simples mentionnés ci-dessus, quand ces appareils simples sont convenablement disposés.

« Les tuyères d'échappement sont exposées à un encrassement rapide, ce qui rend difficile l'entretien des mécanismes compliqués; cet encrassement est souvent inégal dans les tuyères annulaires. »

— Cette conclusion est adoptée.

Mr **Sauvage**. — Ma quatrième conclusion est ainsi conçue :

« 4° Les proportions de la tuyère et de la cheminée, ainsi que la position relative de ces deux organes doivent être déterminées, pour chaque type de locomotive, d'après les résultats obtenus en service sur des machines analogues ou d'après des essais directs. On peut aussi se servir d'expériences faites à l'aide d'appareils spéciaux, mais ces appareils doivent se rapprocher des conditions de la pratique dans chaque cas. »

Mr Ekman propose dans son 3° :

« 3° Les dimensions de la tuyère d'échappement et de la cheminée, ainsi que la position de la première, peuvent être déterminées d'après certaines formules,

---

(1) Depuis cette époque, il semble que les recherches de Mr Rateau ne lui aient pas indiqué beaucoup d'avantages des formes compliquées, mais qu'elles lui aient permis d'indiquer les proportions à donner aux diverses parties de l'appareil d'échappement. (Voir « Nouvelle théorie des trompes » [*Revue de mécanique*, septembre 1900].)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais il convient d'en vérifier les résultats par des expériences pratiques avec chaque type de locomotive. La pratique est, dans ce cas, le seul critérium sûr. »

Le rapport de Mr Quëreau entre dans plus de détails et la disposition de la tuyère est traitée dans ses conclusions 7°, 8° et 9° :

« 7° Le tuyau de décharge doit être simple et pourvu d'une cloison qui, si elle excède 13 pouces (330 millimètres), ne peut dépasser cette dimension que légèrement. Sa hauteur doit être aussi petite que possible, mais sans descendre au-dessous de 19 pouces (483 millimètres). Il ne doit pas présenter de courbes trop prononcées et il doit posséder un grillage convenablement disposé. »

« 8° Le passage de vapeur dans la tuyère doit avoir la forme représentée à la figure 5*b*. »

« 9° Les entretoises dans la tuyère diminuent l'efficacité du jet de vapeur. »

Il s'agit là de détails bien précis de construction, mais il me semble que cela peut rentrer dans la formule plus générale que j'ai l'honneur de vous proposer.

Mr le Président. — Il existe une certaine opposition entre la conclusion 7° de Mr Quereau qui fixe les dimensions convenables de la tuyère et la conclusion de Mr Sauvage, d'après laquelle les proportions de la tuyère et de la cheminée doivent être déterminées pour chaque type de locomotive. Il serait bon de discuter cette question et de décider à laquelle de ces conclusions nous devons accorder la préférence. Pour moi, je me rallie à la conclusion de Mr Sauvage.

Mr Baudry, Ch. de f. de Paris-Lyon-Méditerranée. — Une troisième conclusion me paraîtrait préférable aux deux autres : c'est celle de Mr Ekman qui, tout en reconnaissant l'utilité des formules, affirme la nécessité de les contrôler expérimentalement dans chaque cas particulier.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — La rédaction de Mr Ekman est, en effet, plus concise et meilleure.

— La troisième conclusion de Mr Ekman est adoptée.

Mr Sauvage. — Voici ma cinquième conclusion :

« 5° D'une manière générale, on peut dire qu'il est bon de ne pas élever l'ouverture de la tuyère beaucoup au-dessus de la rangée supérieure des tubes à fumée. Il y a moins d'inconvénients à la placer trop bas qu'à la monter trop haut.

« On a tendance, pour éviter les cheminées trop courtes, à les descendre dans la boîte à fumée, en les terminant, à la partie inférieure, par un orifice en forme d'entonnoir. Le profil conique un peu divergent, raccordé par une courbe continue avec l'entonnoir inférieur, paraît le plus convenable. Toutefois, le profil cylindrique, avec entrée inférieure conique, peut aussi donner de bons résultats. »

Mr Ekman propose de dire :

« 4° D'une manière générale, la tuyère est placée à peu près au niveau de la rangée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

supérieure des tubes à fumée, et cette pratique paraît être la bonne. Il importe beaucoup de ménager aux gaz une entrée large et facile dans la partie inférieure de la cheminée. »

Mr Quereau entre dans des détails et ses conclusions ne correspondent pas à celles que je viens de lire. Voici cependant ses conclusions 12°, 13°, 14° et 15° :

« 12° Avec un éjecteur convenablement disposé, il est vraisemblable que l'efficacité est d'autant plus grande que la distance de l'orifice de la tuyère à la base ou à l'étranglement de la cheminée est plus considérable ;

« 13° La cheminée cylindrique et la cheminée conique sont plus efficaces que la cheminée en losange ;

« 14° Il est probable que la cheminée conique est un peu plus efficace que la cheminée cylindrique, quand les proportions de chacune d'elles sont les meilleures pour un cas donné, parce que l'entrée et la sortie des gaz se font plus facilement dans la cheminée conique ;

« 15° Des règles exactes, en ce qui concerne les proportions de la meilleure cheminée, sont encore à trouver. »

La cheminée en losange dont il est question dans la conclusion 13° est une cheminée avec un capuchon pour rabattre les escarbilles placé à la partie supérieure. C'est une disposition un peu ancienne qu'on ne voit plus beaucoup. Toutes les anciennes locomotives américaines avaient ce modèle de cheminée.

Il semble qu'il y ait une certaine analogie entre les conclusions des différents rapporteurs sur cette question de la forme de la cheminée.

Mr Noblemaire, Ch. de f. de Paris-Lyon-Méditerranée. — Il faudrait, dans les conclusions, préciser le sens des deux conicités dont il est question. Au commencement, on parle de prolonger la cheminée à l'intérieur de la boîte à fumée en lui donnant la forme en entonnoir. Il faudrait dire en entonnoir renversé, car un entonnoir a normalement sa partie étroite en bas. Ici, au contraire, il s'agit d'une cheminée s'enfonçant dans la boîte à fumée par une partie plus large. Il est donc bon de préciser.

D'autre part, les Américains préconisent la cheminée conique. Mais dans quel sens ? Est-ce avec la pointe en bas ? On peut penser, et les Belges pensent, que c'est avec la pointe en haut, puisqu'ils font des cheminées beaucoup plus larges en bas qu'en haut, et il serait peut-être bon, dans cette conclusion, d'examiner cette théorie des Belges qui ont, en cette matière, des idées absolument opposées à celles de tout le monde. Dans tous les cas, il est nécessaire de bien indiquer de quelle conicité il s'agit.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Pour tenir compte de cette observation très juste, on pourrait dire : en les terminant à la partie inférieure par un entonnoir convergent.

Mr Noblemaire. — Je dirais plutôt : « en entonnoir renversé » ou encore « en s'évasant dans la boîte à fumée ». Tout le monde comprendrait alors ce que c'est.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Le 4° de Mr Ekman est très concis et très clair et ce texte pourrait être adopté. Je crois cependant qu'il serait peut-être intéressant d'ajouter quelques mots au sujet des cheminées qui, après cet évasement, sont cylindriques ou sont, au contraire, coniques. Il semble que la conclusion générale devrait être qu'on préfère la cheminée légèrement conique divergente à partir de l'étranglement, sans cependant y trouver un avantage très marqué.

Mr Noblemaire. — La question n'est-elle pas de savoir si oui ou non il y a inconvénient à adopter le système belge? Les Belges ont pris résolument une cheminée conique, une pyramide carrée plutôt, la pointe en l'air. Cette pratique est à tel point contraire à celle de tout le monde qu'elle ne peut pas être indifférente; cela doit être bon ou mauvais et je demande précisément si cela a ou n'a pas d'inconvénients.

Mr Dassesse, Ch. de f. de l'État belge. — Il faut remarquer que la cheminée conique avec la pointe en l'air n'a été appliquée au chemin de fer de l'État belge qu'avec les grandes boîtes à fumée qui ne sont elles-mêmes appliquées qu'aux locomotives pourvues de grandes grilles et précisément en vue d'avoir le tirage doux dont a parlé Mr le rapporteur. La grande cheminée conique avec la pointe en l'air devait être, dans l'esprit de ses promoteurs, la continuation de la boîte à fumée. Elle n'est appliquée que dans le cas spécial que j'indique; mais l'on en est revenu maintenant aux foyers profonds et courts, à la boîte à fumée courte et à la cheminée conique avec la grande base en haut.

Il s'agit, je le répète, d'un cas tout particulier, d'une disposition ayant précisément pour but de réduire le tirage et il n'est pas nécessaire d'y faire allusion dans les conclusions.

Mr Clérault. — Il semble résulter des explications précédentes qu'il s'agit là d'un cas particulier et que le dispositif en question vise un but absolument opposé à celui des dispositifs habituels; ce dispositif spécial tend à diminuer le tirage, alors que les dispositifs habituels tendent à l'augmenter, et la différence des buts poursuivis a pour motif la différence de nature des combustibles employés.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Voici quelle serait ma conclusion n° 5 avec l'amendement de Mr Noblemaire :

« 5° D'une manière générale . . . . . .
. . . . . .
. . . . . .

« On a une tendance, pour éviter les cheminées trop courtes, à les descendre dans la boîte à fumée, en les terminant à la partie inférieure par un évasement à profil conique un peu divergent . . . . . .
. . . . . »

Voici maintenant la conclusion n° 4 de Mr Ekman :

« 4° D'une manière générale, la tuyère est placée à peu près au niveau de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rangée supérieure des tubes à fumée, et cette pratique paraît être la bonne. Il importe beaucoup de ménager aux gaz une entrée large et facile dans la partie inférieure de la cheminée. »

On pourrait ajouter à cette rédaction les mots :

« Le profil conique un peu divergent, raccordé par une courbe continue avec l'entrée inférieure, paraît le plus convenable. » On pourrait ajouter encore : « Toutefois, le profil cylindrique peut aussi donner de bons résultats. »

La rédaction de Mr Ekman dit la même chose que la mienne, mais sous une forme plus concise et plus générale. Il conviendrait seulement d'y faire une addition au sujet de la forme conique ou cylindrique de la cheminée.

Mr le Président. — Nous avons à choisir ici entre trois conclusions, mais il est à remarquer que la conclusion de Mr Quereau est développée dans plusieurs alinéas et il serait peut-être difficile d'en tirer une conclusion unique.

Mr Sauvage. — Du reste, les conclusions de Mr Quereau ne contiennent rien qui soit en contradiction avec celles des deux autres rapporteurs; il dit bien au contraire : « Il est probable que la cheminée conique est un peu plus efficace que la cheminée cylindrique. Des règles exactes, en ce qui concerne les proportions de la meilleure cheminée, sont encore à trouver. »

Mr Noblemaire. — Il me semble, cependant, qu'il y a une certaine contradiction entre le rapport de Mr Quereau et les deux autres rapports.

Ceux-ci concluent, en effet, qu'il faut mettre l'ouverture du tuyau d'échappement à peu près à la hauteur de la rangée supérieure de tubes.

Or, je ne vois pas dans le rapport américain qu'il faille la placer à un niveau beaucoup inférieur, mais je constate que tous les dessins la placent beaucoup plus bas, surmontée, il est vrai, d'un *petticoat*.

La conclusion proposée ne me paraît pas tenir suffisamment compte du rapport américain. La conclusion française est qu'il faut placer cette ouverture aussi haut que possible. La conclusion américaine est qu'il faut la placer le plus bas possible. Il faudrait se prononcer sur cette divergence.

Mr Clérault. — En serions-nous réduits à prendre la moyenne? (*Rires.*)

Mr Noblemaire. — Il est vrai que la tuyère extrêmement basse, représentée sur les dessins américains, est surmontée d'un *petticoat*, mais autre chose est d'avoir une tuyère basse avec un *petticoat* au-dessus et un appel d'air entre les deux, et autre chose d'avoir un tuyau continu. Je ne sais si le système est bon ou mauvais, mais, en tout cas, il est très différent de ce qu'on fait en Europe.

Mr du Bousquet, Ch. de f. du Nord français. — Cette disposition de la tuyère basse avec *petticoat* ne s'est pas introduite en Europe, parce qu'elle est une grande gêne dans la boîte à fumée. Elle rend le nettoyage et l'entretien très difficiles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr le Président. — Je ne partage pas l'opinion de Mr Quereau sur ce point et il me paraît bien difficile que nous puissions trouver dans son rapport une conclusion satisfaisante.

Mr Noblemaire. — Je crois qu'il est bon de se prononcer, dans les limites où l'on peut le faire, sur la théorie américaine. Pour moi, je la crois mauvaise; elle est absolument contraire à la pratique de toute l'Europe et il ne nous paraît pas possible que les deux façons de faire puissent être également bonnes. Il faudrait donc indiquer ce point ou discuter la question. Je ne sais quelle est, à ce point de vue, l'opinion de notre rapporteur français, dont le travail est cependant si clair et si complet; comme il a étudié cette question plus que nous, il serait bon qu'il nous dise son opinion.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — D'après les renseignements qui nous sont fournis par nos collègues américains, je crois que le *petticoat* peut fonctionner également bien, mais sans présenter une grande supériorité. Il ne faudrait, d'ailleurs, pas penser qu'il est exclusivement en usage; le rapport de Mr Quereau signale les deux dispositions, la tuyère ordinaire et la tuyère très basse surmontée du *petticoat*, et il n'est pas très affirmatif quant aux avantages de ce dernier. Nous pourrions dire que la tuyère très basse surmontée d'un *petticoat* peut donner des résultats satisfaisants, mais que sa complication et certains inconvénients particuliers ne paraissent pas justifier cette disposition.

Mr Clérault. — Il y a là un point sur lequel nous ne paraissons pas être bien édifiés et nous devrions résoudre la question sans être trop affirmatifs. Ne pourrions-nous pas dire par exemple que la partie supérieure de la tuyère d'échappement ou du *petticoat* (lorsqu'il est employé) est au niveau de la rangée supérieure de tubes.

C'est là, en effet, ce qui paraît exister la plupart du temps en Amérique : lorsqu'on emploie le *petticoat*, sa partie supérieure est, en général, à peu près au niveau de la rangée supérieure de tubes, c'est-à-dire là où nous mettons, nous, en général, la tuyère d'échappement. Ne nous prononçons pas, n'indiquons pas une préférence pour l'un ou l'autre procédé. Les Américains emploient l'un des systèmes probablement parce qu'il est bon chez eux; nous employons l'autre probablement parce qu'il est bon chez nous. Mais nous pouvons peut-être dire qu'en général la partie supérieure des deux appareils est au niveau de la rangée supérieure de tubes.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Je crois qu'en parlant ainsi nous serions un peu trop affirmatifs quant à la position du *petticoat*. Les dessins du rapport américain le figurent à des hauteurs variables; on règle à volonté la hauteur de cet appareil et il n'y a pas à indiquer un niveau déterminé.

Mr Baudry. — Voici une autre rédaction que je me permets de proposer. Nous constaterions d'abord ce fait qu'au point de vue de la position, les échappements se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

divisent en deux grandes catégories, ceux qui sont à la partie supérieure de la boîte à fumée et ceux qui sont à sa partie inférieure. Nous ajouterions qu'en Europe les échappements sont presque toujours placés à la partie supérieure et nous dirions alors à leur sujet tout ce que Mr Sauvage a proposé. Nous terminerions en disant : « En Amérique, l'opinion paraît se partager entre les échappements situés dans la partie supérieure et ceux établis dans la partie inférieure et le Congrès n'a pas d'éléments suffisants pour apprécier la différence des résultats obtenus et exprimer une préférence. »

Mr Noblemaire. — Il faudrait ajouter que, dans le second cas, l'échappement est surmonté d'un *petticoat*, ce qui le ramène à peu près à l'échappement ordinaire.

Mr Clérault. — Malgré toute l'habileté de Mr Sauvage, il me paraît bien difficile d'arriver à rédiger en séance une conclusion sur ce point. Mais nous sommes maintenant parfaitement édifiés par la discussion et nous pourrions attendre que Mr le Secrétaire principal l'ait rédigée pendant l'heure du déjeûner.

Mr le Président. — Parfaitement.

Mr Souschinsky, Ministère des voies de communication, Russie. — Nous avons eu sur quelques lignes russes des locomotives américaines avec échappement dans la partie inférieure de la boîte à fumée ; mais on a constaté que cette disposition était défavorable au point de vue du tirage et qu'elle ne permettait pas un accès facile vers les tubes. Ces locomotives ont été modifiées.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Voici ma conclusion nº 6, qui a été rédigée avant la publication du rapport de Mr Quereau et qui, après lecture de ce rapport, est évidemment trop affirmative en ce qui concerne les États-Unis :

« 6º La boîte à fumée allongée est utile pour recueillir les escarbilles : elle évite la projection abondante de ces escarbilles et l'engorgement des tubes à fumée inférieurs. La cheminée doit être montée vers l'arrière de la boîte allongée. Cette boîte permet aussi de donner une grande surface à la grille à flammèches. La boîte à fumée allongée est inutile si, pour une cause quelconque, il n'y a pas entraînement d'escarbilles. »

Voici la conclusion nº 5 de Mr Ekman :

« 5º La boîte à fumée allongée paraît offrir plusieurs avantages et se répand de plus en plus. »

Enfin, voici la conclusion de Mr Quereau pour l'Amérique :

« 22º La boîte à fumée prolongée est d'un usage peu pratique comme réceptacle à escarbilles. »

Mr Noblemaire. — Il faudrait définir ce qu'on entend par boîte allongée. Il y avait autrefois des boîtes à fumée de 60 et de 80 centimètres; c'était là la pratique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

uniforme. On en est arrivé maintenant à faire des boîtes à fumée de 1.60 à 2 mètres et même plus, mais on en revient maintenant à 1.30 mètre environ. Je ne demande pas qu'on fixe une longueur exacte, mais je voudrais au moins qu'on définit le mot. Est-ce la longueur de 80 centimètres, est-ce la longueur de 1.60 mètre qu'on entend recommander?

Mr du Bousquet. — Les dimensions de la boîte à fumée dépendent des trajets que l'on fait faire par la machine. Autrefois, nous avions en France des relais tous les 120 kilomètres; aujourd'hui nous faisons faire à la même machine des trajets de 300 kilomètres avec des arrêts de cinq minutes, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible de vider la boîte à fumée. C'est dans ces conditions que nous avons été obligés de l'allonger.

Mr Souschinsky. — Je crois que la boîte à fumée plus longue constitue une espèce de réservoir et qu'elle donne un tirage plus uniforme. C'est là, théoriquement, un avantage au point de vue du tirage.

Mr Herdner, Ch. de f. du Midi français. — Au chemin de fer du Midi, nous employons des grilles à mailles très serrées pour arrêter les escarbilles. Ces grilles doivent être très grandes pour avoir la section totale nécessaire pour le passage des gaz et c'est là un des principaux motifs pour lesquels nous avons porté la longueur de nos boîtes à fumée à 1.60 et 2 mètres.

Mr le Président. — Il est regrettable qu'aucun membre américain ne soit présent pour défendre l'opinion de Mr Quereau. Nous nous trouvons en présence de la conclusion nº 6 de Mr Sauvage et de la conclusion nº 22 de Mr Quereau. Je crois, messieurs, que nous serons d'accord pour admettre la rédaction de Mr Sauvage.

Mr Souschinsky. — Je propose d'adopter la conclusion de Mr Ekman.

Mr le Président. — Cette conclusion est encore plus opposée à l'opinion de Mr Quereau et pouvons-nous aller aussi loin?

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Nous pourrions peut-être commencer par dire : « D'après la pratique européenne. » Il semble qu'il y ait là un point que nous nous expliquons mal. Le fonctionnement des locomotives américaines n'est pas celui de nos machines. Les locomotives américaines ont des échappements qui nous paraissent excessivement serrés, elles ont un tirage énorme. Les Américains comptent précisément sur ce tirage-là pour faire tout sortir de la boîte à fumée, dans laquelle il ne doit rien rester.

Chez nous, au contraire, la boîte à fumée reçoit les escarbilles et, comme le disait Mr l'ingénieur en chef du Bousquet, plus le trajet est long et plus il faut que la boîte soit longue. C'est bien là, en effet, l'idée de la plupart des ingénieurs européens.

Les ingénieurs américains, au contraire, expriment une opinion tout à fait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

différente, qui tient sans doute en partie à ce que par l'usage du déflecteur et par le tirage très vif, les gaz étant rabattus dans le fond de la boîte à fumée, il n'y peut rester grand'chose. En effet, le courant gazeux passe précisément dans la partie de la boîte à fumée où nous recueillons les escarbilles; il les entraîne et les projette au dehors. Nous pourrions ajouter quelques lignes et mentionner ce point particulier à l'Amérique, mais pour l'Europe nous sommes presque unanimes.

Mr Noblemaire. — Si nous étions ici un congrès européen, je me rallierais complètement à la conclusion de Mr Sauvage; mais nous sommes un congrès international et la nation la plus représentée après la France, ce sont les États-Unis. Malheureusement, ils ne sont représentés que sur le papier et nous n'avons pas ici de délégués américains. C'est fort regrettable, car en matière de boîtes à fumée, les Américains font des choses absolument en opposition avec tout ce qu'on fait en Europe. Il n'est pas possible, en tout cas, de passer cette situation sous silence dans les conclusions.

Je crois que Mr Sauvage vient de mettre le doigt sur la plaie. Les Américains ne veulent pas conserver d'escarbilles dans la boîte à fumée et ils font celle-ci toute petite, tandis que nous voulons récolter les escarbilles et que nous faisons de grandes boîtes à fumée. Les deux choses se comprennent très bien, chacune répondant à un but très différent.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Je proposerai aussi de rédiger une conclusion qui signale ce point.

Mr Clérault. — On pourrait dire simplement que lorsqu'on a tel but en vue, on emploie tel moyen, et que, pour tel autre but, on emploie tel autre moyen.

Mr Baudry. — Je ferai une proposition analogue à celle que j'ai faite à propos de la conclusion n° 5. Il ne me paraît pas nécessaire, ni même désirable, d'arriver dans chaque cas à une règle absolue. Dans l'espèce, je serais d'avis de condenser les indications du rapport, de noter les faits constatés en Amérique et en Europe et de dire : « Dans la pratique européenne on constate, dans ces derniers temps, l'agrandissement de la boîte à fumée qui a eu principalement pour but de recueillir les escarbilles et qui, au point de vue du tirage, ne paraît pas avoir le moindre inconvénient. En Amérique, où l'on avait autrefois des boîtes à fumée beaucoup plus grandes qu'en Europe, on constate, au contraire, une tendance à la réduction de leur longueur. »

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Je proposerai à la section une conclusion rédigée dans ce sens.

Mr Noblemaire. — Les Américains, qui ne sont pas les premiers venus, raccourcissent leurs boîtes à fumée; nous, qui avons aussi quelque valeur, nous allongeons les nôtres. Il serait utile d'expliquer cette différence dans la conclusion, car il n'est pas possible que ces deux manières de faire soient bonnes dans les mêmes conditions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr le Président. — Mr le Secrétaire principal vous proposera une rédaction dans notre prochaine séance.

Mr Noblemaire. — J'insiste encore pour que, dans sa rédaction, Mr Sauvage indique un chiffre.

La question qui nous est posée est celle de savoir quelles sont les meilleures dispositions à employer pour le tirage. Il ne s'agit pas de savoir s'il faut, oui ou non, recueillir les escarbilles, si on les utilise ou non. A-t-on eu raison d'augmenter la longueur des boîtes à fumée et peut-on indéfiniment l'augmenter sans inconvénient pour le tirage? Il semble *a priori* que non, que plus la longueur sera exagérée et moins facile sera le tirage. Cependant, plusieurs ingénieurs en chef français disent qu'au moins jusqu'à 2.30 mètres l'allongement de la boîte à fumée n'a aucune influence sur le tirage. Mais si, pour un motif quelconque, on allongeait les boîtes à fumée jusqu'à 4 mètres, par exemple, cela n'aurait-il aucune influence? Je ne le crois pas et il serait intéressant de constater, si c'est bien entendu par tout le monde, que jusqu'à 2.30 mètres l'allongement de la boîte ne diminue pas le tirage.

C'est pourquoi je disais tantôt qu'il faut un chiffre, une indication. Nous ne pouvons pas nous contenter du mot allongée ou prolongée, car on ne sait pas ce que cela veut dire.

Mr le Président. — Mr le Secrétaire principal rédigera donc une conclusion qu'il vous soumettra dans la prochaine séance.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Messieurs, avant de vous lire ma conclusion n° 7, je dois vous signaler un point très intéressant du rapport de Mr Ekman, que j'ai oublié de mentionner dans mon exposé de ce travail.

Mr Ekman signale comme très bonne, au point de vue du maintien du tirage et de l'efficacité, une disposition spéciale des grilles à flammèches, montées de manière à laisser entre la grille et la paroi de la boîte à fumée un jour assez grand. D'après Mr Ekman, ce vide assure une certaine facilité au passage des gaz, tout en assurant un arrêt tout aussi efficace des escarbilles, parce que le courant, en contournant la grille à flammèches, subit un changement brusque de direction : les escarbilles en sont séparées.

D'après Mr Ekman, on pourrait donc ménager autour des grilles à flammèches certains vides et obtenir des résultats très satisfaisants.

Mr Herdner. — Il est à remarquer que nos grilles à flammèches étant disposées pour pouvoir être facilement extraites et nettoyées, n'occupent pas toute la largeur de la boîte à fumée. Cependant, contrairement à ce que fait Mr Ekman, nous n'avons pas laissé subsister des vides à droite et à gauche de la grille et nous avons eu soin de boucher bien soigneusement tous ces vides. Nous n'avons pas, en effet, la certitude que des escarbilles incandescentes ne pourraient pas contourner la grille et allumer des incendies. Cela gêne peut-être un peu le tirage, mais je pense qu'au point de vue de la sécurité cela vaut mieux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr Noblemaire. — Au point de vue des incendies et du tirage, il y a une question qu'il serait, me semble-t-il, très intéressant de discuter, si tant est que nous ayons les éléments nécessaires pour cela.

Nous sommes d'accord pour penser qu'une très longue boîte à fumée (pour fixer les idées, disons de 2.30 mètres) n'a pas d'inconvénients. Mais, dans une très longue boîte à fumée, on peut placer la cheminée de différentes façons, et est-il indifférent de la placer n'importe où? Pour ne pas gêner le tirage, faut-il que la cheminée soit le plus près ou le plus loin possible de la plaque tubulaire ou à mi-chemin? Qui en sait quelque chose? Moi, je n'en sais rien et je me demande si ce n'est pas là une question à poser.

Mr Herdner. — Lorsque nous avons adopté les grandes boîtes à fumée, nous avons commencé par placer la cheminée à l'avant de ces boîtes, parce que nous pensions que si la cheminée était à l'arrière les gaz ne feraient pas le tour et n'utiliseraient pas les parties antérieures de la grille. Seulement, les escarbilles s'accumulaient à la base de la cheminée et finalement tout se bouchait. Nous avons alors mis la cheminée à l'arrière et nous nous en trouvons très bien, non seulement parce que les escarbilles qui viennent s'accumuler à l'avant ne gênent plus le tirage, mais encore parce qu'il se forme un véritable départ entre les gaz qui s'en vont directement dans la cheminée et les escarbilles qui, à leur sortie des tubes, continuent en vertu de la vitesse acquise et viennent frapper les parois de la boîte à fumée, contre lesquelles elles se brisent plus ou moins.

Mr Noblemaire. — Vous êtes donc partisan d'une cheminée aussi rapprochée que possible de la plaque tubulaire. Je crois que Mr Baudry n'est pas de cet avis, et il serait, je pense, utile de lui demander pourquoi.

Mr Baudry. — Les dernières locomotives du Paris-Lyon-Méditerranée ont de très grandes boîtes à fumée. Il convenait d'y réserver à l'avant un espace assez grand pour que le tirage ne fût jamais gêné par l'accumulation des escarbilles. La cheminée a donc été reculée vers l'arrière; mais on l'a maintenue à une certaine distance de la plaque tubulaire, afin d'égaliser le tirage entre les différents tubes.

Lorsque la cheminée est trop près de la plaque, le tirage dans les tubes supérieurs est favorisé. Mr Sauvage nous indiquait tout à l'heure la disposition prise par les Américains pour mieux répartir le tirage entre les tubes du haut et ceux du bas. Je crois arriver au même résultat en plaçant la cheminée à une certaine distance de la plaque tubulaire. Quant à donner une cote pour cette distance, cela ne m'est pas possible; cela dépend de trop de circonstances.

Mr Noblemaire. — On pourrait donc dire, d'après vous, que la cheminée doit être dans la première moitié de la boîte à fumée.

Mr Baudry. — Oui, mais c'est aussi quelquefois affaire d'esthétique.

Mr Noblemaire. — En se plaçant à ce point de vue, on mettrait toujours la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cheminée à l'avant, car les machines qui ont la cheminée au milieu de la boîte à fumée sont affreuses.

Mr Clérault. — Je crois que tout le monde est d'accord que la cheminée ne doit pas être placée dans la partie postérieure de la boîte à fumée et que nous nous rallierions à une formule disant que la cheminée doit être placée dans la première moitié de la boîte à fumée. Mais nous ne spécifierions pas de chiffre.

Mr du Bousquet. — Tout dépend de la longueur de la boîte à fumée.

Mr Clérault. — Je crois cependant que, dans les boîtes à fumée actuelles, vous ne placez jamais la cheminée dans la seconde moitié.

Mr le Président. — On propose donc d'indiquer la place à donner à la cheminée ?

Mr Noblemaire. — Je crois bon d'indiquer quelque chose, car la place de la cheminée ne me paraît pas pouvoir être indifférente. Mon intention était de provoquer les explications des gens pratiques. Mr Baudry me dit en ce moment que ce serait être trop précis que de dire : « dans la première moitié de la boîte à fumée ». Cela m'étonne, mais il est plus fort que moi en fait de machines du Paris-Lyon-Méditerranée.

Mr Baudry. — Ne pourrait-on pas dire que la cheminée peut être placée assez loin de la face d'avant pour réserver un espace suffisant aux escarbilles, sans être trop rapprochée de la plaque tubulaire, de manière à favoriser l'égale répartition du tirage entre les différents tubes? Ce serait une conclusion générale qui indiquerait le double but à poursuivre et qui laisserait à chacun une certaine latitude dans le choix de l'emplacement, selon les dimensions de ses boîtes à fumée.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Voici ma septième conclusion :

« 7° Les appareils destinés à arrêter les flammèches sont rarement très efficaces sans gêner le tirage. Il y a donc intérêt à les réduire autant que le permettent la qualité du combustible et la nature des régions traversées. »

Mr Ekman propose ce qui suit :

« 6° Pour arrêter les flammèches, on emploie généralement des toiles métalliques, quelquefois aussi d'autres appareils. Tous ces dispositifs gênent plus ou moins le tirage. Il convient de nettoyer les toiles métalliques de temps en temps; dans le cas contraire, elles s'engorgent de crasse et de suie. »

Enfin, Mr Quereau s'occupe de la question dans trois de ses conclusions :

« 23° Les déflecteurs et les grillages doivent être disposés de façon à éteindre les escarbilles, à les réduire en poudre et à les expulser ensuite en plein air;

« 24° Une visite méthodique des pièces de la boîte à fumée et spécialement du grillage doit être faite par des hommes compétents, à intervalles réguliers; les dates des visites et les constatations faites doivent être consignées dans un registre;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« 25° Il convient de recourir à l'emploi des moyens préventifs des incendies, tels qu'ils sont indiqués dans le corps du rapport. »

Mr **Noblemaire.** — Mr Sauvage dit dans cette conclusion : « Il y a donc intérêt à les réduire. » Qu'entend-il par là?

Mr **Sauvage.** — En mettre le moins possible.

Mr **Noblemaire.** — Donc, à en diminuer l'emploi. Mais il y a la loi. Dans ce cas, il faudrait peut-être se prononcer entre les deux systèmes, le système européen qui veut retenir les flammèches et le système américain qui les réduit en poussière qui peut être expulsée. Je ne sais si les chemins de fer du Midi seraient d'avis d'expulser les flammèches même réduites en poussière; ils mettent le feu aux Landes plus souvent qu'ils ne le veulent.

Mr **Herdner.** — Nous ne mettons pas le feu aux Landes.

Mr **Noblemaire.** — Mais alors pourquoi employez-vous des grilles à flammèches?

Mr **Herdner.** — Précisément pour ne pas mettre le feu aux Landes.

Mr **Noblemaire.** — Si vous y arrivez, c'est très bien; mais seriez-vous d'avis d'adopter la pratique américaine, de supprimer vos grilles à flammèches qui gênent incontestablement le tirage et d'adopter les appareils américains qui réduisent les escarbilles en poudre fine?

Mr **Herdner.** — Nous n'avons jamais cru à l'efficacité de ces appareils. Nous avons été à peu près les premiers en France à adopter la boîte à fumée allongée américaine, mais nous avons eu bien soin de supprimer le déflecteur dont parlait tout à l'heure Mr Sauvage.

Mr **Souschinsky.** — Il y a des combustibles qui ne produisent pas de flammèches, par exemple le combustible liquide, le naphte et les charbons très gras. Dans tous ces cas, on n'emploie pas, dans notre pays, de dispositifs contre les flammèches, ces dispositifs gênant dans tous les cas le tirage, quelque forme qu'on leur donne.

Mr **Sauvage**, *rapporteur*. — Je propose la rédaction suivante qui tient compte des observations présentées.

« Les appareils destinés à arrêter les flammèches sont rarement très efficaces sans gêner le tirage. Il y a donc intérêt, « ou plutôt, pour tenir compte des dispositions législatives en vigueur en France », il y aurait donc intérêt à en réduire l'emploi et à les simplifier autant que le permettent la qualité du combustible et la nature des régions traversées. »

— Cette conclusion est adoptée.

Mr **Sauvage**, *rapporteur*. — Ma huitième conclusion était ainsi conçue :

« 8° Les toiles métalliques sont plus gênantes que les grilles, et les tôles perforées encore plus que les tôles métalliques. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Je vous demande la permission de retirer cette conclusion.

Voici ma neuvième conclusion :

« 9° Avec les combustibles donnant beaucoup de flammèches, tels que le bois et le lignite, il peut être utile de recourir à la cheminée surmontée d'un déflecteur, qui rabat les escarbilles dans une chambre spéciale. »

Je crois que c'est encore là une question qu'il suffit de traiter dans le corps du rapport et que cette conclusion pourrait être supprimée, ce qui simplifierait le texte.

Mr Souschinsky. — Il pourrait être bon cependant d'indiquer qu'il y a un intérêt économique à conserver dans la boîte à fumée les escarbilles qui peuvent encore être utilisées par exemple pour les chaudières fixes. Vous l'avez d'ailleurs indiqué.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Il suffit que cela soit dit dans le rapport.

Nous passons à ma dixième conclusion :

« 10° De tous les appareils destinés à utiliser la chaleur perdue de la vapeur, il n'y a que l'injecteur à vapeur d'échappement dont les applications soient actuellement assez nombreuses; cet appareil paraît donner une petite économie de combustible et faciliter la conduite de la machine. »

Voici ce que dit Mr Ekman :

« 7° La vapeur d'échappement n'est utilisée que dans les injecteurs; encore les avantages des appareils construits dans ce but sont-ils contestés. »

Enfin, Mr Quereau dit :

« 26° La pratique américaine n'a pas encore révélé de système efficace en vue d'utiliser la vapeur de décharge pour chauffer l'eau du tender; cependant deux compagnies font actuellement une tentative dans cette voie. »

Mr Souschinsky. — Je pense que, dans les machines simples dans lesquelles la vapeur d'échappement a encore une grande pression, on peut espérer arriver à tirer parti de la chaleur perdue; mais dans les machines compound, je ne crois pas qu'il soit possible de tirer avantage de cette utilisation. Il est possible de faire à ce sujet une distinction entre les machines indépendantes et les machines compound, distinction que le rapport n'établit pas.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Nous faisons une simple constatation. Tous les anciens appareils Kirchweger ont disparu ; il ne reste plus guère que les injecteurs d'échappement.

— La conclusion 10° de Mr Sauvage est adoptée.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Voici ma onzième et dernière conclusion :

« 11° Il est assez facile de réchauffer modérément l'eau du tender à l'aide de la vapeur d'échappement du petit cheval compresseur d'air : l'essai de cette disposition

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

paraît devoir être recommandé. Cet essai serait particulièrement facile sur les machines-tenders. »

Sur ce point le rapporteur américain est un peu plus affirmatif, puisqu'il parle de choses qu'il voit de plus près :

« 28° La plupart des locomotives américaines étant munies d'injecteurs au lieu de pompes, et les injecteurs ne fonctionnant pas lorsque la température de l'eau d'alimentation est supérieure à 120° Fahr. (48.8° C.), il semble probable que l'on ne pourra retirer le bénéfice maximum du chauffage de l'eau du tender, par la décharge de la pompe à air, que quand un système automatique permettra de contrôler la température de l'eau d'alimentation. Des expériences ont été entreprises dans ce but. »

On voit tout de suite à quels faits pratiques ce rapporteur fait allusion : comme les mécaniciens ont peur d'avoir de l'eau trop chaude qui pourrait faire rater les injecteurs, ils chauffent très peu l'eau du tender. C'est même l'objection faite au simple robinet ordinaire.

Mr Clérault. — Je crois qu'il y aurait intérêt à supprimer complètement cette conclusion. La question soumise au Congrès porte sur le tirage et l'échappement dans les locomotives. Or, jamais l'échappement du petit cheval n'a coopéré au tirage de la locomotive. Bien au contraire, on le maintient en dehors pour éviter qu'il ne donne du tirage en stationnement.

Cette question est traitée accessoirement, comme il convient, dans le corps du rapport de Mr Sauvage, mais je ne crois pas qu'elle doive faire l'objet d'une conclusion qui ne répondrait pas à la question posée par le congrès.

Mr Souschinsky. — Cette observation me paraît parfaitement fondée.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — La troisième partie de la question est relative à l'utilisation de la chaleur de la vapeur d'échappement. Comme il y a fort peu de chose à dire à ce sujet, j'ai cru pouvoir signaler l'utilisation de la vapeur d'échappement du petit cheval. Cependant c'est là un point secondaire qui pourrait être laissé de côté dans les conclusions.

Mr Clérault. — Il était bon d'en parler dans le corps du rapport, mais dans les conclusions, c'est inutile.

— La onzième conclusion est supprimée.

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Messieurs, vous avez adopté huit conclusions dont six sont déjà rédigées. Pour les deux autres, j'aurai l'honneur de vous soumettre tout à l'heure une rédaction qui s'inspirera des idées qui ont été exprimées.

— La séance est levée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Séance du 21 septembre 1900, à 2 heures.

—

Mr Sauvage, *rapporteur*. — Le bureau a reçu une note de Mr Gibbs qui est relative à la question que nous avons traitée ce matin *et qui sera insérée en annexe*. (*Voir* annexe I.)

D'après cette note, on s'est donc trouvé dans la nécessité absolue de se débarrasser des escarbilles par suite de l'impossibilité où l'on se trouvait de les recueillir même dans de gigantesques boîtes à fumée. On a donc disposé les choses pour que les escarbilles fussent entraînées au dehors par le courant gazeux. Toutefois, en vue de prévenir les incendies, on cherche à faire tourbillonner ces escarbilles pendant un certain temps dans la partie antérieure de la boîte à fumée pour qu'elles puissent s'éteindre avant de s'échapper et pour qu'elles se réduisent en menus fragments qui peuvent être entraînés au dehors.

Cela explique la réaction un peu surprenante pour nous qui se produit en Amérique contre les boîtes à fumée allongées qui avaient environ 2 mètres de longueur. On arrive maintenant à avoir des boîtes à fumée qui ont 1.50 à 1.60 mètre.

Mr Gibbs ajoute qu'on cherche à remédier à l'insuffisance de surface des grilles actuelles qui ont cependant déjà environ 3 mètres carrés. On construit maintenant des grilles présentant une surface de 4 $^1/_2$ mètres carrés, ce qui permet un tirage un peu moins actif et un entraînement d'escarbilles moins considérable. Là où l'on brûle des anthracites menus, on arrive même à des grilles excessivement vastes qui ont jusqu'à 6 $^1/_2$ et 7 $^1/_2$ mètres carrés.

Mr le Président. — Cette note sera insérée au compte rendu *in-extenso*.

Nous allons entendre maintenant les conclusions que Mr Sauvage a rédigées sur la question traitée ce matin.

Mr Sauvage. — Il me restait, messieurs, à rédiger deux conclusions, les six autres ayant été adoptées définitivement. Voici la rédaction que je vous propose :

« 5° Pour les tuyères débouchant dans la partie supérieure de la boîte à fumée, telles qu'elles sont usitées presque partout en Europe, il semble qu'il est bon de ne pas en élever l'ouverture beaucoup au-dessus de la rangée supérieure des tubes à fumée.

« Quand la tuyère s'ouvre dans la partie inférieure de la boîte à fumée, elle doit être surmontée d'un *petticoat*. Il ne semble pas que cette disposition, qui a d'ailleurs quelques inconvénients, offre d'avantages bien marqués.

« Il importe beaucoup de ménager aux gaz une entrée large et facile dans la partie inférieure de la cheminée. On constate une tendance assez générale à évaser légèrement en cône la partie supérieure de la cheminée. »

— Adopté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« 6° La longueur de la boîte à fumée peut atteindre et même dépasser 2 mètres sans qu'il en résulte une action défavorable sur le tirage. Les grandes boîtes peuvent servir à recueillir les escarbilles; la cheminée doit alors être placée suffisamment vers l'arrière; mais il convient (si l'on ne fait pas usage de déflecteur) qu'elle soit suffisamment éloignée de la plaque tubulaire pour que les gaz se répartissent bien entre les tubes. Si l'on ne veut pas recueillir les escarbilles dans la boîte à fumée, on peut en réduire la longueur à 1.50 mètre environ, suivant une tendance qu'on constate en Amérique. »

Mr **Paschkovsky**, Ch. de f. de l'empire russe. — Il semblerait, d'après cette rédaction, que les grandes boîtes à fumée n'ont pour but que de recueillir les escarbilles. Or, je crois qu'elles ont un autre rôle, qui est de régulariser le tirage.

Je voudrais que la rédaction de la conclusion fût telle que l'on ne pût croire que c'est seulement pour recueillir les escarbilles que les boîtes à fumée ont été allongées.

Mr **Sauvage**, *rapporteur*. — Je dis dans ma conclusion : « La longueur de la boîte à fumée peut atteindre et même dépasser 2 mètres sans qu'il en résulte une action défavorable sur le tirage. »

Mr **Souschinsky**. — Mr Paschkovsky fait remarquer non seulement que cette action n'est pas défavorable, mais qu'elle peut même être utile.

Mr **Paschkovsky**. — On peut penser que les grandes boîtes à fumée contribuent à régler le tirage. Cela n'est pas démontré, mais le contraire n'est pas démontré non plus.

Mr **Sauvage**, *rapporteur*. — Il me semble que la constatation que leur action n'est pas nuisible, traduit assez bien notre opinion actuelle. S'il y avait des preuves ou si nous avions la conviction qu'elle est favorable, nous pourrions le dire, mais c'est là un point que nous ne pouvons pas affirmer. Cette rédaction laisse la porte ouverte à toutes les opinions sur ce point.

Mr **Blagé**, Ch. de f. du Midi français. — En disant simplement : « La longueur de la boîte à fumée peut atteindre et même dépasser 2 mètres » et en supprimant les mots : « sans qu'il en résulte une action défavorable sur le tirage », vous donneriez satisfaction à l'opinion qui vient de se faire jour, puisque, de cette façon, vous n'émettriez d'opinion ni dans un sens ni dans l'autre.

Mr **Sauvage**, *rapporteur*. — Il peut être intéressant d'émettre une opinion réservée sur ce point. Tous ceux qui ont employé les grandes boîtes à fumée sont d'accord qu'elles ne présentent pas d'inconvénients au point de vue du tirage sur lequel elles n'exercent pas une action défavorable et c'est pourquoi je le dis dans cette conclusion. Quelqu'un y a-t-il trouvé avantage à ce point de vue? Si oui, on peut le mettre, mais je ne crois pas qu'une telle constatation ait été faite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr le Président. — Evidemment, nous ne pouvons pas dire que les grandes boîtes à fumée exercent une action favorable au tirage; ce serait aller trop loin.

Mr Sauvage. — Nous n'avons pas à émettre une hypothèse.

Mr le Président. — Nous donnons une indication. Nous disons que jusqu'à 2 mètres l'allongement de la boîte à fumée n'a pas une action défavorable sur le tirage. Mais, si nous dépassons cette longueur, pourra-t-il alors se produire une action défavorable? Il me semble que dans la situation où nous nous trouvons au point de vue de l'influence de la longueur de la boîte à fumée sur le tirage, nous ferions bien de ne pas nous exprimer trop nettement sur cette question.

Mr Paschkovsky. — Précisément, monsieur le Président, je trouve la conclusion trop précise. On dit que les grandes boîtes à fumée servent à recueillir les escarbilles. Je réponds que ce n'est peut-être pas là leur but unique. En Russie, nous avons des locomotives qui brûlent des résidus de naphte, il n'y a donc pas là d'escarbilles et cependant je pense, sans pouvoir encore le prouver, que le grand volume de la boîte à fumée joue un certain rôle utile. Je n'ai pas encore fait d'expériences, mais je m'occupe d'en faire. Voilà pourquoi je demande une formule plus générale.

Mr le Président. — La conclusion ne dit pas que l'allongement de la boîte à fumée a pour seul but de permettre de recueillir les escarbilles, mais en signalant ce but, nous disons que cet allongement n'exerce pas une action défavorable sur le tirage. Il y a là deux fonctions de la boîte à fumée : la première, de recueillir les escarbilles; la seconde, de ne pas être défavorable au tirage.

Mr Sauvage, *rapporteur.* — Je dis qu'elles peuvent servir à recueillir les escarbilles, bien qu'en Amérique elles ne servent pas à ce but. Si nous nous trouvions en présence d'une affirmation bien précise, nous pourrions dire que les boîtes allongées présentent un avantage au point de vue du tirage, mais je répète que cette affirmation n'existe pas; l'expérience n'est pas assez longue pour qu'on puisse l'exprimer. Nous ne pouvons donc pas en dire plus.

Mr Paschkovsky. — Je dirais : « Les grandes boîtes peuvent servir à recueillir les escarbilles et peut-être aussi à régler le tirage. »

Mr Sauvage, *rapporteur.* — L'opinion qu'elles pourraient être favorables au tirage n'a pas encore été exprimée.

Mr le Président. — Je ne crois pas que nous ayons une expérience suffisante pour exprimer cette opinion et je crois que nous aurions tort de le faire.

— La conclusion 6° proposée par Mr Sauvage est adoptée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE

Séance du 29 septembre 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE M. ALFRED PICARD.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : Mr L. WEISSENBRUCH.

Mr **Sauvage**, *rapporteur et secrétaire principal de la 2e section*, donne lecture du

Rapport de la 2e section.

(Voir *Bulletin* quotidien de la session, n° 5, p. 3.)

« Les rapporteurs, Mrs QUEREAU, EKMAN et SAUVAGE, constatent que les opinions sont assez partagées en ce qui concerne la préférence à donner aux échappements fixes ou aux échappements variables, qui exigent un entretien assez onéreux et sont parfois maladroitement employés. L'argument le plus frappant en faveur de l'échappement variable est donné par la Compagnie du Nord français, qui fait remarquer que le serrage de l'échappement devient fort utile en fin de course, quand les mâchefers obstruent la grille. En effet, pour que l'appel d'air produit par l'échappement fixe restât proportionnel au poids de vapeur débitée, ainsi que l'indique la théorie, il faudrait que le combustible sur la grille fût toujours dans le même état.

« La tuyère reçoit parfois des formes assez compliquées, mais, en général, les plus simples suffisent. Les formes reconnues les meilleures en Amérique sont minutieusement décrites par Mr Quereau.

« La théorie ne permet guère de fixer sûrement à l'avance, pour chaque type de locomotive, les dimensions de la tuyère, ainsi que la position qu'elle doit occuper : des essais pratiques sont nécessaires dans chaque cas.

« Les cheminées ont en général un diamètre assez petit. Mr NOBLEMAIRE (*Paris-Lyon-Méditerranée*) cite certaines cheminées, à section rectangulaire, étudiées par Mr Belpaire, dont les proportions s'écartent absolument des règles usuelles; des ingénieurs belges expliquent que cette disposition n'a été adoptée que pour de vastes grilles à menus, exigeant un tirage très doux.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« D'après les expériences de la Compagnie du Nord, une *visière*, placée à l'avant de la cheminée, augmente un peu la dépression dans la boîte à fumée.

« La hauteur de la tuyère varie notablement suivant les pays. En Europe, on se rapproche de plus en plus de la règle anglaise, qui la fait déboucher à peu près au niveau de la rangée supérieure de tubes. Aux Etats-Unis, on emploie souvent encore une tuyère très basse, surmontée d'un conduit en tôle ou *petticoat*. Cette disposition n'est pas sans quelques inconvénients, et l'avantage n'en paraît pas bien grand.

« Une discussion, à laquelle prennent part plusieurs membres de la section, s'engage au sujet de la dimension de la boîte à fumée. On sait que la boîte à fumée *allongée*, dont la longueur atteint et dépasse 2 mètres, est depuis longtemps en usage aux Etats-Unis. Elle est aujourd'hui fort en faveur dans plusieurs pays d'Europe. La plupart des ingénieurs estiment qu'avec ces dimensions le tirage reste satisfaisant. Mr Paschkovsky (*État russe*) pense même, mais sans pouvoir l'affirmer, que le tirage en est amélioré.

« En Europe, les grandes boîtes à fumée sont souvent destinées à emmagasiner beaucoup d'escarbilles : Mr du Bousquet (*Nord français*) fait remarquer que l'allongement des parcours sans arrêt les a rendues fort utiles à ce point de vue. La cheminée doit alors être placée vers l'arrière. Mr Baudry (*Paris-Lyon-Méditerranée*) dit qu'on ne doit cependant pas trop la rapprocher de la plaque tubulaire, afin que les gaz se répartissent bien dans tout le faisceau de tubes.

« Aux Etats-Unis, au contraire, on constate une réaction contre l'emploi des boîtes à fumée de 2 mètres, dont la longueur est réduite à 1.50 mètre environ. La boîte à fumée n'est plus destinée à servir de réceptacle aux escarbilles, qui doivent seulement s'y éteindre et être entraînées par la cheminée. Le déflecteur, qui rabat les gaz vers le fond de la boîte à fumée, y empêche l'accumulation des escarbilles. Mr Gibbs (*Pennsylvania Railroad*) donne quelques détails intéressants à ce sujet : il dit que les grilles des locomotives américaines, bien qu'atteignant une surface de 3 mètres carrés, sont insuffisantes dans bien des cas, et que la combustion excessive qu'on est obligé d'y entretenir donne lieu à un tel entraînement d'escarbilles qu'aucune boîte à fumée, si grande fût-elle, ne pourrait les contenir; on a donc pris le parti de ne chercher à en conserver aucune fraction, et on donne à la boîte seulement la dimension nécessaire pour loger une grille à flammèches suffisamment étendue.

« Le rapport de Mr Quereau entre dans de grands détails au sujet des expériences sur les échappements entreprises en Allemagne par Mrs von Borries et Troske et aux Etats-Unis, par l'association des *Master Mechanics*. Il explique certaines divergences assez importantes entre les conclusions tirées de ces expériences.

« En ce qui concerne les dispositions pour éviter la projection des flammèches, on en est presque partout réduit à l'usage de grilles ou de tôles perforées, qui gênent plus ou moins le tirage sans être absolument efficaces. Le rapport de Mr Ekman signale un appareil, employé avec succès en Suède, qui fait tourbillonner les escar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

billes à la base de la cheminée, où elles s'éteignent et se réduisent en poudre entraînée par le courant gazeux.

« Enfin, on constate que la vapeur d'échappement est très rarement employée à réchauffer l'eau d'alimentation. On peut toutefois signaler l'usage d'un certain nombre d'injecteurs à vapeur d'échappement, surtout en Angleterre. En Amérique, on dirige parfois dans la soute du tender la vapeur d'échappement du compresseur d'air. C'est une manière ingénieuse de réduire la dépense, relativement forte, de cet appareil. Mais il faut quelques précautions pour que la température de l'eau n'atteigne pas le point où les injecteurs ne fonctionnent plus.

« Après un examen minutieux de tous les détails de la question, la section arrête le projet de résolutions qui suit. »

M^r^ le Président. — Voici les

CONCLUSIONS.

« 1° Le choix de l'échappement fixe ou de l'échappement variable est une question « d'espèce, pour laquelle on ne peut pas formuler de règle générale. Ce choix doit « tenir compte du service des locomotives (uniforme ou varié), du profil des lignes « qu'elles parcourent, des charges qu'elles remorquent, de la longueur des étapes, « de la nature des combustibles brûlés, des dépenses d'entretien des appareils, du « soin et de l'adresse du personnel ;

« 2° La simple tuyère fixe circulaire et la tuyère variable à deux valves mobiles « paraissent pouvoir suffire à la plupart des besoins de la pratique ;

« 3° Les dispositions plus compliquées, telles que l'échappement surmonté du « *petticoat*, le déflecteur dans la boîte à fumée, l'échappement annulaire fixe ou « variable, les échappements variables à lanterne, à dérivation de vapeur, etc., peu- « vent donner de bons résultats, mais ne paraissent pas présenter, en général, une « supériorité très grande sur les deux appareils simples mentionnés ci-dessus, « quand ces appareils sont convenablement disposés.

« Les tuyères d'échappement sont exposées à un encrassement rapide, ce qui « rend difficile l'entretien des mécanismes compliqués ; cet encrassement est souvent « inégal dans les tuyères annulaires ;

« 4° Les dimensions de la tuyère d'échappement et de la cheminée, ainsi que la « position de la tuyère peuvent être déterminées d'après certaines formules, mais il « convient d'en vérifier les résultats par des expériences pratiques avec chaque type « de locomotive. La pratique est, dans ce cas, le seul critérium sûr ;

« 5° Pour les tuyères débouchant dans la partie supérieure de la boîte à fumée, « telles qu'elles sont usitées presque partout en Europe, il semble qu'il est bon de « ne pas en élever l'ouverture beaucoup au-dessus de la rangée supérieure des tubes « à fumée.

« Quand la tuyère s'ouvre dans la partie inférieure de la boîte à fumée, elle doit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« être surmontée d'un *petticoat*. Il ne semble pas que cette disposition, qui a « d'ailleurs quelques inconvénients, offre d'avantages bien marqués.

« Il importe beaucoup de ménager aux gaz une entrée large et facile dans la « partie inférieure de la cheminée. On constate une tendance assez générale à évaser « légèrement en cône la partie supérieure de la cheminée ;

« 6° La longueur de la boîte à fumée peut atteindre et même dépasser 2 mètres « sans qu'il en résulte une action défavorable sur le tirage. Les grandes boîtes « peuvent servir à recueillir les escarbilles ; la cheminée doit alors être placée « suffisamment vers l'arrière ; mais il convient (si l'on ne fait pas usage de déflec- « teur) qu'elle soit suffisamment éloignée de la plaque tubulaire pour que les gaz se « répartissent bien entre les tubes. Si l'on ne veut pas recueillir les escarbilles dans « la boîte à fumée, on peut en réduire la longueur à 1.50 mètre environ, suivant « une tendance qu'on constate en Amérique ;

« 7° Les appareils destinés à arrêter les flammèches sont rarement très efficaces « sans gêner le tirage. Il y aurait donc intérêt à en réduire l'emploi et à les simplifier « autant que le permettent la qualité du combustible et la nature des régions tra- « versées ;

« 8° De tous les appareils destinés à utiliser la chaleur perdue de la vapeur, il n'y « a que l'injecteur à vapeur d'échappement dont les applications soient actuellement « assez nombreuses : cet appareil paraît donner une petite économie de combustible « et faciliter la conduite de la machine. »

— Ces conclusions sont ratifiées par l'assemblée plénière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXES

ANNEXE I.

Note de Mr A. W. Gibbs, adjoint à l'ingénieur en chef des machines du « Pennsylvania Railroad », sur l'abandon des boîtes à fumée allongées en Amérique.

Notre secrétaire principal, Mr Sauvage, m'a demandé pourquoi la boîte à fumée allongée, qui s'était répandue beaucoup et avait généralement été adoptée en Amérique, semble être tombée en discrédit dans ce pays, tandis qu'elle est maintenant adoptée en France. La raison de ce fait est due, sans aucun doute, en partie à la révolution qui s'est opérée dans la forme et les proportions des chaudières. Quand la boîte à fumée allongée a été adoptée, la grande majorité des machines avait une boîte à feu profonde entre les longerons. Des voûtes en briques dans le foyer étaient aussi très communes. Avec le foyer placé au-dessus des longerons et l'augmentation considérable de la section transversale des tubes, les escarbilles se sont accumulées en si grande quantité dans la boîte à fumée qu'il n'était plus possible de les y conserver. En conséquence, une partie des escarbilles a dû être conduite au dehors pour éviter que la boîte à fumée ne se remplisse et que la production de la vapeur ne soit entravée. Voilà ce qui est arrivé : Le tourbillonnement des étincelles dans la boîte à fumée les réduit en menus fragments et c'est dans cet état qu'elles sortent par la cheminée. La tendance actuelle est de faire la boîte à fumée d'une longueur suffisante pour pouvoir y placer un grillage d'une surface appropriée et aussi pour conserver un espace suffisant pour un trou de nettoyage à l'avant des cylindres, mais l'on ne cherche plus à y retenir les escarbilles jusqu'à la fin du voyage. La mission de la boîte à fumée n'est pas tant de conserver les escarbilles que de les garder pendant un temps suffisant pour leur permettre de se refroidir et de se réduire en poussière ; en conséquence, la longueur de la boîte à fumée, à l'heure actuelle, est certainement moindre qu'elle ne l'était il y a dix ans.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE II.

Note de Mr Quereau, rapporteur, sur la discussion de la question XI (1).

J'ai lu avec beaucoup d'intérêt la discussion des rapports relatifs à la question XI (L'échappement et le tirage dans les locomotives). J'ai été vivement contrarié d'avoir été empêché d'y prendre part. Si je l'avais pu, il est possible que certains malentendus qui paraissent s'être produits auraient été évités et que l'assemblée se serait mieux rendu compte de la pratique américaine.

C'est sans aucun doute avec raison que les rapporteurs du Congrès ont l'habitude de terminer leurs rapports par des projets de conclusions; mais il semble que cette habitude ait conduit la section à discuter ces conclusions sans une étude suffisante des faits et des arguments qui les précèdent et sur lesquels elles sont basées. Je citerai comme exemple la discussion de la conclusion n° 7 de mon rapport (« Le tuyau de décharge doit être simple et pourvu d'une cloison qui, si elle excède 13 pouces [330 millimètres], ne peut dépasser cette dimension que légèrement. Sa hauteur totale doit être aussi petite que possible, mais sans descendre au-dessous de 19 pouces [483 millimètres]. Il ne doit pas présenter de courbes trop prononcées et il doit posséder une grille à flammèches convenablement disposée ») — et aussi la discussion de la conclusion n° 10 (« La boîte à fumée doit être aussi courte que possible ») et, enfin, la conclusion n° 22 (« La boîte à fumée allongée est d'un usage peu pratique comme réceptacle d'escarbilles »). Ces conclusions ont été considérées uniquement comme reflétant l'opinion du rapporteur basée sur les résultats d'une enquête relative à la pratique américaine. En réalité, comme on l'aurait appris par la lecture du rapport, bien que ces conclusions représentassent la pratique américaine et fussent en même temps conformes à l'avis du rapporteur, elles étaient avant tout fortement fondées sur les résultats d'essais minutieux entrepris par une commission de l'association américaine des *Master Mechanics*. Les essais dont il s'agit ont été faits sur des locomotives, dans les conditions les plus favorables pour des observations précises, par un corps d'observateurs spécialement entraînés et avec des instruments de précision. Ces conditions donnent plus de confiance, à mon avis, dans l'exactitude des conclusions, que si celles-ci reposaient simplement sur la majorité des opinions recueillies à une multitude de sources, dans des circonstances et des conditions qui doivent être nécessairement fort variables et ne peuvent être connues avec certitude.

Il me paraît que les conclusions que je viens de mentionner sont celles du rapport américain qui ont provoqué les plus longues discussions et ont été le moins bien comprises. C'est à ce point de vue que j'ai pensé qu'il serait bon de les discuter spécialement.

En ce qui concerne l'efficacité du tuyau d'échappement placé bas, il ne faut pas oublier que la préférence qui lui est donnée a été basée d'abord et s'est répandue ensuite dans la pratique à cause des conclusions tirées par la commission de l'association des *Master Mechanics* de ses expé-

(1) Cette note a été remise par Mr Quereau après la clôture des délibérations.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riences. Ce n'est donc pas simplement une opinion, mais c'est un fait considéré comme scientifiquement démontré par ceux qui ont étudié les appareils et les méthodes de cette commission, que plus la tuyère est placée bas dans la boite à fumée — pourvu qu'elle ne descende pas au-dessous de 13 pouces (330 millimètres) —, plus est grande l'efficacité de l'échappement. Et il ne faut pas oublier que par efficacité on entend la relation du vide à la contrepression qui le produit. En d'autres mots, il parait scientifiquement démontré par la commission que plus la tuyère d'échappement est basse, plus grande peut être la surface de l'échappement qui sert à produire le vide. Cette conclusion a été confirmée par l'un des membres qui a discuté ce point et qui a dit que son expérience a montré qu'un tuyau d'échappement bas produit un courant trop vif. Dans ces conditions, la pratique américaine élargit l'ouverture de la tuyère de façon à réduire la vivacité du courant et en même temps la contrepression dans les cylindres — et il en résulte une augmentation du rendement de la locomotive.

D'une manière générale et en principe, il parait rationnel de croire que plus le parcours du jet de l'échappement à l'intérieur de la boite à fumée est long, plus sera grande l'action de la vapeur d'échappement sur les gaz qui la surmontent; donc, plus est bas le tuyau de l'échappement, plus sera grande la surface de la tuyère d'échappement pour produire un vide donné et plus sera faible la contrepression.

Il y a un autre avantage marquant dans l'emploi de l'échappement bas. Il permet l'emploi d'une beaucoup plus grande surface de grille à escarbilles, obstruant ainsi beaucoup moins le passage des gaz des tubes vers la cheminée.

En ce qui concerne la longueur du prolongement de la boite à fumée, la pratique américaine — bien qu'elle ne soit pas universelle —, de faire la boite à fumée aussi courte que les circonstances le permettent, est considérée comme basée sur un fait scientifiquement démontré et établi par la commission des *Master Mechanics* dans les termes suivants (que l'on trouvera à la fin de la section 3 de mon rapport) : « Cet essai prouve qu'une augmentation de la longueur de la boite à fumée au delà de ce qui est nécessaire pour le placement d'une trémie à escarbilles à l'avant de la selle du cylindre est inutile et peu désirable, car l'allongement de la boite à fumée diminue considérablement la dépression. »

L'analyse des conditions montrera que cette conclusion est fondée sur le bon sens aussi bien que sur les essais mentionnés. Supposez, pour la nécessité de la démonstration, qu'une boite à fumée ait 25 pieds (7.620 mètres) de longueur. Il deviendra immédiatement évident, toutes autres choses égales d'ailleurs, que la dépression dans la boite à fumée, les tubes et la boite à feu, sera beaucoup moins considérable que si la boite à fumée était d'une longueur ordinaire, parce que l'espace dans lequel le vide doit être produit pour procurer un tirage suffisant a été considérablement augmenté.

Venons maintenant à l'efficacité de la boite à fumée comme réceptacle pour les cendres. Des essais et des observations ont démontré qu'après que les escarbilles se sont accumulées jusqu'à une certaine hauteur dans le prolongement de la boite, ce qui est encore entrainé au travers des tubes sort par la cheminée, et que la quantité qui reste dans la boite à fumée est toujours à peu près la même en quantité et en volume. Ce qui reste est une faible proportion de ce qui vient au travers des tubes. Pour autant que je sache, les premiers essais de ce genre ont été faits à l'université de Purdue par le professeur W. F. M. Goss et ont fait le sujet d'une conférence devant le *New York Railroad Club*, le 17 septembre 1896; j'en ai parlé dans le dernier paragraphe de la section 2 de mon rapport. Dans cet essai, la locomotive avait une boite à fumée de 52 pouces (1.321 mètre) de diamètre et de 64 pouces (1.626 mètre) de longueur. Ces résultats montrèrent que 75 livres (34 kilogrammes) d'escarbilles ont été retenues dans la partie d'avant et que 294 livres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(133.4 kilogrammes) ont passé à l'extérieur au travers de la cheminée. En somme, on ne conserva que 20 p. c. de la quantité totale produite au bout d'un voyage de 150 milles (241.4 kilomètres).

En avril 1900, des essais semblables furent faits par le « Denver & Rio Grande » sur une machine à marchandises en service. Dans ce cas, la boîte à fumée de la locomotive avait 68 pouces (1.727 mètre) de diamètre et 61 pouces (1.549 mètre) de longueur, la longueur des parcours, chacun 120 milles (193 kilomètres). Le poids des escarbilles restées dans la boîte à fumée a été de 25 livres (11.3 kilogrammes) à la fin du premier voyage et celui des escarbilles ayant traversé la cheminée, de 572 livres (259.5 kilogrammes). On n'a donc retenu à l'extrémité de l'avant que 4.19 p. c. des escarbilles qui ont traversé les tubes.

Pendant le second voyage, il y eut 756.5 livres (343.1 kilogrammes) qui passèrent au travers de la cheminée, 47 livres (21.3 kilogrammes) ou 5.85 p. c. seulement étaient restées dans la boîte à fumée.

Il n'est nullement douteux que les conditions dans lesquelles les locomotives travaillent aux États-Unis et à l'étranger sont très différentes. Si l'on tient compte de la différence, en pratique, dans la longueur de la boîte à fumée, j'ai la conviction que des recherches minutieuses qui seraient faites sur les locomotives étrangères le long des lignes déjà indiquées, prouveraient l'exactitude des faits découverts par les observateurs américains, à savoir que, après que les escarbilles ont atteint une certaine hauteur dans le prolongement de la boîte à fumée, le surplus qui vient au travers des tubes est entraîné hors de la cheminée et ne reste pas. La seule différence dans les résultats à comparer aux nôtres est la proportion retenue dans le fond de la boîte à fumée. Si cette opinion était confirmée par des essais, il s'ensuivrait que l'efficacité de la boîte à fumée comme réceptacle pour les escarbilles a été beaucoup exagérée à l'étranger. Il ne serait donc pas surprenant que les Européens suivent la pratique américaine actuelle, consistant à raccourcir le prolongement de la boîte à fumée, comme ils l'ont déjà fait lorsqu'ils l'ont allongée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE III

—

Errata à l'exposé n° 2 par Mr Ed. Sauvage.

Page XI-20 du tiré à part n° 7 et du *Compte rendu* (page 20 du *Bulletin* de 1900), 3e ligne du bas, *au lieu de :* « 13 kilogrammes par millimètre carré », *lisez :* « 13 kilogrammes par centimètre carré ».

Page XI-21 (page 21 du *Bulletin*), tableau 1° : *A régulateur ouvert*, colonnes 3, 4, 5, 6 et 7, *au lieu de :* « 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00 », *lisez :* « 20, 40, 60, 80, 100 ».

Page XI-21 (page 21 du *Bulletin*), 2e ligne du bas, *au lieu de :* « 163 centimètres carrés », *lisez :* « 168 centimètres carrés ».

Page XI-29 (page 29 du *Bulletin*), 4e ligne du bas, *au lieu de :* « la section d'écoulement est minimum », *lisez :* « la section d'écoulement est maximum ».

Page XI-31 (page 31 du *Bulletin*), 11e ligne du haut, *au lieu de :* « Mac-Allan », *lisez :* « Macallan ».

Page XI-32 (page 32 du *Bulletin*), 1re colonne du tableau, *au lieu de :* « 0.09, 0.18, 0.27, 0.36, 0.45 », *lisez :* « 9, 18, 27, 36, 45 ».

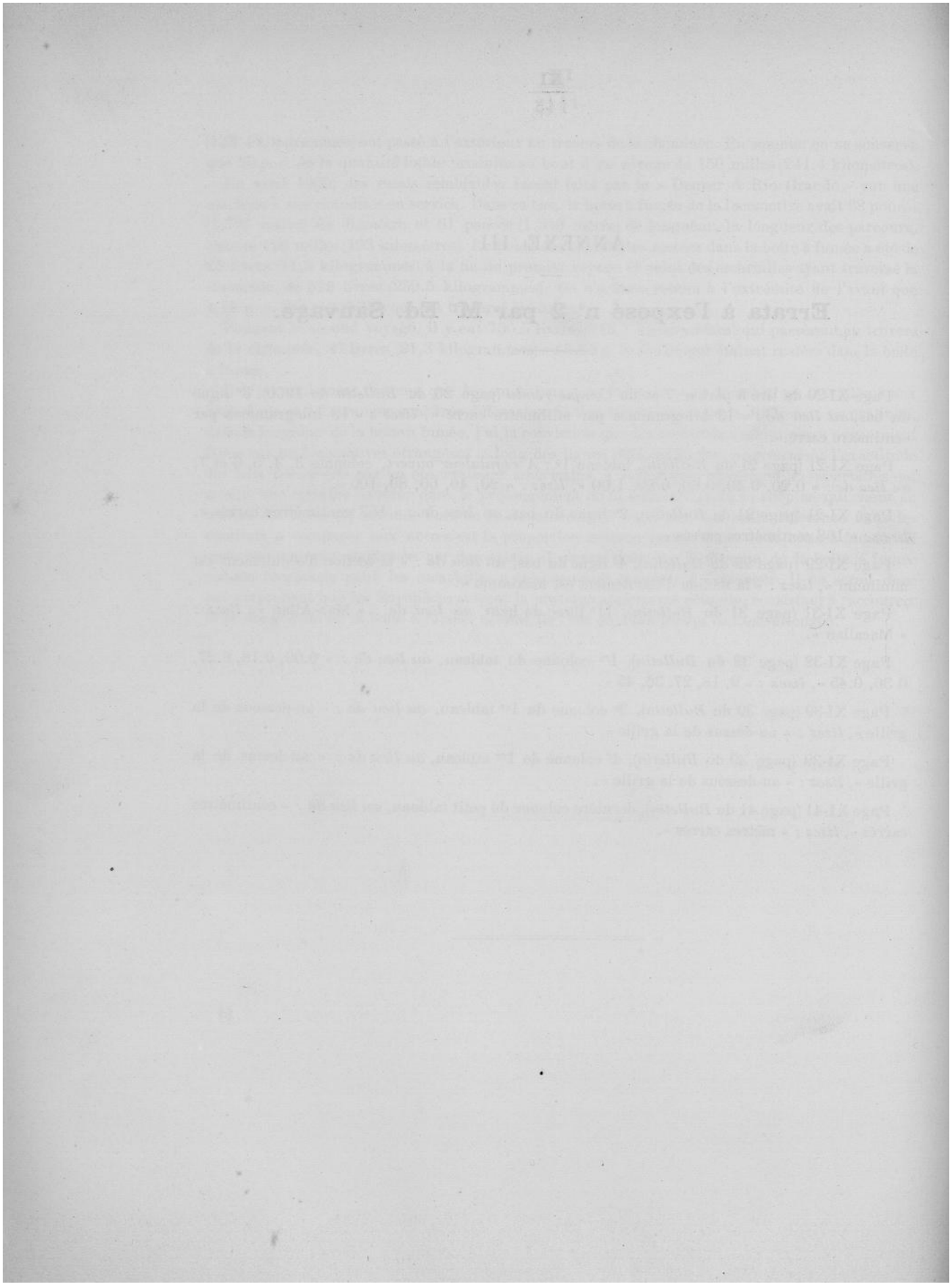
Page XI-39 (page 39 du *Bulletin*), 3e colonne du 1er tableau, *au lieu de :* « au-dessous de la grille », *lisez :* « au-dessus de la grille ».

Page XI-39 (page 39 du *Bulletin*), 4e colonne du 1er tableau, *au lieu de :* « au-dessus de la grille », *lisez :* « au-dessous de la grille ».

Page XI-41 (page 41 du *Bulletin*), dernière colonne du petit tableau, *au lieu de :* « centimètres carrés », *lisez :* « mètres carrés ».

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

[621.131.2 & 621.134.4]

QUESTION XII.

LOCOMOTIVES DES TRAINS A TRÈS GRANDE VITESSE

Progrès réalisés dans la construction des locomotives à très grande vitesse (90 kilomètres et au delà) et spécialement des moteurs des trains rapides lourdement chargés ou parcourant des lignes accidentées. Emploi de la disposition compound.

Rapporteurs :

Angleterre et colonies. — Mr Riches (T. Hurry), Locomotive, Carriage and Waggon Superintendent, Taff Vale Railway.

États-Unis. — Mr Slack (J. R.), Assistant Superintendent Motive Power, Delaware & Hudson Company.

Autres pays. — Mrs du Bousquet, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer du Nord français, et Herdner, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer du Midi français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUESTION XII.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

Exposé n° 1 (tous les pays, sauf les États-Unis, l'Angleterre et les colonies), par Mrs du Bousquet et Herdner. (Voir le *Bulletin* d'août 1900, 1er fasc., p. 5003, et d'avril 1901, p. 217.) . . . . . XII — 3

Exposé n° 2 (Angleterre et colonies), par Mr T. Hurry Riches. (Voir le *Bulletin* de septembre 1900, 2e fasc., p. 6675.) . . . . . XII — 265

Exposé n° 3 (États-Unis), par Mr J. R. Slack. (Voir le *Bulletin* de septembre 1900, 2e fasc., p. 6873.) . . . . . XII — 465

Note sur l'emploi des combustibles liquides dans les locomotives, par Mr James Holden. (Voir le *Bulletin* de septembre 1900, 2e fasc., p. 6898.) . . . . . XII — 490

Discussion en section . . . . . XII — 507

Rapport de la 2e section . . . . . XII — 538

Discussion en séance plénière. . . . . XII — 538

Conclusions . . . . . XII — 539

Annexe : Errata à l'exposé n° 1 par Mrs du Bousquet et Herdner . . . . . XII — 541

N. B. — Voir aussi les tirés à part (à couverture brune) nos 53, 64 et 66.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621.131.2 & 621.134.4]

EXPOSÉ N° 1

(tous les pays sauf les États-Unis, l'Angleterre et les colonies)

Par Mr DU BOUSQUET,
INGÉNIEUR EN CHEF DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DU CHEMIN DE FER DU NORD FRANÇAIS.

et

Mr HERDNER,
INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DES CHEMINS DE FER DU MIDI FRANÇAIS.

SOMMAIRE.

	Paragraphes.
Avant-propos	1
Première partie. — Moteurs à grande vitesse employés en 1899	7
SERVICES ASSURÉS PAR LES MOTEURS A GRANDE VITESSE :	
a) Trains de très grande vitesse (90 kilomètres et au delà)	8
b) — express lourdement chargés	30
c) — — parcourant des lignes accidentées	37
DESCRIPTION DES MOTEURS A GRANDE VITESSE A DEUX ESSIEUX ACCOUPLÉS	51
Moteurs à deux essieux non-compound :	
Types de la Compagnie de Paris à Orléans	51
Type de l'État néerlandais	60
— du réseau de l'Adriatique	64
— de l'État belge	66
— de l'Ouest français	68
— de l'Est français	72
— de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée	76
— de la Kaiser Ferdinands-Nordbahn	78
— de l'État français	85
Moteurs à deux essieux compound :	
Type de l'État hongrois	86
— du Nord français (1891)	91
— — — (1899)	101

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Para-graphes.

Moteurs à deux essieux compound (suite) :

Type de l'État néerlandais 103
— — autrichien 104
— de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée 108
— du Midi français. 113
— de l'État français 117
— de l'Ouest français. 118
— de la Compagnie Paris-Orléans 121

DESCRIPTION DES MOTEURS A TROIS ESSIEUX ACCOUPLÉS 123

Moteur à trois essieux accouplés non-compound :

Type de l'État belge 124

Moteurs à trois essieux accouplés compound :

Type de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée 127
— — — du Saint-Gothard. 139
— — — du Midi français 134
— de l'État hongrois 140
— de la Compagnie du Nord français 143
— de l'État autrichien 148
— de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée 152

RENSEIGNEMENTS CONCERNANT LES CHAUDIÈRES DES LOCOMOTIVES POSTÉRIEURES A 1889 . . 156
— — LES MÉCANISMES DES LOCOMOTIVES POSTÉRIEURES A 1889 . . 161
— — LE VÉHICULE DES LOCOMOTIVES POSTÉRIEURES A 1889 . . . 184

Deuxième partie. — Moteurs à grande vitesse employés en 1889 190

SERVICES ASSURÉS PAR LES MOTEURS EN USAGE EN 1889 :

a) Trains de très grande vitesse 191
b) — express lourdement chargés. 198
c) — — parcourant des profils accidentés 199

MOTEURS A DEUX ESSIEUX ACCOUPLÉS EN USAGE EN 1889 204

Type de la K. K. Kaiser Ferdinands-Nordbahn 205
Types de l'Est et du Midi français. 206
— *Outrance* et *701* du Nord français 210
Type de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée 214

MOTEURS A TROIS ESSIEUX ACCOUPLÉS EN USAGE EN 1889 :

Types du Nord et du Midi français 217
Type de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée 221

RENSEIGNEMENTS CONCERNANT LES CHAUDIÈRES 223
— — LES MÉCANISMES 223
— — LES CHASSIS, LES ROUES, ETC., ET LES TENDERS 223

PROGRÈS RÉALISÉS DE 1889 A 1899 224

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

AVANT-PROPOS.

§ 1. — La question XII, que nous avons été chargés de rapporter pour la session de 1900 du Congrès, est libellée comme suit :

« Progrès réalisés dans la construction des locomotives à très grande vitesse « (90 kilomètres et au delà) et spécialement des moteurs des trains rapides lour- « dement chargés ou parcourant des lignes accidentées. Emploi de la disposition « compound. »

§ 2. — Bien que notre travail parût ainsi limité à l'étude des moteurs affectés à la remorque de trains tracés à des *vitesses moyennes de marche* égales ou supérieures à 90 kilomètres à l'heure, nous nous sommes demandé tout d'abord s'il y avait lieu de nous en tenir strictement à cette limitation, ou s'il n'y aurait pas, tout au contraire, utilité à comprendre également parmi les trains *à très grande vitesse* tous ceux qui, bien que tracés à une vitesse moyenne inférieure, atteignent néanmoins dans la pratique, sur certaines parties faciles de leur parcours, des vitesses *effectives* de 90 kilomètres et au delà.

Une question analogue se posait au sujet des trains lourdement chargés ou parcourant des lignes accidentées. Convenait-il de ne tenir compte que de ceux de ces trains par lesquels des vitesses moyennes ou effectives d'au moins 90 kilomètres à l'heure sont réalisées, ou n'était-il pas préférable de considérer cette limite inférieure de vitesse comme applicable seulement aux trains de très grande vitesse relativement peu chargés et circulant sur de faibles déclivités, et d'abaisser cette limite, voire même de n'en spécifier aucune, pour les trains lourdement chargés ou circulant sur des profils accidentés ?

§ 3. — Une enquête sommaire à laquelle nous avons procédé au cours de l'été de 1898, en vue de résoudre ces questions, a montré que dans les pays de langue non anglaise, les seuls dont nous eussions à nous occuper, il ne circulait, à cette date, qu'un nombre très limité de trains tracés à une vitesse moyenne de marche égale ou supérieure à 90 kilomètres à l'heure, et que tous ces trains, d'un tonnage plutôt réduit, ne parcouraient que des lignes à faibles déclivités.

Dans ces conditions, et pour que notre travail répondît, aussi complètement que possible, au but que poursuit le Congrès, il nous a paru indispensable de donner au texte de la question XII l'interprétation la plus large.

§ 4. — Nous avons été ainsi conduits à considérer trois catégories de moteurs à grande vitesse sur l'établissement desquels nous avons demandé aux administrations intéressées de nous renseigner séparément et que nous avons définies comme suit :

1° Moteurs plus spécialement destinés à réaliser, par des trains d'un tonnage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

relativement réduit et sur des profils peu accidentés, des vitesses moyennes ou effectives de 90 kilomètres à l'heure et au delà ;

2° Moteurs plus spécialement destinés à remorquer, sur des profils peu accidentés, des trains rapides lourdement chargés ;

3° Moteurs plus spécialement destinés à remorquer des trains rapides sur des profils accidentés.

Nous n'avons d'ailleurs pas pensé qu'il y eût intérêt à préciser ce que l'on doit entendre par *train rapide*, *train lourd* et par *ligne accidentée*, et nous avons laissé à chacune des administrations consultées le soin d'apprécier si la vitesse réalisée et la charge remorquée habituellement par tel ou tel train qu'elle fait circuler, permettent de le considérer comme un train rapide lourdement chargé, de même si la vitesse réalisée et le profil parcouru par tel autre train permettent de le faire entrer dans la catégorie des trains rapides parcourant des lignes accidentées.

§ 5. — Or, il résulte des réponses qui nous ont été adressées qu'aucune des administrations qui ont bien voulu nous renseigner n'a jugé utile de créer un type de moteur spécial pour le service des trains rapides lourdement chargés circulant sur des lignes à faibles déclivités. Toutes, sauf une, affectent au service de ces trains les mêmes moteurs qu'aux trains de très grandes vitesses, savoir : des machines à deux essieux accouplés, à roues motrices de 1.92 à 2.14 mètres de diamètre. Seule, la Compagnie de l'Ouest français fait remorquer ses trains rapides et lourds par des machines à six roues accouplées, semblables à celles qu'emploient plusieurs autres administrations pour le service des trains express circulant sur des profils accidentés. Dans ces conditions, nous n'avons pas cru devoir conserver, dans le présent rapport, la classification indiquée ci-dessus et les trois catégories primitives ont été réduites à deux seulement comprenant, l'une, les moteurs à grande vitesse à deux essieux accouplés, l'autre, les moteurs à grande vitesse à trois (ou quatre) essieux accouplés.

Dans chacune de ces deux catégories, nous avons d'ailleurs considéré séparément et successivement les machines qui ne comportent pas la disposition compound, et celles au contraire, en très grand nombre, qui comportent cette disposition.

§ 6. — Enfin, la question XII ayant pour objet essentiel les progrès réalisés dans la construction des locomotives à grande vitesse, nous avons résolu de prendre pour point de départ l'année 1889, qui est celle de la dernière Exposition universelle de Paris, et d'établir, pour chacune des deux catégories de moteurs susvisés et dans la limite des renseignements qu'il nous serait possible de recueillir, une comparaison entre les types usités en 1889 et ceux employés en 1899. Comme il n'existait cependant en 1889, du moins dans les pays dont nous avons à nous occuper, aucun train tracé à la vitesse moyenne de 90 kilomètres ou au delà, nous sommes convenus de prendre pour termes de comparaison, en ce qui concerne les moteurs à très grande vitesse, ceux qui permettaient, en 1889, de réaliser des vitesses moyennes ou effectives de 70 kilomètres à l'heure ou au delà.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Notre travail comprendra, par suite, deux parties bien distinctes. La première se rapportera exclusivement aux moteurs en usage en 1899. Dans la seconde, nous rappellerons les principales caractéristiques des moteurs employés en 1889, et nous formulerons les conclusions qui nous paraîtront se dégager de leur comparaison avec les moteurs actuels.

PREMIÈRE PARTIE.

MOTEURS A GRANDE VITESSE EMPLOYÉS EN 1899.

§ 7. — Les administrations qui ont bien voulu nous adresser des renseignements sur les moteurs à grande vitesse qu'elles emploient et auxquelles nous adressons ici nos plus vifs remerciements sont les suivantes :

AUTRICHE-HONGRIE.

Administration des chemins de fer de l'État autrichien.
— — — — hongrois.
Compagnie du Nord autrichien (K. K. priv. Kaiser Ferdinands-Nordbahn).

BELGIQUE.

Administration des chemins de fer de l'État.

FRANCE.

Compagnie des chemins de fer de l'Est.
— — — du Midi.
— — — du Nord.
— — — de l'Ouest.
— — de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
— — — de Paris à Orléans.

HOLLANDE.

Administration des chemins de fer de l'État néerlandais.

ITALIE.

Société italienne des chemins de fer méridionaux (réseau de l'Adriatique).

SUISSE.

Administration du chemin de fer du Saint-Gothard.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Services assurés par les moteurs à grande vitesse.

§ 8. — Avant de donner la description de ces moteurs, nous croyons devoir entrer dans quelques détails concernant quelques-uns des trains les plus remarquables qu'ils ont permis d'introduire dans les horaires.

a) *Trains de très grande vitesse (90 kilomètres à l'heure et au delà).*

§ 9. — Sur le réseau de l'*État autrichien*, les trains express, tracés à une vitesse moyenne de marche inférieure à 90 kilomètres à l'heure, atteignent effectivement, sur des profils à déclivités de 5 à 10 millimètres par mètre et avec une charge remorquée de 160 tonnes, comprenant généralement quatre voitures à quatre essieux et deux véhicules à trois essieux, des vitesses de 90 à 95 kilomètres à l'heure.

§ 10. — Sur le réseau de l'*État hongrois*, les parcours les plus rapides sont ceux effectués entre Budapest et Marchegg sur la route de Pest à Vienne, par les trains nos 108 et 107, dont les itinéraires sont analysés ci-après.

La vitesse de 90 kilomètres à l'heure, autorisée exceptionnellement par le ministre du commerce, est atteinte régulièrement sur certaines parties de ces parcours.

TABLEAU I.

Trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectué sans changement de machine.
		Km			Km	Km						
108	Budapest	...	...	..	...	...	113	14	168	21	Rampes et pentes douces de 0 à 3 mill.; quelques-unes de 4 à 5 mill. de Pest à Pozsony. Rampes et pentes de 6 à 7.5 mill. de Pozsony à Marchegg. Courbes de grand rayon; quelques-unes de 380 à 500 mètres	Budapest-Marchegg (231.5 kilomètres).
	Ersekujvàr	121.7	1h33′	5′	78.5	80.2						
	Pozsony	...	...		...	...						
	Marchegg	91.0	1h10′	1′	78.0	80.2						
		...	...		...	...						
		18.8	21′		53.7	59.4						
		...	...	...	...	...						
	——											
107	Marchegg	...	...	...	...	...	113	14	168	21		Marchegg-Budapest (231.5 kilomètres).
	Pozsony	18.8	20′	1′	56.4	62.6						
	Ersekujvàr	...	...		...	...						
	Budapest	91 „	1h11′	5′	76.9	79.1						
		...	...		...	...						
		121.7	1h35′		76.8	78.5						
		...	...	...	...	...						

N. B.— Dans ce tableau, comme dans tous ceux qui suivent, la vitesse moyenne de pleine marche a été calculée en déduisant du temps accordé entre deux points d'arrêt consécutifs, deux minutes pour le temps perdu pour la mise en vitesse au départ et pour le ralentissement qui précède l'arrêt. Il n'a pas été tenu compte, faute de renseignements suffisants, des ralentissements pouvant être imposés pour une cause quelconque en cours de route.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 11. — Le parcours le plus rapide, actuellement effectué par une même machine sur le réseau de la *Kaiser Ferdinands-Nordbahn* a lieu entre Vienne et Prerau, par train n° 5, dans les conditions indiquées dans le tableau II.

TABLEAU II.

Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des arrêts intermédiaires.	VITESSE MOYENNE		CHARGE			
				brute entre deux points d'arrêt.	de pleine marche.	ordinaire.		maximum remorquée sans perte de temps.	
						Tonnes.	Essieux.	Tonnes.	Essieux
	Km			Km	Km				
Vienne	83.1	1h11'	5'	70	72	110 à 150	15 à 18	180	24
Lundenbourg. . .									
Prerau	100.3	1h26'		70	71.6				

Le train n° 5 comprend ordinairement cinq à six véhicules, exceptionnellement huit véhicules à trois essieux.

Le profil de la ligne, représenté figure 1, ne comprend que des déclivités inférieures à 4 millimètres par mètre. Les courbes y sont rares, généralement de grand rayon, et sont, d'ailleurs, parcourues sans réduction sur la vitesse maximum autorisée, qui est de 90 kilomètres à l'heure en pleine voie.

§ 12. — Sur le réseau de l'*État belge*, les trains express, tracés à des vitesses moyennes de marche inférieures à 90 kilomètres à l'heure, atteignent néanmoins des vitesses effectives égales ou supérieures à ce chiffre sur les parties les plus favorables de leur parcours. Toutefois, ces parcours sont d'un développement relativement restreint. La vitesse maximum autorisée par les règlements est de 100 kilomètres à l'heure.

§ 13. — L'*Administration de l'État français* fait circuler sur sa ligne de Paris à Bordeaux un train rapide (n° 99) dont le parcours le plus intéressant, effectué par une même machine, est celui de Paris à Thouars, d'une longueur totale de 325 kilomètres. Ce parcours fait l'objet du tableau III.

La composition du train n° 99 comprend ordinairement six voitures à deux essieux d'un poids total de 112 tonnes et un wagon-restaurant pesant 28 tonnes et porté par deux bogies à deux essieux.

Avec la charge exceptionnelle indiquée ci-dessus de 170 tonnes, il a été regagné dix minutes sur l'ensemble du parcours.

Quant au profil, représenté par la figure 2, il comprend, entre Paris et Chartres, des déclivités prolongées de 5 et 6 millimètres par mètre, et de Chartres à Thouars, des déclivités également prolongées de 10 millimètres par mètre, et d'autres généralement assez courtes, de 10 à 14 et même 15 millimètres par mètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 1. — Profil de la ligne de Vienne à Prérau.

Fig. 2. — Profil de la ligne de Paris à Thouars.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU III.

Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des arrêts intermédiaires.	VITESSE MOYENNE		CHARGE				Profil.
				brute entre deux points d'arrêt.	de pleine marche.	ordinaire.		maximum remorquée sans perte de temps.		
						Tonnes.	Essieux.	Tonnes.	Essieux.	
	Km			Km	Km					
Paris	87 1	1h19	...	66.1	67.8					
Chartres	129.9	1.43	5′	75.6	77.1	140	16	170	...	Voir fig. 2.
Château-du-Loir . . .	108.1	1.24	0	77.2	79.1					
Thouars			...							

Les courbes, assez nombreuses sur certaines parties du parcours, sont généralement de grand rayon. Toutefois, pour un certain nombre d'entre elles, le rayon descend à 500 mètres, et pour quelques-unes à 400 mètres et même au-dessous.

La vitesse effective maximum autorisée entre Paris et Thouars est de 90 kilomètres à l'heure, sans limitation spéciale dans les courbes. Cette vitesse est fréquemment atteinte dans la pratique. En particulier, lorsque les trains express ont des retards à regagner, ils soutiennent cette vitesse sur des parcours indéfinis, en pente ou en palier.

§ 14. — La plupart des grandes lignes du réseau de l'*Est français* (Paris-Nancy, Paris-Charleville, Paris-Belfort, Laon-Delle) sont desservies par des trains dont les itinéraires comportent, sur des parcours plus ou moins étendus, des vitesses moyennes de marche atteignant 90 kilomètres.

Si l'on fait abstraction des deux longues déclivités de 8 millimètres par mètre d'un développement de près de 10 kilomètres chacune, qui marquent son passage du bassin de la Seine dans celui de la Meuse, et de quelques autres moins étendues de 5 millimètres par mètre aux environs de Meaux, où la Marne fait quelques méandres, et près de Toul, à sa descente dans la vallée de la Moselle, la ligne de Paris à Nancy peut être considérée comme tracée en rampe maximum de 3.5 millimètres. Elle comporte même un parcours de près de 150 kilomètres de longueur, tout entier dans la vallée de la Marne, sur lequel les déclivités sont constamment inférieures à 1 millimètre (fig. 3).

Notablement plus accidentée, la ligne de Paris à Belfort comprend des parcours de près de 20 kilomètres de longueur en rampe à peu près continue de 6 millimètres par mètre (fig. 5).

Des déclivités semblables, mais plus courtes, se rencontrent entre Trilport et Reims (ligne de Paris à Charleville, fig. 4).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

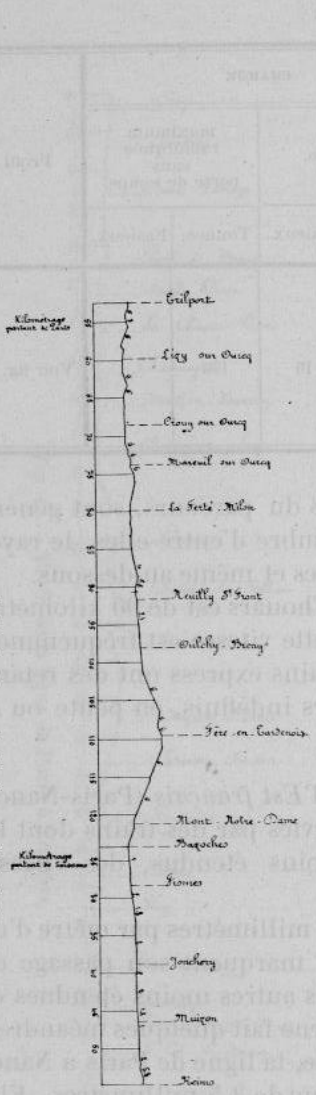


Fig. 4. — Profil de la ligne de Trilport à Reims.

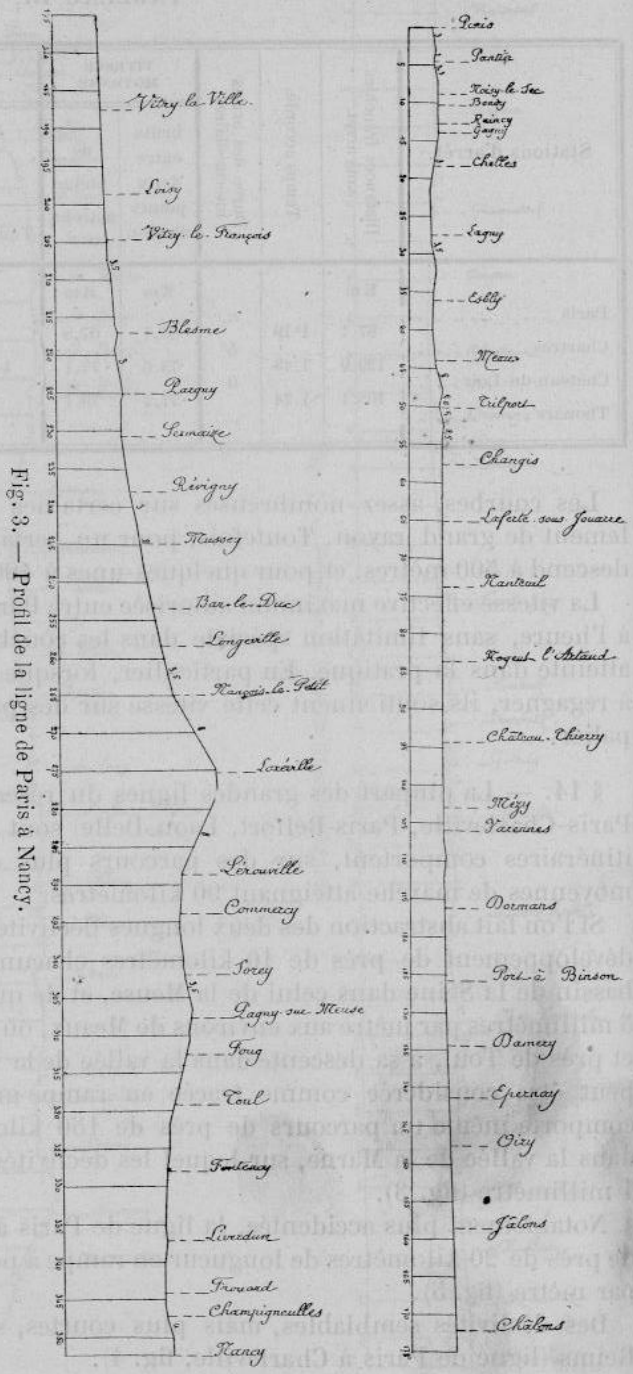


Fig. 3. — Profil de la ligne de Paris à Nancy.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

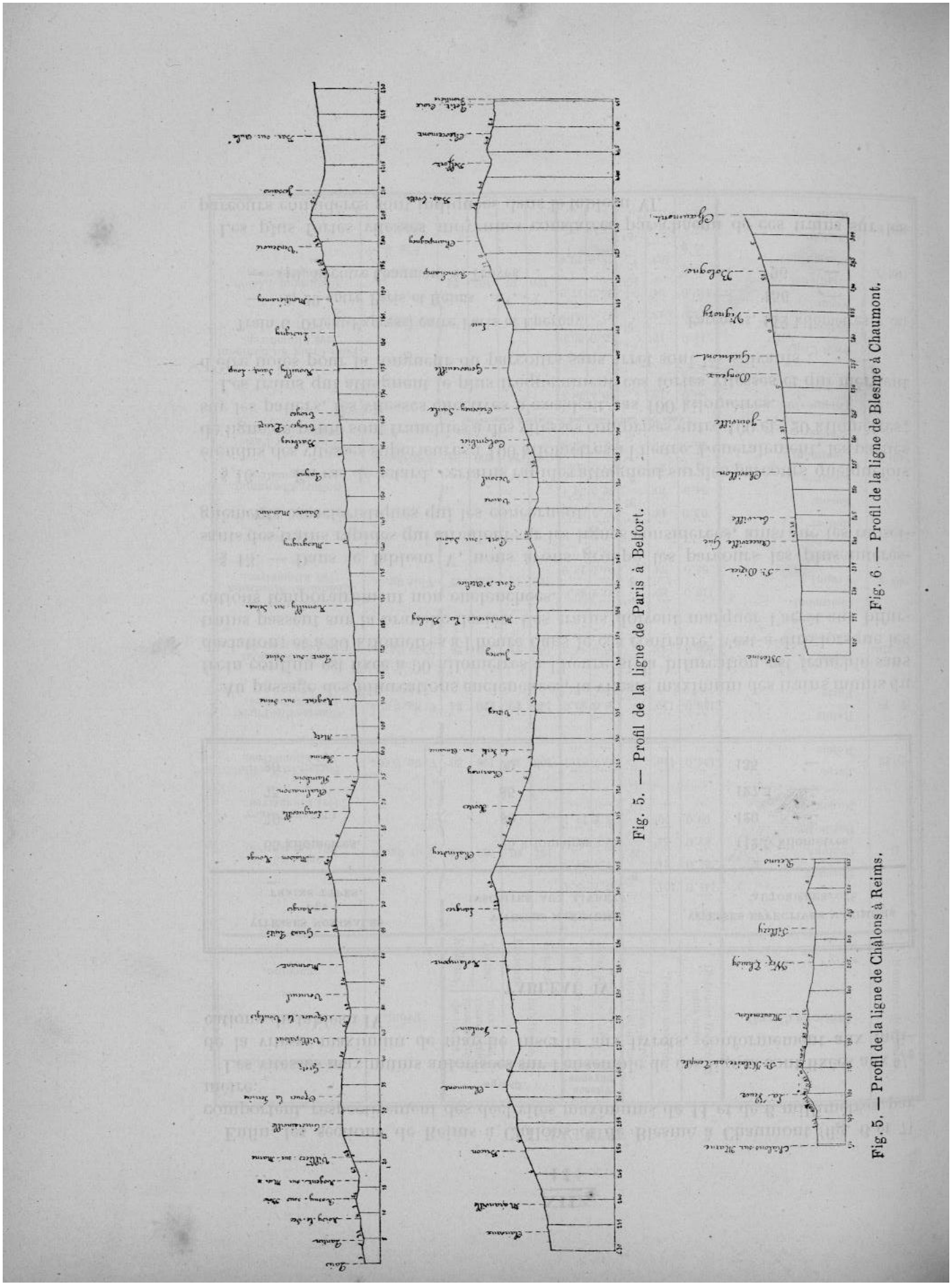


Fig. 5. — Profil de la ligne de Châlons à Reims.

Fig. 6. — Profil de la ligne de Blesme à Chaumont.

Fig. 5. — Profil de la ligne de Paris à Belfort.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin, les sections de Reims à Châlons et de Blesme à Chaumont (fig. 6 et 7) comportent respectivement des déclivités maximums de 11 et de 6 millimètres par mètre.

Les vitesses maximums autorisées sur l'ensemble de ces lignes sont fixées aux $^3/_2$ de la vitesse maximum de marche inscrite aux livrets, conformément aux indications du tableau IV.

TABLEAU IV.

VITESSES NOMINALES DES TRAINS TYPES.	VITESSES MAXIMUMS INSCRITES AUX LIVRETS.	VITESSES EFFECTIVES MAXIMUMS AUTORISÉES.
65 kilomètres.	75 kilomètres.	112.5 kilomètres.
70 —	80 —	120 —
75 —	85 —	127.5 —
80 —	90 —	135 —

Au passage des bifurcations enclenchées, la vitesse maximum des trains munis du frein continu est fixée à 90 kilomètres à l'heure si la bifurcation est franchie sans déviation, et à 30 kilomètres à l'heure dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque les trains passent sur la branche déviée. Ces trains doivent marquer l'arrêt aux bifurcations temporairement non enclenchées.

§ 15. — Dans le tableau V, nous avons groupé les parcours les plus intéressants des trains rapides qui circulent sur les lignes considérées, ainsi que les renseignements caractéristiques qui les concernent.

§ 16. — En cas de retard, certains rapides atteignent sur des parcours quelquefois étendus des vitesses supérieures à 100 kilomètres à l'heure. Généralement, les parties de ligne en pente sont franchies à des vitesses comprises entre 100 et 120 kilomètres; sur les paliers, les vitesses effectives n'excèdent pas 100 kilomètres.

Les trains qui atteignent le plus fréquemment ces fortes vitesses et qui méritent d'être notés pour la longueur du parcours sans arrêt sont les suivants :

Train G (Orient-Express) entre Paris et Épernay. . . .	Parcours,	142 kilomètres.
— (2) 29 entre Paris et Reims	—	156 —
— (40) 30 entre Chaumont et Troyes	—	96 —

Les plus fortes vitesses moyennes constatées par chacun de ces trains sur les parcours considérés sont indiquées dans le tableau VI.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU V.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des arrêts intermédiaires.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
		Km			Km	Km						
	Paris	...	...	...	...	...						
		141.0	101′		83.7	85.4						
	Épernay	...	...	2′	...	...						
		31.0	24′		77.5	84.5						
G	Châlons	...	...	5′	...	...	152	46	180	54	Voir fig. 3.	Paris-Châlons (271 kilomètres).
		82.0	62′		79.3	82.0						
	Bar-le-Duc	...	...	2′	...	...						
		99.0	79′		75.2	77.1						
	Nancy	...	...	...	...	...						Chalons-Nancy (181 kilomètres).
	Paris	...	...	...	...	...						
(2) 29		156.0	116′		80.7	82.1	168	30	198	36	V. fig. 3 et 4.	Paris-Charleville (244 kilomètres).
	Reims	...	...	...	...	...						
	Reims	...	...	...	...	...						
(2) 28		156.0	119′		78.6	80.0	140	20	220	34	V. fig. 3 et 4.	Charleville-Paris (244 kilomètres).
	Paris	...	...	...	...	...						
	Paris	...	...	...	...	...						
40) 37bis		166.0	123′		80.9	82.3	180	21	204	25	Voir fig. 5.	Paris-Chaumont (262 kilomètres).
	Troyes	...	...	...	...	...						
	Chaumont	...	...	...	...	...						
		119 0	89′		80.2	82.0						
(40 X	Vesoul	...	...	3′	...	...	120	16	165	22	Voir fig. 5.	Chaumont-Montreux (195 kilomètres).
		62.0	53′		70.1	72.9						
	Belfort	...	...	...	...	...						
	Belfort	...	...	...	...	...						
		62.0	48′		77.5	80.8						
	Vesoul	...	...	3′	...	...						
		84.0	70′		72.0	74.1						Belfort-Chaumont (181 kilomètres).
	Langres	...	...	2′	...	...						
(40) 30		35.0	28′		75.0	80.7						
	Chaumont	...	...	7′	...	...	190	26	260	38	Voir fig. 5.	
		96.0	71′		81.1	83.4						Chaumont-Paris (262 kilomètres).
	Troyes	...	...	6′	...	...						
	Vitesse type de 75 kilomètres de Troyes à Longueville.											
	Longueville	...	...	...	...	...						
		88.0	12′		76.5	78.8						
	Paris	...	...	...	...	...						
	Petit-Croix	...	...	...	...	...						Petit-Croix à Chaumont (192 kilomètres).
		11.0	12′		55.0	66 0						
(40, Y	Belfort	...	...	5′	...	...					Voir fig. 5.	
		62.0	48′		77.5	80.8						
	Vesoul	...	...	3′	...	...						
		119.0	94′		75.9	77.6						
	Chaumont	...	...	10′	...	...	120	16	165	22		Chaumont à Laon (239 kilomètres).
(10) Y		89.0									Fig. 7.	
	Blesme	...	103′	...	78.0	79.6						
Y		45.0									Fig. 3.	
	Châlons	...	...	5′	...	...						
(9) Y		56.1	44′		76.5	80.1					Fig. 6	
	Reims	...	...	...	...	...						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 8. — Profil de la ligne de Bordeaux à Bayonne.

Fig. 9. — Profil de la ligne de Bordeaux à Narbonne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU VI.

TRAINS.	DATES.	VITESSE MOYENNE A L'HEURE.	CHARGES.	*Observations.*
G	Tous les jours.	91 à 96 kilom.	152 tonnes.	Les tonnages ci-contre ne comprennent ni la locomotive ni le tender.
(2) 29	13 août 1898.	95 kilom.	170 —	
(40) 30	26 septembre 1898.	96 —	210 —	

§ 17. — Depuis le 1er juillet 1899, *la Compagnie du Midi français* fait circuler quatre trains rapides, dont trois entre Bordeaux et Bayonne, et un entre Toulouse et Bordeaux, à des vitesses moyennes égales ou supérieures à 90 kilomètres à l'heure Ces trains font l'objet du tableau VII.

TABLEAU VII.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km						
41	Bordeaux	...	...	...	...	...	135	18	163 (Avec cette charge, il a été regagné 2'.)	20	Voir fig. 8.	Bordeaux à Irun (235.1 kilomètres).
	Morcenx	108.7	72'	5''	90.5	93.1						
	Dax	...	...		...	...						
	Bayonne	38.9	25'	2'	93.3	101.4						
		...	...		...	...						
		50.1	33'		91.1	96.9						
		...	...	...	...	...						
38	Bayonne	...	...	...	...	...	135	18	167	20	Voir fig. 8.	Hendaye à Bordeaux. (232.8 kilomètres).
	Dax	50.1	34'	2'	88.4	93.9						
	Morcenx	...	...		...	...						
	Bordeaux (contrôle) .	38.9	29'	5''	80.5	86.4						
		...	...		...	...						
		108.2	70'		92.7	95.5						
		...	...	...	...	...						
40	Bayonne	...	...	...	...	...	135	18	...	...	Voir fig. 8.	Hendaye à Bordeaux. (232.8 kilomètres).
	Dax	50.1	33'	2'	91.1	96.9						
	Morcenx	...	...		...	...						
	Bordeaux (contrôle) .	38.9	27'	5''	86.4	93.4						
		...	...		...	...						
		108.2	66'		98.3	101.4						
		...	...	...	...	...						
122	Toulouse	...	...	...	...	...	160	24	231	34	Voir fig. 9.	Toulouse à Bordeaux. (256.6 kilomètres).
	Montauban	51.0	36'	3'	85.0	90.0						
	Agen	...	...		...	...						
	Marmande	70.2	53'	5'	79.4	82.5						
	Bordeaux (contrôle) .	...	...		...	...						
		56.7	41'	3'	82.9	87.2						
		...	...		...	...						
		78.3	56'	..	83.8	87.0						
		...	...		...	...						

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les vitesses moyennes de pleine marche, indiquées dans ce tableau, ne peuvent être réalisées qu'à la condition de soutenir des vitesses comprises entre 100 et 120 kilomètres à l'heure (maximum autorisé) sur les parties faciles des parcours.

§ 18. — Comme sur le réseau de l'Est il existe un certain nombre de trains tracés à des vitesses moyennes inférieures à 90 kilomètres, mais atteignant en pratique des vitesses égales et souvent supérieures à ce chiffre.

Le tableau VIII donne les éléments de quelques-uns de ces trains sur les parcours où la marche de 90 kilomètres à l'heure est journellement dépassée.

§ 19. — La *Compagnie du Nord français*, dans le courant du service d'hiver de 1899-1900, faisait circuler sur ses grandes lignes de Paris à Calais, Paris à Charleroi, Paris à Lille, cinq trains dont l'itinéraire, sur tout ou partie de leur parcours, était tracé à une vitesse moyenne de 90 kilomètres à l'heure au moins, savoir :

Le train n° 67 (ancien Rome-Calais); le train n° 309 (Paris-Lille); le train n° 304 (Lille-Paris); le train n° 179 (Nord-Express); le train n° 109 (Paris-Bruxelles).

Les principaux renseignements relatifs aux conditions de circulation de ces cinq trains sont résumés dans le tableau IX.

§ 20. — Un grand nombre d'autres trains, bien que tracés à des vitesses moyennes inférieures, atteignent des vitesses effectives égales et souvent supérieures à 90 kilomètres à l'heure sur les parties faciles de leur parcours. Nous avons résumé dans le tableau X les renseignements concernant les parcours les plus intéressants de quelques-uns de ces trains.

Les grandes artères (Paris-Lille, Paris-Calais, Paris-Charleroi, Lille-Calais, Calais-Laon) sont desservies par une dizaine d'autres trains rapides, dont la vitesse moyenne de pleine marche atteint, sur une notable partie du parcours, un chiffre voisin des précédents.

§ 21. — Pour réaliser des vitesses moyennes de pleine marche aussi élevées, on conçoit qu'il faille marcher couramment sur les parties faciles du réseau à des vitesses effectives supérieures à 90 kilomètres à l'heure : *en palier*, on soutient la vitesse de 100 kilomètres à l'heure; sur les *pentes*, on atteint fréquemment la vitesse de 120 kilomètres à l'heure qui est la limite autorisée par les règlements.

Au surplus, certaines séries de trains rapides, dont les itinéraires sont tracés à des vitesses moyennes voisines de 90 kilomètres à l'heure, ont journellement leur marche accélérée en raison même des relations qu'elles assurent. C'est ainsi que par suite des arrivées tardives du paquebot et de la faculté de regagner les retards en cours de route, tous les trains rapides de la ligne de Paris à Calais marchent sur le palier d'Étaples à Ailly-sur-Somme (86.3 kilomètres) à une vitesse soutenue de 95 à 100 kilomètres à l'heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU VIII.

N^os des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km.			Km	Km						
	Bordeaux	...	...	...	...	...						
	Langon	41.6	33′	2′	75.6	80.5						
101	La Réole	18.9	16′	1′	70.9	81.0	185	26	212	32	(Voir fig. 9.)	Bordeaux-Toulouse (256.6 kilomètres).
	Marmande	18.3	16′	...	68.6	78.4						
	—											
	Bordeaux	...	...	...	...	...						
	Marmande	78.8	62′	3′	76.2	78.8						
	Agen	56.7	45′	4′	75.6	79.1						
121	Montauban	70.2	56′	...	75.2	78.0	160	24	243	36	(Voir fig. 9.)	Bordeaux-Toulouse (256.6 kilomètres).
	Carcassonne	...	...	...	...	...						
	Narbonne	58.8	46′	..	76.7	80.2						Toulouse-Cette (219.4 kilomètres).
	—											
	Montauban	...	...	...	...	...						
	Agen	70.2	56′	5′	75.2	78.0	90	12	178	26		
	Port-Sainte-Marie	19.9	16′	...	74.6	85.2					(Voir fig. 9.)	Toulouse-Bordeaux (256.6 kilomètres).
106	Marmande	...	...	...	...	...						
	La Réole	18.3	15′	1	73.2	84.3	120	16	163	26		
	Langon	18.9	15′	3	75.6	87.2						
	Bordeaux (contrôle)	41.1	32′	...	77.0	82.2						
	—											
122	Castelnaudary	...	...	...	...	...						
	Toulouse	54.6	44′	...	74.5	78.0	160	24	231	34	(Voir fig. 9.)	Cette-Toulouse (219.4 kilomètres).
	—											
	Marmande	...	...	...	...	...						
104	La Réole	18.3	16′	2′	68.6	78.4						
	Langon	18.9	16′	3′	70.8	81.0	160	22	190	26	(Voir fig. 9.)	Toulouse-Bordeaux (256.6 kilomètres).
	Bordeaux (contrôle)	41.1	33′	...	74.7	79.5						
	—											
69	Bordeaux	...	...	...	...	...						
	Lamothe	42.4	34′	...	74.8	79.5	160	26	190	30	(Voir fig. 8.)	Bordeaux-Arcachon (58 kilomètres).
	—											
62	Lamothe	...	...	...	...	...						
	Bordeaux (contrôle)	41.9	34′	...	73.9	78.6	100	16	190	30	(Voir fig. 8.)	Arcachon-Bordeaux (58 kilomètres).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU IX.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt (sans défalcation sur le temps alloué).	VITESSE MOYENNE de pleine marche (avec défalcation de deux minutes sur le temps alloué).	CHARGE habituelle. Tonnes.	CHARGE habituelle. Essieux.	CHARGE maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	CHARGE maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par une même machine
		Km			Km	Km						
	Paris	...	...	...	...	...					Voir fig. 10. (Rampes de 8 millim. entre Étaples et Calais.)	Paris-Amiens (130.6 kilomètres).
		130.6	81′		96 7	99.1						
67	Amiens	...	...	5′	...	...	170	22	...	...		Amiens-Calais (165.9 kilomètres).
		166.6	109′		91.7	93.4						
	Calais Maritime	...	...	...	...	...						
	—											
	Paris.	...	...	...	...	...						
		126.0	85′		88 9	91.0						
	Longueau	...	...	5′	...	...						
		66.1	47′		84.3	88.1						
309	Arras	...	...	2′	...	...	255	32	294	38	Voir fig. 11.	Paris-Lille (250.9 kilomètres).
		25.3	19′		79.8	89.3						
	Douai	...	...	2′	...	...						
		33.5	25′		89.4	87.4						
	Lille	...	...	...	...	...						
	—											
	Lille	...	...	...	...	...						
		33 5	25′		80.4	87.3						
	Douai	...	...	2′	...	...						
		25.3	19′		79.8	89.3						
304	Arras	...	...	2′	...	...	175	22	214	28	Voir fig. 11.	Lille à Paris. (250.9 kilomètres).
		66.1	44′		90.1	94.4						
	Longeau	...	...	4′	...	...						
		126.0	84′		90.0	92.2						
	Paris.	...	...	...	...	...						
	—											
	Paris.	...	...	...	...	...						
		153.1	100′		91.8	93.7						
	Saint-Quentin	...	...	4′	...	...						
		84.8	60′		84.8	87.7						
179	Jeumont	...	...	1′	...	...	175	20	210	24	Voir fig. 12.	Paris à Charleroi. (268.9 kilomètres).
		1.9	3′		...	...						
	Erquelinnes	...	...	10′	...	...						
		29.1	30′		58.2	62.3						
	Charleroi	...	...	...	...	...						
	—											
	Paris.	...	...	...	...	...						
		180.3	122′		88.6	90.1					Voir fig. 12. (De Paris à Maubeuge.)	Paris-Mons (249.2 kilomètres).
109	Busigny	...	...	4′	...	...						
		50.1	39′		77.1	81.2						
	Feignies	...	...	1′	...	...						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU X.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt (sans aucune défalcation sur le temps alloué).	VITESSE MOYENNE de pleine marche (avec défalcation de deux minutes sur le temps alloué).	CHARGE habituelle. Tonnes.	CHARGE habituelle. Essieux.	CHARGE maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	CHARGE maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km						
	Paris.	...	...	...	...	...						
		50.3	38′		79.4	83.8						
	Creil.	...	...	1′	...	...						
		80.3	57′		84.5	87.6						
	Amiens	...	...	5′	...	...						Paris-Amiens (130.6 kilomètres). — Amiens-Calais (164 kilomètres).
1		44.8	33′		81.4	86.7	190	37	238	46	Voir fig. 10.	
	Abbeville	...	...	1′	...	...						
		79.5	57′		83.7	86.7						
	Boulogne T	...	...	2′	...	...						
		39.7	32′		74.4	79.4						
	Calais (ville)	...	...	4′	...	...						
	—											
	Paris.	...	...	...	...	...						
		130.6	90′		87.0	89.0						
7	Amiens	...	...	20′	...	...	130	25	190	36	Voir fig. 10.	Paris-Boulogne (253.6 kilomètres).
		123.0	90′		82.0	83.8						
	Boulogne	...	...	...	...	...						
	—											
	Calais (marit.)	...	...	...	...	...						
		166.6	120′		83.3	84.7						
0	Amiens	...	...	5′	...	...	115	16	155	22	Voir fig. 10.	Calais-Pierrefitte (287.1 kilomètres).
		120.5	90′		80.3	82.1						
	Pierrefitte	...	...	...	...	...						
	—											
	Boulogne	...	...	...	...	...						
		79.5	57′		83.6	86.7						
	Abbeville	...	...	1′	...	...						
		44.8	32′		84.0	89.6						Calais-Amiens (166.6 kilomètres). — Amiens-Paris (130.6 kilomètres).
12	Amiens	...	...	5′	...	...	142	28	205	40	Voir fig. 10.	
		80.3	60′		80.3	83.0						
	Creil.	...	...	1′	...	...						
		50.3	39′		77.3	81.5						
	Paris.	...	...	...	...	...						
	—											
	Boulogne	...	...	...	...	...						
		123.0	90′		82.0	83.8						
16	Amiens	...	...	5′	...	...	125	22	215	38	Voir fig. 10.	Boulogne-Paris. (253.6 kilomètres).
		130.6	90′		87.0	89.0						
	Paris.	...	...	...	...	...						
	—											
	Paris.	...	...	...	...	...						
315		126.0	90′		84.0	85.9	...	...	...	...	Voir fig. 11.	Paris-Lille (250.9 kilomètres).
	Longueau	...	...	...	...	...						
	—											
	Paris.	...	...	...	...	...						
317		192.1	132′		87.3	88.6	247	34	247	36	Voir fig. 11.	Paris-Lille. (250.9 kilomètres).
	Arras	...	...	5′	...	...						
	—											
	Arras	...	...	3′	...	...						
306		66.1	48′		82.6	86.2						
	Longueau	...	...	5′	...	...	247	34	257	36	Voir fig. 11.	Lille-Paris (250.9 kilomètres).
		126.0	88′		85.9	87.9						
	Paris.	...	...	...	...	...						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

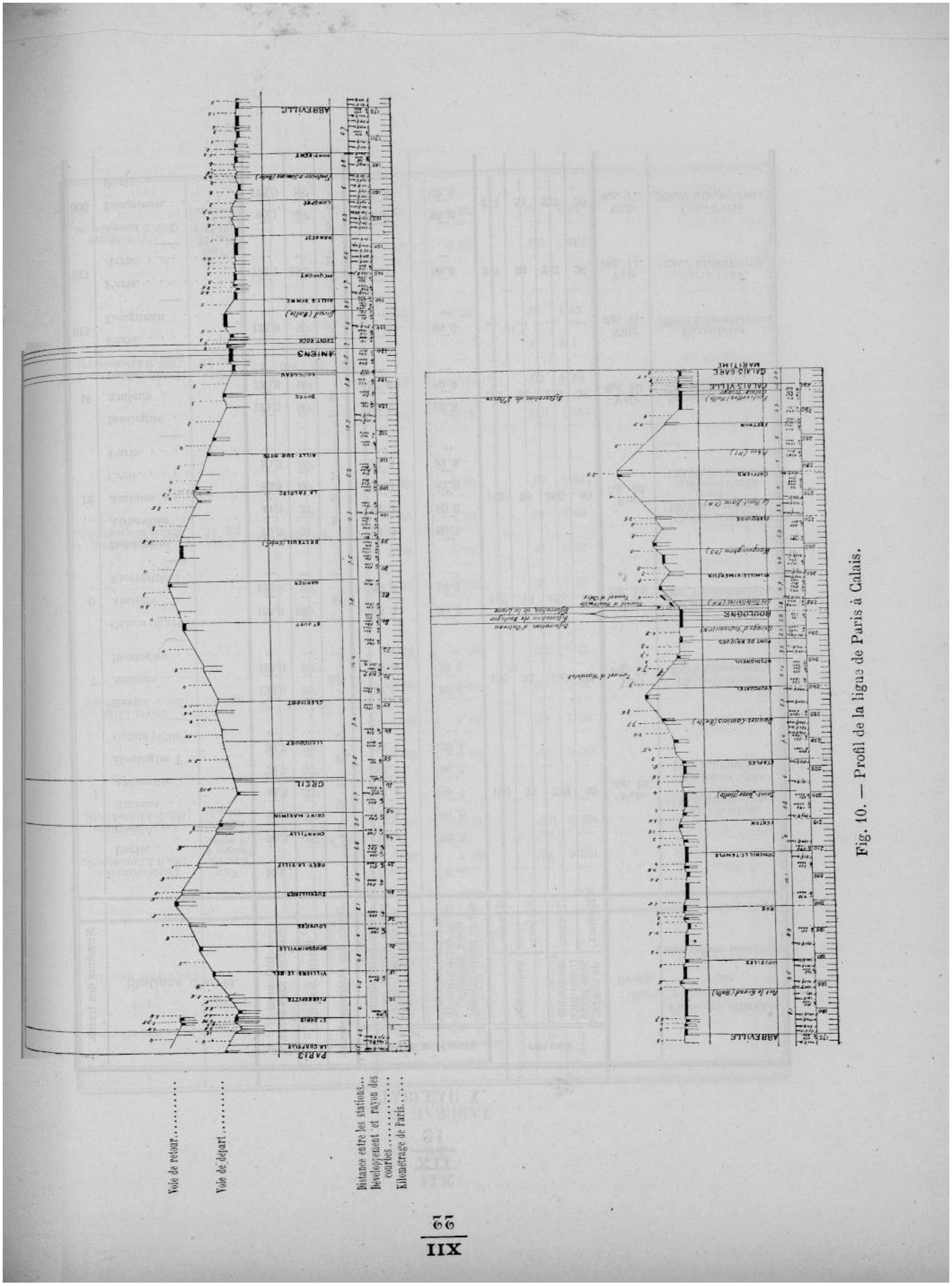


Fig. 10. — Profil de la ligne de Paris à Calais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU X. (*Suite.*)

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt (sans aucune déduction sur le temps alloué).	VITESSE MOYENNE de pleine marche (avec déduction de deux minutes sur le temps alloué).	CHARGE habituelle. Tonnes.	CHARGE habituelle. Essieux.	CHARGE Maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	CHARGE Maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km						
	Paris.	...	...	...	...	...						
127	Tergnier.	130.9	99′		79.3	89.9	140	26	212	38	Voir fig. 12.	Paris-Charleroi (268 9 kilomètres).
		...	...	...	...	...						
	Jeumont.	...	...	7′	...	...						
		84.8	77′		66.0	67.8	130	18				
180	Saint-Quentin	...	...	5′	...	...	ou	ou	180	26	Voir fig. 12.	Charleroi-Paris (268.9 kilomètres).
		153.1	110′		83.7	85.0	160	22				
	Paris.	...	...	...	...	...						
		...	...	4′	...	...						
	Feignies	77.3	55′		84.3	87.5					Voir fig. 12 (de Maubeuge à Paris).	
122	Saint-Quentin	...	...	4′	...	...	210	...	280	...		Mons-Paris. (249.2 kilomètres).
	Paris	153.1	111′	...	82.7	84.2						
		...	...		...	...						
	Tergnier.	...	...	...	...	...						
		47.3	35′		81.1	86.0						
112	Compiègne.	...	...	2′	...	...	160	28	212	38	Voir fig. 12.	Charleroi-Paris (268.9 kilomètres).
		83.6	60′		83.6	86 4						
	Paris.	...	...	...	...	...						

De même les grands trains pairs internationaux de la ligne Paris-Charleroi partent fréquemment d'Aulnoye avec des retards assez prononcés, comme conséquence de la réunion des deux parties de Charleroi et de Mons (temps perdu antérieurement par la douane et pour les correspondances sur les réseaux étrangers). Dans ces conditions, sur le palier presque continu de Tergnier à Creil (80.6 kilomètres), la vitesse est souvent maintenue entre 95 et 100 kilomètres à l'heure.

On remarquera que la plupart des trains de très grande vitesse de la Compagnie du Nord français sont conduits de bout en bout par la même machine.

Le parcours maximum effectué dans ces conditions est celui de Paris à Charleroi (268.9 kilomètres).

§ 22. — Les trains les plus rapides de la *Compagnie de l'Ouest français* circulaient, en 1899, sur la ligne de Paris au Havre, sans changement de machine, dans les conditions du tableau XI.

Le profil de la ligne, longue de 228 kilomètres, comprend deux sections parfaitement distinctes, séparées par la station de Rouen, à 139 kilomètres de Paris. La première section (Paris-Rouen) est très peu accidentée; elle ne comporte que des déclivités de moins de 5 millimètres par mètre d'un faible développement et des courbes de grand rayon, relativement peu nombreuses, dans lesquelles la vitesse maximum de 100 kilomètres est autorisée comme sur les alignements.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

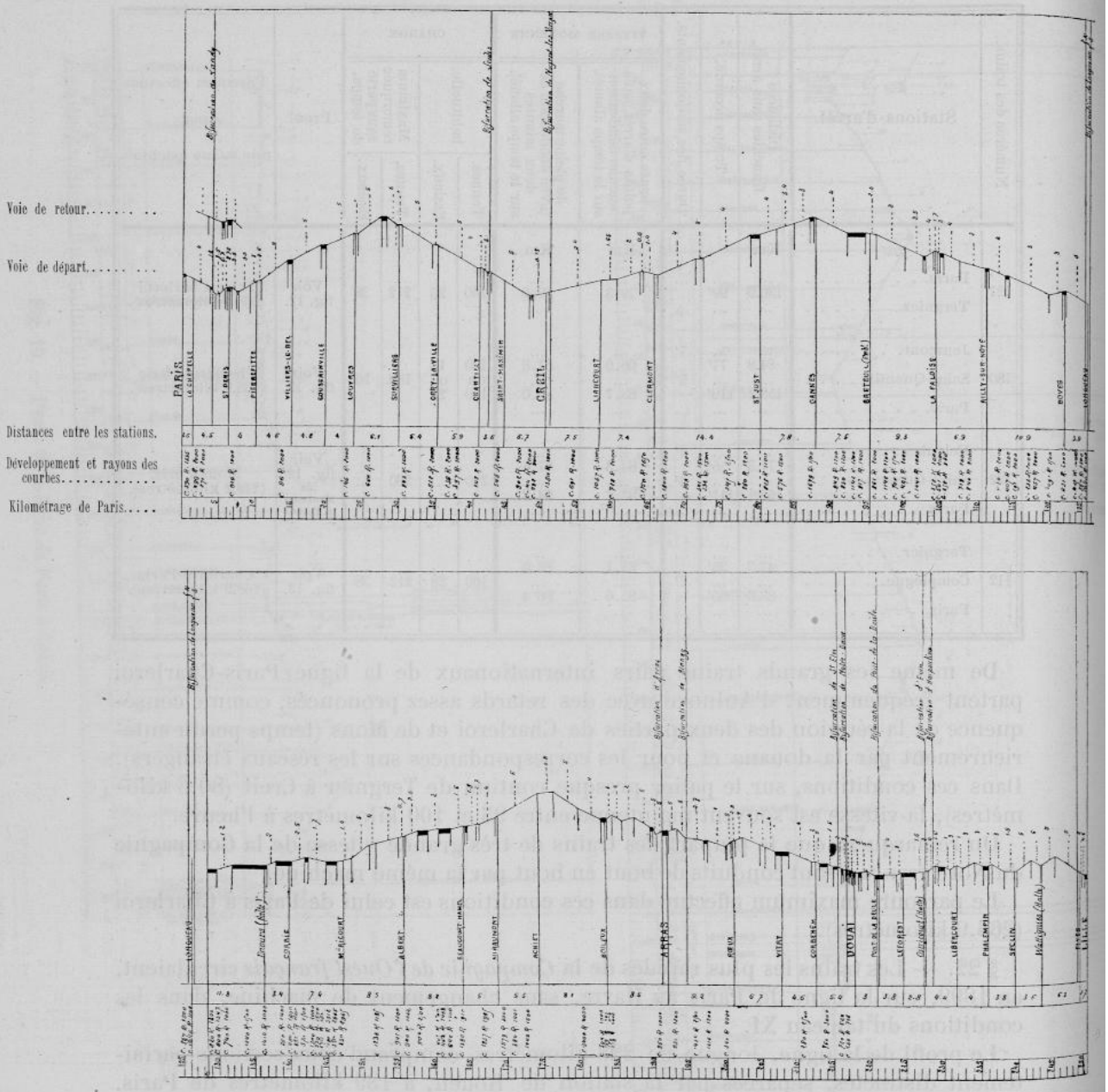


Fig. 11. — Profil de la ligne de Paris à Lille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

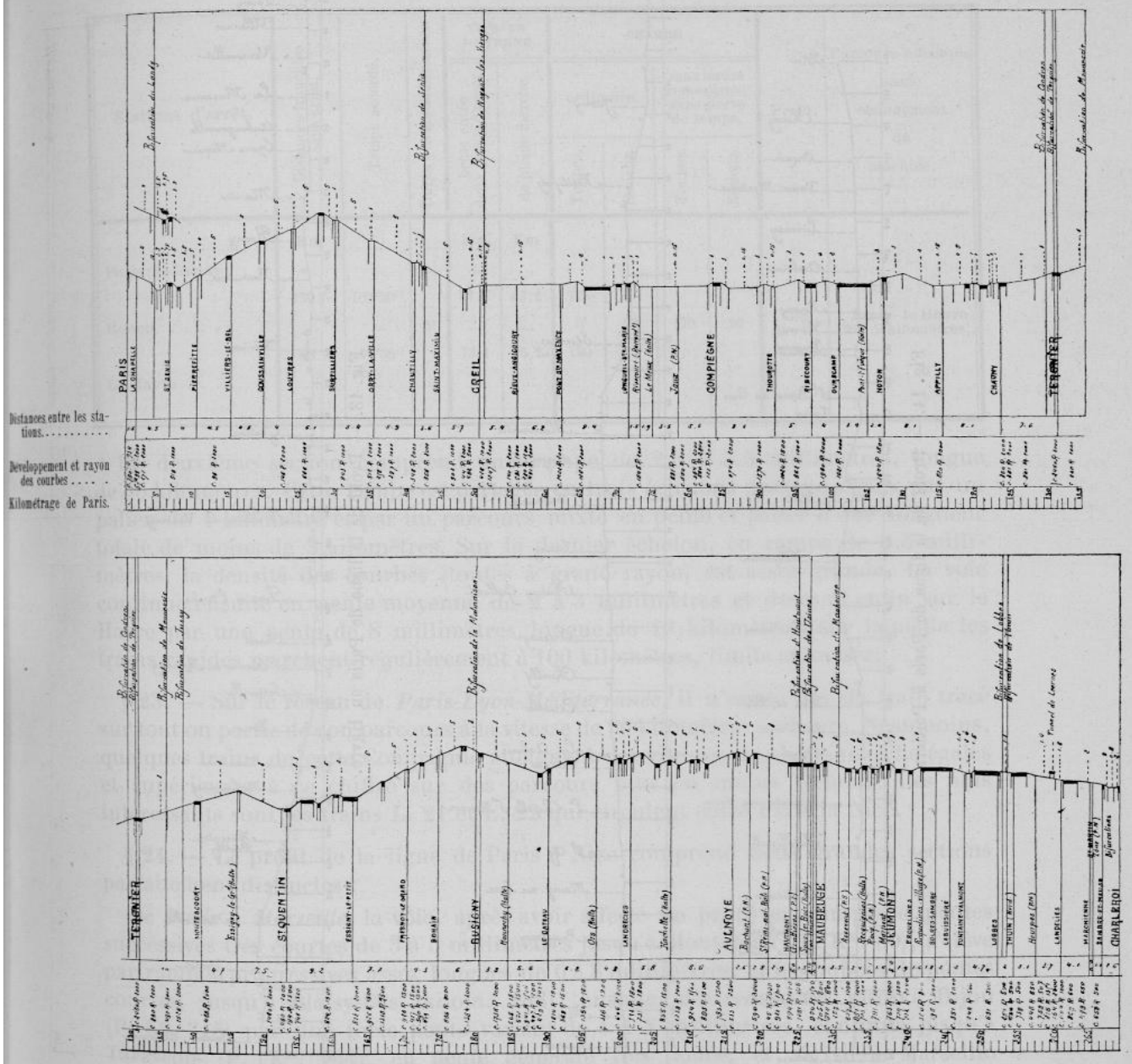


Fig. 12. — Profil de la ligne de Paris à Charleroi.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

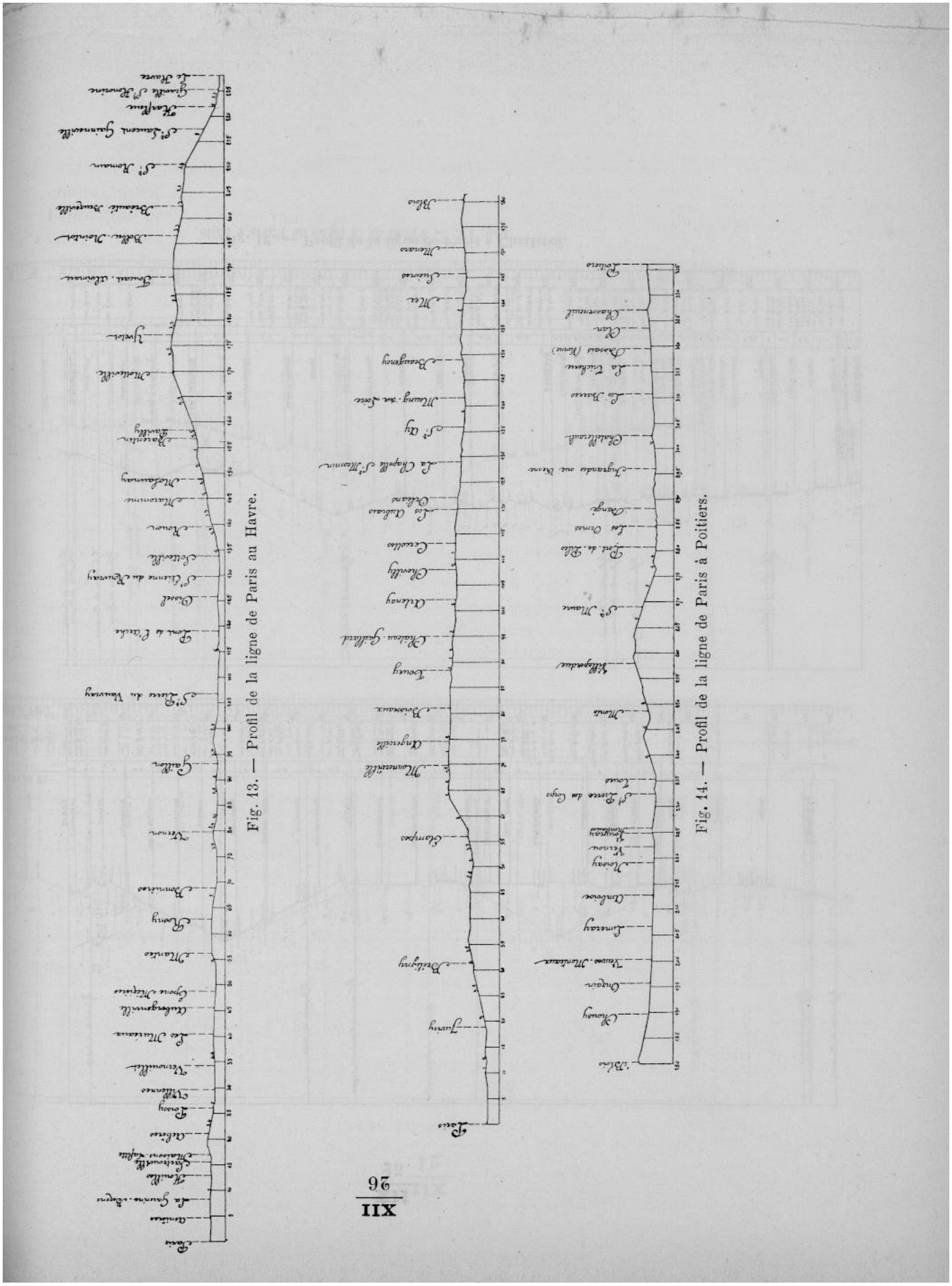


Fig. 13. — Profil de la ligne de Paris au Havre.

Fig. 14. — Profil de la ligne de Paris à Poitiers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XI.

Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE		CHARGE				Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
				brute entre deux points d'arrêt.	de pleine marche.	ordinaire.		maximum remorquée sans perte de temps.			
						Tonnes.	Essieux	Tonnes.	Essieux.		
	Km			Km	Km						
Paris (St-Lazare). . .	...	...	...	...	...						
	139.5	102'30"		81.7	83.2	125					
Rouen.	...	...	5'	...	...	à	22	170	26	Voir fig. 13.	Paris-le Havre (227.9 kilomètres).
	88.4	72'30"		73.1	75.2	130					
Le Havre	...	...	...	...	...						

La deuxième section comprend une rampe de 2.5 à 5.5 millimètres, longue de 36 kilomètres. Cette rampe est partagée en trois échelons presque égaux par un palier de 1 kilomètre et par un parcours mixte en pente et palier d'une longueur totale de moins de 3 kilomètres. Sur le dernier échelon, en rampe de 5.5 millimètres, la densité des courbes (toutes à grand rayon) est assez grande. La voie continue ensuite en pente moyenne de 2 à 3 millimètres et descend enfin sur le Havre par une pente de 8 millimètres, longue de 18 kilomètres, sur laquelle les trains rapides marchent régulièrement à 100 kilomètres, limite autorisée.

§ 23. — Sur le réseau de *Paris-Lyon-Méditerranée*, il n'existe pas de train tracé sur tout ou partie de son parcours à la vitesse de 90 kilomètres à l'heure. Néanmoins, quelques trains de cette Compagnie atteignent des vitesses de pleine marche égales et supérieures à ce chiffre sur des parcours plus ou moins étendus. Les plus intéressants sont les trains L. 21 et L. 22 qui circulent entre Paris et Nice.

§ 24. — Le profil de la ligne de Paris à Nice comprend deux grandes sections parfaitement distinctes :

De Paris à Marseille, la voie, après avoir affecté un profil en rampes et pentes successives très courtes de 3 à 5 millimètres jusqu'à Montereau (P. K^{m}. 80), s'élève par rampes progressives assez longues de 0 à 8 millimètres, entrecoupées de pentes courtes, jusqu'à Blaisy-Bas (kilom. 288); ensuite elle redescend jusqu'à Dijon (P. K^{m}. 315) par une forte pente variant de 4 à 8 millimètres, continue jusqu'à Tarascon (P. K^{m}. 764), en pente générale très douce, et arrive à Marseille (P. K^{m}. 862) par deux rampes assez longues de 2 à 3 millimètres séparées par une pente dont la longueur et l'inclinaison sont comparables à celles des rampes qui la comprennent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De Marseille à Nice, la voie commence par affecter un profil en dents de scie comprenant deux rampes et deux pentes sensiblement équivalentes comme développement et comme inclinaison (8 millimètres). Le point de séparation de ces deux dents est Toulon (P. K^{m}. 65 de Marseille). Au delà des Arcs, jusqu'à Nice (P. K^{m}. 225), la voie comprend une série de pentes et de rampes très courtes de 5 à 8 millimètres par mètre.

La vitesse maximum autorisée sur l'ensemble de la ligne, pour les trains remorqués par des machines à grande vitessse, varie entre 90 et 110 kilomètres à l'heure, suivant les conditions d'établissement de la voie. Il est, d'autre part, interdit, en cas de retard, de dépasser la vitesse normale majorée de moitié.

§ 25. — Il résulte des renseignements fournis que la vitesse du train L. 21 atteint, dépasse même souvent 90 kilomètres à l'heure sur les pentes suffisamment longues.

Cette allure est plus particulièrement soutenue entre Blaisy-Bas et Dijon (25 kilomètres en pente de 4 à 8 millimètres), sur une grande partie du parcours de Dijon à Mâcon, entre Lyon et Avignon, enfin sur les deux grandes descentes comprises entre Marseille et les Arcs.

Le train L. 22 marche à peu près dans les mêmes conditions entre Nice et Marseille sur les deux pentes conjuguées de celles rencontrées par le train L. 21, ainsi que sur les deux pentes plus douces parcourues entre Marseille et Tarascon. Au delà de Blaisy-Bas, du point culminant de la ligne jusqu'à Paris, la vitesse moyenne de pleine marche de 90 kilomètres est largement soutenue.

Les étapes successives fournies par une même machine, par train L. 21, et en sens inverse par train L. 22, sont les suivantes :

Paris-Laroche	155	kilomètres.
Laroche-Dijon	160	—
Dijon-Lyon	195	—
Lyon-Avignon	230	—
Avignon-Marseille	122	—
Marseille-Nice	225	—

Le tonnage remorqué est de 184 à 188 tonnes.

§ 26. — Depuis le 1er juillet, la *Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans* fait circuler sur sa ligne principale de Paris à Bordeaux quatre trains tracés sur tout ou partie de leur parcours à des vitesses moyennes de marche égales ou supérieures à 90 kilomètres à l'heure.

Ces trains sont :

Le *Sud-Express* de Paris à Bordeaux (désigné par les lettres A ou C, suivant les jours de la semaine où il circule) tracé de bout en bout à des vitesses moyennes comprises entre 90 et 96 kilomètres à l'heure.

Le *Sud-Express D* de Bordeaux à Paris tracé à des vitesses analogues entre Bordeaux et les Aubrais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les trains rapides nos 7 et 34 qui, sur certains parcours, sont tracés à des vitesses de marche de 90 kilomètres à l'heure ou à des vitesses peu différentes.

Les parcours les plus intéressants de ces trains sont analysés dans le tableau XII.

TABLEAU XII.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km						
Sud Express A et C.	Les Aubrais	...	...	4′	...	...	136	18	168	22	Voir fig. 14.	Les Aubrais à Saint-Pierre (111.8 kilomètres).
		111.8	72′		94.0	95.8						
	St-Pierre-des-Corps .	...	...	5′	...	...						
	—											
Sud Express D.	Poitiers.	...	...	5′	...	...	136	18	165	22	Voir fig. 14.	Poitiers à Saint-Pierre (101.1 kilomètres).
		101.1	67′		90.0	93.3						
	St-Pierre-des-Corps .	...	...	5′	..	...						
	—											
	Paris	...	...	...	...	...						Paris-Les Aubrais (118.9 kilomètres). Les Aubrais-Saint-Pierre (111.8 kilomètres).
		118.9	85′		83.9	85.9						
7	Les Aubrais . . .	...	...	3′	...	...	200	24	217	26	Voir fig. 14.	
		111.8	76′		88.2	90.6						
	St-Pierre-des-Corps .	...	...	5′	...	...						
	—											
	St-Pierre-des-Corps .	...	...	5′	...	...						Saint-Pierre-Les Aubrais (111.8 kilomètres). Les Aubrais-Paris (118.9 kilomètres).
		111.8	77′		87.1	89.3						
34	Les Aubrais	...	...	3′	...	...	200	24	242	30	Voir fig.14.	
		118.9	82′		87.0	89.2						
	Paris	...	...	...	...	...						

§ 27. — Le profil de la ligne, représenté figure 14, comprend, entre Paris et les Aubrais (119 kilomètres), une rampe de 3.5 millimètres d'un développement de 17 kilomètres et une autre de 8 millimètres par mètre d'un développement de plus de 6 kilomètres. Le reste du parcours est en palier ou en pente générale très douce.

Des Aubrais à Saint-Pierre-des-Corps (112 kilomètres), le profil est en pente douce à peu près continue. La pente la plus marquée (entre Blois et Chouzy) est de 5 millimètres sur 2 kilomètres environ, puis de 3 millimètres par mètre sur les 8 kilomètres suivants.

Enfin, entre Saint-Pierre-des-Corps et Poitiers (101 kilomètres), on rencontre, sur la première moitié du parcours, des rampes et des pentes de 5 millimètres par mètre, d'un développement atteignant jusqu'à 13 kilomètres. La seconde moitié du parcours est en rampe générale très douce jusqu'à Poitiers.

Les courbes sont généralement d'un rayon supérieur à 1,000 mètres.

§ 28. — Les vitesses maximums autorisées sont de 120 kilomètres en pleine voie,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 90 kilomètres sur les bifurcations enclenchées pour la branche qui n'est pas déviée, et de 30 kilomètres à l'heure sur les bifurcations pourvues de signaux de ralentissement.

Sur les pentes de 0 à 5 millimètres, la vitesse maximum de 120 kilomètres, autorisée pour le matériel ordinaire, est réduite à 100 kilomètres pour les trains composés de voitures de la Compagnie internationale des wagons-lits. Sur la pente d'Étampes (8 millimètres), la vitesse est limitée à 75 kilomètres à l'heure.

Les tonnages exceptionnels ci-dessus signalés de 168 et de 165 tonnes des trains C et D ont été remorqués respectivement par les machines non-compound nos 77 et 79. Ceux de 217 et 242 tonnes ont été remorqués par les trains nos 7 et 34 par les machines compound nos 1 et 13.

TABLEAU XIII.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt (sans défalcation sur le temps alloué).	VITESSE MOYENNE de pleine marche (avec défalcation de deux minutes sur le temps alloué).	CHARGE habituelle. Tonnes.	CHARGE habituelle. Essieux.	CHARGE maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	CHARGE maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par la même machine.
		Km			Km	Km						
	Bokstel	...	...	...	...	...						
85a	Roosendael	62·6	52′	3′	72·2	75	Composition non indiquée.				Voir fig. 15.	Tout le parcours (137.1 kilomètres).
	Flessingue	74.5	61′		73.2	75.7						
		...	...	...	...	...						
	Bokstel	...	...	...	...	...						
85b	Roosendael	62.6	54′	3′	69.5	72.2	Composition non indiquée.				Voir fig. 15.	Tout le parcours (137 1 kilomètres).
	Flessingue.	74.5	61′		73.2	76.2						
		...	...	...	...	...						
	Flessingue.	...	...	...	...	...						
84a	Bokstel	137 1	110′		74.7	76 1	130	21	165	25	Voir fig. 15.	Tout le parcours (137.1 kilomètres)
		...	...	...	...	...						
	Flessingue	...	...	...	...	...						
84b	Roosendael	74 5	54′	3′	82	86	135	21	190	29	Voir fig 15.	Tout le parcours (137 1 kilomètres).
	Bokstel	62 6	53′		70.8	73.6						
		...	...	...	...	...						

§ 29. — Les trains express de l'*État néerlandais*, bien que tracés à des vitesses comprises entre 70 et 86 kilomètres à l'heure, atteignent néanmoins dans la pratique journalière des vitesses de 90 kilomètres. Tel est le cas des express qui circulent entre Flessingue et Bokstel et qui étant en correspondance, d'une part, avec les paquebots de la ligne de Flessingue à Queenborough, d'autre part, avec l'Allemagne, établissent une relation directe entre l'Angleterre et ce pays. Par suite des retards

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

éprouvés soit par les paquebots, soit par les trains correspondants, la durée du parcours effectué sur le réseau néerlandais est souvent inférieure à celle prévue par les itinéraires. Ceux-ci sont analysés dans le tableau XIII.

Les tonnages indiqués sont ceux du matériel supposé vide.

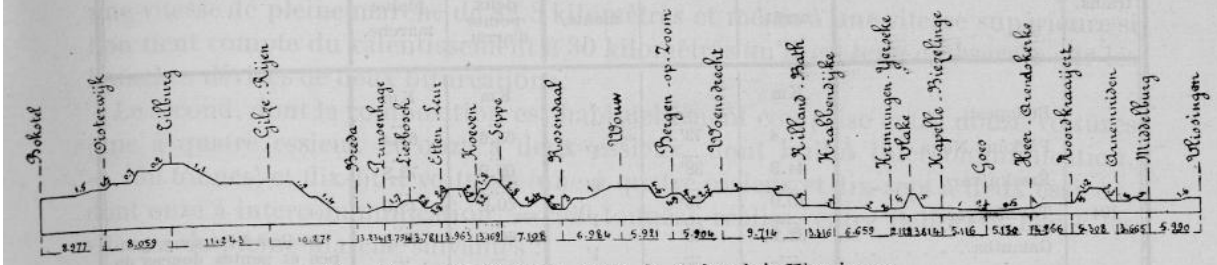


Fig. 15. — Profil de la ligne de Bokstel à Flessingue.

Le profil comporte quelques déclivités relativement longues de 1 millimètre et d'autres beaucoup plus courtes, mais plus fortes et pouvant atteindre 5 millimètres.

La vitesse maximum autorisée est de 90 kilomètres à l'heure, mais des ralentissements assez nombreux sont imposés au passage de certaines gares et des ponts tournants établis sur les canaux.

b) *Trains express lourdement chargés.*

§ 30. — Sur le réseau de l'*État hongrois*, deux trains express (les trains nos 104 et 105), chargés normalement à vingt-neuf essieux, 230 tonnes, parfois à trente-cinq essieux, 260 tonnes, atteignent normalement des vitesses voisines de 80 kilomètres à l'heure. Leurs itinéraires sont analysés dans le tableau XIV.

De même que les trains de grande vitesse nos 107 et 108, dont il a été question précédemment, ces trains sont remorqués par une même machine de bout en bout.

§ 31. — La *Kaiser Ferdinands-Nordbahn* donne comme exemple de trains express lourdement chargés son train n° 3 qui circule entre Vienne et Prerau avec une charge habituelle de 260 tonnes et dont les conditions de marche sont indiquées dans le tableau XV.

Une même machine assure la conduite de ce train entre Vienne et Prerau.

§ 32. — Deux trains rapides, d'un tonnage normal particulièrement élevé, circulent sur le réseau de l'*Est français*. Ce sont les trains (40) 37bis, considéré dans son parcours de Paris à Troyes, et (40) 30 de Belfort à Paris, dont les itinéraires ont déjà été analysés précédemment. (*Voir* le tableau du § 15.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XIV.

N°s des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Profil.
		Km			Km	Km	
104	Budapest	...	...	...	...	...	
	Pàrkàny-Nàna	77.4	73′	1′	63.6	65.4	
	Érsekujvàr	44.3	38′	6′	69.9	73.8	
	Tôt-Megyer	10.0	10′	1′	60.0	75.0	
	Galantha	32.2	29′	1′	66.6	71.5	De Pest à Pozsony, rampes et pentes douces de 0 à 3 millimètres. Quelques-unes de 4 à 5 millimètres.
	Pozsony	48.8	45′	3′	65.0	68.1	
	Marchegg	18.8	22′	...	51.3	56.4	De Pozsony à Marchegg, rampes et pentes de 6 à 7.5 millimètres.
		...	...		...	...	
105	Marchegg	...	...	...	...	...	Courbes généralement de grand rayon. Quelques-unes de 500 mètres.
	Pozsony	18.8	26′	3′	43.4	47.0	
	Galantha	48.8	43′	1′	67.9	71.4	
	Érsekujvàr	42.2	41′	6′	61.7	64.9	
	Pàrkàny-Nàna	44 3	38′	1′	69.9	73.8	
	Budapest	77.4	71′	...	65.4	67.3	
		...	...		...	...	

TABLEAU XV.

N°s des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Profil.
		Km			Km	Km	
3	Vienne	...	...	...	...	...	
	Floridsdorf	5.0	8′	1′	37.5	50.0	
	Gänserndorf	26.2	26′	2′	60.4	65.5	
	Lundenburg	51.9	52′	5′	59 8	62.3	
	Göding	21 1	24′	1′	52.7	57.5	
	Bisenz-Pisek	20.1	22′	3′	54.8	60.3	Voir fig. 1.
	Ung.-Hradisch	13.6	15′	1′	54.4	62.8	
	Napagedl	11.5	13′	1′	53.0	62.7	
	Hullein	19.0	21′	1′	54.3	60.0	
	Prerau	15.0	18′	...	50.0	56.3	
		...	...		...	...	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le premier de ces trains, dont la composition habituelle est comprise entre dix voitures (une à trois essieux et neuf à 2 essieux = 180 tonnes) et douze voitures (une à trois essieux et onze à deux essieux = 204 tonnes), franchit sans arrêt les 166 kilomètres qui séparent Troyes de Paris en deux heures et trois minutes, soit à une vitesse de pleine marche de 82.3 kilomètres et même à une vitesse supérieure si l'on tient compte du ralentissement à 30 kilomètres qu'il est tenu d'observer sur les branches déviées de deux bifurcations.

Le second, dont la composition est habituellement comprise entre douze voitures (une à quatre essieux et onze à deux essieux, dont huit à intercommunication, = 190 tonnes) et dix-huit voitures (une à quatre essieux et dix-sept à deux essieux, dont onze à intercommunication, = 260 tonnes), réalise, entre Belfort et Paris, les vitesses de pleine marche suivantes :

Belfort-Vesoul	80.8	sur 62	kilomètres de parcours.
Langres-Chaumont	80.7	sur 35	— —
Chaumont-Troyes	83.4	sur 96	— —

En particulier, le 26 septembre 1898 ce train a été conduit de Chaumont à Troyes, avec 210 tonnes de charge, à la vitesse moyenne très remarquable de 96 kilomètres à l'heure.

§ 33. — En dehors des trains nos 101, 121 et 122, dont les parcours les plus intéressants ont été antérieurement analysés et dont le tonnage excède parfois 200 tonnes, les trains express lourdement chargés qui font l'objet du tableau XVI circulaient sur le réseau du *Midi français* pendant l'été de 1899.

§ 34. — La plupart des trains express circulant sur le réseau du *Nord français* et dont nous avons analysé antérieurement les itinéraires, dans leurs parcours les plus intéressants, peuvent être considérés comme des trains lourdement chargés.

Nous citerons notamment :

Le *train n° 309* qui, avec une charge habituelle de 255 tonnes ayant atteint exceptionnellement 294 tonnes, réalise les vitesses moyennes de marche ci-après :

Paris-Longueau.	91.0	kilomètres à l'heure.	
Longueau-Arras	88.1	—	—
Arras-Douai	89.3	—	—
Douai-Lille	87.4	—	—

Le *train n° 317* qui, avec une charge normale de 247 tonnes, réalise, entre Paris et Arras, la vitesse moyenne de marche de 88.6 kilomètres.

Le *train n° 306* qui, avec la même charge normale de 247 tonnes, réalise respectivement des vitesses moyennes de marche de 86.2 et de 87.9 kilomètres à l'heure entre Arras et Longueau et entre Longueau et Paris.

Enfin, le *train n° 122* qui, avec une charge normale de 210 tonnes, réalise des vitesses moyennes de marche respectives de 87.5 et 84.2 kilomètres à l'heure de Feignies à Saint-Quentin et de Saint-Quentin à Paris.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XVI.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux	Charge Maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge Maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
		Km.			Km	Km						
	Narbonne	...	...	...	...	...						
		22.6	24′		56.5	61.6						
	Lézignan	...	...	1′	...	...						
		11.0	12′		55.0	66.0						
	Moux	...	...	2′	...	...						
		7.6	9′		50.6	65.1						
	Capendu	...	...	1′	...	...						
		17.6	18′		58.6	66.0						
116	Carcassonne	...	...	8′	...	...	180	26	265	38	Voir fig. 9.	Narbonne-Toulouse (149.5 kilomètres).
		20.2	19′		63.8	71.3						
	Bram	...	...	3′	...	...						
		15.9	19′		50.2	56.1						
	Castelnaudary	...	...	4′	...	...						
		21.9	19′		69.2	77.3						
	Villefranche	...	...	1′	...	...						
		32.7	27′		72.6	78.4						
	Toulouse	...	...	..	...	...						
	—											
	Dax	...	...	...	...	...						
		24.4	22′		66.5	73.2						
3	Saint-Vincent	...	...	1′	...	...	200	28	250	30	Voir fig. 8.	Bordeaux-Irun (235.1 kilomètres).
		25.7	22′		70.1	77.1						
	Bayonne	...	...	...	...	...						
	—											
	Bordeaux	...	...	...	...	...						
		42.4	43′		59.1	62.0	250	40	300	44		
19	Lamothe	...	...	3′	...	...					Voir fig. 8.	Bordeaux-Tarbes (245.7 kilomètres).
		66.3	61′		65.2	67.4	230	34	290	40		
	Morcenx	...	...	...	...	...						
	—											
	Dax	...	...	...	...	...						
		38.9	35′		61.4	64.8	240	34	275	40		
	Morcenx	...	...	1′	...	...						
12		66.3	55′		72.3	75.0					Voir fig. 8.	Hendaye-Bordeaux (232.8 kilomètres).
	Lamothe	...	...	5′	...	...						
		41.9	36′		69.8	73.9	270	36	320	46		
	Bordeaux (contrôle)	..	...	...	...	...						
	—											
	Toulouse	...	...	...	...	...						
		65.7	55′		71.6	74.2						
	Boussens	...	...	4′	...	...						
527		24.6	22′		67.0	73.8	200	26	229	32	Voir fig. 16.	Toulouse-Montréjeau (103.9 kilomètres).
	Saint-Gaudens	...	...	3′	...	...						
		13.5	16′		56.6	57.8						
	Montréjeau	...	...	...	...	...						
	—											
	Montréjeau	...	...	...	...	...						
		13.5	13′		62.3	73.3						
	Saint-Gaudens	...	...	3′	...	...						
514		24.6	22′		67.0	73.8	200	23	274	40	Voir fig. 16.	Montréjeau-Toulouse (103.9 kilomètres).
	Boussens	...	...	4′	...	...						
		65.7	53′		74.3	77.2						
	Toulouse	...	...	...	...	...						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La composition de ce dernier train est parfois forcée. C'est ainsi que le 30 septembre 1896 elle était de 23 voitures à 2 et 3 essieux d'un poids total de 304 tonnes (y compris le poids des voyageurs et des bagages). Néanmoins, 8 minutes ont été regagnées dans la marche entre Aulnoye et Paris, sur le temps fixé par l'itinéraire. La marche réelle du train a été celle indiquée dans le tableau XVII.

TABLEAU XVII.

STATIONS D'ARRÊT.	Distances franchies sans arrêt.	Durée des trajets.	Vitesses moyennes brutes entre deux points d'arrêt.	Vitesses moyennes de pleine marche.	*Observations.*
	Km		Km	Km	Le train a dû subir trois ralentissements entre Saint-Quentin et Paris (réparation à la voie).
Aulnoye	...	...	...	...	
	62.0	43'	86.5	89.5	
Saint-Quentin	...	...	...	...	
	154.0	117'	79.0	84.3	La perte de temps provenant de ces ralentissements a été évaluée à cinq minutes.
Paris	...	...	...	...	

§ 35. — Sur le réseau de *Paris à Lyon et à la Méditerranée*, il existe un assez grand nombre de trains rapides chargés entre 210 et 240 tonnes circulant sur la ligne de Paris à Nice dans des conditions de marche voisines de celles des trains L. 21 et L. 22.

§ 36. — Enfin, la Compagnie du chemin de fer de *Paris à Orléans* nous a communiqué les renseignements qui suivent, concernant les deux express lourdement chargés nos 5 et 28 circulant respectivement entre Paris et Limoges et entre Bordeaux et Paris, avec des charges habituelles voisines de 200 tonnes. (*Voir* tableau XVIII.)

c) *Trains express parcourant des profils accidentés.*

§ 37. — Le réseau de l'*État hongrois* comprend deux sections accidentées parcourues par des trains relativement rapides, savoir : celle de Salgó-Tarján à Ruttka (ligne de Pest à Ruttka) et celle de Cameral-Moravicza à Fiume (ligne de Pest à Fiume).

La section de Salgó-Tarján à Ruttka présente un développement de 187 kilomètres de longueur, comportant des rampes et pentes successives de 16 millimètres par mètre et des courbes nombreuses de 275 mètres de rayon. Les trains nos 301 et 302, composés généralement de cinq voitures à trois essieux, plus un fourgon à deux essieux formant un total de 110 tonnes, mais dont le poids a exceptionnellement atteint 174 tonnes sans occasionner de perte de temps dans la marche, circulent d'une extrémité à l'autre de cette section à des vitesses moyennes de pleine marche qui varient de 40 à 60 kilomètres à l'heure, suivant le sens des déclivités. Une machine remorque ces trains entre Salgó-Tarján et Zolyom (89 kilomètres) et une autre machine entre Zolyom et Ruttka (98 kilomètres).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XVIII.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux.	Charge Maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge Maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km						
	Paris.	...	...	...	...	...						
		118.9	92′		77 5	79 2						
	Les Aubrais	...	...	7′	...	...						
		80.5	66′		73 1	75.4						
	Vierzon	...	...	5′	...	...						
		62.9	52′		72.6	75.4						
5	Châteauroux	...	...	8′	...	...	185	26	200	30		
		31.0	25′		74.4	80.9						
	Argenton	...	...	2′	...	...						
		73.1	76′		57.7	59.2						
	St-Sulpice Laurière .	...	...	2′	...	...						
		33.1	30′		66.2	70.9						
	Limoges-Bénédictins.	...	...	...	...	...						
	—											
	Bordeaux-St-Jean . .	...	...	...	...	...						
		2.0	3′		...	...						
	Bordeaux-Benauge .	...	...	1′	...	...						
		34.6	30′		69 2	74.1						
	Libourne.	...	...	1′	...	...						
		97.9	77′		76 2	78.3						
	Angoulême	...	...	12′	...	...						
		47.2	39′		72.6	76.5						
	Ruffec.	...	...	1′	...	...						
		14.1	13′		66 0	76.9						
	Saint-Saviol	...	...	1′	...	...						
		51.5	41′		75.3	79.2						
28	Poitiers	...	...	6′	...	...	210	30	283	46		
		33.1	26′		76.4	82.7						
	Châtellerault.	...	...	1′	...	...						
		68.0	56′		72.8	75.5						
	St-Pierre-des-Corps .	...	...	6′	...	...						
		53.2	42′		76.0	79.8						
	Blois.	...	...	2′	...	...						
		58.6	46′		76.4	79.9						
	Les Aubrais	...	...	6′	...	...						
		63.1	50′		75.7	78.8						
	Étampes.	...	...	1′	...	...						
		55.6	44′		75.7	79.3						
	Paris (contrôle) . . .	...	...	2′	...	...						
		0.2	1′		...	...						
	Paris	...	...	...	...	...						

De Paris aux Aubrais. (Voir fig. 14.)
Rampes et pentes de 5 millim. des Aubrais à Châteauroux, de 10 millimètres de Châteauroux à Limoges.
—
De Poitiers à Paris. (Voir fig. 14.)

De Bordeaux à Poitiers : rampe générale continue à déclivité maximum de 5 millim. sur environ 110 kilom. ; puis pentes et rampes successives à déclivités maximums de 5 millim. d'un développement maximum de 20 kilomètres.

Paris-Les Aubrais (118.9 kilomètres).
Les Aubrais-Châteauroux (143.4 kilomètres).
Châteauroux-Limoges (137.2 kilomètres).

Bordeaux-Angoulême (134.5 kilomètres).
Angoulême-St-Pierre (213.9 kilomètres).
Saint-Pierre-Paris (230.7 kilomètres).

La section accidentée de Cameral-Moravicza à Fiume présente un développement de 90 kilomètres. La voie s'élève d'abord en rampe maximum de 16 millimètres par mètre sur près de la moitié de son développement total, subit aux environs de Fuzine quelques variations dans le sens de sa déclivité et redescend ensuite jusqu'à Fiume en pente maximum de 25 millimètres par mètre. Le rayon minimum des courbes est de 275 mètres. Les trains 1001 et 1002, normalement composés d'une voiture à quatre essieux, de quatre voitures à trois essieux et d'un fourgon à deux essieux, circulent sur la section considérée dans les conditions indiquées par le tableau XIX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XIX.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Durée des trajets.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	CHARGE habituelle. Tonnes.	CHARGE habituelle. Essieux.	CHARGE maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes	CHARGE maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km					
1001	Fiume	...	...	...	...	...	130	18	149	...	Fiume Cameral-Moravicza (89.9 kilomètres).
	Plase	27.1	67′	10′	24.2	25					
	Fûzine	16.3	34′	1′	28.7	30.5					
	Delnice	17.3	34′	1′	30.5	32.4					
	Cameral-Moravicza	29.2	42′	...	41.7	43.8					
		...	...	...	...	...					
	—										
1002	Cameral-Moravicza	...	...	...	...	...	130	18	149	...	Cameral-Moravicza Fiume (89.9 kilomètres).
	Delnice	29.2	48′	1′	36.3	38.1					
	Fûzine	17.3	30′	5′	34.6	37.1					
	Meja	23.7	43′	2′	33	34.6					
	Fiume	19.7	35′	...	33.7	35.8					
		...	...	...	...	...					

Les vitesses maximums autorisées sont de :

80 kilomètres à l'heure, en pleine voie, en rampe ou palier;
70 — — sur les pentes de 5 millimètres par mètre;
60 — — — de 10 — —
52 — — — de 15 — —
46 — — — de 20 — —
40 — — — de 25 — —
30 — — sur les bifurcations.

§ 38. — La ligne de Paris à Thouars (fig. 2), du réseau de l'*État français*, en raison des déclivités prolongées de 10 millimètres par mètre entrecoupées de déclivités plus courtes et plus rares de 10 à 15 millimètres qu'elle comporte, doit être classée parmi les lignes accidentées. Elle est parcourue par des express dont le plus rapide est le train 99. L'itinéraire de ce train, que les vitesses moyennes et effectives qu'il réalise nous ont conduits à classer parmi les trains de très grande vitesse, a été analysé antérieurement.

§ 39. — Des sections tout particulièrement accidentées, comportant de très fortes déclivités, se rencontrent sur le réseau du *Midi français*, notamment sur les lignes de Toulouse à Bayonne et de Béziers à Neussargues, que desservent des trains express.

Le profil de la ligne de Toulouse à Bayonne est représenté par la figure 16. Tracée en rampe à peu près continue de Toulouse à Lannemezan et en pente à peu près

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 16. — Profil de la ligne de Toulouse à Bayonne.

Fig. 17. — Profil de la ligne de Béziers à Neussargues.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

continue d'Adé à Bayonne, très accidentée au contraire dans son parcours moyen, cette ligne présente, entre Montréjeau et Pau non seulement des déclivités de 15 à 16 millimètres régnant parfois sur d'assez longs parcours, mais encore une pente de 32 millimètres d'un développement de 11 kilomètres sur laquelle un service spécial de renfort est établi. Le rayon des courbes, relativement peu nombreuses, ne descend pas, en général, au-dessous de 500 mètres.

Les vitesses effectives maximums autorisées sur l'ensemble du parcours sont les suivantes :

Entre Toulouse et Montréjeau.	100	kilomètres	à l'heure.
— Montréjeau et Capvern	75	—	—
— Capvern et Tournay.	55	—	—
— Tournay et Coarraze-Nay	75	—	—
— Coarraze-Nay et Bayonne	85	—	—

§ 40. — Les trains les plus intéressants qui circulent sur la partie accidentée de cette ligne sont les express nos 503, 502, 517 et 514 auxquels nous avons emprunté les parcours analysés dans le tableau XX. Ces parcours correspondent au service assuré par une seule et même machine, sauf sur la déclivité exceptionnelle comprise entre Tournay et Capvern où une machine de renfort est attelée en tête de tous les trains dont le tonnage excède 110 tonnes.

TABLEAU XX.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
		Km			Km	Km						
	Toulouse.	...	...	...	...	...						
		20.8	22′		56.7	62.4						
	Muret	...	...	1′	...	...						
		44.9	42′		64.1	67.2						
	Boussens	...	...	4′	...	...	187	28	233	36		
		24.6	26′		56.8	61.5						
	Saint-Gaudens. . . .	...	...	4′	...	...						
		13.5	16′		50.0	57.9						
	Montréjeau	...	...	11′	...	...						
		16.6	20′		49.8	55 3						
	Lannemezan.	...	...	2′	...	...						Toulouse-Pau (215.7 kilomètres).
503		5.6	8′		42 0	56.0						
	Capvern	...	...	3′	...	...	146	20	178	28	Voir fig. 16.	Machine de renfort entre Capvern et Tournay.
		12.6	19′		39.8	44.5						
	Tournay	...	...	2′	...	...						
		17.7	22′		48.3	53.1						
	Tarbes.	...	...	16′	...	...						
		20.6	29′		2.6	45.7						
	Lourdes	...	...	10′	...	...						
		10.3	12′		51 5	61 8						
	Saint-Pé	...	...	1′	...	...	175	26	268	44		
		11.7	14′		50.1	58.5						
	Coarraze-Nay	...	...	1′	...	...						
		16.8	16′		63.0	72.0						
	Pau	...	...	...	...	...						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XX. (*Suite.*)

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Charge habituelle. Tonnes.	Charge habituelle. Essieux.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Tonnes.	Charge maximum remorquée sans perte de temps. Essieux.	Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
		Km			Km	Km						
	Pau	...	...	...	...	...						
		16.8	16'		63.0	72.0						
	Coarraze-Nay	...	...	1'	...	...						
		11.7	14'		50.1	58.5	176	26	300	42		
	Saint-Pé	...	...	5'	...	...						
		10.3	12'		51.5	61.8						Pau-Montréjeau (111.8 kilomètres).
	Lourdes	...	...	10'	...	...						
		20.6	24'		51.5	56.2						
502	Tarbes	...	...	11'	...	...	179	26	256	42	Voir fig. 16.	Machine de renfort entre Tournay et Capvern.
		17.7	20'		53.1	59.0						
	Tournay	...	...	2'	...	...						
		12.6	31'		24.4	26.0						
	Capvern	...	...	2'	...	...	161	24	175	30		
		5.6	8'		42.0	56.0						
	Lannemezan	...	...	2'	...	...						
		16.6	18'		55.3	62.2						
	Montréjeau	...	...	...	...	...						
	—											
	Montréjeau	...	...	...	...	...						
		16.6	20'		49.8	55.3						
	Lannemezan	...	...	1'	...	...						
		5.6	8'		42.0	56.0						
	Capvern	...	...	3'	...	...	147	20	195	30		Montréjeau-Pau (111.8 kilomètres).
		12.6	19'		39.7	44.4						
	Tournay	...	...	2'	...	...						
527		17.7	22'		48.2	53.1					Voir fig. 16.	Machine de renfort entre Capvern et Tournay.
	Tarbes	...	...	14'	...	...						
		20.6	23'		53.7	58.9						
	Lourdes	...	...	10'	...	...						
		10.3	12'		51.5	61.8						
	Saint-Pé	...	...	1'	...	...	175	26	280	46		
		28.5	29'		58.9	63.3						
	Pau	...	..	...	...	...						
	—											
	Pau	...	...	...	...	...						
		28.5	28'		61.0	65.7						
	Saint-Pé	...	...	5'	...	...						
		10.3	12'		51.5	61.8						
	Lourdes	...	...	6'	...	...						
		20.6	24'		51.5	56.2						Pau-Montréjeau (111.8 kilomètres).
	Tarbes	...	...	10'	...	...						
		17.7	20'		53.1	59.0	155	22	195	34	Voir fig. 16.	
514	Tournay	...	...	2'	...	...						Machine de renfort entre Tournay et Capvern.
		12.6	31'		24.4	26.0						
	Capvern	...	...	1'	...	...						
		5.6	8'		42.0	56.0						
	Lannemezan	...	...	1'	...	...						
		16.6	18'		55.3	62.2						
	Montréjeau	...	...	...	...	...						

§ 41. — La ligne de Béziers à Neussargues, plus accidentée encore que celle de Toulouse à Bayonne, présente un développement de 277 kilomètres. Elle comprend, d'une part (*voir* profil, fig. 17), des tronçons à rampes exceptionnelles comportant des déclivités prolongées de 27 à 33 millimètres par mètre, d'autre part, des tronçons sur lesquels la déclivité maximum ne dépasse généralement pas 17 millimètres,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais atteint sur certains points 18 millimètres par mètre. Les tronçons à rampes exceptionnelles sont ceux compris entre le Bousquet d'Orb et les Cabrils, Montpaon et Tournemire, Aguessac et Saint-Laurent d'Olt, Marvejols et Saint-Sauveur-de-Peyre, Talizat et Neussargues. Leur longueur totalisée n'est pas inférieure à 90 kilomètres, soit au tiers environ du développement de la ligne entière. Les courbes sont très nombreuses d'une extrémité à l'autre de la ligne et, abstraction faite de la section comprise entre Béziers et Bédarieux, leur rayon, généralement de 300 mètres, n'excède que rarement 400 mètres.

Les vitesses effectives maximums autorisées sur la ligne de Béziers à Neussargues sont les suivantes :

Entre Béziers et Lieuran (à 10 kilom. de Béziers).	75	kilomètres	à l'heure.
— Lieuran et Laurens (à 25 — —).	80	—	—
— Laurens et le Bousquet-d'Orb	70	—	—
— Le Bousquet-d'Orb et les Cabrils	55	—	—
— Les Cabrils et Montpaon.	60	—	—
— Montpaon et Tournemire	55	—	—
— Tournemire et Aguessac	70	—	—
— Aguessac et Séverac	55	—	—
— Saint-Chély et Talizat (à 6 kilomètres de Neussargues)	70	—	—
— Talizat et Neussargues	55	—	—

§ 42. — Les trains express nos 853 et 854, qui circulent sur cette ligne, sont partiellement analysés dans le tableau XXI. Ils sont composés normalement de six à huit voitures (quatorze à dix-huit essieux) formant un tonnage de 80 à 110 tonnes.

Le train no 853 est conduit de Béziers à Millau (118 kilomètres) par une première machine, et de Millau à Neussargues (159 kilomètres) par une seconde machine. Pour le train no 854, l'échange des machines se fait à Sévérac-le-Château, à 129 kilomètres de Neussargues et à 148 kilomètres de Béziers.

Les trains nos 853 et 854 circulent d'ailleurs sans adjonction de machine de renfort sur les tronçons à rampes exceptionnelles.

En cas de retard, les rampes de 30 et de 33 millimètres, avec des charges qui pendant l'été de 1899 ont atteint 139 tonnes, sont gravies à des vitesses voisines respectivement de 40 kilomètres et de 30 kilomètres à l'heure.

§ 43. — Dans son ensemble, le réseau du chemin de fer du *Nord français* ne présente qu'une proportion relativement faible de lignes fortement accidentées. Parmi celles-ci, la plus intéressante est la ligne de Paris au Tréport sur laquelle les rampes n'excèdent pas 13 millimètres par mètre, mais présentent d'assez grands développements et coïncident avec une succession ininterrompue de courbes d'assez faible rayon (généralement 500 mètres) séparées par de courts alignements droits. La vitesse maximum autorisée sur cette ligne est indépendante des déclivités et des courbes : elle est fixée pour chaque train, aux $^3/_2$ de la vitesse moyenne inscrite au livret de marche, et ne peut en aucun cas excéder 120 kilomètres à l'heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 18. — Profil de la ligne de Paris au Tréport.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XXI.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE. brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE. de pleine marche.	CHARGE HABITUELLE. Tonnes.	CHARGE HABITUELLE. Essieux.	Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
		Km			Km	Km				
	Béziers	...	...	...	...	...				
		18.5	20'	1'	55.5	61.6				
	Magalas	...	...		...	...				
		14.2	17'	1'	50.1	56.8				
	Faugères	...	...		...	...				
	.....	.....	...	...	.....	...				
	Le Bousquet d'Orb	...	...	2'	...	...	80	14		Béziers-Millau (118 kilomètres).
853		11.7	27'		26.0	28.0	à	à	Voir fig. 17.	—
	Les Cabrils	...	...	1'	...	...		18		Millau-Neussargues (159 kilomètres).
		12.8	17'		45.2	51.2	110			
	Montpaon	...	...	3'	...	...				
		16.5	32'		30.9	33.0				
	Tournemire	...	...	13'	...	...				
		24.8	29'		51.3	55.1				
	Millau	...	...	4'	...	...				
		30.2	57'		31.7	32.9				
	Séverac	...	...	8'	...	...				
	—									
	Neussargues	...	...	...	...	...				
		19.0	28'		40.7	43.8				
	Saint-Flour	...	...	3'	...	...				
		37.6	42'		53.7	56.4				
	Saint-Chély	...	...	2'	...	...				
	.....	.....	...	...	.....	.....				
	Séverac	...	...	20'	...	...				
		30.2	50'		36.2	37.7				Neussargues-Séverac (129 kilomètres).
	Millau	...	...	4'	...	...	80			
		24.8	29'		51.3	55.1	à	14 à 18	Voir fig. 17.	—
854	Tournemire	...	...	5'	...	...				
		16.5	27'		36.6	39.6	110			Séverac-Béziers (148 kilomètres).
	Montpaon	...	...	1'	...	...				
		12.8	16'		48.0	54.8				
	Les Cabrils	...	...	1'	...	...				
		11.7	18'		39.0	43.8				
	Le Bousquet d'Orb	...	...	2'	..	...				
	.....	.....	...	...	.....	.....				
	Faugères	...	...	1'	...	...				
		32.7	35'		56.0	59.4				
	Béziers	...	...	...	...	...				

§ 44. — Nous analysons dans le tableau XXII les itinéraires de trois des trains rapides et lourds qui ont circulé sur cette ligne pendant la saison d'été de 1899.

§ 45. — Les trains nos 409bis et 433 (ce dernier passant par Creil avec une charge ordinaire de 142 tonnes) sont tracés à des vitesses analogues à celles du train no 409.

Le train no 426bis est tracé de même à des vitesses analogues à celles du train no 426.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La charge maximum remorquée sans perte de temps a atteint 262 tonnes, voyageurs et bagages compris (40 essieux), par les trains nos 409bis et 426bis du 10 février 1897.

TABLEAU XXII.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances kilométriques.	Durée des trajets.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	CHARGE habituelle Tonnes.	CHARGE habituelle Essieux.	Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
		Km			Km	Km				
	Paris.	...	...	...	...	...	175	34		
		36.5	37′		59.1	62.5				
	Persan-Beaumont . .	...	...	1′	...	...				
		16.4	16′		61.5	70.3				
	Méru	...	...	1′	...	...				
		25.7	25′		61.6	67.0				
	Beauvais.	...	...	3′	...	...				
		15.6	14′		66.8	78.0				
409	St-Omer-en-Chaussée.	...	...	Passage voie unique	...	...			Voir fig. 18.	Paris-Le Tréport (182.5 kilomètres).
		31.6	30′		63.2	67.7				
	Abancourt	...	...	3′	...	...				
		40.6	32′		75.2	80.2				
	Longwy-Gamaches. .	...	...	5′	...	...				
		13.0	13′		60.0	70.9				
	Eu	...	...	2′	...	...				
		3.1	4′		...	...				
	Le Tréport.	...	...	...	...	...	(Non compris le poids des voyageurs et des bagages.)			
	—									
	Le Tréport.	...	...	...	...	...	142	28		
		3.1	4′		...	...				
	Eu.	...	...	3′	...	...				
		43.3	38′		68.3	72.1				
	Aumale	...	...	1′	...	...				
		10.3	12′		51.5	61.8				
	Abancourt	...	...	2′	...	...				
		14.0	14′		60.0	70.0				
	Grandvilliers	...	...	1′	...	...				
416		17.6	18′		58.6	66.0			Voir fig. 18.	Le Tréport-Paris (182.5 kilomètres).
	St-Omer-en-Chaussée.	...	...	1′	...	...				
		5.6	14′		66.8	78.0				
	Beauvais.	...	...	8′	...	...				
		25.7	25′		61.6	67.0				
	Méru	...	...	1′	...	...				
		16.4	15′		65.6	75.7				
	Beaumont	...	...	1′	...	...				
		36.5	37′		59.2	62.5				
	Paris	...	...	...	...	...				
	—									
	Le Tréport.	...	...	...	...	...	175	34		
		3.1	4′		...	...				
	Eu.	...	...	...	...	...				
		13.0	11′		70.9	86.6				
426 (passe par Creil).	Longwy-Gamaches . .	...	...	...	...	...	(Non compris le poids des voyageurs et des bagages.)			
		40.6	36′		67.6	71.6			Voir fig. 18.	Le Tréport-Creil
	Abancourt	...	...	...	...	...				
		31.6	30′		63.2	67.7				
	St-Omer-en-Chaussée.	...	...	...	...	...				
		15.6	15′		62.4	72.0				
	Beauvais.	...	...	...	...	...				

§ 46. — Le réseau de l'*Ouest français* ne comprend pas, à proprement parler, de ligne accidentée desservie par des trains express. Toutefois, la ligne de Paris à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cherbourg comporte des déclivités (*voir* tableau XXIII) dont le développement est relativement important.

TABLEAU XXIII.

SENS DE LA DÉCLIVITÉ.	IMPORTANCE DE LA DÉCLIVITÉ.	DÉVELOPPEMENT.
Rampe	9 millimètres.	10 kilomètres.
—	9 —	6.5 —
Pente	10 —	9 —
—	8 —	13 —

Les itinéraires des express circulant sur cette ligne ne nous ont pas été communiqués.

§ 47. — La *Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée* donne comme type de ligne accidentée, desservie par des express, celle de Lyon à Saint-Étienne, dont le développement est de 58 kilomètres. Très plate de Lyon à Givors (22 kilomètres), cette ligne est en rampe continue de 6 à 8 millimètres sur le tronçon compris entre Givors et Rive-de-Gier (15 kilomètres) et en rampe continue de 13 à 17 millimètres sur celui compris entre Rive-de-Gier et Saint-Étienne (21 kilomètres).

Les express desservant cette ligne circulent dans les conditions indiquées au tableau XXIV.

TABLEAU XXIV.

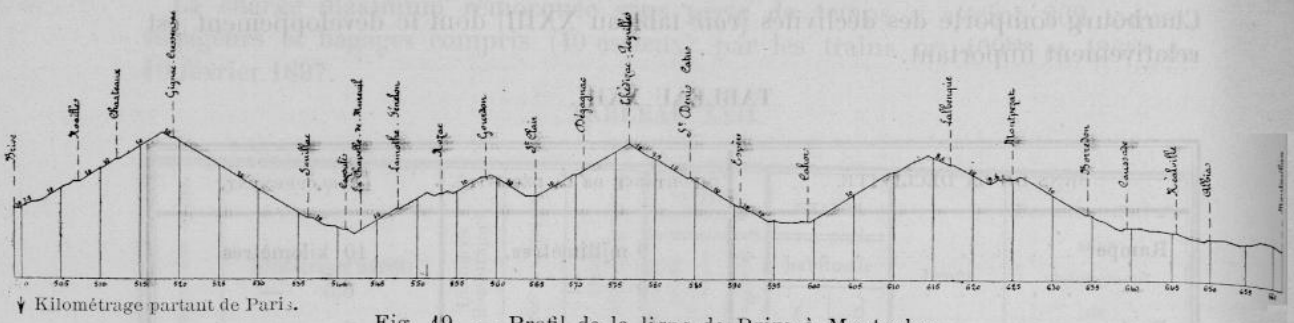
PARCOURS.	Distances.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Vitesse maximum autorisée.	Tonnage remorqué.
Lyon à Givors.	22 kilom.	60 kilom.	75 kilom.	200 tonnes
Givors à Rive-de-Gier	15 —	56 —	65 —	à
Rive-de-Gier à Saint-Étienne	21 —	40 —	60 —	224 tonnes.

Nota. — Sur le parcours de Terrenoire au Pont-de-l'Ane (2 kilomètres) compris entre Rive-de-Gier et Saint-Étienne, la vitesse maximum autorisée est réduite à 40 kilomètres à l'heure.

§ 48. — La *Compagnie du chemin de fer de Paris-Orléans* fait circuler deux trains rapides, pendant la saison d'été, sur sa ligne de Paris à Montauban par Limoges, très accidentée sur la section comprise entre Brive et Montauban.

Le profil de cette section (*voir* fig. 19) est en dents de scie et comporte de longues rampes et de longues pentes continues, ou à peu près, de 10 millimètres par mètre, d'un développement atteignant de 17 à 18 kilomètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Kilométrage partant de Paris.

Fig. 19. — Profil de la ligne de Brive à Montauban.

Les deux trains rapides en question sont les trains de luxe E et F, l'aller et le retour du Luchon-Express, dont les conditions de circulation sur la section accidentée de Brive à Montauban sont indiquées par le tableau XXV.

TABLEAU XXV.

Désignation des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	CHARGE habituelle. Tonnes.	CHARGE habituelle. Essieux.	CHARGE maximum indiquée aux gares. Tonnes.	CHARGE maximum indiquée aux gares. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par la même machine.
		Km			Km	Km						
Luchon Express E.	Brive	...	...	4′	...	...	136	18	150	...	Voir fig. 19.	Brive-Montauban (163.4 kilomètres).
	Souillac	37.0	36′	1′	61.6	65.3						
	Cahors	63.0	57′	3′	66.3	68.7						
	Montauban	63.4	54′	...	70.4	73.1						
Luchon Express F.	Montauban	...	...	...	...	...	136	18	150	...	Voir fig. 19.	Montauban-Brive (163.4 kilomètres).
	Cahors	63.4	54′	3′	70.4	73.1						
	Souillac	63.0	58′	1′	65.1	67.5						
	Brive	37.0	36′	3′	61.6	65.3						

La vitesse maximum autorisée est de 85 kilomètres à l'heure. Elle est réduite à 80 kilomètres à l'heure sur les bifurcations enclenchées pour la branche qui n'est pas déviée et à 30 kilomètres à l'heure sur les bifurcations pourvues de signaux de ralentissement.

§ 49. — la ligne du *Saint-Gothard*, qui, d'Immensée (station de jonction avec les lignes du Sud de l'Argovie) à Chiasso présente un développement de 206 kilomètres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(*voir* fig. 20), peut être partagée, au point de vue du profil, en six tronçons distincts :

Celui d'Immensée à Erstfeld (42 kilomètres), qui comprend des rampes et des pentes maximums de 10 millimètres par mètre, atteignant jusqu'à 5 kilomètres de développement;

Celui d'Erstfeld à Gœschenen (29 kilomètres), en rampe à peu près ininterrompue de 22 à 26 millimètres.

Celui de Gœschenen à Airolo (15 kilomètres), en rampe de 6 millimètres jusque vers le milieu du tunnel, en palier et en pente de 2 millimètres sur le reste du parcours;

Celui d'Airolo à Biasca (46 kilomètres), en pente à peu près continue de 22 à 27 millimètres jusqu'à Bodio et à pente maximum de 18 millimètres de Bodio à Biasca;

Celui de Biasca à Bellinzona (19 kilomètres), compris presque en entier dans la Riviera et sur lequel les déclivités, abstraction faite d'un petit parcours en pente de 8 millimètres, sont inférieures à 6 millimètres par mètre.

Enfin, celui de Bellinzona à Chiasso, qui comprend trois dents de scie (le sommet de la première au col du mont Cenere, la seconde à Lugano) et sur lequel on voit des pentes à déclivité maximum de 21, de 16.6 et de 16.67 millimètres succéder, respectivement, à des rampes à inclinaison maximum de 26, de 13 et de 15 millimètres.

La ligne comprend deux alignements importants : celui de Flüelen à Erstfeld (8.500 kilomètres environ) et celui, tout entier en tunnel, de Gœschenen à Airolo (15 kilomètres). Partout ailleurs les courbes sont nombreuses et, comme sur la plupart des lignes de montagne, d'autant plus denses que les déclivités sont plus fortes. Leur rayon minimum est, en général, de 300 mètres; mais il descend à 280 entre Erstfeld et Gœschenen, ainsi qu'entre Airolo et Faido. A partir de Bodio, jusqu'à Giubiasco, au delà de Bellinzona, les courbes, un peu moins nombreuses que sur les autres parties de la ligne, sont généralement d'assez grand rayon.

§ 50. — Parmi les trains les plus intéressants que met en circulation l'Administration de la *Gotthardbahn*, nous signalerons quatre trains express assez lourds : les trains 41 et 49 de Lucerne à Chiasso et les trains 52 et 58 de Chiasso à Lucerne.

Le tableau XXVI ci-après, relatif aux itinéraires de ces trains, fait ressortir des vitesses moyennes comprises entre 40 et 60 kilomètres à l'heure, suivant l'importance de la rampe régulatrice de la section. Ces vitesses sont d'environ :

65 kilomètres sur les profils à rampes maximums de 6 millimètres (Gœschenen-Airolo et Biasca-Bellinzona);

60 kilomètres sur les profils à déclivités maximums de 10 millimètres (Lucerne-Erstfeld);

50 à 55 kilomètres sur les profils à rampes maximums de 16 à 17 millimètres (Lugano-Chiasso) et sur les parcours exclusivement en pente;

40 kilomètres sur les rampes continues de 22 à 27 millimètres par mètre (Erstfeld à Gœschenen, Giubiasco à Rivera-Bironico et Bodio à Airolo).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

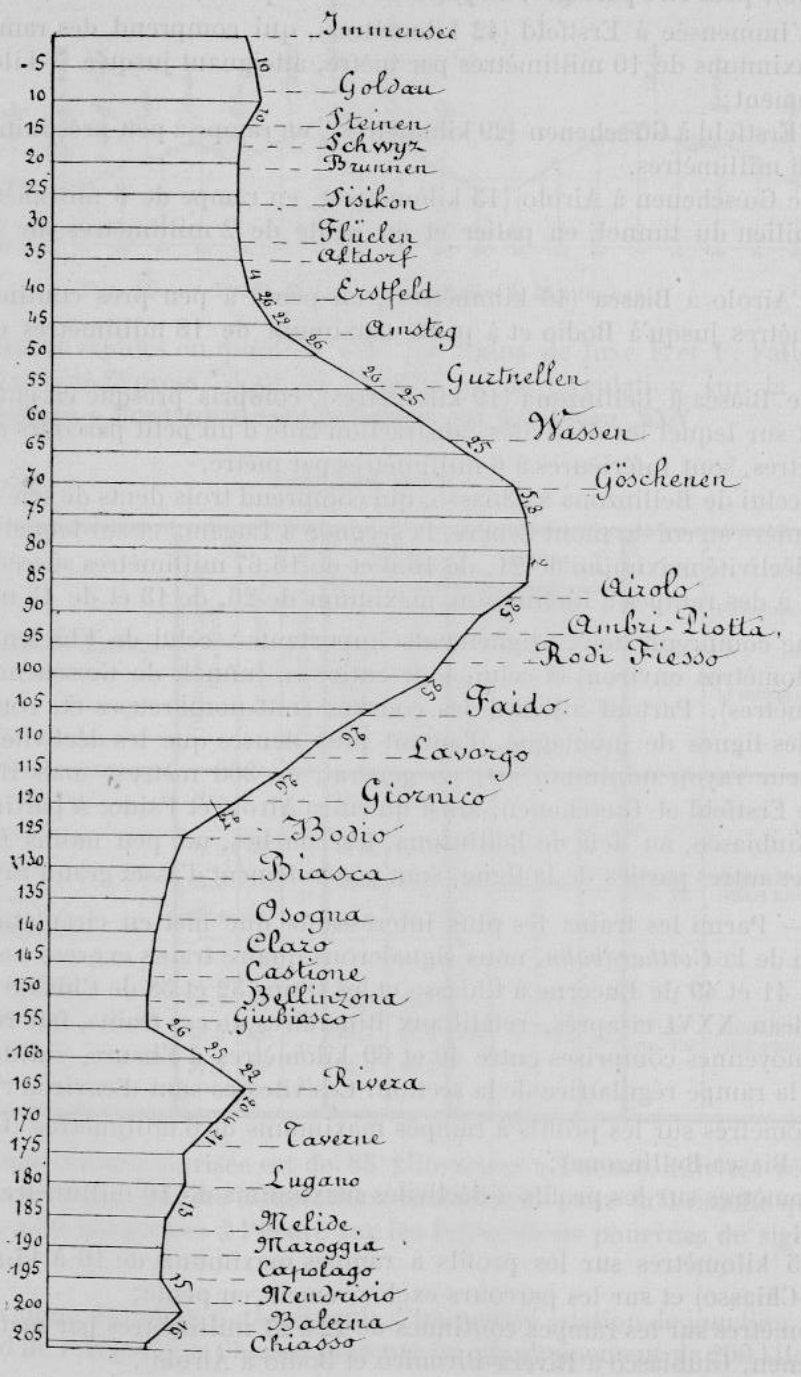


Fig. 20. — Profil de la ligne d'Immensée à Chiasso.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XXVI.

Trains.	Stations d'arrêt.	Distances kilométriques.	Temps accordé.	Durée de l'arrêt.	VITESSE MOYENNE brute entre deux arrêts.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Tonnage	Profil.	Parcours effectué sans changement de machine.
		Km			Km	Km			
	Lucerne	...	...	...	...	...			
		27.8	29′		57.5	61.7			
	Goldau	...	...	5′	...	...			
		32.7	34′		57.7	61.3			
	Erstfeld	...	...	4′	...	...			
		28.9	45′		**38.5**	**40.3**			Lucerne-Erstfeld (60.5 kilomètres).
	Gœschenen	...	...	8′	...	...			
41		80.4	81′		59.5	61		Voir fig. 20.	—
	Bellinzona	...	...	6′	...	...			Erstfeld-Chiasso (164.5 kilomètres).
		14.3	23′		**37.3**	**40.8**			
	Rivera-Bironico	...	...	2′	...	...			
		15.2	16′		57	65.1			
	Lugano	...	...	3′	...	...			
		25.7	30′		51.4	55			
	Chiasso	...	...	...	...	...			
	Lucerne	...	...	...	...	...			
		27.8	30′		55.6	59.5			
	Goldau	...	...	6′	...	...			
		23.4	31′		45.2	48.4			
	Flüelen	...	...	2′	...	...			
		9.3	11′		50.7	62			
	Erstfeld	...	...	4′	...	...			
		28.9	46′		**37.6**	**39.4**			Lucerne-Erstfeld (60.5 kilomètres).
49	Göschenen	...	...	8′	...	...		Voir fig. 20.	—
		80.4	85′		56.7	58.1			Erstfeld-Chiasso (164.5 kilomètres).
	Bellinzona	...	...	10′	...	...			
		14.3	23′		**37.3**	**40.8**			
	Rivera-Bironico	...	...	2′	...	...			
		15.2	17′		53.6	60.8			
	Lugano	...	...	4′	...	...			
		25.7	31′		49.7	53.1			
	Chiasso	...	...	...	...	...			
	Chiasso	...	...	...	...	...			
		25.7	32′		48.2	51.4			
	Lugano	...	...	4′	...	...			
		29.5	38′		46.6	49.1			
	Bellinzona	...	...	8′	...	...			
		19.1	20′		57.3	63.6			
	Biasca	...	...	3′	...	...			
		25.8	39′		**39.6**	**41.8**			
	Faido	...	...	3′	...	...			
52		19.8	31′		**38.3**	**40.9**		Voir fig. 20.	Chiasso-Lucerne (225 kilomètres).
	Airolo	...	...	2′	...	...			
		15.7	16′		58.8	67.2			
	Göschenen	...	...	6′	...	...			
		38.2	41′		55.9	58.7			
	Flüelen	...	...	2′	...	...			
		23.4	30′		46.8	50.1			
	Goldau	...	...	4′	...	...			
		27.8	30′		55.6	59.5			
	Lucerne	...	...	...	...	...			
	Chiasso	...	...	...	...	...			
		25.7	32′		48.2	51.4			
	Lugano	...	...	3′	...	...			
		29.5	36′		49.1	52			
	Bellinzona	...	...	8′	...	...			
		19.1	19′		60.3	67.1			
	Biasca	...	...	3′	...	...			
58		25.8	38′		**40.7**	**43**			
	Faido	...	...	3′	...	...		Voir fig. 20.	Chiasso-Lucerne (225 kilomètres).
		19.8	30′		**39.6**	**42.4**			
	Airolo	...	...	2′	...	...			
		15.7	16′		58.8	67.2			
	Gœschenen	...	...	5′	...	...			
		61.6	67′		55.1	56.8			
	Goldau	...	...	4′	...	...			
		27.8	30′		55.6	59.5			
	Lucerne	...	...	...	...	...			

Chacun de ces quatre trains comporte habituellement cinq ou six véhicules à quatre essieux d'un poids total de 170 à 200 tonnes (machine et tender non compris). Une machine de renfort est adjointe sur les parcours d'Erstfeld à Gœschenen, de Bellinzona à Rivera et de Biasca à Airolo.
Tonnage maximum remorqué sans perte de temps : 240 tonnes.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces dernières sont gravies en double traction avec une charge normale variant entre 170 et 200 tonnes.

La vitesse maximum autorisée est de 90 kilomètres à l'heure sur l'alignement de Flüelen à Erstfeld et sur le parcours peu accidenté de Bodio à Giubiasco. Elle est réduite à 60 kilomètres sur les tronçons à fortes déclivités compris entre Erstfeld et Gœschenen, entre Airolo et Bodio, et entre Giubiasco et Rivera-Bironico. Sur les autres parcours, elle varie entre 67 kilomètres (Bironico-Taverne) et 85 kilomètres (Goldau-Brunnen). Elle est de 80 kilomètres sous le grand tunnel.

Description des moteurs à grande vitesse à deux essieux accouplés.

§ 51. — Les moteurs qui assurent actuellement la remorque des trains de très grande vitesse et sur lesquels nous avons été renseignés par les administrations qui les emploient sont tous, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, des moteurs à deux essieux accouplés. La plupart de ces administrations utilisent les mêmes moteurs au service des trains express lourdement chargés. Enfin, quelques-unes ont également recours à des moteurs à deux essieux accouplés pour assurer la remorque de trains express circulant sur des lignes accidentées ne présentant que peu ou point de déclivités supérieures à 10 millimètres par mètre.

§ 52. — Nous diviserons ces moteurs en deux grandes classes comprenant, l'une, les moteurs à deux essieux accouplés *non-compound*, l'autre, les moteurs à deux essieux accouplés *compound*.

Les premiers, qui font l'objet du tableau XXVII, appartiennent à neuf types principaux différents que nous avons rangés dans l'ordre chronologique de leur création.

TABLEAU XXVII.

DÉSIGNATION DES TYPES.	DATE DE LA CONSTRUCTION DU PREMIER EXEMPLAIRE.
Type de la Compagnie de Paris à Orléans.	1879
— de l'État néerlandais	1880
— du réseau de l'Adriatique	1887
— de l'État belge	1888
— de l'Ouest français.	1888
— de l'Est français	1891
— de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.	1893
— de la K. K. Kaiser Ferdinands-Nordbahn	1895
— de l'État français	1897

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les types de machines à deux essieux accouplés compound sont, dans le même ordre chronologique, ceux indiqués au tableau XXVIII.

TABLEAU XXVIII.

DÉSIGNATION DES TYPES.	DATE DE LA CONSTRUCTION DU PREMIER EXEMPLAIRE.
Type de l'État hongrois	1890
— du Nord français	1891
— de l'Est néerlandais	1892
— de l'État autrichien	1894
— de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée	1894
— du Midi français	1896
— de l'État français	1896
— de l'Ouest français	1897
— de la Compagnie Paris-Orléans	1899

Nous allons décrire successivement ces différents types. Toutefois, et afin de faciliter les rapprochements, nous réserverons, pour en faire l'objet de chapitres spéciaux, communs d'ailleurs aux machines à deux, trois et quatre essieux accouplés, certains renseignements concernant les chaudières, les mécanismes moteurs ou distributeurs, les châssis et les tenders.

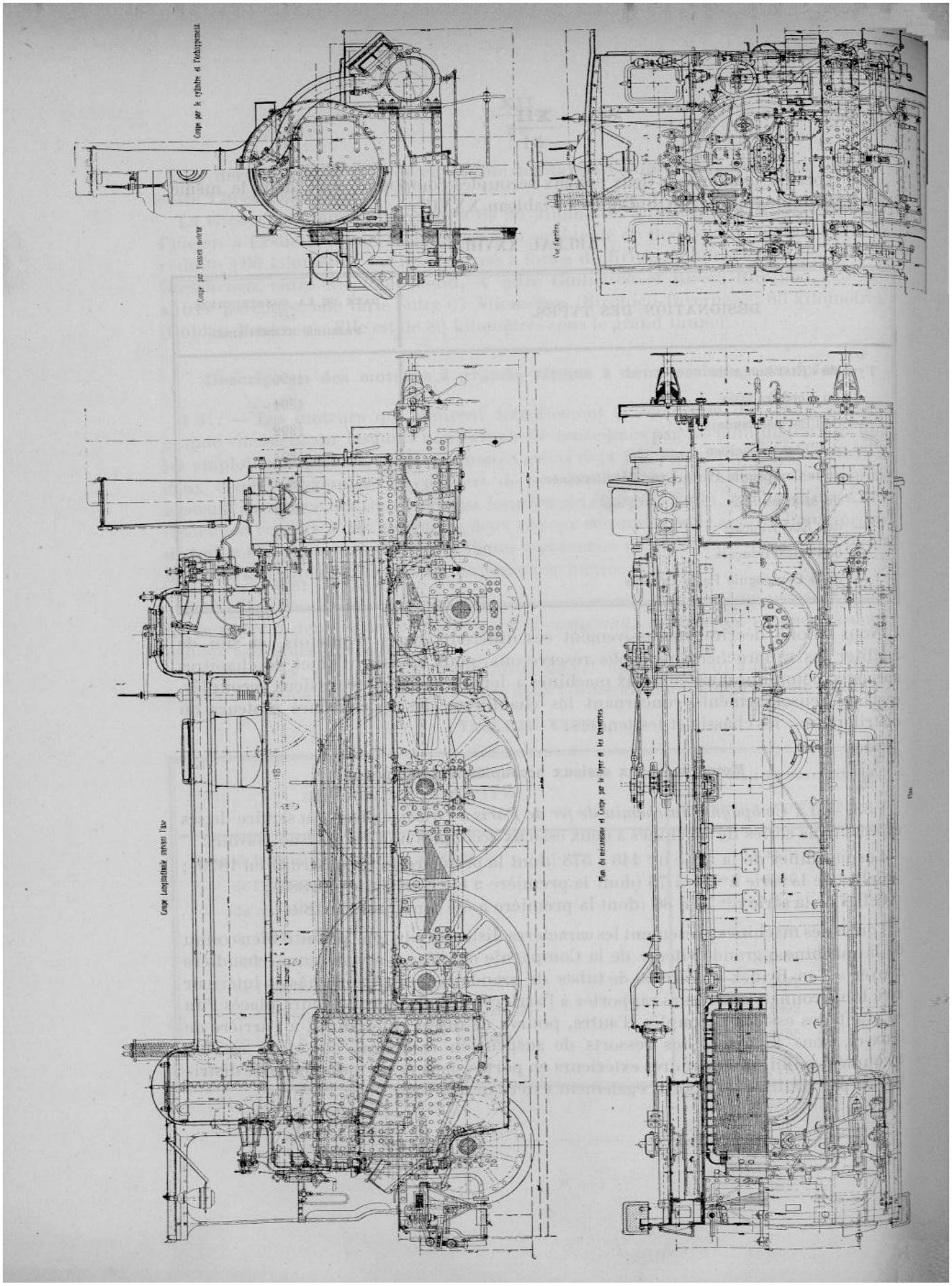
Moteurs à deux essieux accouplés non-compound.

§ 53. — La *Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans* affecte au service de ses express trois séries de machines à deux essieux accouplés non-compound, savoir :

Les machines de la série nos 448 à 575 (dont la première a été construite en 1879) ;
Celles de la série nos 51 à 76 (dont la première a été construite en 1885) ;
Celles de la série nos 77 à 86 (dont la première a été construite en 1894).

Toutes ces machines présentent les caractères distinctifs du type primitif bien connu de la machine à grande vitesse de la Compagnie d'Orléans, savoir : une chaudière à foyer « Ten-Brinck » pourvue de tubes de grande longueur ; un châssis intérieur avec longeronnets extérieurs rapportés à l'arrière ; deux essieux porteurs placés l'un à l'avant des essieux accouplés, l'autre, pourvu de fusées extérieures, à l'arrière de ceux-ci, sous le foyer ; des ressorts de suspension communs aux deux essieux accouplés ; enfin, des cylindres extérieurs en porte-à-faux et un mécanisme de distribution par coulisse de Gooch, également extérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 54. — Les plus anciennes, celles de la série nos 448 à 575, à roues motrices de 1.80 mètre de diamètre, ont été spécialement étudiées pour assurer le service des trains relativement rapides sur les lignes accidentées du réseau. Leur chaudière est en fer. Elle s'emmanche avec la boîte à feu suivant le mode Crampton et renferme cent quatre-vingt-cinq tubes lisses en laiton. Le foyer, en cuivre, est pourvu de fermes longitudinales fixées au ciel du foyer par des vis et reliées au berceau de la boîte à feu par des tirants. La grille comprend deux parties : une grille fixe à barreaux en fer inclinée à 25° et un jette-feu placé horizontalement. L'alimentation est assurée à l'aide d'un injecteur et d'une pompe d'un type spécial.

Le dôme, placé sur la virole arrière du corps cylindrique, renferme le régulateur, et le tuyau de prise de vapeur, intérieur à la chaudière, se bifurque dans la boîte à fumée.

L'essieu porteur d'avant est muni de boîtes à double déplacement, disposition qui assure naturellement la convergence de l'essieu et une plus grande durée des bandages.

§ 55. — Les machines de la série nos 51 à 76 ne diffèrent essentiellement des précédentes que par le diamètre des roues motrices porté à 2 mètres, par la longueur des tubes à fumée que les plus grandes dimensions données aux roues motrices ont conduit à augmenter, enfin par la substitution de plans inclinés, ne permettant qu'un jeu transversal de 10 millimètres de part et d'autre de l'axe de la machine, au dispositif à double déplacement appliqué aux boîtes de l'essieu d'avant des machines de la série nos 448 à 575.

§ 56. — Les machines de la série nos 76 à 87 (*voir* fig. 21 à 24), de construction beaucoup plus récente, sont pourvues d'une chaudière en acier timbrée à 15 kilogrammes. Le foyer est en cuivre, les tubes en laiton. La partie fixe de la grille, d'une surface un peu plus grande que les précédentes, est inclinée à 22°. L'alimentation est assurée au moyen de deux injecteurs système Polonceau. Deux dômes de prise de vapeur, réunis par un tuyau extérieur à la chaudière, sont placés l'un sur la virole d'avant du corps cylindrique, l'autre sur le berceau de la boîte à feu. Le dôme d'avant renferme le régulateur à la suite duquel est placé un détendeur dont la fonction est de réduire à 12 kilogrammes la pression de la vapeur admise dans les cylindres. On dispose ainsi dans les parties difficiles du parcours d'une réserve de vapeur à haute pression qui permet de donner plus aisément des coups de collier et qui facilite le travail du chauffeur.

§ 57. — Nous avons groupé dans le tableau XXIX les dimensions et les éléments les plus intéressants de ces trois séries de machines.

§ 58. — Il convient d'ajouter que huit locomotives de la série nos 448 à 575 ont été modifiées dans le but de remorquer sur les lignes accidentées des charges plus fortes à des vitesses plus grandes. La modification a consisté dans le remplacement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XXIX.

			LOCOMOTIVES.		
			N°s 448-575.	N°s 51 à 76.	N°s 77 à 86.
Timbre de la chaudière		Kilog.	11	11	15
Surface de la grille.		Mèt. car.	1.705	1.70	1.74
Inclinaison de la grille fixe.		Degrés.	25	25	22
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer.	Mèt. car.	8.48	8.48	8.16
	du bouilleur	—	3.24	3.24	3.08
	des tubes	—	120.15	125.20	114.73
	totale.	—	131.87	136.92	125.92
Tubes (lisses)	nombre		185	185	171
	diamètre extérieur.	Mètres.	0.048	0.048	0.048
	épaisseur	—	0.0025	0.0025	0.0025
	longueur entre plaques tubulaires	—	4.752	4.952	4.957
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		—	1.222	1.222	1.218
Diamètre des cylindres		—	0.440	0.440	
Course des pistons.		—	0.650	0.650	
Diamètre des roues motrices		—	1.800	2.000	
Diamètre des roues porteuses		—	1.220	1.220	
Empattement	des roues accouplées	—	1.900	2.100	
	total	—	5.600	5.800	
Poids à vide		Tonnes.	40.650	41.000	44.765
Poids en ordre de marche	1er essieu	—	12.100	12.450	12.670
	2e —	—	13,100	14.200	14.660
	3e —	—	12 650	13.760	14.110
	4e —	-	6.670	6.280	6.860
	total	—	44.520	46.690	48.300
Poids adhérent		—	25.750	27.960	28.770

des anciennes chaudières par d'autres plus puissantes, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Timbre	15.00	kilogrammes.	
Surface de la grille.	2.11	mètres carrés.	
— de chauffe du foyer	10.51	—	—
— — du bouilleur	3.87	—	—
— — des tubes (à l'intérieur)	145.54	—	—
— — totale	159.92	—	—

En outre, et afin d'utiliser plus avantageusement la pression élevée de la vapeur,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on a adopté pour les cylindres, dont les dimensions n'ont pas été modifiées, une distribution à tiroirs cylindriques indépendants pour l'admission et l'échappement. Enfin, un bogie a été appliqué à l'avant.

§ 59. — Toutes les machines ci-dessus décrites sont pourvues des organes du frein à air comprimé (Westinghouse pour les machines nos 448 à 575 et Wenger pour celles des deux autres séries), mais aucune d'elles n'est elle-même freinée.

Les sablières sont du type P. O., à vis d'Archimède manœuvrées à la main, sauf en ce qui concerne les dix machines nos 76 à 87, qui sont pourvues de la sablière à vapeur système Gresham.

Enfin, certaines d'entre elles sont pourvues de l'indicateur enregistreur de vitesse système Hausshælter.

Le tableau XXX fait connaître les éléments les plus intéressants des tenders qui accompagnent ces trois séries de machines.

TABLEAU XXX.

	Série 448-575.	Série 51-76.	Série 77-86.
Capacité des caisses à eau	10.000 litres	12.000 litres.	14.000 litres.
— de la soute à combustible	4.200 kilog.	4.000 kilog.	4.700 kilog.
Nombre des essieux	2	2	3
Diamètre des roues au contact	1.22 mètre.	1.22 mètre.	1.22 mètre.
Entre-axes des essieux	3	3	2,400 1,350
Poids à vide	12.000 kilog.	12.450 kilog.	17.340 kilog.

Les combustibles distribués aux machines de la Compagnie d'Orléans sont de provenance anglaise ou française, suivant les régions de consommation. Ils renferment de 5 à 7 p. c. de cendres et 15 à 25 p. c. de matières volatiles. Ils sont consommés sous forme de gros de 3 centimètres et au-dessus, et sous forme de briquettes.

Il n'a pas été fourni d'indications relatives à la consommation kilométrique moyenne des machines en question.

§ 60. — L'*État néerlandais* fait remorquer ses trains rapides par ses machines de la série 301, dont l'exemplaire le plus ancien remonte à l'année 1880. Au nombre de 175, ces machines ont déjà été décrites dans le deuxième volume du *Compte rendu général de la cinquième session du Congrès*. Nous rappellerons qu'elles sont à trois essieux et que l'essieu porteur, placé à l'avant, de même que l'essieu accouplé, placé sous le foyer, sont pourvus de fusées extérieures, tandis que l'essieu moteur, placé au milieu, a reçu à la fois des fusées extérieures et des fusées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

intérieures correspondant à un châssis double. Les cylindres sont intérieurs. La chaudière, timbrée à une pression effective de 10 atmosphères, comporte un foyer Belpaire, avec voûte courte et déflecteur.

§ 61. — Trente-cinq locomotives du même type, actuellement en cours de construction, présenteront, par rapport aux cent soixante-quinze premières, les améliorations ci-après : l'essieu devra faire place à un bogie suspendu suivant le mode américain et pourvu d'un jeu transversal contrôlé par des bielles de suspension. Les 220 tubes lisses de 44 millimètres de diamètre extérieur seront remplacés par 88 tubes Serve de 70 millimètres de diamètre extérieur. Enfin, le timbre de la chaudière sera légèrement augmenté : $10\,^2/_3$ atmosphères au lieu de 10 atmosphères.

D'autre part, le type existant ne suffisant pas à remorquer en tout temps les grands express de son réseau, l'Administration du chemin de fer de l'État néerlandais a fait étudier un type nouveau de locomotive à grande vitesse, dont cinq exemplaires sont actuellement en construction. Ces cinq machines, qui ne diffèrent essentiellement des trent-cinq précédentes que par les dimensions et le timbre de leur chaudière, et aussi par le diamètre des cylindres, recevront, en outre, à l'arrière un cinquième essieu, rendu nécessaire par l'obligation de ne pas dépasser la charge maximum de 14.500 tonnes par essieu.

§ 62. — Les figures 25 à 28 font connaître la disposition générale des deux types de machines les plus récents en usage sur le réseau de l'État néerlandais. Nous avons indiqué, d'autre part, dans le tableau XXXI, les dimensions et éléments principaux des moteurs des trois séries ci-dessus définies.

§ 63. — Les machines des séries n°s 301 à 475 et n°s 801 à 835 sont accompagnées d'un tender à trois essieux pesant environ 15 tonnes à vide et pouvant emporter un approvisionnement de 12 à 13 tonnes d'eau et de 3,000 à 3,500 kilogrammes de combustible. Les tenders des machines n°s 995 à 999 seront portés par deux bogies du type américain. Leurs caisses à eau seront de 18,000 litres et leurs soutes pourront recevoir 5,000 kilogrammes de charbon. Leur poids sera de 22 tonnes à vide et de 45 tonnes en charge.

Le combustible employé est du tout-venant renfermant de 5 à 15 p. c. de cendres et provenant, soit du bassin de la Ruhr, soit du Wurm, soit des districts houillers anglais.

§ 64. — Les figures 29 et 30 se rapportent aux machines affectées par la *Société italienne des chemins de fer méridionaux* au service des trains express circulant sur les lignes de Milan à Plaisance et de Plaisance à Bologne, dont les déclivités généralement d'un faible développement, sont inférieures à 5.5 millimètres par mètre et qui ne comportent que des courbes de très grand rayon.

Pourvues d'un avant-train mobile du système Adams, à déplacement transversal contrôlé par des bielles de suspension inclinées, ces machines reposent, à l'arrière,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

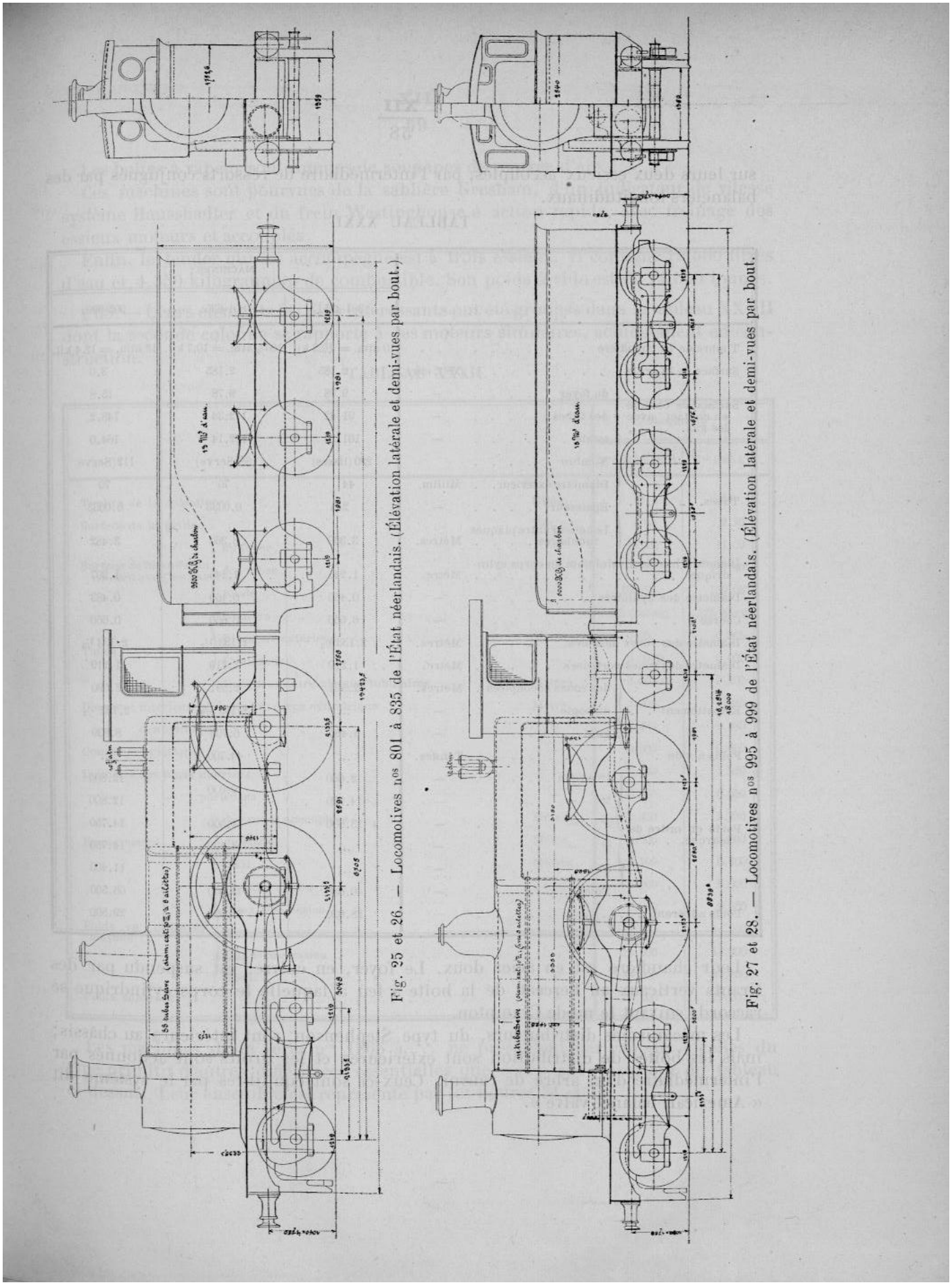


Fig. 25 et 26. — Locomotives nos 801 à 835 de l'État néerlandais. (Élévation latérale et demi-vues par bout.)

Fig. 27 et 28. — Locomotives nos 995 à 999 de l'État néerlandais. (Élévation latérale et demi-vues par bout.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur leurs deux essieux accouplés, par l'intermédiaire de ressorts conjugués par des balanciers longitudinaux.

TABLEAU XXXI.

			MACHINES :		
			301-475.	801-835.	995-999.
Timbre de la chaudière			10 atm. = 10.3 kil.	10 2/3 atm. = 10.7 kil.	12 atm. = 12.4 kil.
Surface de la grille		Mèt. car.	2.185	2.185	3.0
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	—	9.78	9.78	15.8
	des tubes	—	91.42	112.36	148.2
	totale	—	101.20	122.14	164.0
Tubes	Nombre		220 (lisses)	88 (Serve)	112 (Serve
	Diamètre extérieur.	Millim.	44	76	70
	Épaisseur.	—	2.5	0.0033	0.0033
	Longueur entre plaques tubulaires	Mètres.	3.360	3.360	3.482
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		Mètre.	1.245	1.245	1.397
Diamètre des cylindres		—	0.460	0.460	0.483
Course		—	0.660	0.660	0.660
Diamètre des roues motrices		Mètres.	2.133 1/2	2.133 1/2	2.133 1/2
Diamètre des roues porteuses		Mètre.	1.219	1.219	1.219
Empattement	des roues accouplées	Mètres.	2.591	2.591	2.590
	du bogie	—	...	2.133 1/2	2.133 1/2
	total	—	5.496	6.705	8.839
Poids à vide		Tonnes.	...	44.700	...
Poids en ordre de marche	1er essieu	—	12.660	19.000	12.800
	2e —	—	14.220		12.800
	3e —	—	13.800	14.500	14.750
	4e —	—	...	14.500	14.750
	5e —	—	...	...	11.400
	Total	—	40.680	48.000	66.500
Poids adhérent		—	28.020	29.000	29.500

Leur chaudière est en acier doux. Le foyer, en cuivre, est suspendu par des tirants verticaux au berceau de la boîte à feu à laquelle le corps cylindrique se raccorde suivant le mode Crampton.

Les mécanismes distributeurs, du type Stephenson, sont intérieurs au châssis; mais les boîtes de distribution sont extérieures et les tiroirs sont actionnés par l'intermédiaire d'un arbre de renvoi. Ceux-ci sont équilibrés par le système dit « American balance valve ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les boîtes à vapeur sont munies de soupapes de rentrée d'air.

Ces machines sont pourvues de la sablière Gresham, d'un indicateur de vitesse système Hausshælter et du frein Westinghouse à action rapide, avec freinage des essieux moteurs et accouplés.

Enfin, le tender qui les accompagne est à trois essieux. Il contient 10,500 litres d'eau et 4,350 kilogrammes de combustible. Son poids à vide est de 14,500 tonnes.

§ 65. — Leurs éléments les plus intéressants ont été groupés dans le tableau XXXII dont la seconde colonne se rapporte à des moteurs similaires, actuellement en construction.

TABLEAU XXXII.

			MACHINES :	
			N°s 1855 à 1864.	N°s 1865 à ...
Timbre de la chaudière		Kilog.	12	14
Surface de la grille		Mèt. car.	2.02	2.36
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	—	8.45	11.69
	des tubes	—	92.10	147.40
	totale	—	100.55	159.09
Tubes	Nombre		181 (lisses)	125 (serve)
	Diamètre extérieur.	Mètre.	0.05	0.065
	Épaisseur.	—	0.0025	0.0025
	Longueur entre plaques tubulaires	Mètres.	3.600	3.200
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		Mètre.	1.304	1.340
— des cylindres		—	0.465	0.480
Course des pistons.		—	0.600	0.600
Diamètre des roues motrices		—	1.920	1.920
— — porteuses		—	0.950	0.950
Empattement	des roues accouplées	Mètres.	2.430	2.430
	du bogie	Mètre.	1.900	1.900
	total	Mètres.	6.700	6.700
Poids en ordre de marche	Premier essieu	Tonnes.	7.900	9.000
	Deuxième essieu	—	7.900	9.000
	Troisième essieu	—	14.800	14.700
	Quatrième essieu	—	14.300	14.300
	Total	—	44.900	47.000
Poids adhérent.		—	29.100	29.000

Les machines de la série n°s 1865 à ... ne présentent par rapport à celles du type primitif d'autres différences essentielles que celles qui ressortent du tableau ci-dessus. Leur ensemble est représenté par les figures 31 et 32.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

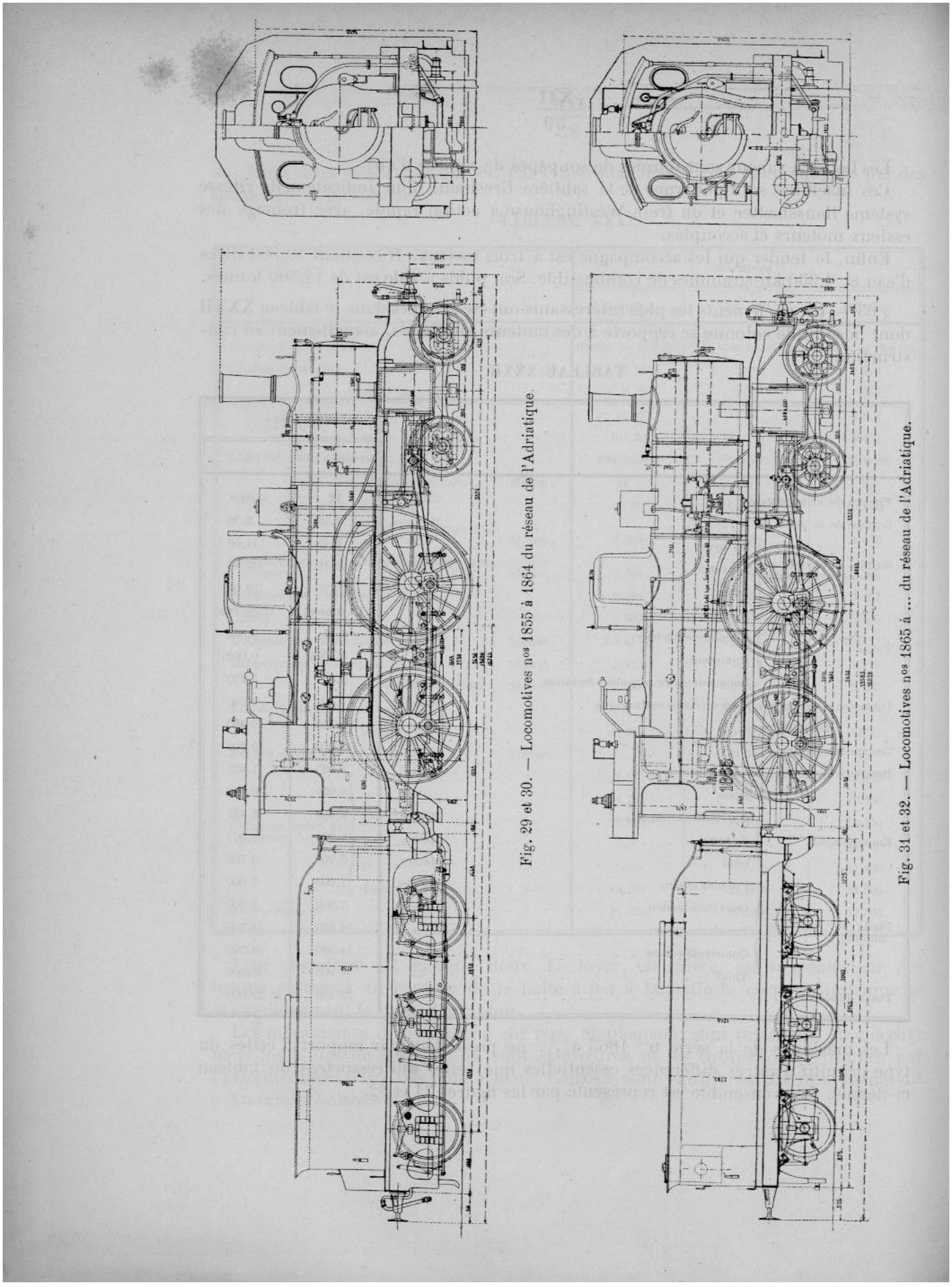


Fig. 29 et 30. — Locomotives nos 1855 à 1864 du réseau de l'Adriatique.

Fig. 31 et 32. — Locomotives nos 1865 à ... du réseau de l'Adriatique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On remarquera la forme conique, en wagon-top, de la virole arrière du corps cylindrique de la chaudière.

§ 66. — Pendant la saison d'hiver 1898-1899, l'*État belge* affectait encore au service de ses trains express de grandes lignes (dites de niveau) des machines à quatre essieux dont deux accouplés compris entre deux porteurs. Ces machines, dont un spécimen figurait déjà à l'Exposition universelle de 1889, sont, croyons-nous, sur le point de faire place à des moteurs d'un type nouveau sur lequel nous n'avons pas été renseignés. Leurs données les plus intéressantes sont les suivantes :

		Tubes lisses.	Tubes à ailettes.
Timbre de la chaudière			10 atmosphères.
Surface de la grille			4.70 mètres carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	12.50 mèt. carrés.	12.83 mèt. carrés.
	des tubes	110 25 —	158 97 —
	totale	122.76 —	171.80 —
Tubes	Nombre	239.	111.
	Diamètre extérieur	0.045 mètre.	0.070 mètre.
	Épaisseur	0.0025 —	0.0025 —
	Longueur entre plaques tubulaires	3.80 mètres.	
Diamètre intérieur du corps cylindrique de la chaudière			1.30 mètre.
— des cylindres			0.500 —
Course des pistons			0.600 —
Diamètre des roues motrices			2.10 mètres.
— — porteuses			1.20 mètre.
Poids de la machine à vide			48.000 tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu		9.750 —
	Deuxième essieu		16.000 —
	Troisième essieu		16.100 —
	Quatrième essieu		9.800 —
	Total		51.650 —
Poids adhérent			32.100 —

§ 67. — Construites pour réaliser une vaporisation horaire de 15,500 kilogrammes d'eau, en consommant des menus demi-gras renfermant de 13 à 14 p. c. de cendres et de 15 à 16 p. c. de matières volatiles, vaporisant de 6 $^1/_2$ à 8 fois leur poids d'eau, les chaudières de ces machines se font remarquer par les grandes dimensions qui ont été données à leur foyer. Celui-ci, qui se rattache au type Belpaire, comprend deux compartiments ou chambres bien distinctes : celle d'avant, dont la largeur est limitée par les roues accouplées, renferme une grille sensiblement carrée de 1.04 sur 1.11 mètre. Celle d'arrière, qui déborde latéralement par-dessus les roues porteuses, renferme une grille de 2.15 mètres de largeur sur 1.54 mètre de longueur, contiguë à la précédente et pourvue d'un jette-feu. Le chargement se fait par un gueulard de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1.40 mètre de largeur, fermé par une porte à trois battants s'ouvrant vers l'extérieur.

Le châssis est extérieur et l'essieu porteur d'avant est pourvu de boîtes radiales.

Les ressorts de suspension, dont la flèche de construction est nulle, sont conjugués par des balanciers compensateurs longitudinaux placés entre le premier et le deuxième essieu et entre le troisième et le quatrième. Les deux balanciers longitudinaux, placés entre le premier et le deuxième essieu, sont reliés en outre par un balancier transversal.

Les cylindres, intérieurs aux longerons, sont en porte-à-faux. Les boîtes à vapeur disposées au-dessus des cylindres sont accessibles de l'extérieur de la machine.

Le mécanisme de distribution, du type Walschaert, actionne des tiroirs Trick non équilibrés.

L'appareil de changement de marche est à levier et à contrepoids de vapeur.

Enfin, la machine est pourvue du frein Westinghouse et les deux essieux accouplés sont freinés. Elle est accompagnée d'un tender à trois essieux d'une contenance de 14,000 litres d'eau et de 3,000 kilogrammes de charbon.

Sa consommation kilométrique ressort en moyenne à 13.5 kilogrammes de combustible, sous une dépression de 60 à 75 millimètres d'eau dans la boîte à fumée. Aucune indication n'est donnée sur les conditions du service auquel correspond cette consommation.

Ajoutons qu'en vue d'atténuer la résistance opposée par l'air au mouvement de cette machine, on a mis à l'essai un système d'enveloppes de formes appropriées. Mais il n'a pas paru que les résultats obtenus par leur emploi fussent de nature à compenser l'inconvénient qu'elles présentent de rendre moins facile l'accès aux diverses parties de la machine.

§ 68. — La *Compagnie de l'Ouest français* affecte au service de ses express des machines à deux essieux accouplés et à bogie non-compound, et d'autres, également à deux essieux accouplés et à bogie, mais compound, et à quatre cylindres.

Les deux premières machines à bogie non compound datent, en réalité, de 1888. Toutefois, le type de ces machines n'est devenu définitif qu'en 1892, époque à partir de laquelle furent mises en service les machines n^{os} *963 à 990*, qui présentent, par rapport aux premières, d'assez notables différences et dont nous nous occuperons exclusivement ci-après.

§ 69. — Les dimensions principales de ces machines, auxquelles se rapportent les figures 33 à 37, sont les suivantes :

Timbre de la chaudière	12.00	kilog.
Surface de la grille	2.00	mèt. carrés.
— de chauffe du foyer, en contact avec les gaz	10.60	—
— — des tubes, — —	95.90	—
— — totale, — —	106.50	—

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tubes	Nombre	197.
	Diamètre extérieur	0.045 mètre.
	Épaisseur	2 1/2 millimètres.
	Longueur entre plaques tubulaires	3.800 mètres.
Diamètre intérieur de la plus petite virole du corps cylindrique		1.253 mètre.
— des cylindres		0.46 —
Course des pistons		0.66 —
Diamètre des roues motrices		2.01 mètres.
— — porteuses		0.93 mètre.
Poids en ordre de marche	Premier essieu	8.100 tonnes.
	Deuxième essieu	8.700 —
	Troisième essieu	14.100 —
	Quatrième essieu	13.900 —
	Total	44.800 —
Poids adhérent		28.000 —

§ 70. — Ces données se rapportent à celles de ces machines qui sont pourvues de tubes lisses. Mais quelques-unes d'entre elles ont reçu des tubes à ailettes de 70 millimètres de diamètre extérieur et de 2.5 millimètres d'épaisseur, et dont le nombre est de 88. Le développement de la surface de chauffe est alors le suivant :

Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	10.90 mèt. carrés.
	des tubes	112.50 —
	totale	123.40 —

§ 71. — La chaudière de ces machines est en fer. Elle est de forme télescopique, la plus grande virole étant placée à l'avant. La boîte à feu est du type Crampton. Le foyer, en cuivre, est suspendu à des fermes transversales dont les extrémités reposent sur des consoles rivées à la boîte à feu. Il renferme une voûte. La grille, légèrement inclinée vers l'avant, comporte un jette-feu. La boîte à fumée a été allongée vers l'avant, au delà des cylindres, pour permettre l'installation d'une trémie destinée à l'évacuation des escarbilles. L'échappement est fixe et de forme annulaire.

L'alimentation est assurée au moyen de deux injecteurs Sellers de débit différent. Le régulateur est dans le dôme et actionné à l'aide d'un arbre intérieur à la chaudière.

Les cylindres, intérieurs aux longerons, qui eux-mêmes sont intérieurs aux roues, sont disposés au-dessus du bogie. Les supports des glissières sont en acier moulé. L'essieu moteur, coudé, est en acier, avec bras de manivelles frettés et boulons de consolidation dans l'axe des tourillons. L'essieu accouplé est à l'arrière du foyer, au-dessous de la plate-forme du mécanicien.

Les boîtes à vapeur sont également intérieures au châssis ; mais les tiroirs et les tables sont accessibles de l'extérieur. Le mécanisme de distribution, qui actionne des tiroirs ordinaires à coquille, est d'un type spécial, sans excentriques. On peut néanmoins le considérer comme un dispositif du type Walschaert dans lequel la coulisse, au lieu d'être commandée par une barre d'excentrique, est actionnée par un dispositif analogue à celui de Joy.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

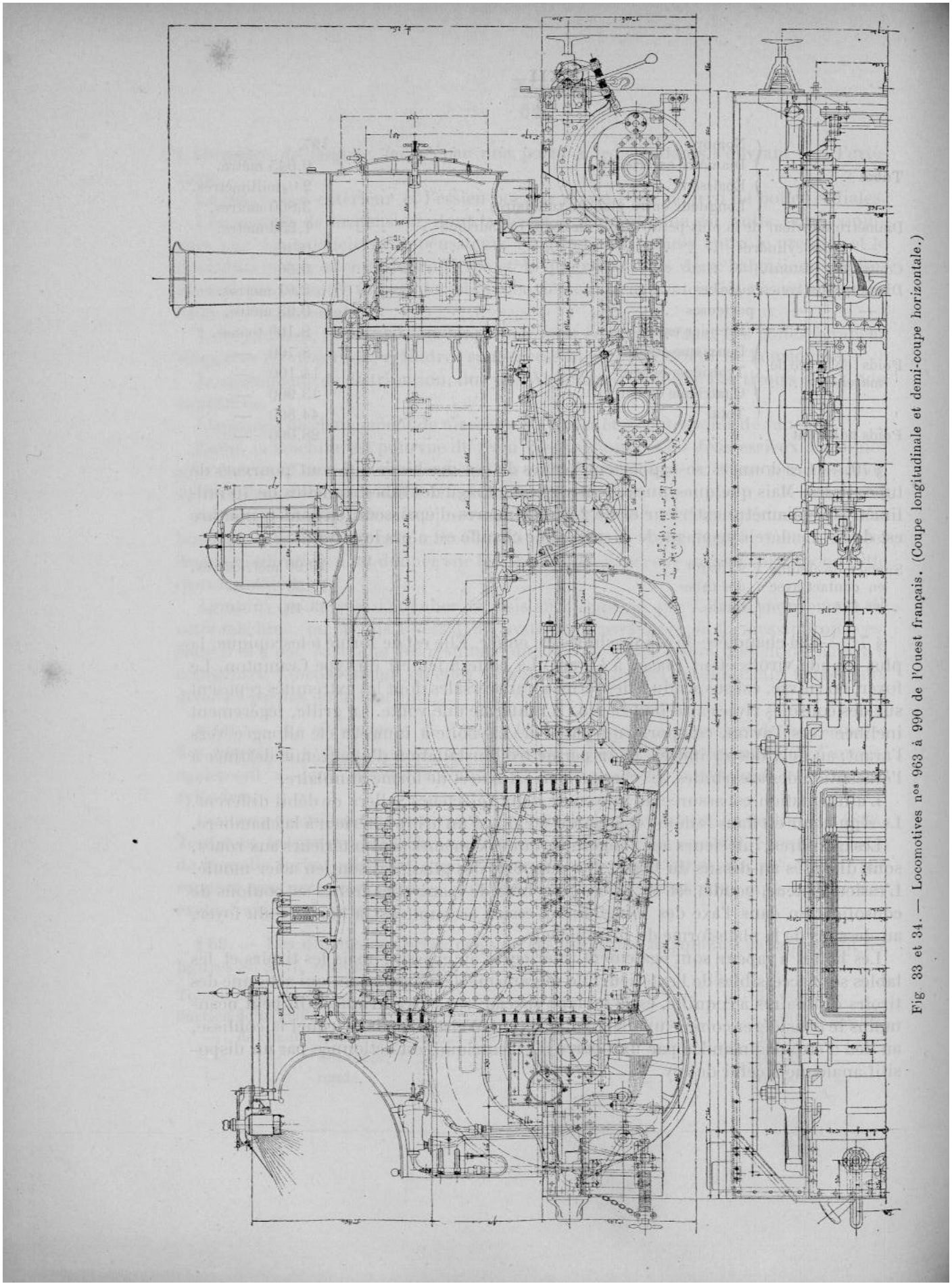


Fig. 33 et 34. — Locomotives nos 963 à 990 de l'Ouest français. (Coupe longitudinale et demi-coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

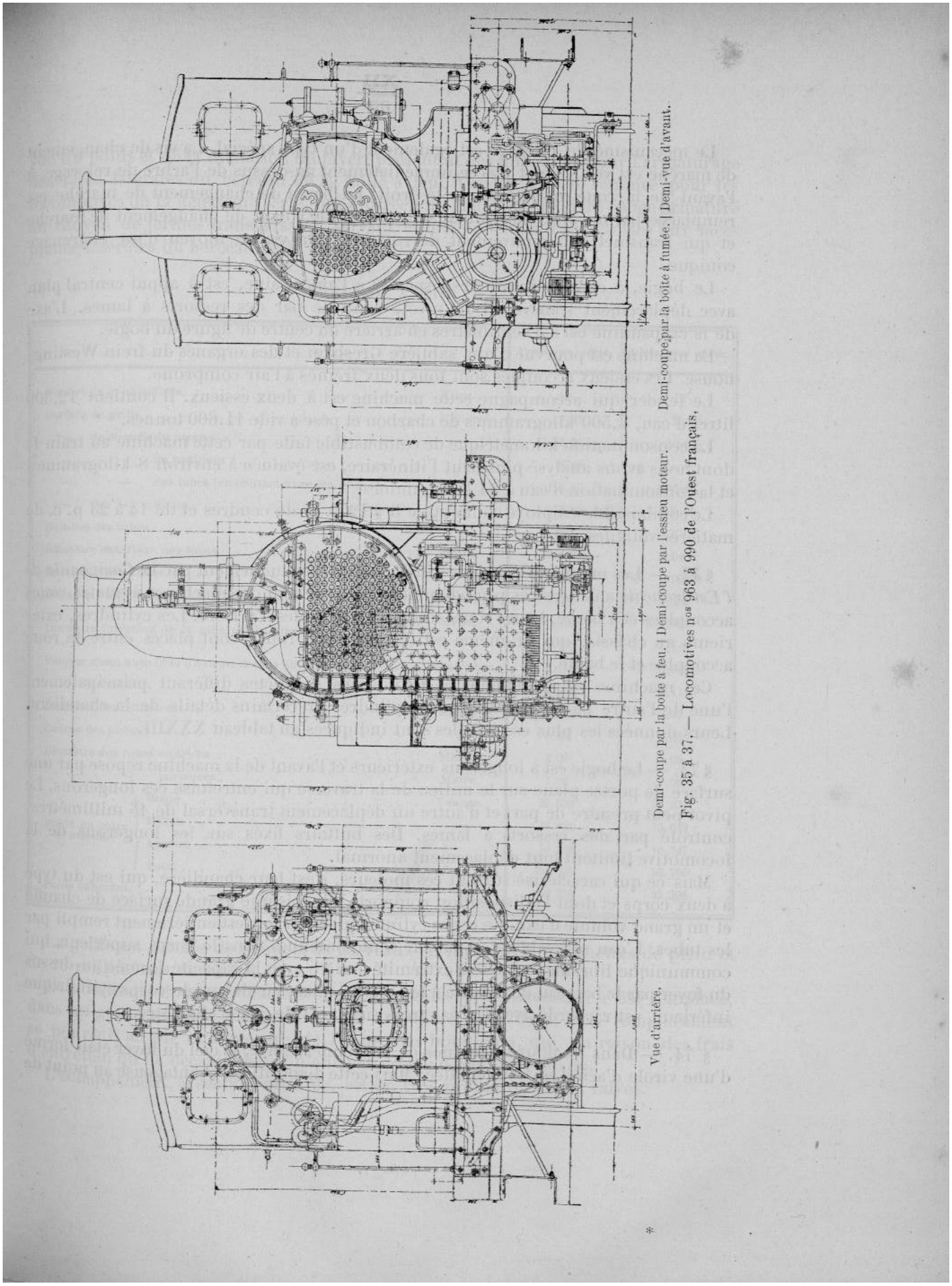


Fig. 35 à 37. — Locomotives nos 963 à 990 de l'Ouest français.

Demi-coupe par la boîte à feu. | Demi-coupe par l'essieu moteur. | Demi-coupe par la boîte à fumée. | Demi-vue d'avant.

Vue d'arrière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le mécanisme de relevage est également d'un type spécial. La vis de changement de marche est verticale et placée immédiatement au-dessus de l'arbre de relevage, à l'avant de la roue motrice, du côté droit. La barre de changement de marche est remplacée par un arbre horizontal actionné par le volant de changement de marche et qui transmet son mouvement de rotation à la vis au moyen d'un engrenage conique.

Le bogie, à châssis intérieur suspendu à l'américaine, est à appui central plan avec déplacement transversal du pivot, contrôlé par des ressorts à lames. L'axe de la crapaudine est à 5 centimètres en arrière du centre de figure du bogie.

La machine est pourvue d'une sablière Gresham et des organes du frein Westinghouse. Les essieux accouplés sont tous deux freinés à l'air comprimé.

Le tender qui accompagne cette machine est à deux essieux. Il contient 12,300 litres d'eau, 3,500 kilogrammes de charbon et pèse à vide 11.600 tonnes.

La consommation kilométrique de combustible faite par cette machine au train 1, dont nous avons analysé plus haut l'itinéraire, est évaluée à environ 8 kilogrammes et la consommation d'eau à 64 kilogrammes.

Le combustible employé contient de 5 à 12 p. c. de cendres et de 14 à 23 p. c. de matières volatiles.

§ 72. — Les machines à grande vitesse affectées actuellement par la *Compagnie de l'Est français* aux services précédemment analysés sont des machines à quatre roues accouplées et à bogie. Leurs roues motrices sont celles d'arrière. Les cylindres, extérieurs au châssis, qui lui-même est intérieur aux roues, sont placés entre la roue accouplée et le bogie.

Ces machines appartiennent à deux séries distinctes différant principalement l'une de l'autre par le diamètre des cylindres et certains détails de la chaudière. Leurs données les plus essentielles sont indiquées au tableau XXXIII.

§ 73. — Le bogie est à longerons extérieurs et l'avant de la machine repose par une surface de portée plane sur le milieu de la traverse qui entretoise ces longerons. Le pivot peut prendre de part et d'autre un déplacement transversal de 45 millimètres, contrôlé par des ressorts à lames. Des buttoirs fixés sur les longerons de la locomotive limitent tout déplacement anormal.

Mais ce qui caractérise surtout ces moteurs, c'est leur chaudière, qui est du type à deux corps et dont la disposition comporte à la fois une grande surface de chauffe et un grand volume d'eau. Le corps cylindrique inférieur est entièrement rempli par les tubes. L'eau utilisable et la vapeur sont contenues dans le corps supérieur, qui communique librement par son extrémité arrière avec la capacité formée au-dessus du foyer par le berceau de la boîte à feu, et qui, placé au-dessus du corps cylindrique inférieur, est raccordé avec lui par trois cuissards de grand diamètre.

§ 74. — Dans les douze machines de la première série, le ciel du foyer était formé d'une virole d'acier en tôle ondulée. Mais cette disposition, avantageuse au point de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vue du poids et de la dilatation du foyer, présentait des difficultés pour l'armaturage des faces latérales du berceau de la boîte à feu. Aussi y a-t-on renoncé pour les locomotives de la deuxième série, qui ont reçu un ciel plat en cuivre rouge armaturé au moyen de fermes transversales, servant en même temps d'entretoises aux faces planes latérales du berceau de la boîte à feu.

TABLEAU XXXIII.

		Première série.	Deuxième série.
Timbre de la chaudière	Kilog.	12	12
Surface de grille	Mèt. car.	2.42	2.418
— de chauffe du foyer	—	13.61	13.61
— — du bouilleur	—	2.25	...
— — des tubes (en contact avec les gaz)	—	155.83	146.66
— — totale	—	171.69	160.27
Nombre des tubes		323	304
Diamètre extérieur des tubes	Mètre.	0.040	0.040
Épaisseur des tubes	—	0.00233	0.00233
Distance entre plaques tubulaires	Mètres.	4.300	4.300
Diamètre intérieur de la plus petite virole : corps supérieur	Mètre.	0.782	0.782
Diamètre intérieur de la plus petite virole : corps inférieur	—	1.175	1.143
Volume d'eau avec 0m44 d'eau au-dessus du ciel	Mèt. cubes.	6.154	5.329
— de vapeur	Mèt. cube.	1.792	2.111
Diamètre des cylindres	Mètre.	0.50	0.47
Course des pistons	—	0.66	0.66
Diamètre des roues motrices	Mètres.	2.09	2.09
— — porteuses	Mètre.	1.06	1.06
Poids en ordre de marche : Bogie	Tonnes.	23.093	23.370
Poids en ordre de marche : Milieu	—	16.480	16.649
Poids en ordre de marche : Arrière		16.258	16.747
Poids en ordre de marche : Total	—	55 831	56.766
Poids adhérent	—	32.758	33.396

La grille est formée de paquets de barreaux en fonte de 9 millimètres de plein et de 10 millimètres de vide.

Le bouilleur, dont ces machines étaient munies primitivement, a été remplacé, dans un grand nombre d'entre elles, par une voûte en briques, et ce remplacement se poursuit au fur et à mesure de l'usure des bouilleurs, qui, en raison des frais d'entretien qu'ils occasionnent, n'ont pas donné d'économie finale.

L'échappement, à section variable, est du type ordinaire à deux valves.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le mécanisme de distribution, du type Stephenson, actionne des tiroirs à coquille non équilibrés. Toutefois, une machine a reçu des tiroirs équilibrés au moyen de réglettes du système américain dit de Richardson et deux machines sont pourvues du système Durant et Lencauchez, à quatre distributeurs.

Toutes ces machines sont pourvues des organes du frein Westinghouse automatique ordinaire et leurs essieux moteurs sont freinés par l'air comprimé.

Elles sont accompagnées d'un tender à trois essieux, pesant environ 18 tonnes à vide et pouvant contenir 20 mètres cubes d'eau et 5,000 kilogrammes de combustible.

§ 75. — Leur consommation kilométrique moyenne s'est élevée, en 1898, pour l'ensemble des machines des dépôts de Châlons et de Chaumont et sous une dépression de 150 à 200 millimètres d'eau dans la boîte à fumée, à 74.85 litres d'eau et à 10.93 kilogrammes de combustible.

Enfin, la nature du combustible consommé fait l'objet du tableau XXXIV.

TABLEAU XXXIX.

Proportions.	DÉSIGNATION ET PROVENANCE.	Dimensions des menus.	PROPORTIONS DE	
			cendres.	de matières volatiles.
25 p. c.	Briquettes demi-grasses	...	5.6 p. c.	18 p. c.
75 p. c. 31	Grains Bascoup lavés	5 à 25 millimètres.	5.7 —	16 —
75 p. c. 20	Fines Bascoup non lavées	0 à 5 —	10 à 11 p. c.	16 —
75 p. c. 12	Menus Lens lavés	0 à 10 —	4 p. c.	30 —
75 p. c. 12	Menus Dourges non lavés. . . .	0 à 35 —	11 —	26 —

Nota. — Les menus sont mélangés avant distribution.

Ajoutons que des expériences comparatives ont été faites en 1896-97 sur un certain nombre des locomotives dont il s'agit et sur la machine n° 1760 compound à quatre cylindres des chemins de fer du Midi, dont il sera question ultérieurement. Ces expériences ont fait l'objet de deux notes, dont l'une a paru dans la *Revue des chemins de fer* (septembre 1897) et dont l'autre est reproduite plus loin sous forme d'annexe au présent exposé.

§ 76. — La *Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée* affecte à la conduite de ses trains les plus rapides, circulant entre Marseille et Nice, et à celle d'un grand nombre d'express circulant entre Paris et Marseille, des machines non compound résultant de la transformation de ses anciennes machines, type 1879, à deux essieux accouplés compris entre deux essieux porteurs. La transformation a consisté, en principe, dans le raccourcissement du corps cylindrique de la chaudière, qui ne mesurait pas moins de 4.94 mètres entre plaques tubulaires, dans le remplacement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des anciens tubes lisses par des tubes à ailettes; enfin, dans la substitution d'un bogie à l'essieu porteur d'avant. L'essieu porteur d'arrière a disparu et le foyer a été placé entre les deux essieux accouplés.

Ainsi transformée, la machine a pris l'aspect qu'indiquent les figures 38 et 39 et ses éléments principaux sont devenus les suivants :

Timbre de la chaudière		11.00 kilogrammes
Surface de la grille		2.24 mèt. carrés.
Inclinaison de la grille		17°
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	10.50 mèt. carrés.
	des tubes	131.03 —
	totale	141.53 —
Tubes (Serve)	Nombre	113
	Diamètre extérieur	0.065 mètre.
	Épaisseur	0.0025
	Longueur entre plaques tubulaires	3.350 mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.232 mètre.
— des cylindres		0.500 —
Course des pistons		0.620 —
Diamètre des roues motrices		2.00 mètres.
— — accouplées		1.00 mètre.
Empattement rigide		2.970 mètres.
— du bogie		2.000 —
— total		7.470 —
Poids à vide		46.330 tonnes.
Poids en ordre de marche	Bogie	19.060 —
	Essieu moteur.	15.450 —
	— accouplé	15.450 —
	Total	49.960 —
Poids adhérent		30.900 —

§ 77. — La boîte à feu, en acier, est du type Belpaire. Le foyer, en cuivre, renferme une voûte en briques et un déflecteur placé au-dessus de la porte de chargement. La grille, à barreaux en tôle de 10 millimètres, espacés de 10 millimètres, est inclinée et se termine à l'avant par une partie mobile. Le corps cylindrique est en fer.

Le régulateur, manœuvré par une tringle extérieure disposée latéralement à la chaudière, est placé dans un dôme de grandes dimensions portant les deux soupapes de sûreté. Un diaphragme en tôle est placé à la base de ce dôme, dont le sommet est mis en communication avec le haut de la boîte à feu et du corps cylindrique par des tuyaux recourbés. Cette disposition, adoptée par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée depuis 1877, a pour but de séparer la vapeur de l'eau entraînée.

La cheminée, de grand diamètre, est rétrécie intérieurement suivant le type adopté par la Compagnie depuis 1888, par un noyau central placé au-dessus de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

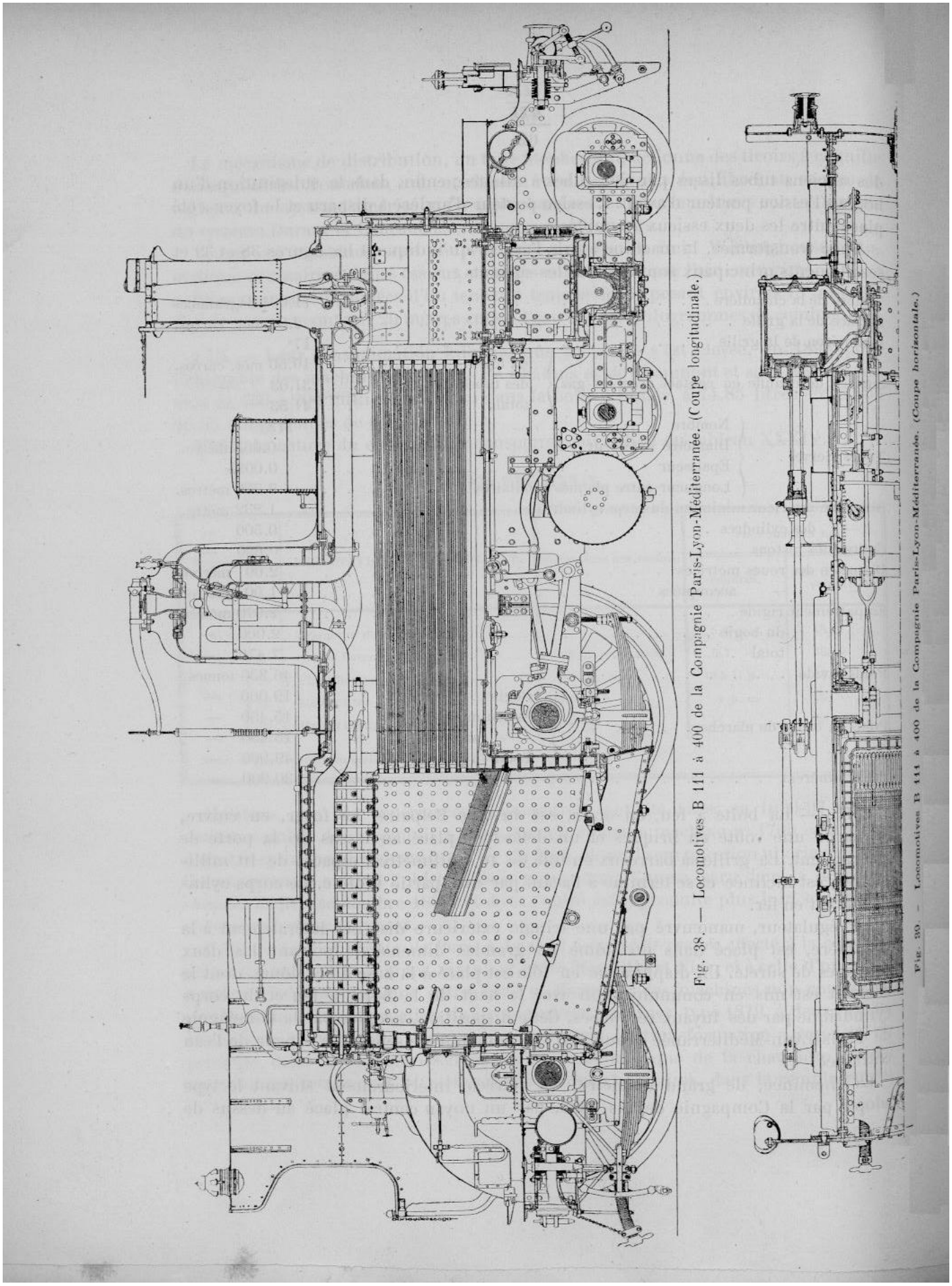


Fig. 38. — Locomotives B 111 à 400 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Coupe longitudinale.)

Fig. 39. — Locomotives B 111 à 400 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'échappement et façonné de manière à épanouir convenablement le jet de vapeur. L'échappement lui-même est rectangulaire, variable au moyen de valves mobiles. Le souffleur lance la vapeur dans la cheminée par une couronne de trous percés dans le noyau central.

Les cylindres, extérieurs au châssis, sont placés entre les roues du bogie. Ils actionnent l'essieu placé en avant du foyer. Le mécanisme de distribution, intérieur au châssis, est du type Allan. Il actionne des tiroirs à double admission non équilibrés. Le mécanisme de changement de marche est à contrepoids de vapeur.

Les longerons principaux, de même que les longeronnets du bogie, sont intérieurs aux roues. L'avant de la machine repose sur le bogie exclusivement par un pivot central de forme sphérique, muni latéralement de deux galets, par le moyen desquels il entraîne la crapaudine dans son mouvement de rotation. Celle-ci, en tournant, s'élève le long des surfaces hélicoïdales du siège sur lequel elle repose. Enfin, ce dernier peut se déplacer transversalement par rapport au bogie en s'élevant sur des plans inclinés à 15°.

Grâce à cette disposition, le poids de la machine tend constamment à ramener, d'une part, l'axe longitudinal du bogie dans le plan méridien de la machine, d'autre part, l'axe vertical du pivot dans le plan méridien du bogie.

La suspension comporte à l'arrière deux balanciers compensateurs, placés entre les essieux moteurs et les essieux accouplés, et, à l'avant, deux ressorts renversés, communs aux deux essieux du bogie et chargés en leur milieu.

Pour éviter que le châssis du bogie ne bascule autour d'un axe horizontal passant par ses deux points d'appui sur les ressorts et par la crapaudine centrale, on a relié ce châssis au châssis principal au moyen d'une bielle de connexion, placée dans le plan méridien de la machine en avant de la crapaudine, et assez longue pour ne pas gêner les déplacements relatifs du bogie. Une bielle semblable, placée à l'arrière de la crapaudine, mais plus courte et dont l'articulation inférieure a un jeu relativement considérable, n'est qu'un organe de sûreté.

La machine est pourvue du chronotachymètre de Pouget, des organes du frein Westinghouse-Henry et de deux cylindres à frein freinant les roues motrices et accouplées.

Elle est reliée à un tender à trois essieux pouvant emmagasiner 16,100 litres d'eau et 3,000 kilogrammes de combustible, et pesant à vide 17,200 kilogrammes.

§ 78. — Le type de machine à grande vitesse, créé, en 1895, par la *Compagnie du Nord autrichien (Kaiser Ferdinands-Nordbahn)* dérive d'un type antérieur, qui comportait un bogie et deux essieux accouplés. Comme on se proposait de remorquer avec la nouvelle machine 200 tonnes brutes à la vitesse moyenne de 80 kilomètres à l'heure, tout en employant les combustibles de qualité inférieure que l'on trouve dans la région desservie, on a été conduit à porter à 2.90 mètres carrés la surface de la grille. Par suite, et pour éviter de dépasser une charge sur rails de plus de 7 tonnes par roue, on a dû placer un essieu porteur à l'arrière des essieux accouplés. La machine est ainsi portée par cinq essieux, dont deux, savoir : l'essieu accouplé et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'essieu porteur d'arrière, ce dernier à convergence libre (*freie Lenkachse*), sont placés sous le foyer. L'emploi de longerons extérieurs a d'ailleurs permis de donner une plus grande largeur à ce dernier.

Le bogie comporte un châssis intérieur sur lequel la machine repose par deux appuis latéraux constitués par des tenons hémisphériques pénétrant dans des crapaudines susceptibles de glisser sur des platines horizontales. Le pivot, de forme sphérique, est dépourvu de jeu transversal.

§ 79. — L'ensemble de la machine est représenté par les figures 40 à 42 et ses dimensions principales sont les suivantes :

Timbre de la chaudière		13 atmosphères =	13.40 kilogrammes.
Surface de la grille			2.90 mètres carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer		12.1 —
	des tubes		139.6 —
	totale		151.7 —
Nombre des tubes (lisses)			229
Diamètre extérieur des tubes			52.7 millimètres.
Épaisseur			2.75 —
Longueur des tubes			4.110 mètres.
Diamètre des cylindres			0.470 mètre.
— intérieur de la plus petite virole du corps cylindrique			1.470 —
Course des pistons			0.600 —
Diamètre des roues motrices (avec bandages de 0.07 mètre)			2.000 mètres.
— — porteuses			1.100 mètre.
Poids en ordre de marche	Premier essieu		10.600 tonnes.
	Deuxième essieu		10.600 —
	Troisième essieu		13.900 —
	Quatrième essieu		13.900 —
	Cinquième essieu		10.500 —
	Total		59.500 —
Poids adhérent			27.800 —

§ 80. — La chaudière, entièrement en acier Martin, sauf le foyer et la plaque tubulaire de la boîte à fumée, qui sont en cuivre, est pourvue, conformément à un usage assez répandu en Autriche, de deux dômes dont les sommets sont mis en communication par un tuyau intérieur à la chaudière. Le dôme d'avant renferme le régulateur, actionné par une tringle extérieure. Celui d'arrière porte latéralement deux soupapes de sûreté à charge directe, du type américain dit Pop-valve. L'alimentation est assurée par deux injecteurs à réamorçage automatique.

Pour éviter les corrosions, les viroles du corps cylindrique ont été doublées dans leur partie inférieure d'une feuille de cuivre de 2 millimètres d'épaisseur, recouvrant également les lignes de rivets transversales.

De même, les tirants verticaux en fer, qui relient le ciel du foyer au berceau de la boîte à feu, sont recouverts dans leur partie inférieure, en contact avec l'eau, d'une couche de cuivre électrolytique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

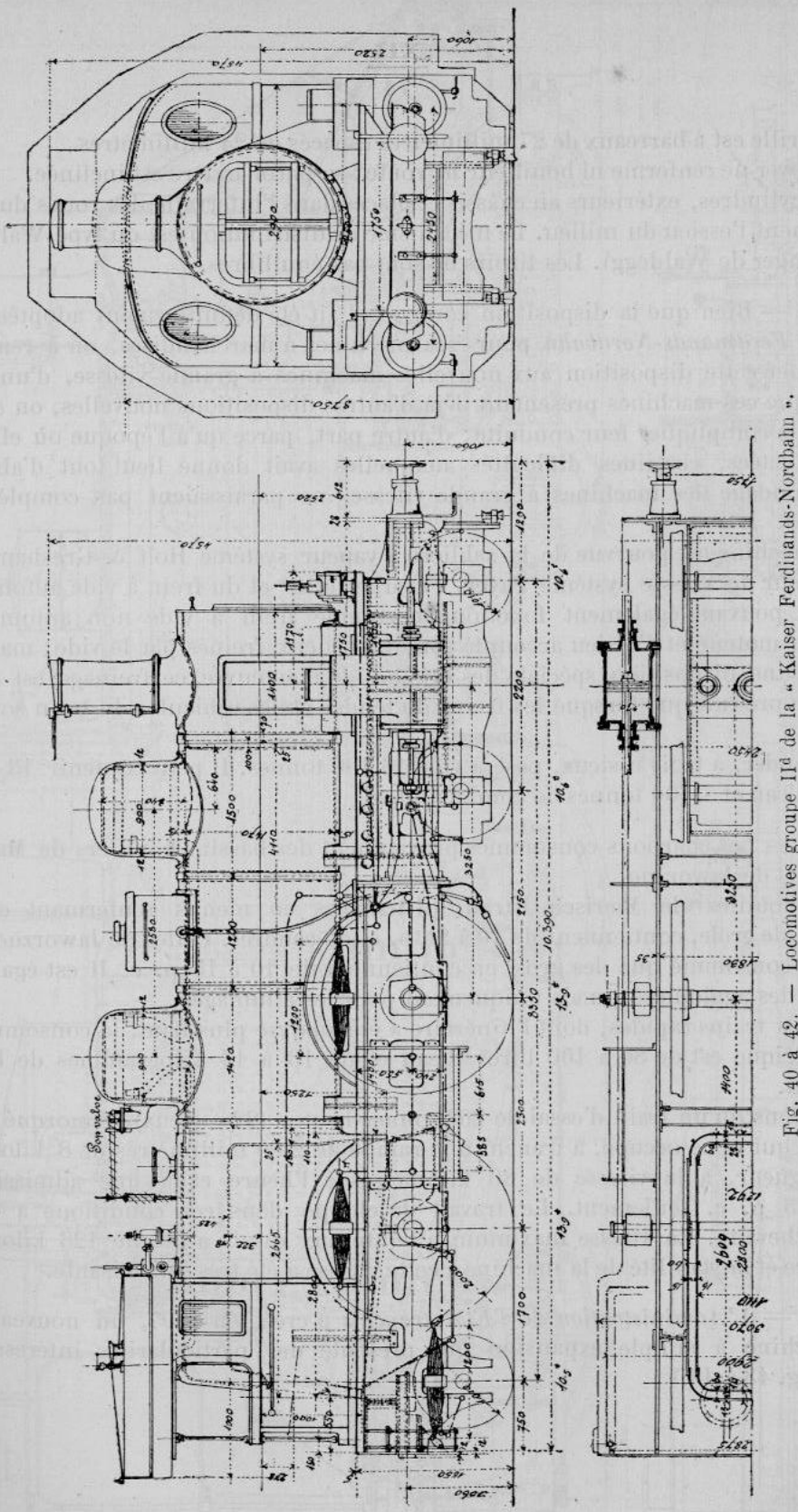


Fig. 40 à 42. — Locomotives groupe II^d de la « Kaiser Ferdinands-Nordbahn ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La grille est à barreaux de 27 millimètres espacés de 24 millimètres.

Le foyer ne renferme ni bouilleur ni voûte; sa paroi arrière est inclinée.

Les cylindres, extérieurs au châssis et placés dans l'intervalle des roues du bogie, actionnent l'essieu du milieu. Le mécanisme de distribution est du type Walschaert (Heusinger de Waldegg). Les tiroirs ne sont pas équilibrés.

§ 81. — Bien que la disposition compound ait été définitivement adoptée par la *Kaiser Ferdinands-Nordbahn* pour ses machines à marchandises, on a renoncé à appliquer cette disposition aux nouvelles machines à grande vitesse, d'une part, parce que ces machines présentant déjà d'autres dispositions nouvelles, on a voulu éviter de compliquer leur conduite; d'autre part, parce qu'à l'époque où elles ont été projetées, certaines difficultés auxquelles avait donné lieu tout d'abord le compoundage des machines à grande vitesse, ne paraissaient pas complètement résolues.

La machine est pourvue de la sablière à vapeur système Holt & Gresham, d'un indicateur de vitesse système Payer, Favarger et Cie et du frein à vide automatique Hardy, pouvant également fonctionner comme frein à vide non automatique. L'essieu moteur et l'essieu accouplé sont tous deux freinés par le vide; mais, par suite d'une disposition spéciale des organes de manœuvre, ce freinage est retardé et ne se produit que lorsque les freins du tender et des véhicules du train sont déjà serrés.

Le tender, à trois essieux, pèse à vide 16.100 tonnes. Il peut contenir 15 mètres cubes d'eau et 7.500 tonnes de combustible.

§ 82. — Les charbons consommés proviennent des bassins houillers de Mærisch-Ostrau et de Jaworzno.

Les houilles de Mærisch-Ostrau, distribuées en menus renfermant environ 33 p. c. de grêle, contiennent de 10 à 25 p. c. de cendres. Celles de Jaworzno, dont il n'est consommé que des gros, en contiennent de 10 à 15 p. c. Il est également délivré des agglomérés, mais uniquement pour les allumages.

Par les trains rapides, dont l'itinéraire a été analysé plus haut, la consommation kilométrique est de 80 à 100 litres d'eau et de 13 à 14 kilogrammes de houille d'Ostrau.

Ajoutons qu'un train d'essai de 203 tonnes brutes (22 essieux), remorqué par le moteur qui nous occupe, a franchi une rampe de 2.60 millimètres de 8 kilomètres de longueur, à la vitesse de 80 kilomètres à l'heure et à une admission de 18 à 23 p. c. seulement. Le travail développé dans ces conditions a été de 1,027 chevaux. La vitesse maximum atteinte aux essais a été de 126 kilomètres à l'heure et la stabilité de la machine à cette vitesse a été très satisfaisante.

§ 83. — L'*Administration de l'État français* a créé, en 1897, un nouveau type de machine à simple expansion qui présente des particularités intéressantes. (*Voir* fig. 43 à 49.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

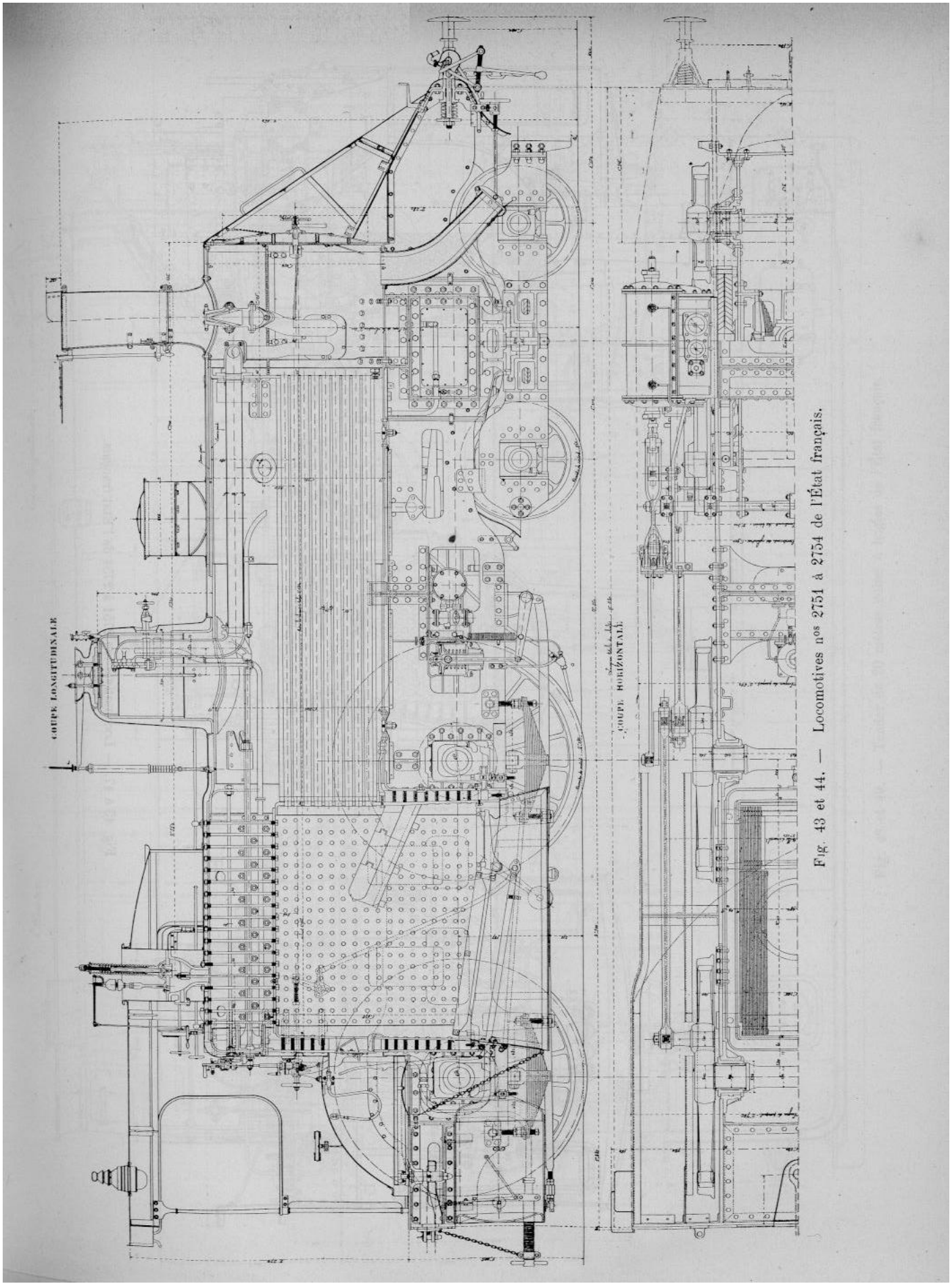


Fig. 43 et 44. — Locomotives nos 2751 à 2754 de l'État français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

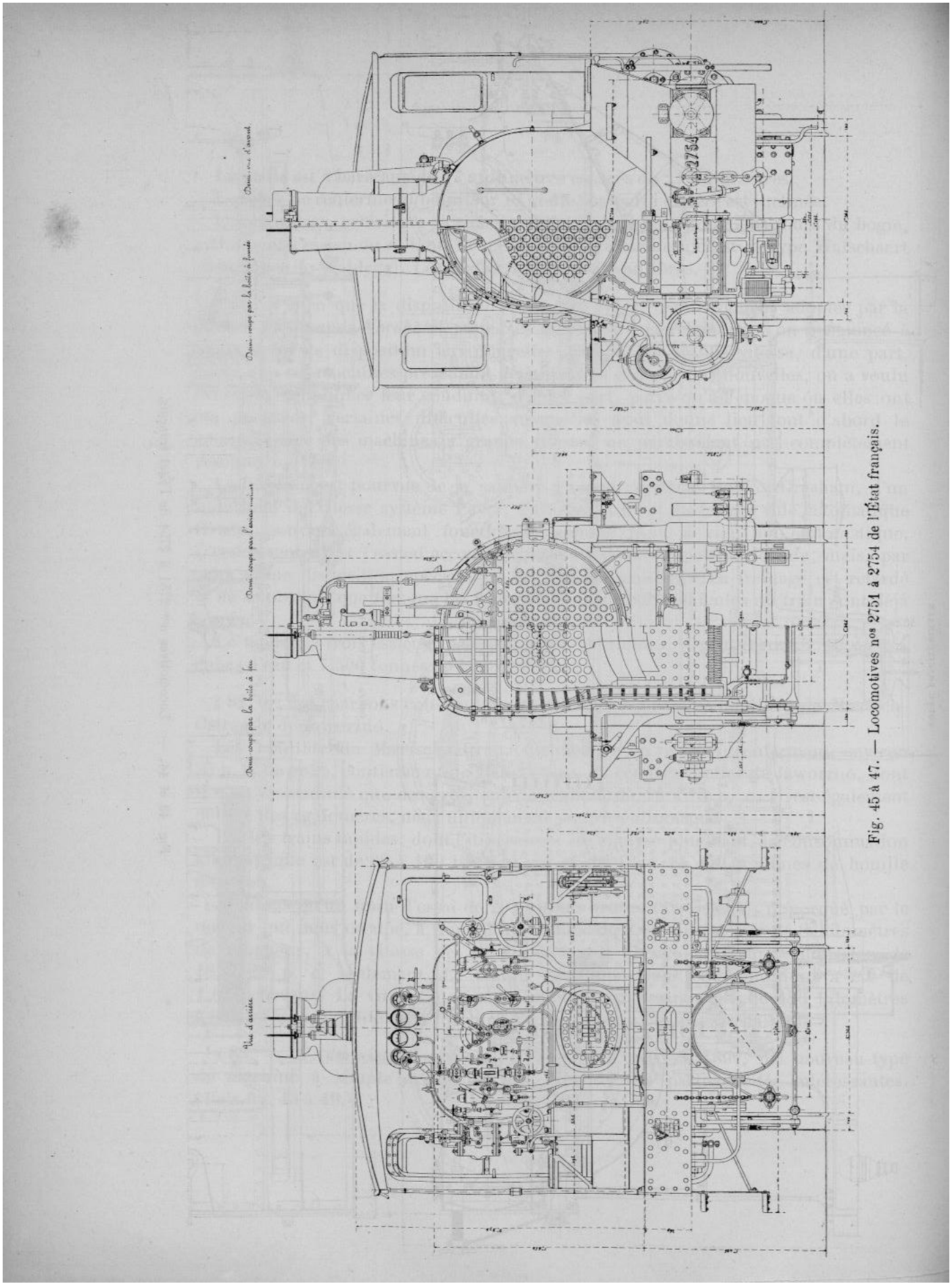


Fig. 45 à 47. — Locomotives nos 2751 à 2754 de l'État français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

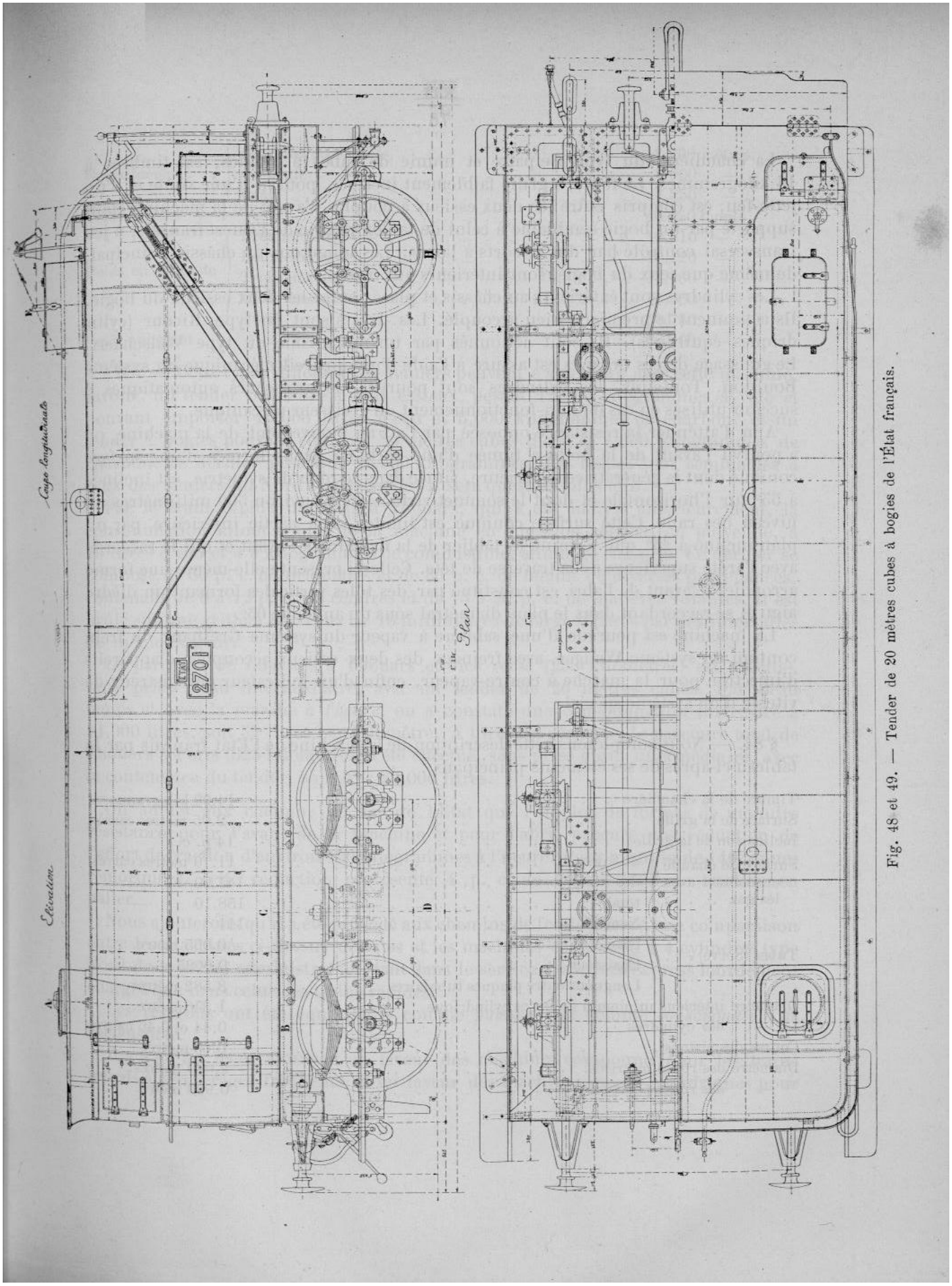


Fig. 48 et 49. — Tender de 20 mètres cubes à bogies de l'État français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La chaudière, du type Belpaire et munie de tubes à ailettes, est timbrée à 14 kilogrammes. Le foyer, à grille faiblement inclinée, pourvu d'une voûte et d'un jette-feu, est compris entre les deux essieux accouplés, l'avant de la machine étant supporté par un bogie semblable à celui de la Compagnie de l'Ouest français, à jeu transversal contrôlé par des ressorts à lames. Les longerons du châssis principal, de même que ceux du bogie, sont intérieurs aux roues.

Les cylindres sont extérieurs au châssis et placés entre les deux essieux du bogie. Ils actionnent le premier essieu accouplé. Les tiroirs sont du type Ricour (cylindriques équilibrés). Ils sont actionnés par un mécanisme du type Walschaert. Le graissage de ces organes est assuré à l'aide d'un appareil mécanique du système Bourdon. Toutefois, les cylindres sont pourvus de graisseurs automatiques à succion utilisés en cas de non-fonctionnement du graisseur mécanique.

Afin d'atténuer la résistance opposée par l'air au mouvement de la machine, on a pourvu l'avant de la boîte à fumée d'une sorte de proue formée d'une surface conique dont la génératrice supérieure, située dans le plan de symétrie, est inclinée à 55° sur l'horizontale et dont le sommet virtuel est à environ 500 millimètres du niveau des rails. Cette surface conique est limitée, à sa partie inférieure, par un plan incliné à 25° qui termine le tablier de la machine à l'avant et qui le raccorde avec l'arête supérieure de la traverse de tête. Celle-ci présente elle-même une forme arrondie. L'avant de l'abri est constitué par des tôles verticales formant un dièdre aigu et se raccordant dans le plan diamétral sous un angle de 65°.

La machine est pourvue d'une sablière à vapeur du système Gresham, du frein continu du système Wenger, avec freinage des deux essieux accouplés, d'appareils d'injection pour la marche à contre-vapeur, enfin d'un indicateur enregistreur de vitesse d'un système spécial.

§ 84. — Nous complétons cette description de la machine de l'État français par le tableau ci-après de ses éléments principaux :

Timbre de la chaudière		14.00 kilogrammes.
Surface de la grille		2.05 mètres carrés.
Inclinaison de la grille		14 p. c.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	11.10 mètres carrés.
	des tubes	147.00 —
	totale	158.10 —
Tubes (Serve)	Nombre	111
	Diamètre extérieur	0.065 mètre.
	Épaisseur	0.0025 —
	Longueur entre plaques tubulaires	3.582 mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.346 mètre.
— des cylindres		0.44 et 0.46 mètre.
Course des pistons		0.65 mètre.
Diamètre des roues motrices		2.030 mètres.
— des roues porteuses		0.960 mètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Empattement . .	des roues accouplées.	2.700 mètres.
	du bogie	2.000 —
	total	7.250 —
Poids à vide.		46.250 tonnes.
Poids en ordre de marche . . .	Premier essieu	10.810 —
	Deuxième essieu	10.120 —
	Troisième essieu	14.460 —
	Quatrième essieu	15.360 —
	Total	50.750 —
Poids adhérent		29.800 —

§ 85. — Deux types différents de tenders peuvent s'accoupler avec cette machine, savoir : un tender ordinaire à deux essieux, pesant 12,700 kilogrammes à vide et pouvant emporter 10,000 litres d'eau et 5,000 kilogrammes de charbon, et un tender à bogies pouvant contenir 20 mètres cubes d'eau et 9,000 kilogrammes de charbon. Ce dernier pèse vide 21,500 kilogrammes. Les bogies sont semblables à ceux des tenders du Nord français dont il sera question plus loin.

Par le train rapide de Paris à Thouars, qui a été analysé antérieurement, la consommation kilométrique de la machine en question ressort, en moyenne, à 70 litres d'eau et à 9 kilogrammes de combustible, allumage compris. Ce dernier se compose de 50 p. c. de briquettes et de 50 p. c. de menus de diverses provenances, contenant de 8 à 12 p. c. de cendres et de 15 à 20 p. c. de matières volatiles. Il est brûlé sur une grille à barreaux de 10 millimètres de large séparés par des intervalles de même largeur.

Le parcours de Chartres à Thouars et vice versa (238 kilomètres) est effectué, sans prise d'eau intermédiaire, avec un tender de 20 mètres cubes. Par beau temps et avec la marche *à l'heure*, on a constaté une consommation inférieure à 14,000 litres, soit 59 litres par kilomètre. A titre d'expérience, le parcours total de Thouars à Paris (325 kilomètres) a été effectué, sans prise d'eau intermédiaire, avec la contenance du tender, soit avec 20,000 litres.

On admet aux chemins de fer de l'État que l'emploi de formes de moindre résistance pour l'avant de la machine et pour l'abri, procure une réduction de l'effort de traction d'environ 100 kilogrammes à l'heure. Pour un train de 140 tonnes remorquées, cette réduction représente 4 p. c. de l'effort total de traction en palier.

Nous ajouterons qu'il a été procédé aux chemins de fer de l'État à une comparaison entre les machines ci-dessus décrites et les machines compound à 4 cylindres type Nord de la même administration, tant dans le service des trains express lourdement chargés que dans celui des trains rapides.

Les résultats ont été équivalents comme *puissance* et comme *consommation de combustible*.

Il y a eu un léger avantage en faveur des machines compound pour les trains lourds à démarrages fréquents, et en faveur des machines mono-cylindriques pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les trains rapides proprement dits : ces dernières soutiennent plus facilement la marche à 100 kilomètres à l'heure sur un palier indéfini.

La dépense de graissage a été plus faible d'environ 20 p. c. pour les machines monocylindriques.

Machines à deux essieux accouplés compound.

§ 86. — La plus ancienne des machines compound à grande vitesse dont nous ayons à nous occuper est celle de l'État hongrois, qui comporte quatre cylindres disposés en tandem (*voir* les fig. 50 à 52). Elle repose sur quatre essieux : les deux premiers font partie d'un bogie ; le troisième est moteur, le quatrième accouplé.

Ses dimensions principales sont les suivantes :

Timbre	13 atmosphères =	13.4 kilogrammes.
Surface de la grille		2.98 mèt. carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz : du foyer		12.00 —
des tubes		111.12 —
totale		123.12 —
Tubes lisses : Nombre		188
Diamètre extérieur		0.052 mètre.
— intérieur		0.0465 —
Longueur entre plaques tubulaires		4.000 mètres.
Diamètre intérieur de la plus petite virole du corps cylindrique		1.274 mètre.
— des cylindres H. P		0.320 —
— — B. P		0.490 —
Course des pistons		0.650 —
Rapport des volumes des cylindres		2.34
Rapport du volume du réservoir intermédiaire au volume des deux cylindres H. P. réunis		1.11
Diamètre des roues motrices		2.001 mètres.
— — porteuses		1.050 mètre.
Poids total à vide		50.40 tonnes.
Poids en ordre de marche : Premier essieu (bogie)		13.35 —
Deuxième essieu (bogie)		13.35 —
Troisième essieu		14.00 —
Quatrième essieu		14.00 —
Total		54.70 —
Poids adhérent		28.00 —

§ 87. — On remarquera les grandes dimensions données à la grille, destinée à consommer des combustibles à faible pouvoir calorifique, tels que les lignites de Salgó Tarján, qui ne vaporisent que cinq fois environ leur poids d'eau. Entièrement en acier extra-doux (*Flusseisen*), sauf le foyer qui est en cuivre et les entretoises horizontales qui sont en bronze manganésé, la chaudière présente à l'arrière la disposition Crampton avec armaturage du ciel au moyen de tirants verticaux. La

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

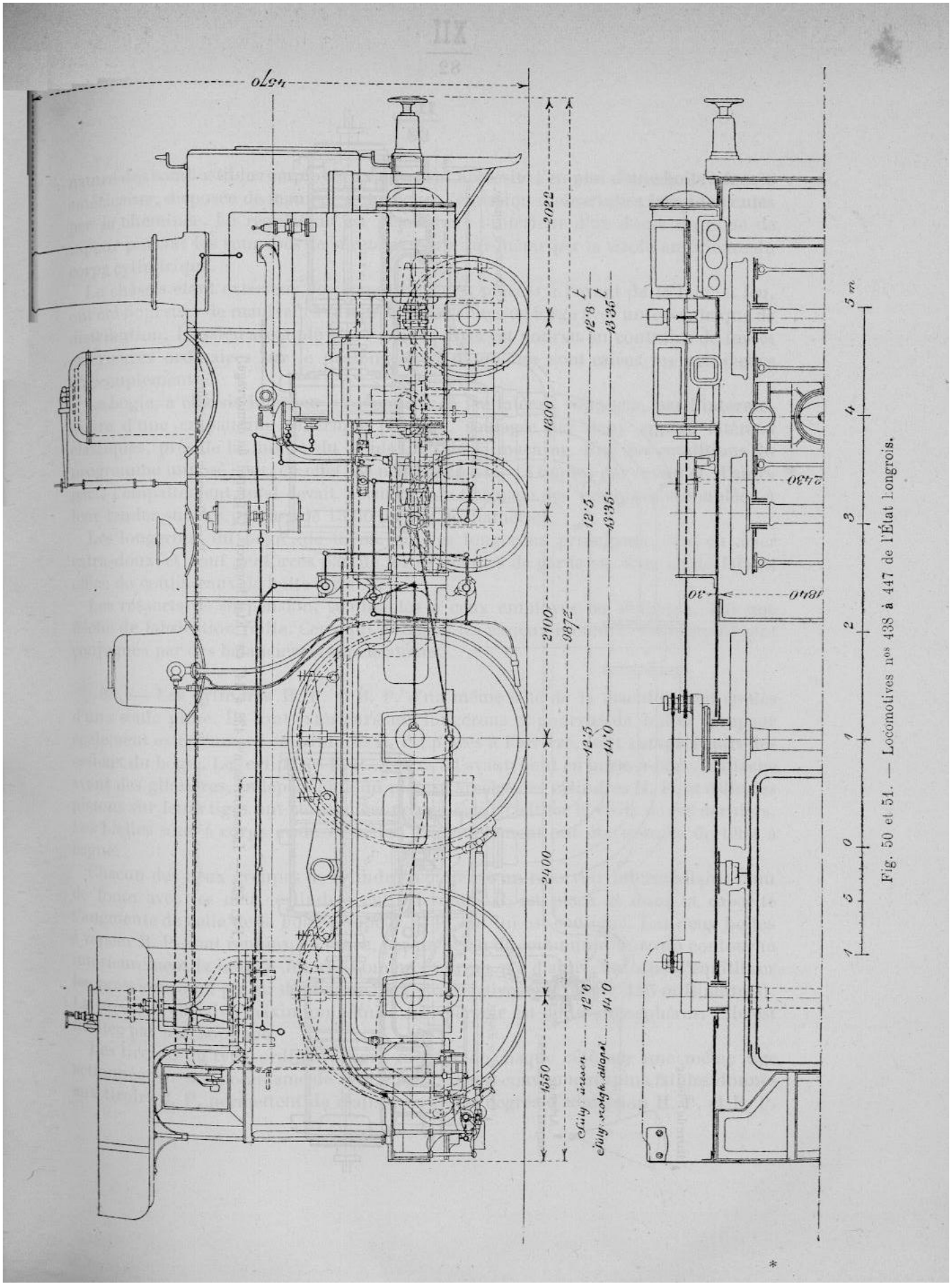


Fig. 50 et 51. — Locomotives nos 438 à 447 de l'État longrois.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

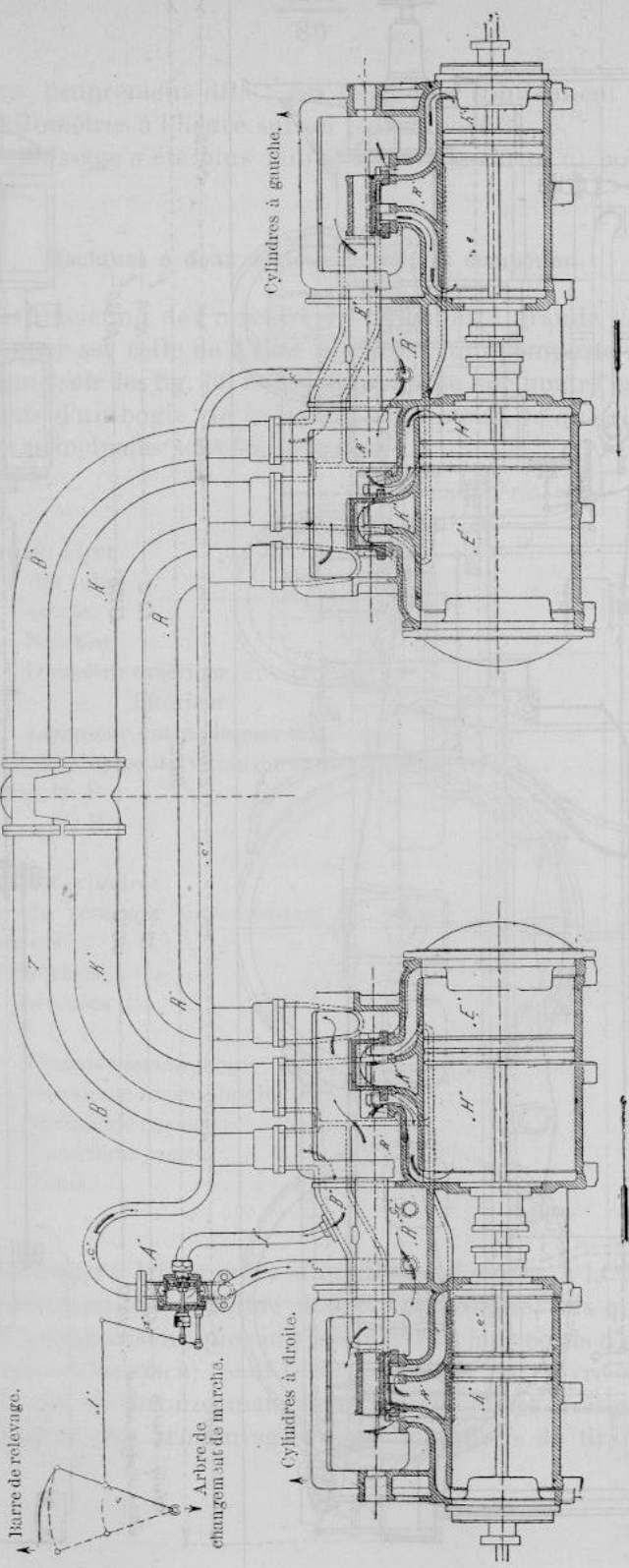


Fig. 52. — Locomotives nos 438 à 447 de l'État hongrois. (Appareil de démarrage.)

= Tuyau d'admission. K = Tuyau d'échappement. R = Réservoir intermédiaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nature des combustibles employés a également nécessité l'emploi d'une boîte à fumée américaine, disposée de manière à empêcher l'émission d'escarbilles incandescentes par la cheminée. Le régulateur est placé dans l'intérieur d'un dôme de prise de vapeur portant les soupapes de sûreté et porté lui-même par la virole antérieure du corps cylindrique.

Le châssis étant extérieur, les roues motrices, placées à l'avant de la boîte à feu, ont été pourvues de manivelles fusées de Hall venues de forge avec un excentrique de distribution. L'essieu accouplé placé sous le foyer est pourvu au contraire de fusées extérieures ordinaires sur le prolongement desquelles sont calées les manivelles d'accouplement.

Le bogie, à châssis intérieur et dépourvu de jeu latéral, supporte, par l'intermédiaire d'une crapaudine sphérique centrale, soulagée par deux appuis latéraux élastiques, près de la moitié du poids total de la machine. Une des conditions du programme imposé était, en effet, de ne pas dépasser 14 tonnes par essieu et, d'autre part, l'empattement total devait permettre le tournage des machines accouplées à leur tender sur des plaques de 13.50 mètres de diamètre.

Les longerons du bogie, de même que les longerons principaux, sont en acier extra-doux et sont renforcés par de fortes plaques de garde en acier coulé faisant office de coulisseaux de boîte à graisse.

Les ressorts de suspension, semblables à ceux employés en Belgique, ont une flèche de fabrication nulle. Ceux qui chargent les essieux moteurs et accouplés sont conjugués par des balanciers compensateurs.

88. — Les cylindres H. P. et B. P. d'un même côté de la machine sont coulés d'une seule pièce. Ils sont extérieurs aux longerons et pourvus de boîtes à vapeur également extérieures. Les cylindres H. P., placés à l'arrière, sont compris entre les essieux du bogie. Les cylindres B. P., placés à l'avant, sont en porte-à-faux. L'attache avant des glissières, indépendante du plateau arrière des cylindres H. P. et celle des pistons sur leurs tiges ont été étudiées de manière à faciliter la visite de ces derniers. Les bielles sont à corps évidé et celles d'accouplement ont été munies de têtes à bague.

Chacun des deux groupes de cylindres comporte un réservoir intermédiaire venu de fonte avec les deux cylindres entre lesquels il est placé et dont la capacité s'augmente de celle de la boîte à vapeur B. P. qui lui est contiguë. Les deux boîtes à vapeur B. P. sont réunies, en outre, par un tuyau de communication qui contourne intérieurement la boîte à fumée. Comme ce tuyau n'a d'autre but que d'équilibrer les pressions on a pu lui donner un diamètre relativement réduit (125 millimètres). La pression effective maximum admise au réservoir est de 10 atmosphères. Elle est limitée par une soupape.

Les tiroirs, du type ordinaire, sont montés de chaque côté sur une même tige actionnée par un mécanisme de Walschaert. Des recouvrements plus faibles donnés aux tiroirs B. P. permettent de réaliser entre les degrés d'admission H. P. et B. P.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une différence qui varie entre 8 et 10 p. c. aux crans usuels, mais qui descend à 4 p. c. lorsque l'appareil de changement de marche est à fond de course.

§ 89. — Pour activer le démarrage, on a eu recours à une admission directe de vapeur vive au réservoir intermédiaire. Cette admission est commandée par une sorte de tiroir cylindrique qui ne livre passage à la vapeur que lorsqu'il occupe l'une ou l'autre de ses positions extrêmes et qui est actionné automatiquement par un mécanisme rendu solidaire de l'appareil de changement de marche. La pression élevée que la soupape de sûreté du réservoir permet à la vapeur d'y atteindre autorise à penser qu'on a eu en vue d'accélérer la mise en vitesse en faisant intervenir principalement les pistons du plus gros diamètre.

La machine est pourvue des organes du frein Westinghouse à action rapide avec freinage automatique des roues motrices et accouplées et d'un enregistreur de vitesse système Petri. La sablière, à vis d'Archimède, est actionnée à la main; mais les tuyaux de descente du sable sont pourvus à leur base d'éjecteurs plus ou moins semblables à ceux de la sablière Gresham. La mise en mouvement des vis d'Archimède fait jouer automatiquement une valve qui laisse pénétrer dans ces éjecteurs un jet d'air comprimé emprunté au réservoir principal du frein.

Le tender, qui accompagne cette machine, est à trois essieux et pèse à vide 15.200 tonnes. Il contient 17 mètres cubes d'eau et 8,800 kilogrammes de charbon.

§ 90. — La consommation kilométrique moyenne de ces machines ressort, en service courant, à 19.8 kilogrammes de charbon de Salgó-Tarján, allumages compris, et à environ 99 litres d'eau.

Les données ci-après se rapportent à un train d'essai qui a circulé entre Budapest et Pozsony (Presbourg) :

Nombre de véhicules remorqués		8.
— d'essieux		23.
Tonnage		150.5 tonnes.
Distance parcourue sans arrêt		212.7 kilomètres
Durée du trajet		2 heures 39 minutes.
Vitesse moyenne brute		80.2 kilomètres.
— — de marche		81.3 —
— maximum réalisée		95.00 —
Consommation totale de charbon Dombrau		2.740 kilogrammes.
Vaporisation horaire		8.084 —
Consommation kilométrique	Charbon	12.83 —
	Eau	108.00 litres.
Vide constaté dans la boîte à fumée		140 à 160 millim. d'eau.

§ 91. — Après avoir mis à l'essai en 1886 la première machine compound à quatre cylindres qui ait circulé en Europe (1), la *Compagnie du Nord français* a fait

(1) La première locomotive compound à quatre cylindres qui ait été construite paraît être *le Vulcain*, qui a fait en 1883 l'objet d'essais sur le « Scinde Pundjab & Dehly Railway ». (*Institution of Mechanical Engineers*, août 1886.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

construire en 1891 un type de machine à grande vitesse dont elle possédait, au 1er janvier 1899, soixante exemplaires et dont les dispositions essentielles, voire même un grand nombre de détails, ont été reproduits depuis par d'autres administrations et appliqués par elles non seulement à des machines similaires, mais encore à des machines à six roues accouplées.

La machine de 1891 était supportée par un bogie à l'avant et par deux essieux accouplés, comprenant entre eux un foyer profond à grille légèrement inclinée. La chaudière, munie d'un bouilleur Ten Brinck et de tubes lisses, était timbrée à 14 kilogrammes. Les cylindres H. P., extérieurs au châssis et placés à l'arrière du bogie, actionnaient l'essieu accouplé d'arrière, tandis que les cylindres B. P., intérieurs aux longerons et placés au-dessus du bogie, actionnaient l'essieu accouplé d'avant.

Les trente-sept premières machines de la série ont été construites sur ce type, sans autre modification essentielle que l'élévation du timbre à 15 kilogrammes, la substitution de tubes Serve aux tubes lisses et celle d'une voûte en briques au foyer Ten Brinck.

§ 92. — Dans les vingt-trois dernières machines de la série, la grille a été, en outre, allongée et l'axe de la chaudière légèrement surélevé afin de pouvoir faire passer le foyer agrandi par-dessus l'essieu moteur d'arrière.

C'est à ces vingt-trois dernières machines, dont la première a été mise en service le 1er juillet 1896, que se rapportent les figures 53 à 58 ainsi que les dimensions principales indiquées ci-après :

Timbre de la chaudière		15.00	kilogrammes.
Surface de la grille		2.30	mètres carrés.
Surface de chauffe en contact avec l'eau	du foyer	12.40	— —
	des tubes	90.00	— —
	totale	102.40	— —
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	11.35	— —
	des tubes	164.23	— —
	totale	175.58	— —
Tubes (à ailettes)	Nombre	150	
	Diamètre extérieur	0.070	mètre.
	Épaisseur	0.0025	—
	Longueur entre plaques tubulaires	3.900	mètres.
Diamètre intérieur de la plus petite virole du corps cylindrique		1.318	mètre.
— des cylindres H. P.		0.34	—
— — B. P.		0.53	—
Course des pistons		0.64	—
Rapport des volumes des cylindres		2.43	
Rapport du volume du réservoir à celui des deux cylindres H. P. réunis		1.95	
Diamètre des roues motrices		2.114	mètres.
— — du bogie		1.040	mètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Poids en ordre de marche.	Bogie	19.450 tonnes.
	Essieu moteur B. P.	15.510 —
	— — H B.	15.500 —
	Total	50.460 —
Poids adhérent		31.010 —
— à vide		46.200 —

Dans ces machines, le diamètre des tuyaux d'introduction a été porté de 80 à 95 millimètres; le volume des boîtes à vapeur H. P., de 17 à 50 litres; le découvrement intérieur des tiroirs B. P., de 3 à 5 millimètres.

§ 93. — La chaudière de ces machines est en acier extra-doux. La boîte à feu est du type Belpaire. Le foyer, en cuivre, contient une voûte en briques. La grille, formée de barreaux de fonte de 9 millimètres d'épaisseur, espacés de 10 millimètres, comporte un jette-feu à l'avant. L'alimentation est assurée par deux injecteurs Friedmann verticaux fixés contre la paroi arrière de la boîte à feu. Le régulateur, à deux tiroirs superposés, est placé dans le dôme et actionné par un arbre intérieur à la chaudière. Un régulateur auxiliaire, adapté à la paroi arrière de la boîte à feu, permet d'envoyer, en vue de faciliter les démarrages, de la vapeur vive au réservoir intermédiaire. Ce dernier, placé entre les cylindres B. P. et la boîte à fumée, est pourvu d'une soupape de sûreté qui en limite la pression à 6 kilogrammes.

§ 94. — Les manivelles H. P. sont calées à angle droit, l'une par rapport à l'autre; il en est de même des manivelles intérieures B. P.; mais les deux manivelles d'un même côté de la machine au lieu d'être placées rigoureusement à 180°, l'une par rapport à l'autre, position la plus avantageuse au point de vue de l'équilibre des pièces en mouvement, font entre elles un angle de 162°, la manivelle B. P. étant en avance de cet angle sur celle de H. P. Grâce à cette disposition, qui a pour but d'éviter les pertes de temps qui pourraient se produire au démarrage, l'admission de la vapeur est toujours assurée dans trois cylindres au moins. Cette orientation des manivelles donne lieu également à une régularité plus grande des efforts tangentiels.

Malgré le calage des manivelles à 162° et l'admission directe éventuelle de vapeur vive au réservoir intermédiaire, il est quelquefois nécessaire, pour obtenir un démarrage rapide, de recourir au procédé de la séparation des échappements des cylindres à haute et à basse pression, afin de réduire la contre-pression aux petits cylindres. Cet échappement direct des cylindres H. P. est obtenu à la volonté du mécanicien par la manœuvre d'un servo-moteur à air comprimé actionnant deux gros robinets à trois voies, montés sur les tuyaux qui relient ces cylindres au réservoir intermédiaire. Lorsqu'on imprime une rotation d'un quart de tour à ces deux gros robinets, la vapeur issue des petits cylindres, au lieu de se rendre au réservoir, passe directement par des tuyaux spéciaux dans la tuyère d'échappement.

Le servo-moteur consiste en un petit cylindre de bronze placé sous le corps cylindrique et renfermant un piston qui peut être déplacé dans un sens ou dans l'autre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

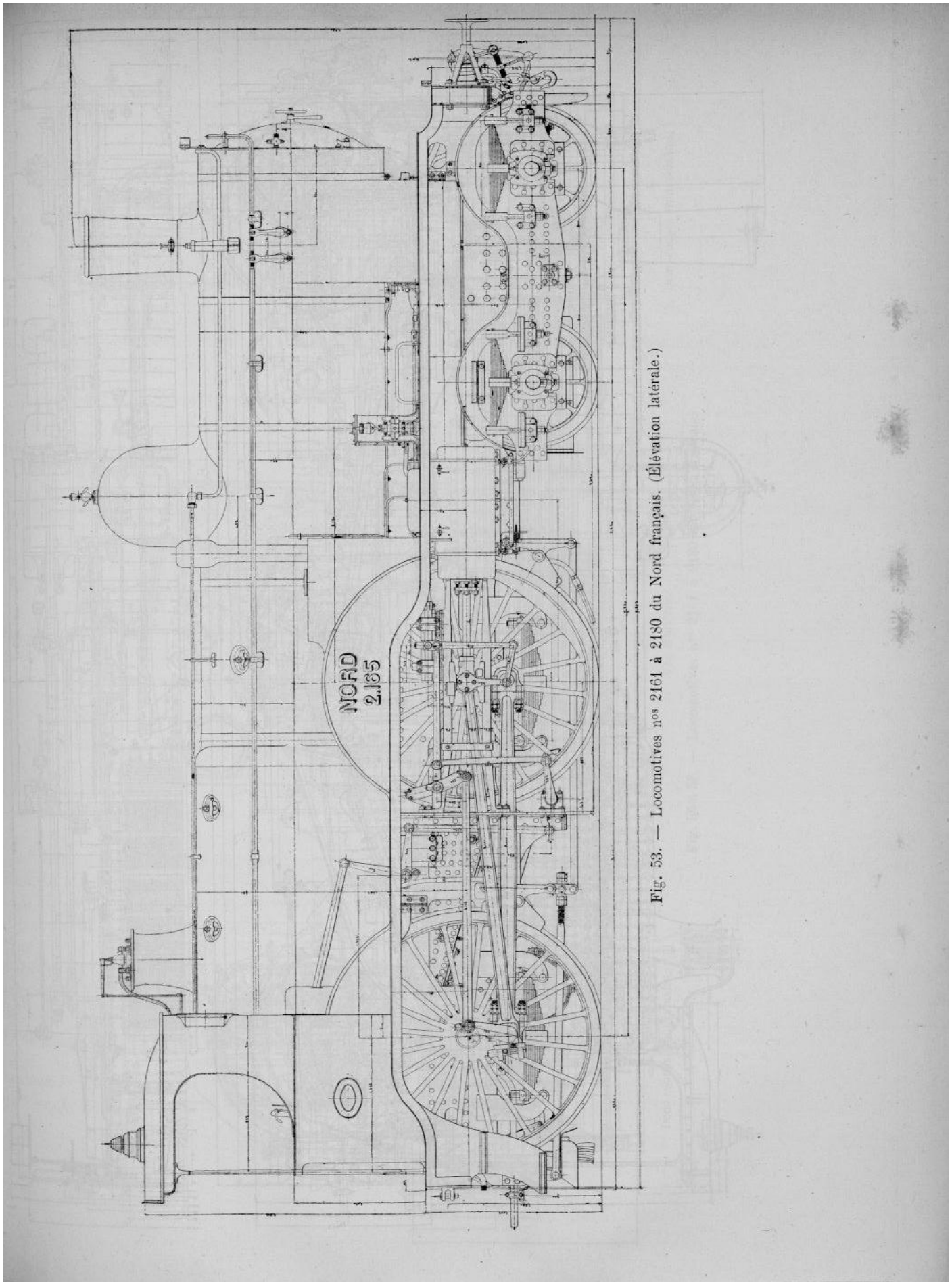


Fig. 53. — Locomotives nos 2161 à 2180 du Nord français. (Élévation latérale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

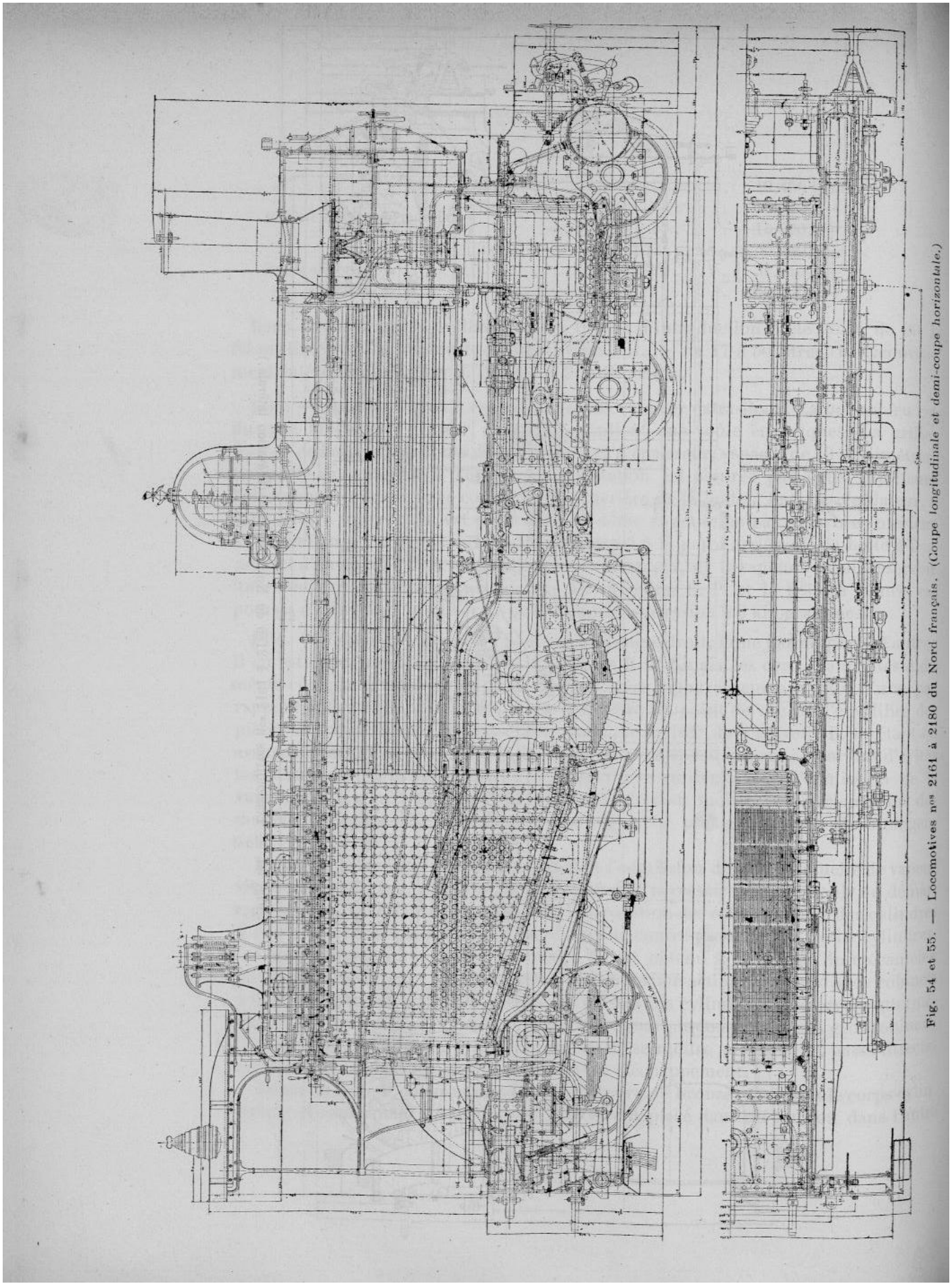


Fig. 54 et 55. — Locomotives nos 2161 à 2180 du Nord français. (Coupe longitudinale et demi-coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

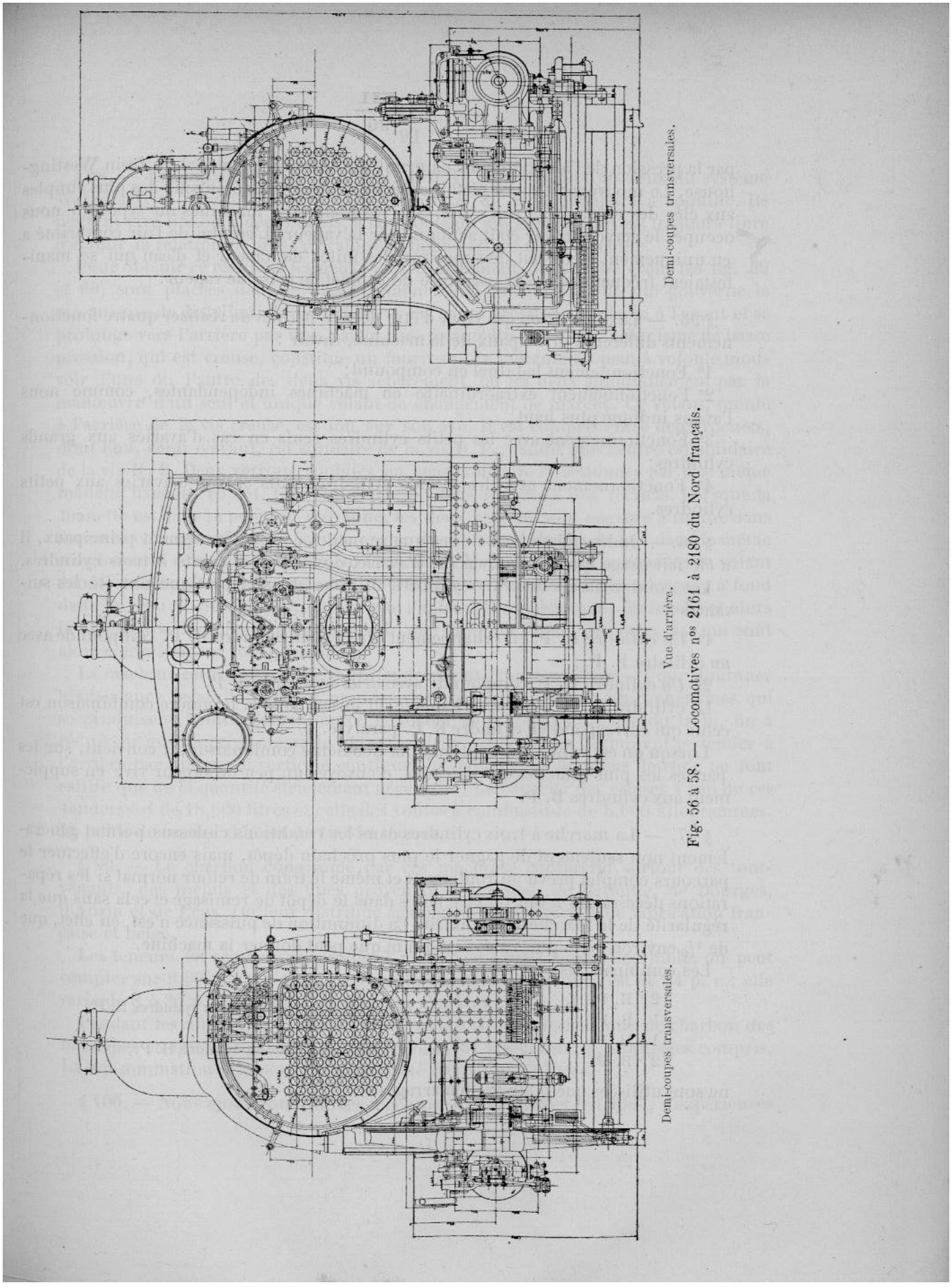


Fig. 56 à 58. — Locomotives nos 2161 à 2180 du Nord français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par la pression de l'air comprimé emprunté au réservoir principal du frein Westinghouse. Le mouvement de ce piston est transmis par un mécanisme des plus simples aux clés des robinets à trois voies. Sur les premières machines du type qui nous occupe, le servo-moteur était actionné par la vapeur. L'emploi de l'air comprimé a eu uniquement pour but de supprimer les fuites de vapeur et d'eau qui se manifestaient fréquemment à la garniture du robinet de prise de vapeur.

§ 95. — La disposition qui vient d'être décrite permet de réaliser quatre fonctionnements différents principaux de la machine, savoir :

1° Fonctionnement habituel en compound ;
2° Fonctionnement extraordinaire en machines indépendantes, comme nous l'avons indiqué plus haut ;
3° Fonctionnement avec les petits cylindres seuls en cas d'avaries aux grands cylindres ;
4° Fonctionnement avec les grands cylindres seuls en cas d'avaries aux petits cylindres.

§ 96. — Indépendamment de ces quatre modes de fonctionnement principaux, il a été fait usage quelquefois, en cas d'avarie, de fonctionnements à trois cylindres.

Les combinaisons de trois cylindres utilisées dans la pratique ont été les suivantes :

1° *Un* cylindre H. P. en échappement direct et *un* cylindre H. P. compoundé avec *un* cylindre B. P. ;
2° *Un* cylindre H. P. compoundé avec *deux* cylindres B. P.

Le cylindre H. P. mis sur échappement direct dans la première combinaison est celui qui correspond au cylindre B. P. paralysé.

Lorsqu'on est conduit à appliquer la deuxième combinaison, il convient, sur les parties les plus difficiles du parcours, d'envoyer un peu de vapeur vive en supplément aux cylindres B. P.

§ 97. — La marche à trois cylindres dans les conditions ci-dessus permet généralement non seulement de gagner le plus prochain dépôt, mais encore d'effectuer le parcours complet prévu au roulement et même le train de retour normal si les réparations nécessaires n'ont pu être faites dans le dépôt de remisage et cela sans que la régularité de la marche ait à souffrir. La diminution de puissance n'est, en effet, que de $^1/_6$ environ de la puissance maximum que peut donner la machine.

Les combinaisons :

2 H. P. . . . . 1 B. P.	avec échappement direct des deux cylindres H. P.
1 H. P. . . . . 2 B. P.	avec échappement direct du cylindre H. P.,

ne sont utilisées que pour les démarrages.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 98. — Les mécanismes de distribution H. P. et B. P. sont tous deux du système Walschaert et actionnent des tiroirs en bronze du type ordinaire à coquille. Ils peuvent être liés ou indépendants, à la volonté du mécanicien, qui est toujours libre d'établir la relation la plus favorable à la bonne allure de la machine.

Pour obtenir ce résultat, les deux vis de changement de marche (*voir* les fig. 59 et 60) sont placées dans le prolongement l'une de l'autre. Celle qui gouverne le mécanisme de distribution des cylindres de haute pression est placée à l'avant et se prolonge vers l'arrière par une partie lisse à laquelle la vis du mécanisme de basse pression, qui est creuse, constitue un fourreau. Le mécanicien peut à volonté mouvoir l'une ou l'autre des deux vis séparément, ou les deux simultanément par la manœuvre d'un seul et unique volant de changement de marche. Ce volant, monté à l'arrière de la vis creuse, est fou sur son axe. Il est compris entre deux rochets, dont l'un, celui d'avant, est solidaire de la vis B. P., tandis que l'autre est solidaire de la vis H. P. Deux verrous, mobiles en sens contraire et actionnés par une même manette fixée au volant, peuvent s'engager dans les crans des rochets. Lorsque la manette est dans sa position moyenne, les deux verrous sont engagés à moitié dans les crans correspondants et la manœuvre du volant déplace à la fois dans le même sens les deux écrous de changement de marche. Mais si on place la manette du volant dans l'une ou l'autre de ses positions extrêmes, l'un des verrous s'engage à fond dans le cran correspondant, tandis que l'autre est complètement déclenché et alors la manœuvre du volant ne fait mouvoir que l'une ou l'autre des deux vis, qui sont alors complètement indépendantes.

La machine est accompagnée d'un tender monté sur deux bogies. Pour diminuer la résistance produite aux très grandes vitesses par les remous atmosphériques qui se produisent habituellement entre le tender et le fourgon de tête du train, on a réduit au minimum l'intervalle entre les deux véhicules en terminant le tender à l'arrière par une paroi verticale continue sur laquelle les tampons de choc ne font saillie que de la quantité strictement nécessaire. La capacité des caisses à eau de ces tenders est de 18,000 litres et celle des soutes à combustible de 5,000 kilogrammes. Le poids du tender vide est de 19.840 tonnes.

§ 99. — Le charbon consommé par ces machines comprend surtout des tout-venants, des menus et des fines provenant d'Agrappe, de Béthune, de Dourges, d'Anzin et de Lens. On leur distribue également des briquettes de fabrication française et belge.

Les teneurs en cendres varient de 7 à 11 p. c.; mais pour l'ensemble, on peut compter sur 9.90 p. c. La teneur moyenne en matières volatiles est de 24 p. c.; elle varie de 8 à 36 p. c., suivant la nature du charbon.

Pendant les années 1896 et 1897, la consommation kilométrique de charbon des machines en question a été en moyenne de 10.51 kilogrammes, allumages compris. La consommation kilométrique d'eau a été d'environ 85 litres.

§ 100. — Nous ajouterons que ces machines ont été l'objet, en 1897, d'expériences

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

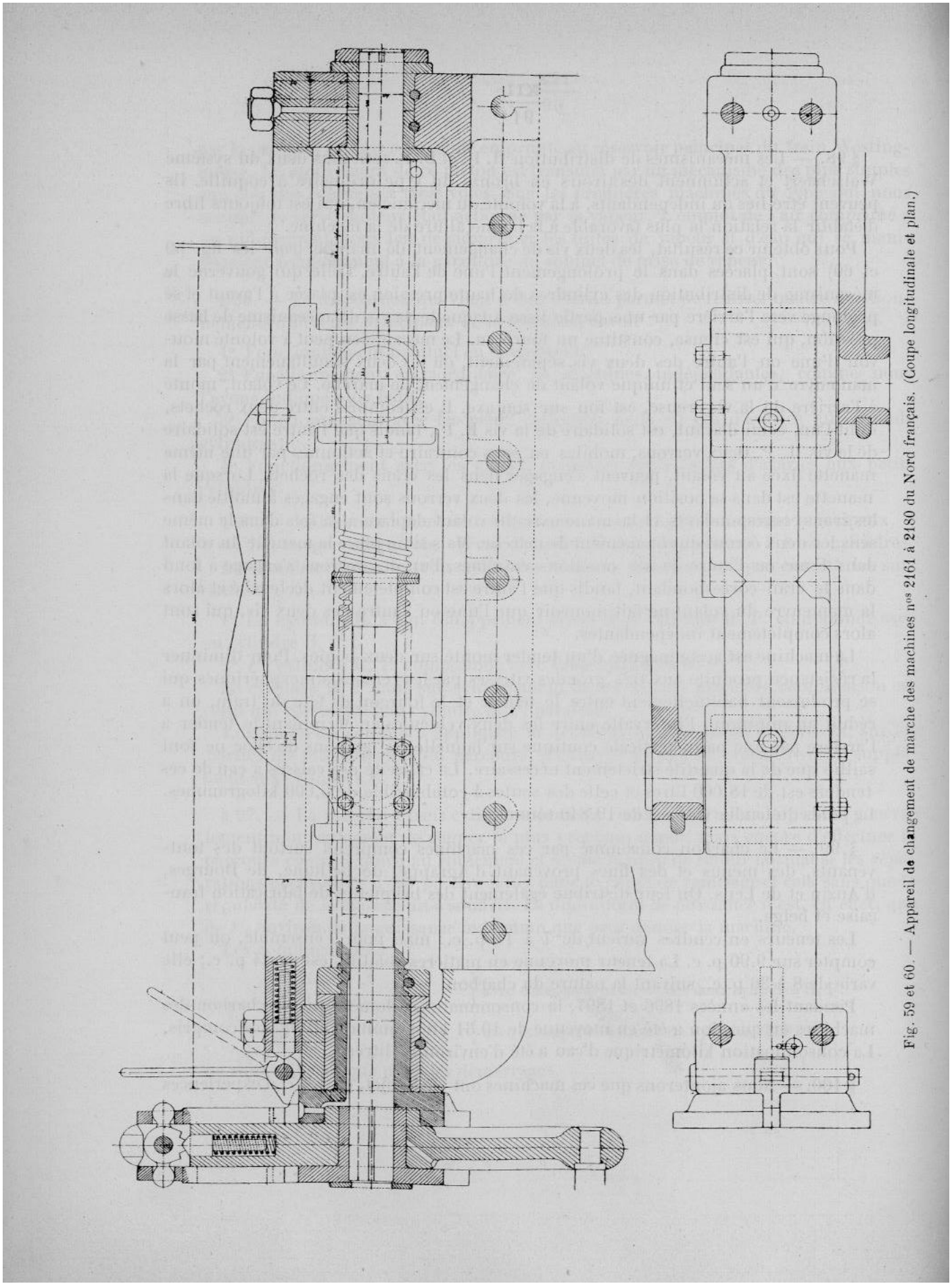


Fig. 59 et 60. — Appareil de changement de marche des machines nos 2161 à 2180 du Nord français. (Coupe longitudinale et plan.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

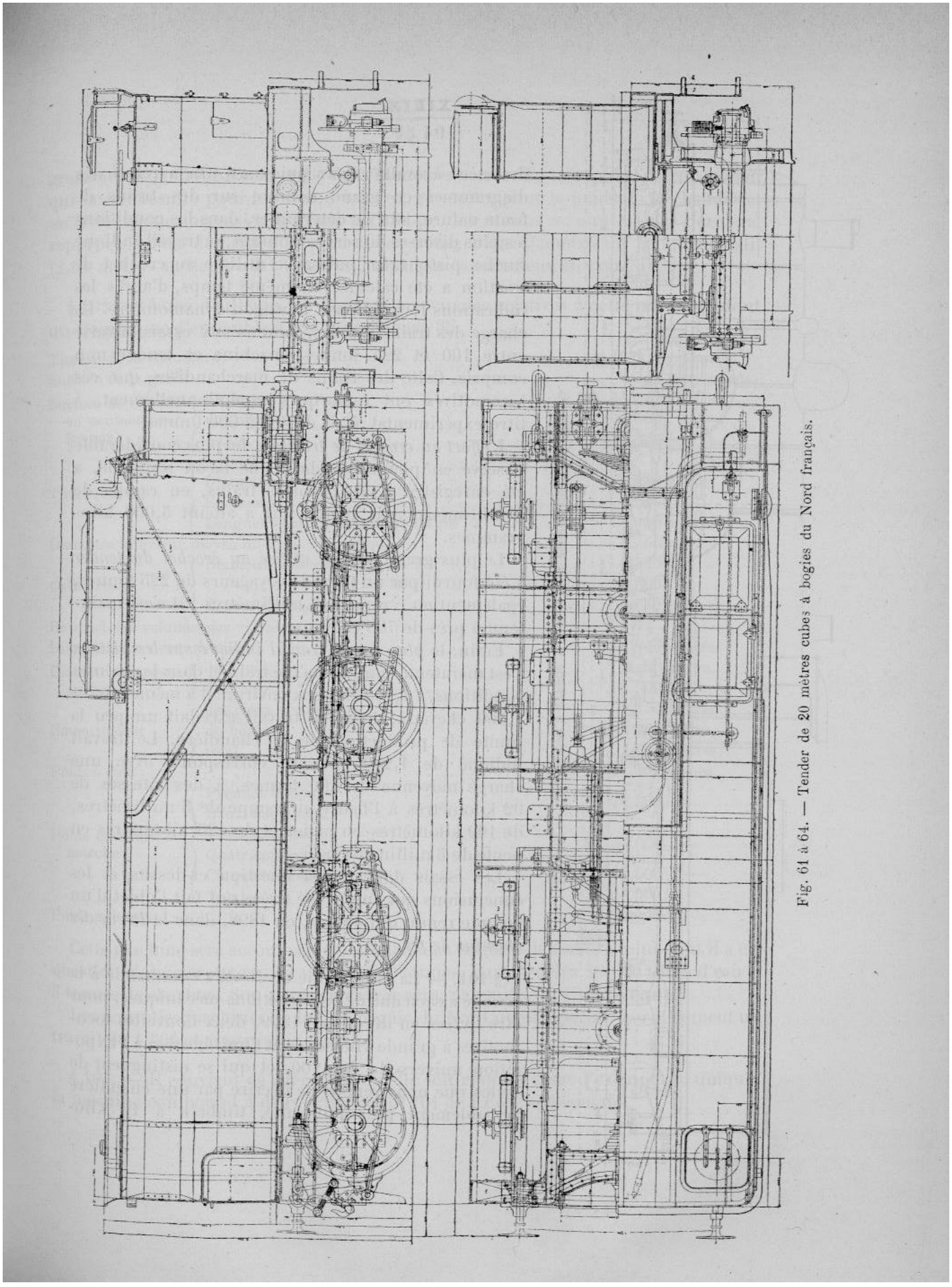


Fig. 61 à 64. — Tender de 20 mètres cubes à bogies du Nord français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

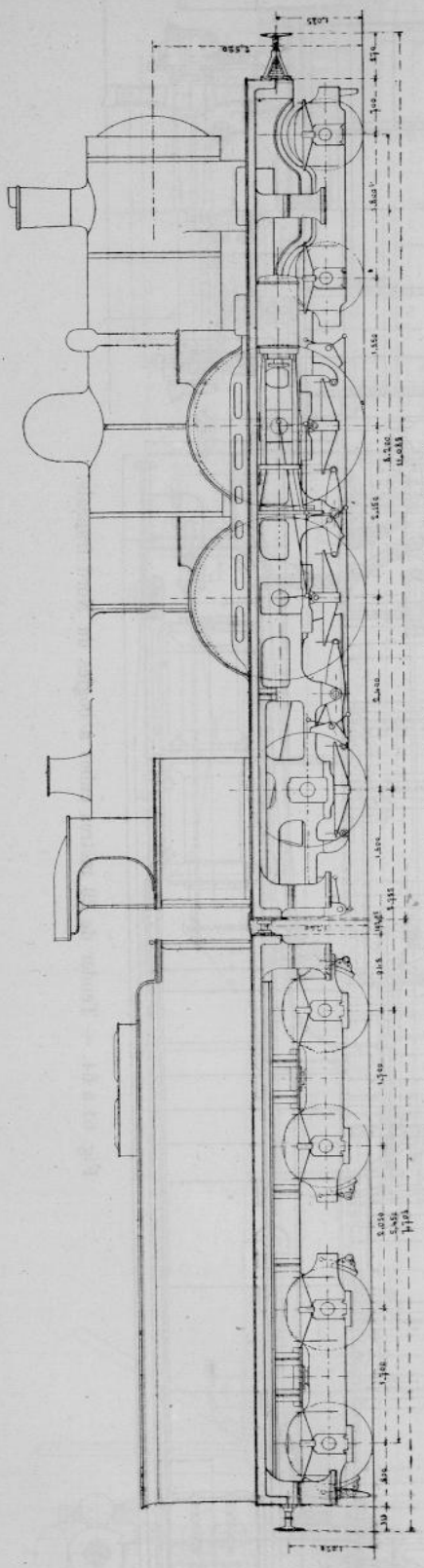


Fig. 65. — Locomotive à grande vitesse à cinq essieux du Nord français.

destinées à évaluer leur puissance. On a relevé des diagrammes en grand nombre sur des trains de toute nature, afin de déterminer, dans les conditions les plus diverses du service courant, le travail indiqué sur les pistons. La puissance utilisée au crochet de traction a été calculée en même temps, d'après les indications fournies par le wagon dynamomètre. La charge des trains rapides, soumis aux essais, a varié entre 100 et 225 tonnes, machine et tender non compris. Celle des trains de marchandises, que ces locomotives ont remorqués exceptionnellement, à titre expérimental, était de 680 à 690 tonnes.

L'*effort au crochet de traction*, le plus considérable observé en pleine marche d'une façon soutenue, a été enregistré à ces derniers trains, en rampe de 5 millimètres par mètre : il a atteint 5,000 kilogrammes.

Le plus grand *travail utilisé au crochet du tender* a été fourni par un train de voyageurs de 225 tonnes, également en rampe de 5 millimètres : il s'est maintenu à près de 700 chevaux.

Enfin, le *plus grand travail indiqué sur les pistons* s'est maintenu, pour le même train et dans les mêmes conditions, à 1,200 chevaux environ. Il a même atteint 1,300 chevaux; mais ce travail excédait un peu la limite de production de la chaudière. Le travail indiqué de 1,200 chevaux correspond avec une charge moyenne de 160 tonnes, à des vitesses de 92 kilomètres à l'heure en rampe de 5 millimètres, de 109 kilomètres en palier et de 125 kilomètres en pente de 5 millimètres.

Les essais dont il est question ci-dessus et les conclusions qui en ont été tirées ont fait l'objet d'un compte rendu qui a paru, en 1898, dans la *Revue des chemins de fer*.

§ 101. — La Compagnie du Nord a commandé à la Société alsacienne de constructions mécaniques, pour être livrées en décembre 1899, deux nouvelles locomotives à grande vitesse, dont l'une figurera à l'Exposition universelle de 1900, et qui se distinguent de celles que nous venons de décrire par une chaudière sensiblement plus puissante, timbrée à 16 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes et pourvue d'une grille de 2.74 mètres carrés. En raison de l'accroissement qui en est résulté pour les dimensions et, par suite, pour le poids de la chaudière, on a dû ajouter un essieu porteur à l'arrière des essieux accouplés. Ces derniers, rapprochés l'un de l'autre et pourvus de roues d'un diamètre un peu plus petit (2.04 mètres au lieu de 2.13 mètres), sont placés tous deux en avant du foyer.

§ 102. — Voici d'ailleurs les données principales relatives à cette machine, dont un diagramme d'ensemble a été donné figure 65.

Timbre de la chaudière		16 kilogrammes.
Surface de la grille		2.740 mèt. carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	15 500 —
	des tubes	195.800 —
	totale	211.300 —
Tubes (Serve)	Nombre	126.
	Diamètre extérieur	0.070 mètre.
	Épaisseur	0.0250 —
	Longueur entre plaques tubulaires	4.200 mètres.
Diamètre intérieur moyen du corps cylindrique		1.456 mètre.
Cylindres	Diamètre des cylindres H. P.	0.340 —
	— — B. P.	0.560 —
	Course des pistons	0.640 —
Rapport des volumes des cylindres		2.71
Diamètre des roues motrices		2.040 mètres.
Diamètre des roues porteuses	du bogie	1.420 mètre.
	d'arrière	0.900 —
Empattement	des roues accouplées	2.150 mètres.
	du bogie	1.800 mètre.
	total	8.200 mètres.
Poids à vide		57.500 tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu	16.500 —
	Deuxième essieu	
	Troisième essieu	33.000 —
	Quatrième essieu	
	Cinquième essieu	14.500 —
	Total	64.000 —
Poids adhérent		33.000 —

Cette machine sera accompagnée d'un tender à bogies semblable à celui dont il a été question ci-dessus et pesant à vide 20.500 tonnes. Il contiendra 20,000 litres d'eau et 5 tonnes de charbon. Son poids en charge sera, par suite, de 45.500 tonnes.

Les nouvelles machines de la Compagnie du Nord développeront normalement un travail de 1,500 chevaux indiqués.

§ 103. — Il convient de citer, bien qu'elle soit restée à l'état d'exemplaire unique, la machine compound à deux cylindres n° 701 de l'*État néerlandais*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette machine ne diffère des machines à deux essieux accouplés non-compound de la série nos 301 à 475 de la même administration que par les dimensions de ses cylindres et les quelques dispositifs indispensables au fonctionnement en compound, cylindres et dispositifs auxquels se rapportent les indications ci-après :

Diamètre du cylindre H. P.	0.470 mètre.
— — B. P.	0.660 —
Course des pistons.	0 660 —
Rapport des volumes des cylindres.	1.97
— du volume du réservoir à celui du cylindre H. P.	1.50
Pression maximum au réservoir (limitée par une soupape)	6 atmosphères.
Type des appareils de démarrage	Worsdell-von Borries
Type des mécanismes distributeurs	Walschaert.

Ces derniers sont liés et établissent la corrélation ci-après entre les degrés d'admission H. P. et B. P.

H. P.	B. P.
14	22
33	40
51	57
65	70
80	82

Le tiroir H. P. est du type ordinaire à coquille. Le tiroir B. P. est à canal de Trick.

§ 104. — La machine à grande vitesse en usage sur le réseau de l'*État autrichien*, dont l'ensemble est représenté par les figures 66 à 69, et dont il existe actuellement plus de cent exemplaires (1), est une machine compound à deux cylindres à bogies et à deux essieux accouplés. Ses principaux éléments sont les suivants :

Timbre		13 atmosphères.
Surface de la grille		3.00 mètres carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	11.26 —
	des tubes.	130.34 —
	totale	141.60 —
Tubes	Nombre	205.
	Diamètre extérieur.	0.051 mètre.
	Épaisseur	0.0025 —
	Longueur entre plaques tubulaires	4.400 mètres.
Diamètre intérieur de la plus petite virole du corps cylindrique.		1.370 —

(1) Au commencement de l'année 1899, il y en avait quatre-vingt-huit en service et trente et un en construction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

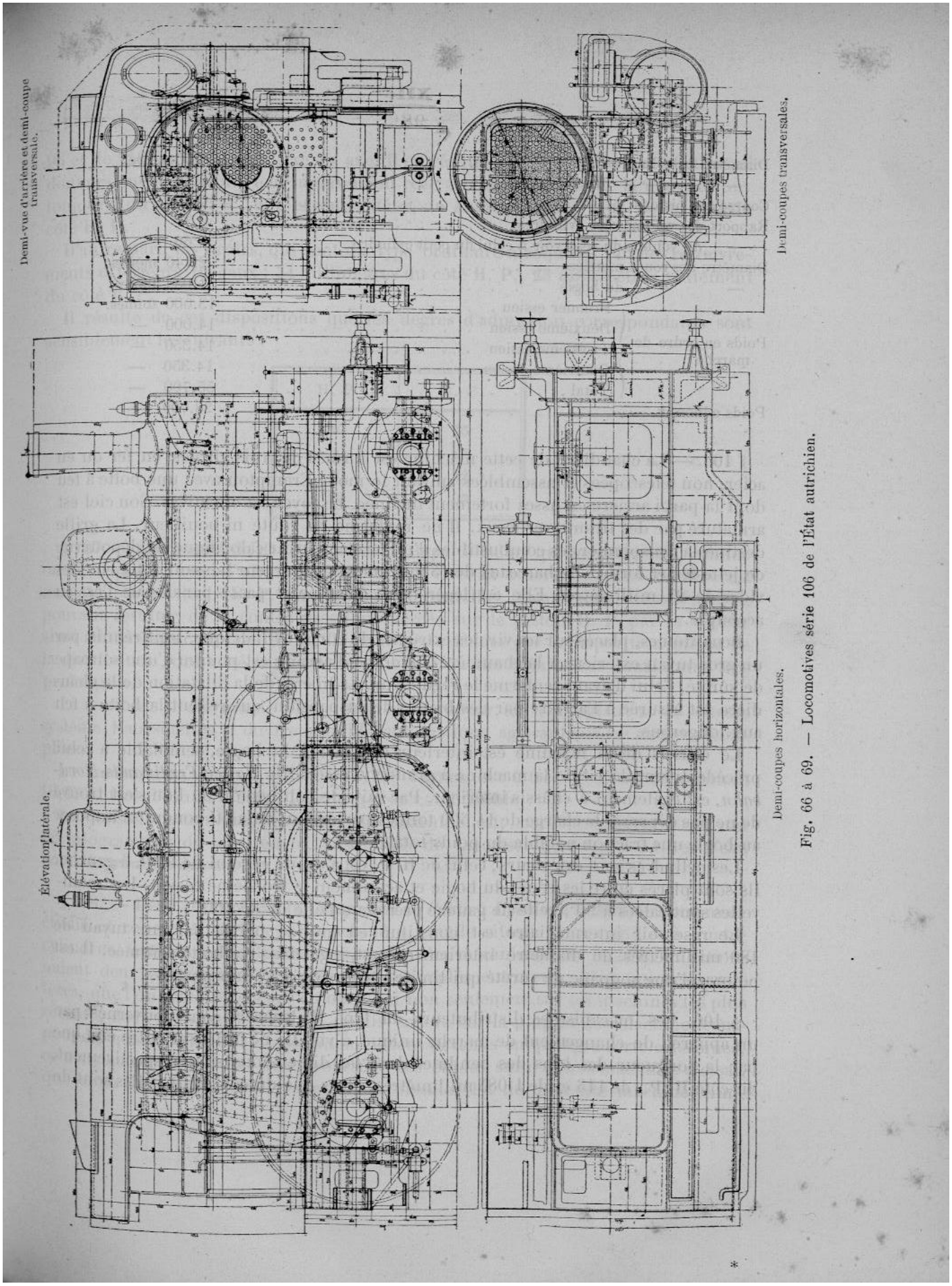


Fig. 66 à 69. — Locomotives série 106 de l'État autrichien.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diamètre du cylindre H. P.	0.50	mètre.
— — B. P.	0.76	—
Course des pistons	0.68	—
Rapport des volumes des cylindres	2.31	
— du volume du réservoir à celui du petit cylindre.	2.66	
Diamètre des roues motrices	2.140	mètres.
— — du bogie	1.034	mètre.
Poids en ordre de marche . . . Premier essieu	13.000	tonnes.
Deuxième essieu	14.000	—
Troisième essieu	14.350	—
Quatrième essieu	14.350	—
Total	55.700	—
Poids adhérent	28.700	—

§ 105. — La chaudière de cette machine est formée de trois viroles, en fer ou en acier, non télescopées et assemblées suivant le mode Crampton avec une boîte à feu dont la paroi arrière est assez fortement inclinée. Le foyer est en cuivre. Son ciel est armaturé par des tirants verticaux. Il ne renferme ni voûte ni bouilleur. La grille destinée à consommer des combustibles d'un faible pouvoir calorifique est dépourvue de jette-feu et formée de barreaux de 15 millimètres de largeur laissant entre eux des vides de 21 millimètres. Elle est légèrement inclinée et passe par-dessus l'essieu accouplé.

Deux dômes, placés sur les viroles extrêmes du corps cylindrique, sont réunis par un gros tuyau extérieur à la chaudière. Le dôme d'arrière est pourvu d'une soupape de sûreté. Celui d'avant renferme le régulateur. La liberté de la dilatation de la chaudière est assurée à l'arrière par des bielles de suspension, qui relient la boîte à feu aux longerons.

Le châssis de la machine est intérieur aux roues. Le bogie, semblable à celui précédemment décrit de la machine à grande vitesse de la *Kaiser Ferdinands-Nordbahn*, est également à châssis intérieur. Par suite de l'obligation où l'on s'est trouvé de ne pas dépasser la charge de 14.500 tonnes par essieu, on a été conduit à imposer au bogie une fraction notable du poids total.

Les cylindres sont extérieurs; celui de H. P. est à droite et celui de B. P. à gauche. Ils sont placés entre les roues du bogie et actionnent le troisième essieu. Les manivelles sont calées à 90°, celle de gauche précédant celle de droite.

Le réservoir intermédiaire est constitué en grande partie par un tuyau de 180 millimètres de diamètre intérieur qui est logé dans la boîte à fumée. Il est pourvu d'une soupape de sûreté qui limite la pression à 5 atmosphères.

§ 106. Les mécanismes distributeurs du type Walschaert sont gouvernés par un appareil de changement de marche unique, à vis. Ils ne diffèrent entre eux que par la longueur des bras des pendules dont les dimensions sont respectivement, du côté H. P., de 115 et de 1,085 millimètres, alors que du côté B. P., elles sont de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

95 et de 1105 millimètres d'axe en axe. Il en résulte que les excentriques fictifs qui donneraient aux tiroirs leur mouvement réel, aux divers crans de la marche, ont toujours, du côté B. P., une excentricité et un angle d'avance plus petits que du côté H. P.

D'autre part, les tiroirs, qui sont du type ordinaire à coquille, ont des recouvrements extérieurs inégaux : 31 millimètres du côté H. P., 23 millimètres seulement du côté B. P.

Il résulte de ces dispositions que les degrés d'admission correspondants sont sensiblement les suivants :

H. P.	B. P.
40	55
50	65
60	72
90	90

§ 107. — L'appareil de démarrage est du type Gölsdorf qui ne comporte, comme on sait, qu'un tuyau d'admission de vapeur vive au réservoir, dont l'orifice est masqué par le tiroir B. P. aux admissions usuelles. Quant aux inconvénients, pouvant résulter de la contre-pression exercée sur le piston H. P. par la vapeur ainsi admise aux cylindres B. P., ils sont très atténués par la disposition même de la distribution, qui a été étudiée en vue de réaliser des admissions maximums très prolongées.

La machine a été munie d'une sablière à vapeur, de l'enregistreur de vitesse système Hausshælter et du frein à vide automatique agissant sur les roues accouplées.

Le tender, d'un poids à vide de 15.700 tonnes, est à trois essieux. Il contient 16,750 litres d'eau et 7,200 kilogrammes de combustible.

La consommation moyenne de cette machine est, par kilomètre, d'environ 12 kilogrammes de tout-venant, susceptible de vaporiser de 6 $^1/_2$ à 7 litres d'eau par kilogramme de charbon.

§ 108. — Dès l'année 1888, la *Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée* avait étudié et construit un type de machine à grande vitesse, compound et à quatre cylindres, timbrée à 15 kilogrammes, et dont les mécanismes H. P. et B. P. actionnaient deux essieux moteurs différents, accouplés entre eux. Bien que ces caractères, que l'on retrouve encore aujourd'hui non seulement sur les machines les plus récentes de la Compagnie P.-L.-M., mais encore sur la plupart des machines compound à quatre cylindres du continent, soient devenus en quelque sorte classiques, ce n'est qu'en 1894, après avoir poursuivi ses études sur d'autres machines d'essai, que cette Compagnie mit en service un premier lot de quarante machines com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pound à grande vitesse : celles de la série C. 21 à 60 (*voir* fig. 70 et 71), actuellement affectées au service des trains rapides de la ligne de Paris à Marseille. Cette série sera suivie d'une autre ne comprenant pas moins de quatre-vingt-dix machines : la série C. 61 à 150 (*voir* fig. 72 à 74) dont les premières, mises en service en 1899, diffèrent surtout des précédentes par leur surface de grille qui a été agrandie légèrement et par leur surface de chauffe qui l'a été dans une plus forte proportion. Les dimensions et données principales de ces deux séries de machines ont été réunies dans le tableau XXXV.

TABLEAU XXXV.

		C. 21-60.	C. 61-150.	
Timbre de la chaudière	Kilog.	15	15	
Surface de la grille	Mèt. car.	2.38	2.48	
Inclinaison de la grille	Degrés.	20.40	17	
Surface de chauffe en contact avec les gaz — du foyer	Mèt. car.	10.02	12.53	
— des tubes	—	138.05	176.98	
— totale	—	148.07	189.51	
Tubes (Serve) — Nombre		133	150	
— Diamètre extérieur	Mètre.	0.065	0.065	
— Épaisseur	—	0.0025	0.0025	
— Longueur entre plaques tubulaires	Mètres.	3.000	3.400	
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique	Mètre.	1.391	1.409	
Cylindres — Diamètre des cylindres H. P.	—	0.340	0.340	
— — — B. P.	—	0.540	0.540	
— Course des pistons	—	0.620	0.620	
Rapport des volumes des cylindres		2.52	2.52	
— du volume du réservoir à celui des cylindres H. P. réunis		2.22	2.40	
Diamètre des roues motrices	Mètres.	2.00	2.00	
— — du bogie	Mètre.	1.00	1.00	
Empattement — rigide	Mètres.	2.700	3.000	
— du bogie	—	2 00	2.00	
— total	—	6.900	7.250	
			C. 61-130.	C. 131-150.
Poids à vide	Tonnes.	47.480	51.470	51.730
Poids en ordre de marche. — Premier essieu	—	15.940	16.730	16.870
— Deuxième essieu	—	15.940	16.730	16.870
— Bogie	—	18.720	21.990	21.970
— Total	—	50.600	55.450	55.710
Poids adhérent	—	31.880	33.460	33.740

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

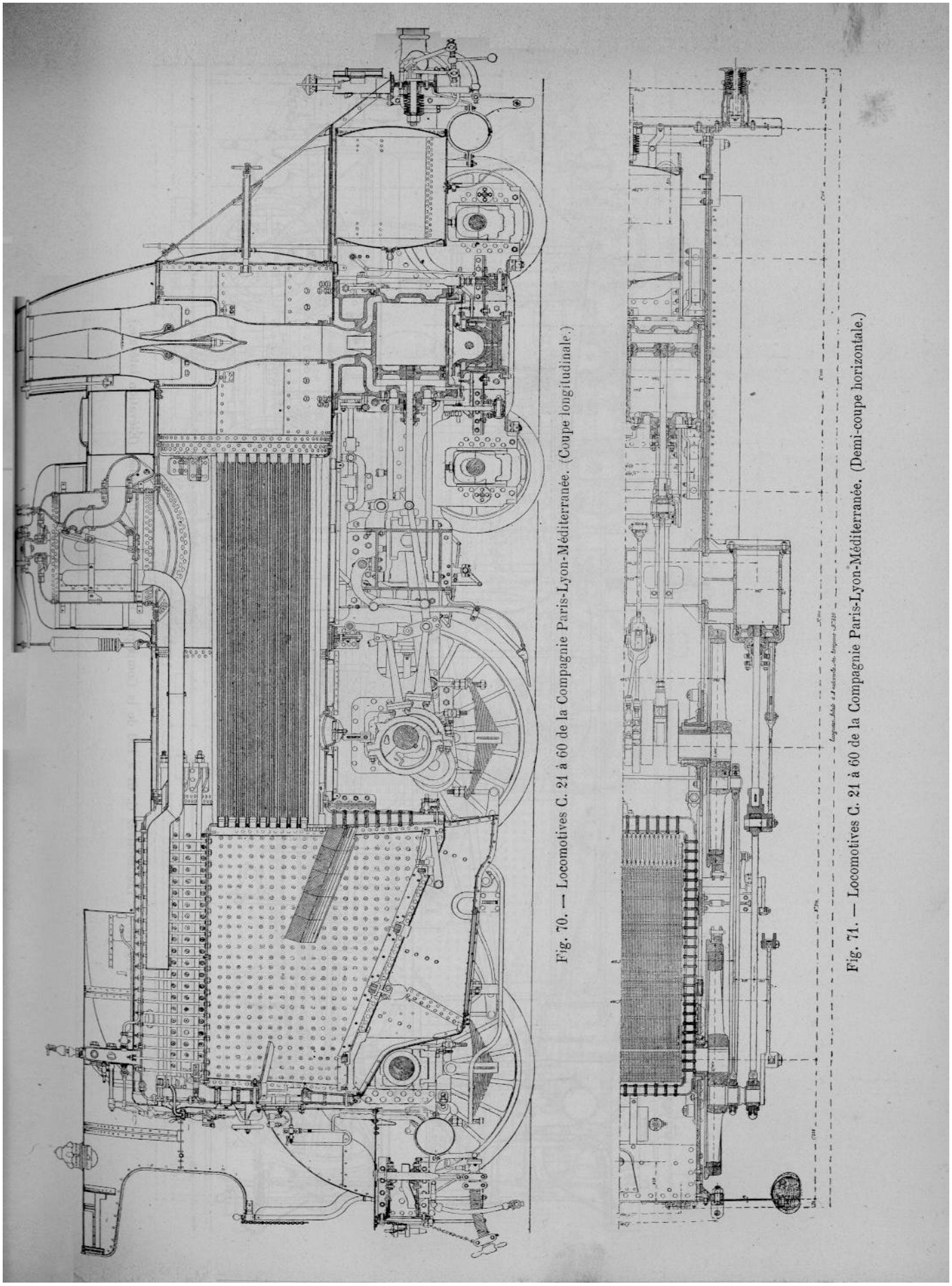


Fig. 70. — Locomotives C. 21 à 60 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Coupe longitudinale.)

Fig. 71. — Locomotives C. 21 à 60 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Demi-coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

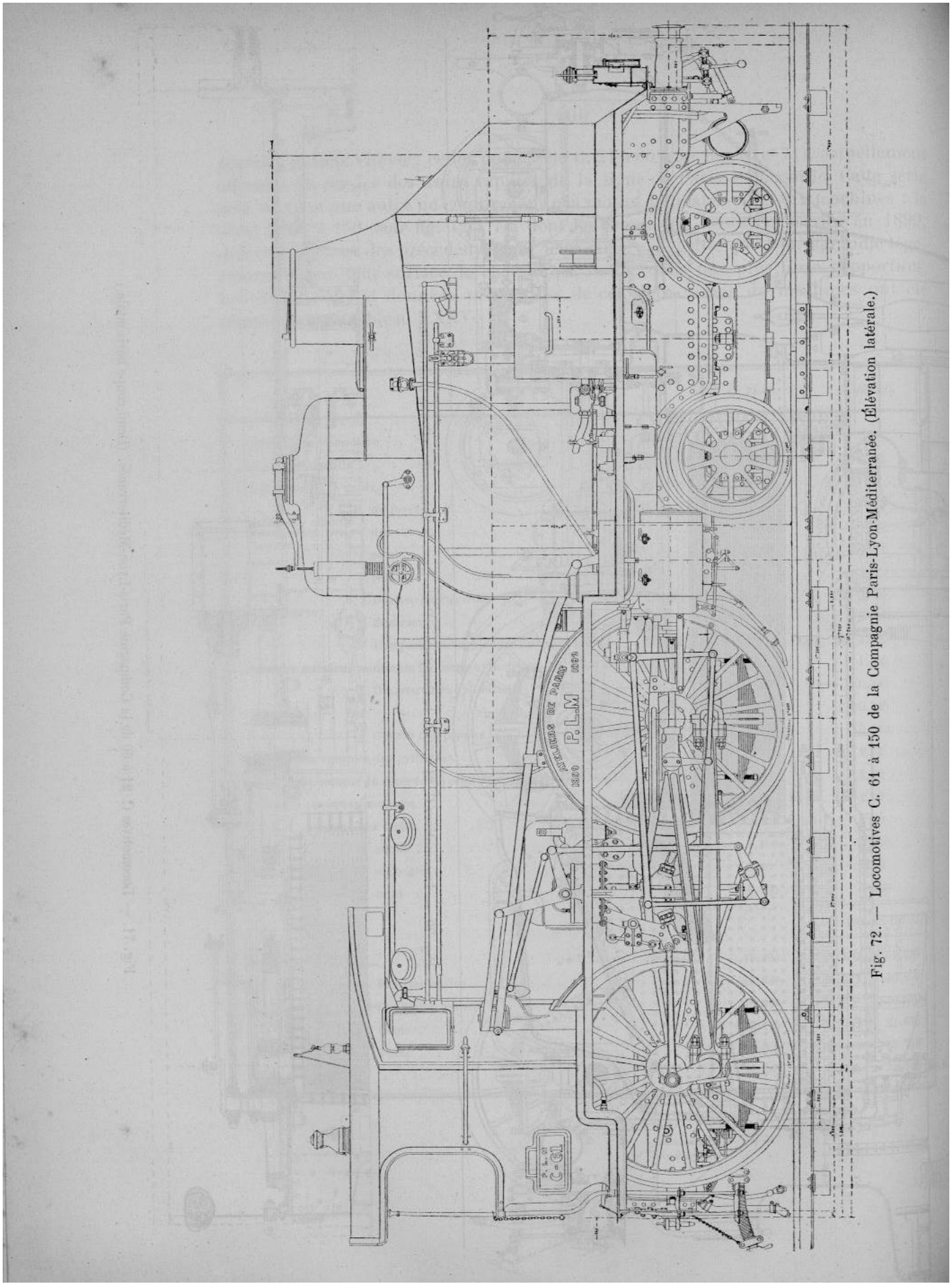


Fig. 72. — Locomotives C. 61 à 150 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Élévation latérale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

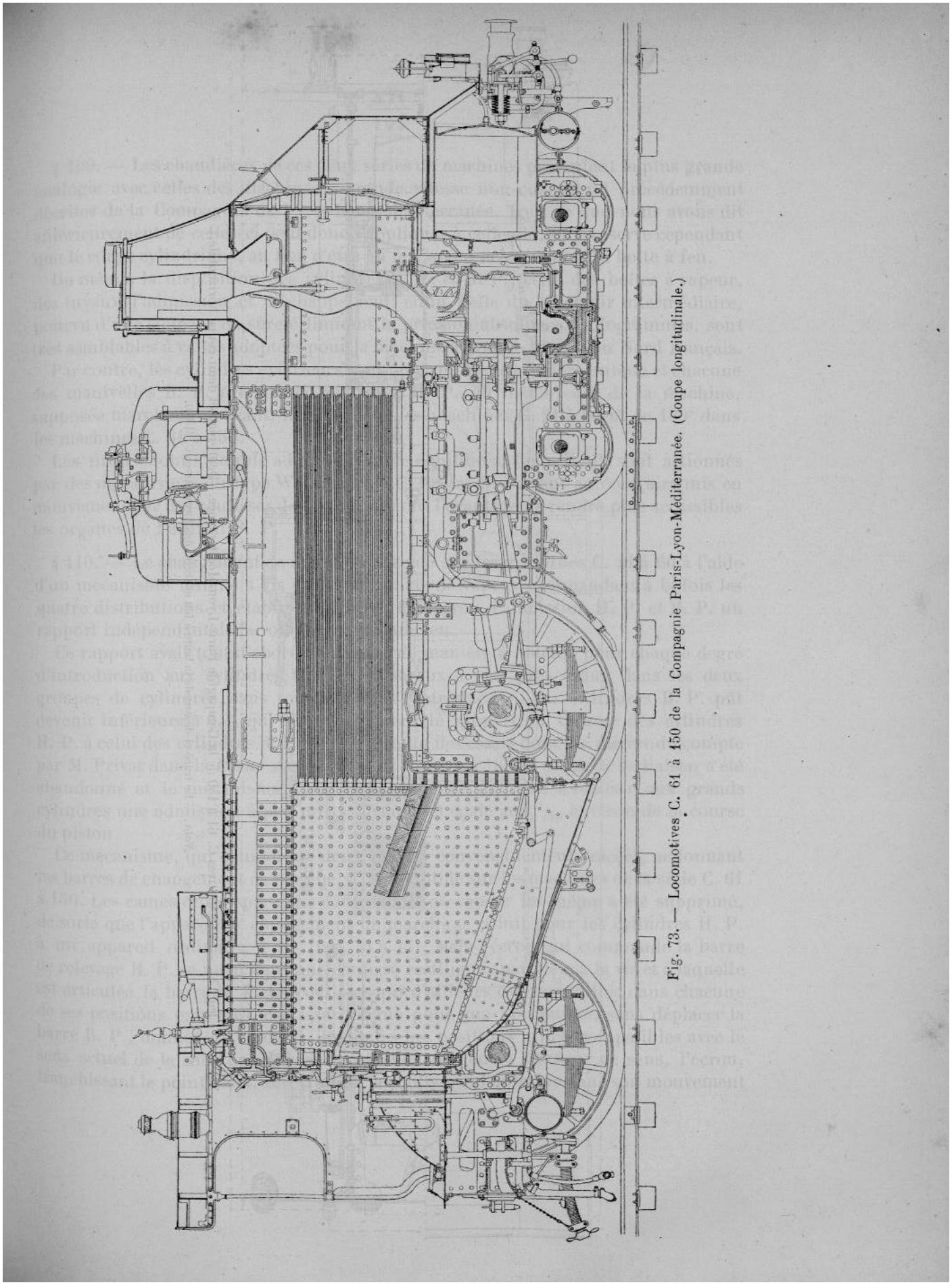


Fig. 73. — Locomotives C. 61 à 150 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Coupe longitudinale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

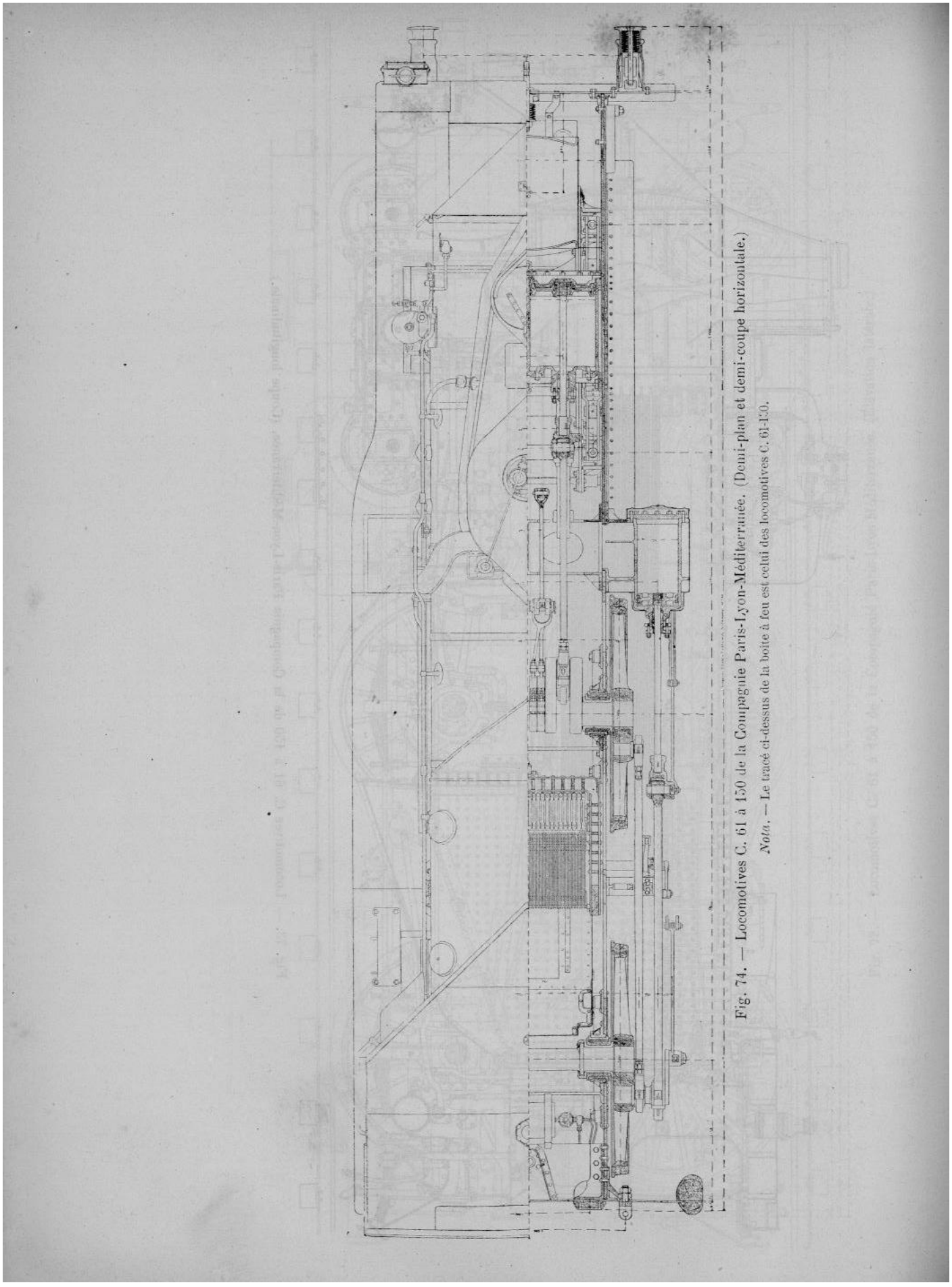


Fig. 74. — Locomotives C. 61 à 150 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Demi-plan et demi-coupe horizontale.)

Nota. — Le tracé ci-dessus de la boîte à feu est celui des locomotives C. 61-130.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 109. — Les chaudières de ces deux séries de machines présentent la plus grande analogie avec celles des machines à grande vitesse non-compound précédemment décrites de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. Tout ce que nous avons dit antérieurement de celles-ci peut donc s'appliquer à celles-là, sous réserve cependant que le corps cylindrique, au lieu d'être en fer, est en acier comme la boîte à feu.

De même, la disposition des cylindres H. P. et B. P., celle des boîtes à vapeur, des tuyaux d'admission et d'échappement, enfin, celle du réservoir intermédiaire, pourvu d'une soupape de sûreté limitant la pression absolue à 6 kilogrammes, sont très semblables à celles adoptées pour la machine à grande vitesse du Nord français.

Par contre, les cylindres extérieurs sont pourvus d'une glissière unique et chacune des manivelles B. P. précède la manivelle H. P. du même côté de la machine, supposée marchant en avant, de 135° dans les machines C. 21 à 60 et de 180° dans les machines C. 61 à 150.

Les tiroirs sont à double admission, non équilibrés. Ceux H. P. sont actionnés par des mécanismes du type Walschaert. Les tiroirs B. P. sont au contraire mis en mouvement par des coulisses de Gooch, qui ont l'avantage de rendre plus accessibles les organes de l'attirail B. P.

§ 110. — Le changement de marche s'effectue sur les machines C. 21 à 60 à l'aide d'un mécanisme unique à vis et à contrepoids de vapeur commandant à la fois les quatre distributions et établissant entre les degrés d'admission H. P. et B. P. un rapport indépendant de la volonté du mécanicien.

Ce rapport avait tout d'abord été choisi de manière à obtenir pour chaque degré d'introduction aux cylindres H. P. des travaux à peu près égaux dans les deux groupes de cylindres, sans toutefois que l'introduction aux cylindres B. P. pût devenir inférieure à 0.4, qui est précisément le rapport du volume des cylindres H. P. à celui des cylindres B. P. Mais à la suite des essais dont il a été rendu compte par M. Privat dans la *Revue des chemins de fer* (mars 1896), ce mode de liaison a été abandonné et le mécanisme a été transformé de manière à réaliser aux grands cylindres une admission à peu près constante et égale aux $^{7}/_{10}$ environ de la course du piston.

Ce mécanisme, qui comportait deux cames, convenablement tracées, actionnant les barres de changement de marche, a été simplifié sur les machines de la série C. 61 à 150. Les cames ont disparu. Le contrepoids de vapeur lui-même a été supprimé, de sorte que l'appareil de changement de marche se réduit pour les cylindres H. P. à un appareil ordinaire à vis (fig. 75 à 77). Mais l'écrou qui commande la barre de relevage H. P. se meut dans une coulisse rectiligne, parallèle à la vis et à laquelle est articulée la barre B. P. La coulisse, qui d'ailleurs est verrouillée dans chacune de ses positions extrêmes, est assez longue pour que l'on puisse, sans déplacer la barre B. P., donner à l'écrou H. P. toutes les positions utiles compatibles avec le sens actuel de la marche. Mais si le mécanicien vient à changer ce sens, l'écrou, franchissant le point mort, déverrouille la coulisse et l'entraîne dans son mouvement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jusqu'à ce que, arrivée à fond de course en même temps que l'écrou, la coulisse se reverrouille de nouveau automatiquement par le jeu d'un verrou placé à l'extrémité opposée à celle qui a été entraînée par l'écrou.

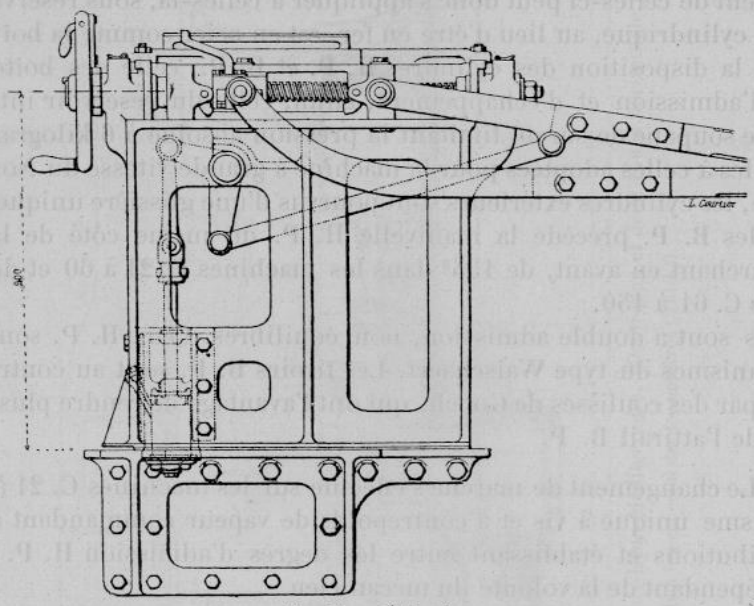


Fig. 75. — Élévation.

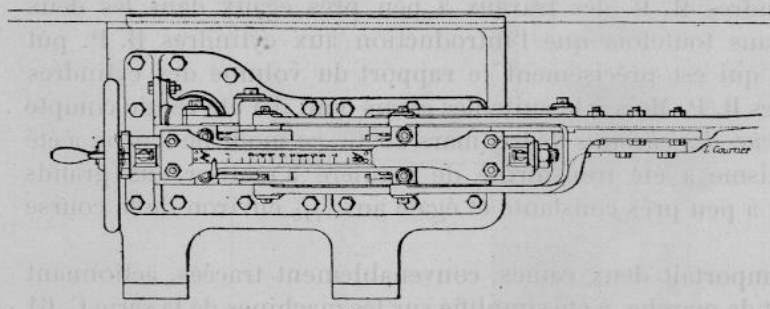


Fig. 76. — Plan.

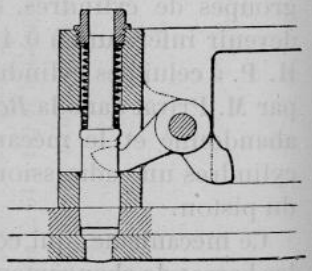


Fig. 77. — Détail d'un verrou.

Fig. 75 à 77. — Appareil de changement de marche des locomotives compound de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Pour empêcher les mouvements brusques que pourrait faire la barre B. P. dans le cas où le mécanicien viendrait à changer le sens de la marche pendant que la machine est en mouvement, on l'a rendue solidaire d'un piston percé de trous, mobile dans un cylindre rempli d'un liquide.

En vue d'accélérer le démarrage, on a pourvu les machines C. 21 à 60 d'un simple robinet de 30 millimètres permettant d'envoyer de la vapeur vive au réservoir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les machines C. 61 à 150 ont été munies d'un servo-moteur actionnant, à la volonté du mécanicien, des robinets à trois voies placés sur les tuyaux de communication des cylindres. Ce servo-moteur permet d'envoyer par un tuyau de 50 millimètres de la vapeur à 6 kilogrammes dans les cylindres B. P., en même temps qu'il établit une communication directe de l'échappement des cylindres H. P. avec l'atmosphère.

§ 111. — Le châssis des machines C. 21 à 60 et C. 61 à 150 est intérieur. Leur bogie est semblable à celui de la machine à grande vitesse non-compound précédemment décrite. De même que cette dernière, les machines en question sont pourvues du chronotachymètre Pouget et du frein Westinghouse-Henry, freinant les deux essieux accouplés. Elles sont pourvues en outre d'une sablière à vapeur.

Mais ce qui les caractérise surtout, c'est leur aspect extérieur résultant des dispositions prises en vue de réduire la résistance opposée par l'air. Dans ce but, la paroi avant de l'abri a été remplacée par deux plans verticaux inclinés à 45° sur l'axe longitudinal de la machine. La cheminée, la sablière et le dôme ont été réunis par une même enveloppe terminée en coin vers l'avant comme vers l'arrière. Enfin, sur la porte de la boîte à fumée a été fixé un appendice terminé en pointe vers l'avant et constituant une sorte de proue.

§ 112. — Les tenders qui accompagnent ces deux types de machines sont à trois essieux et pèsent respectivement 17,200 et 16,920 kilogrammes à vide. Ils peuvent emporter 16,100 litres d'eau et 3,000 kilogrammes de charbon.

Les combustibles consommés proviennent soit du bassin du Nord, soit d'Angleterre. Les premiers comprennent des briquettes contenant de 5 à 8 p. c. de cendres et de 16 à 18.25 p. c. de matières volatiles, et des menus à 6.9 p. c. de cendres et de 18.20 p. c. de matières volatiles. Les combustibles anglais comprennent surtout des briquettes à 9 $^1/_2$ p. c. de cendres et 18 p. c. de matières volatiles, et des menus à 5.76 p. c. de cendres et 15.43 p. c. de matières volatiles.

Pendant l'hiver de 1897 à 1898, il a été consommé en moyenne par l'ensemble des machines, compound et non-compound, assurant la traction des trains à grande vitesse circulant entre Paris et Nice, et par kilomètre parcouru, 11.048 kilogrammes de ces combustibles.

§ 113. — La *Compagnie du Midi français* avait mis à l'essai, en 1893, deux locomotives compound qui ne différaient de la première machine à deux essieux accouplés de la Compagnie du Nord que par quelques dispositions de détail, et notamment par l'emploi de tubes Serve et par l'adoption d'un bogie à déplacement transversal, dispositions qui, d'ailleurs, ont également été appliquées ultérieurement par la Compagnie du Nord. En 1895, le nombre de ces machines fut porté à quatorze, mais la traction des trains express de la ligne de Bordeaux à Irun, dont plusieurs sont très chargés, ayant nécessité l'emploi de moteurs encore plus puissants, la Compagnie du Midi mit en service, en 1896, une nouvelle série de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vingt-quatre machines compound à chaudière renforcée et à quatre cylindres agrandis. C'est à ce dernier type de machine à grande vitesse que se rapportent les figures 78 à 83, ainsi que les données principales qui suivent :

Timbre de la chaudière		14.00	kilogrammes.
Surface de la grille		2.46	mèt. carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	12.34	—
	du bouilleur	2.44	—
	des tubes (Serve)	160.66	—
	totale	175.44	—
Tubes (Serve)	Nombre	111.	
	Diamètre extérieur	0.070	mètre.
	Épaisseur	0.0025	—
	Longueur entre plaques tubulaires	3.900	mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique de chaudière		1.348	mètre.
Cylindres	Diamètre des cylindres H. P.	0.350	—
	— — B. P.	0.550	—
	Course des pistons	0.640	—
Rapport des volumes des cylindres B. P./H. P.		2.469	
Rapport du volume du réservoir à celui des deux cylindres H. P. réunis.		2.	
Diamètre des roues motrices		2.13	mètres.
— — du bogie		1.04	mètre.
Poids de la machine vide		48.950	tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu	10.600	—
	Deuxième essieu	10 600	—
	Troisième essieu	16.400	—
	Quatrième essieu	16.400	—
	Total	54.000	—
Poids adhérent		32.800	—

§ 114. — Pour pouvoir conserver l'entre-axe de 3 mètres des essieux accouplés de la machine primitive, entre-axe qu'il paraissait prudent de ne pas dépasser, on a été conduit à renoncer au foyer plongeant qui caractérisait les quatorze premières machines et à faire passer la grille par-dessus l'essieu moteur d'arrière. En même temps, la chaudière a été surélevée, ce qui a permis d'élever son diamètre et sa surface de chauffe. La boîte à fumée a été établie conformément aux dernières dispositions adoptées par la Compagnie du Midi en vue d'empêcher les escarbilles incandescentes de s'échapper par la cheminée. Elle a été pourvue à cet effet d'une grille à flammèches spéciale en toile métallique superposée à la grille ordinaire à barreaux. Pour pouvoir obtenir avec une pareille grille une section de passage d'air suffisante et pour pouvoir emmagasiner, d'autre part, les flammèches qu'elle empêche de s'échapper par la cheminée, on a été conduit à donner tant à la grille qu'à la boîte à fumée une longueur de 1.650 mètre. La cheminée a été reportée autant que possible à l'arrière de cette boîte.

Le mécanisme moteur, les mécanismes de distribution et de changement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

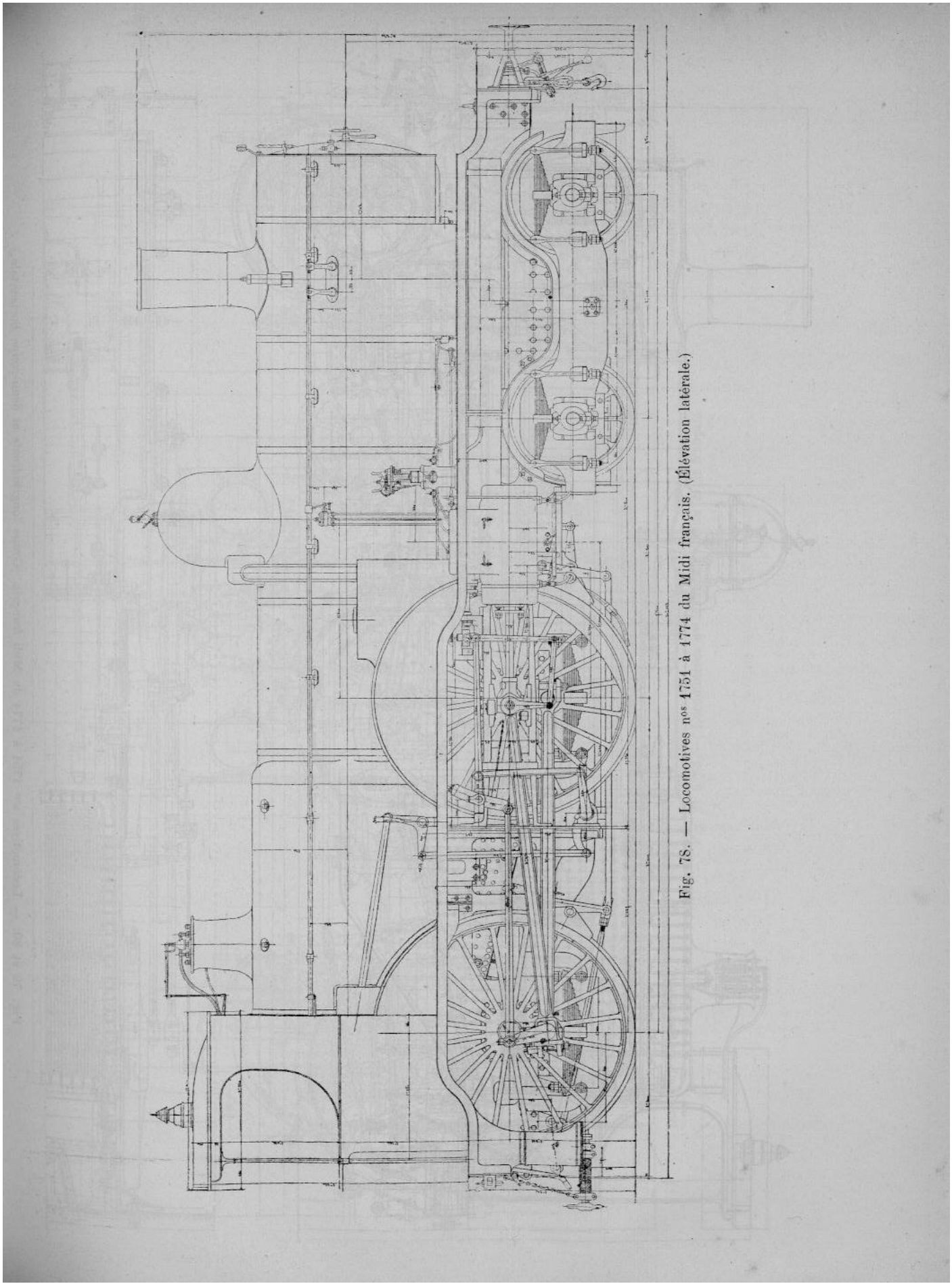


Fig. 78. — Locomotives nos 1751 à 1774 du Midi français. (Élévation latérale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

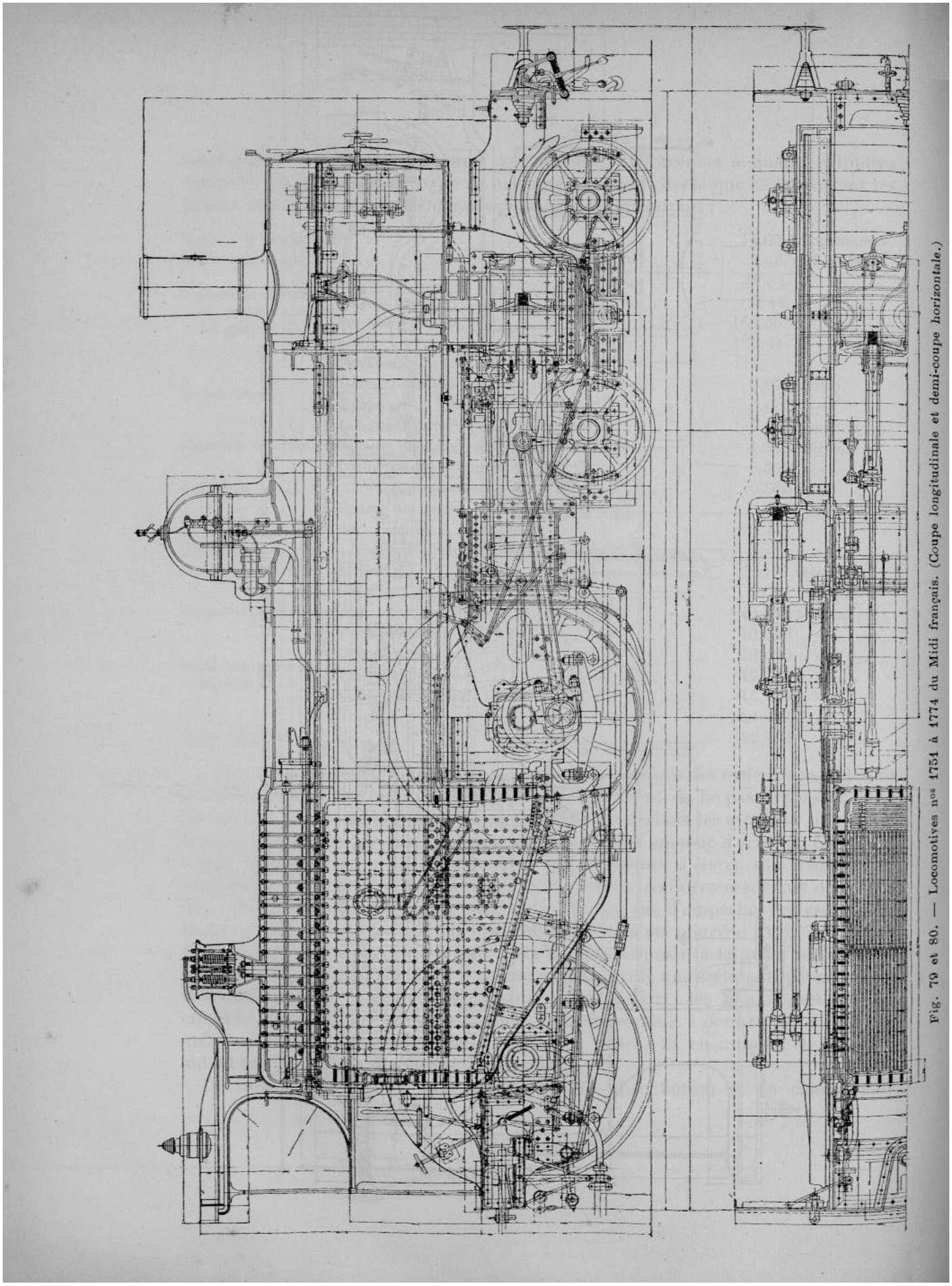


Fig. 79 et 80. — Locomotives nos 1751 à 1774 du Midi français. (Coupe longitudinale et demi-coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

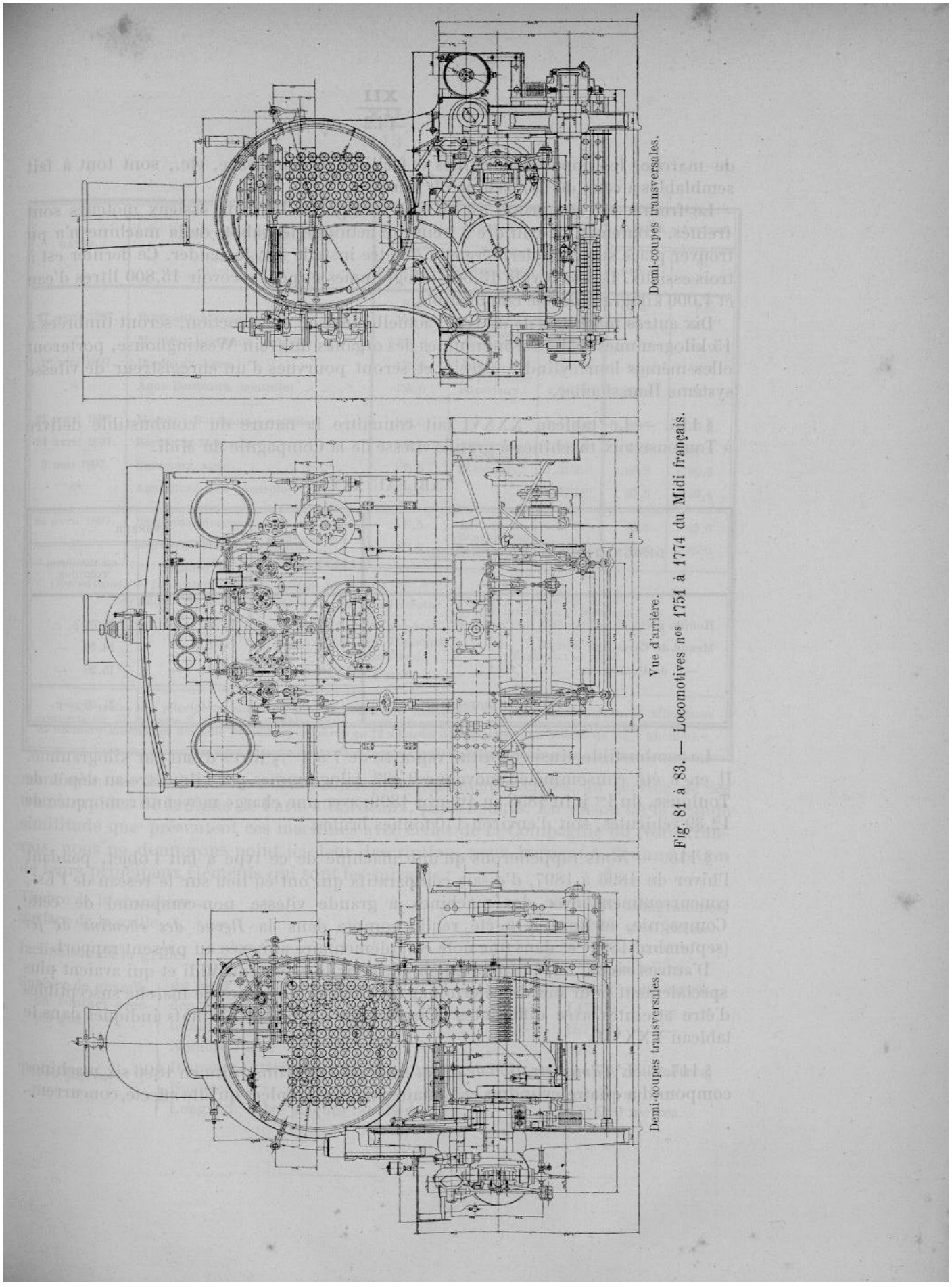


Fig. 81 à 83. — Locomotives nos 1751 à 1774 du Midi français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de marche, les appareils destinés à faciliter le démarrage, etc., sont tout à fait semblables à ceux de la machine du Nord.

Le frein à air comprimé est du type Wenger et les deux essieux moteurs sont freinés. Toutefois, le cylindre à frein qui actionne les sabots de la machine n'a pu trouver place sur cette dernière et a dû être installé sur le tender. Ce dernier est à trois essieux. Il pèse à vide 15,500 kilogrammes et peut recevoir 15,800 litres d'eau et 4,000 kilogrammes de combustible.

Dix autres machines de ce type, actuellement en construction, seront timbrées à 15 kilogrammes. Elles seront munies des organes du frein Westinghouse, porteront elles-mêmes leur cylindre à frein et seront pourvues d'un enregistreur de vitesse système Hausshælter.

§ 115. — Le tableau XXXVI fait connaître la nature du combustible délivré à Toulouse aux machines à grande vitesse de la Compagnie du Midi.

TABLEAU XXXVI.

DÉSIGNATION ET PROVENANCE.	PROPORTIONS DISTRIBUÉES.	TENEUR	
		en cendres.	en matières volatiles.
Houille grêle ou agglomérés de Carmaux	20 p. c.	10 p. c.	25.65 p. c.
Menus de Carmaux	40 —	11 1/2 —	24.20 —
— de Graissessac	40 —	11 —	15.20 —
Total et moyennes	100 p. c.	11 p. c.	21.68 p. c.

Le combustible ainsi constitué vaporise de 7 à 7 1/2 litres d'eau par kilogramme. Il en a été consommé en moyenne 9.433 kilogrammes par kilomètre au dépôt de Toulouse, du 1er juin 1898 au 1er juin 1899, avec une charge moyenne remorquée de 12.39 véhicules, soit d'environ 170 tonnes brutes.

§ 116. — Nous rappellerons qu'une machine de ce type a fait l'objet, pendant l'hiver de 1896 à 1897, d'essais comparatifs qui ont eu lieu sur le réseau de l'Est, concurremment avec des machines à grande vitesse non-compound de cette Compagnie, et dont il a été rendu compte dans la *Revue des chemins de fer* (septembre 1897) et dans une note complémentaire annexée au présent rapport.

D'autres essais, qui ont eu lieu en 1897 sur le réseau du Midi et qui avaient plus spécialement pour but de déterminer les vitesses moyennes de marche susceptibles d'être atteintes avec différentes charges, ont donné les résultats indiqués dans le tableau XXXVII.

§ 117. — L'*Administration de l'État français* a fait construire en 1896 six machines compound à quatre cylindres et à quatre roues accouplées qu'elle affecte, concurrem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XXXVII.

DATES.	PARCOURS EFFECTUÉS SANS ARRÊT.	KILOMÈTRES PARCOURUS.	TONNAGE RÉEL REMORQUÉ.	TEMPS EMPLOYÉ.	VITESSE MOYENNE brute	VITESSE MOYENNE de marche.
		Km			Km	Km
27 avril 1897.	Bordeaux-Morcenx	108.5	150 tonnes (11 véhicules 22 essieux.)	1h 7'16"	96.8	99.7
d°	Morcenx-Bordeaux (contrôle) . . .	108.0		1. 3'42"	101.7	105.0(*)
1er mai 1897.	Bordeaux-Agen.	135.5	200 tonnes (15 véhicules 30 essieux.)	1.26' 3"	94.5	96.7
d°	Agen-Bordeaux (contrôle)	135.0		1.24' 0"	96.4	98.8
22 avril 1897.	Morcenx-Bordeaux (contrôle) . . .	108.0		1.14'44"	86.7	89.0
24 avril 1897.	Bordeaux-Morcenx	108.5	250 tonnes (19 véhicules 38 essieux.)	1.16' 0"	85.7	88.0
3 mai 1897.	Bordeaux-Agen.	135.5		1.31'35"	88.8	90.8
d°	Agen-Bordeaux (contrôle) . .	135.0		1.32'36"	87.5	89.4
26 avril 1897.	Bordeaux-Morcenx	108.5	300 tonnes (19 véhicules 38 essieux.)	1.21'23"	80.0	82.0
d°	Morcenx-Bordeaux (contrôle) . . .	108.0		1.14'54"	86.5	89.0

Obervations. — Des ralentissements étaient imposés à :

40 kilomètres	à la traversée de la gare de Lamothe. .	Section de Bordeaux à Morcenx.
20 —	— — de Langon . . .	Section de Bordeaux à Agen.
75 —	— — de Tonneins . .	
90 —	— — de Nicole . . .	
60 —	à l'entrée en gare d'Agen	

(*) Ce train, sur plus de la moitié de son parcours (du kilomètre 102 au kilomètre 44 = 58 kilomètres couverts en 31 minutes 6 secondes) a réalisé une vitesse moyenne de 112 kilomètres à l'heure et sur les 25 derniers kilomètres de cette étendue, parcourus en 12 minutes 54 secondes, une vitesse de 116.1 kilomètres.

ment avec ses machines non-compound précédemment décrites, au service de ses trains rapides de la ligne de Paris à Bordeaux, par Thouars. En raison de la grande similitude que présentent ces machines avec celles de la Compagnie du Nord français, nous ne donnerons point ici leur description, nous bornant à l'énumération de leurs principaux éléments qui sont les suivants :

Timbre de la chaudière		15.00 kilogrammes.
Surface de la grille		2.05 mèt. carrés.
Inclinaison de la grille		7° à l'arrière. 10° au milieu.
Surface de chauffe en contact avec les gaz . . .	du foyer	10.66 mèt. carrés.
	des tubes	147.00 —
	totale	157.66 —
Tubes (Serve) . .	Nombre	94.
	Diamètre extérieur	70 millimètres.
	Epaisseur	2 1/2 —
	Longueur entre plaques tubulaires	3.900 mètres.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diamètre intérieur du corps cylindrique		1.218 mètre.
Cylindres	Diamètre des cylindres H. P.	0.340 —
	— — B. P.	0.530 —
	Course des pistons	0.640 —
Rapport des volumes des cylindres		2.43
Rapport du volume du réservoir à celui des cylindres H. P. réunis		1.30
Diamètre des roues motrices		2.140 mètres.
— — porteuses		1.040 mètre.
Empattement	des roues accouplées	3.000 mètres.
	du bogie	1.800 mètre.
	total	7.330 mètres.
Poids à vide		45.880 tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu (bogie)	8.170 —
	Deuxième essieu (bogie)	8.170 —
	Troisième essieu (essieu moteur [B. P.])	16.325 —
	Quatrième essieu (— [H. P.])	15.870 —
	Total	48.535 —
Poids adhérent		32.195 —

§ 118. — Pendant l'année 1894, la *Compagnie de l'Ouest français* avait également fait établir en compound, à quatre cylindres, deux machines à grande vitesse qui, sous d'autres rapports et notamment par leur générateur, ne différaient pas essentiellement de la machine à grande vitesse non-compound précédemment décrite. Mais les vingt machines de la série nos 503 à 522 du type ultérieurement adopté par cette Compagnie (fig. 84 à 88) n'ont fait leur apparition qu'en 1897. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Timbre de la chaudière		14.00 kilogrammes.
Surface de la grille		2.40 mèt. carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	11.20 —
	des tubes	122.60 —
	totale	133.70 —
Tubes (Serve)	Nombre	96.
	Diamètre extérieur	0.070 mètre.
	Épaisseur	0.0025 —
	Longueur entre plaques tubulaires	3.800 mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.348 mètre.
Cylindres	Diamètre des cylindres H. P.	0.34 —
	— B. P.	0.53 —
	Course des pistons	0.64 —
Rapport des volumes des cylindres B. P./H. P.		2.43
— du volume du réservoir à celui des cylindres H. P. réunis		1.12
Diamètre des roues motrices		2.04 mètres.
— — du bogie		0.96 mètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

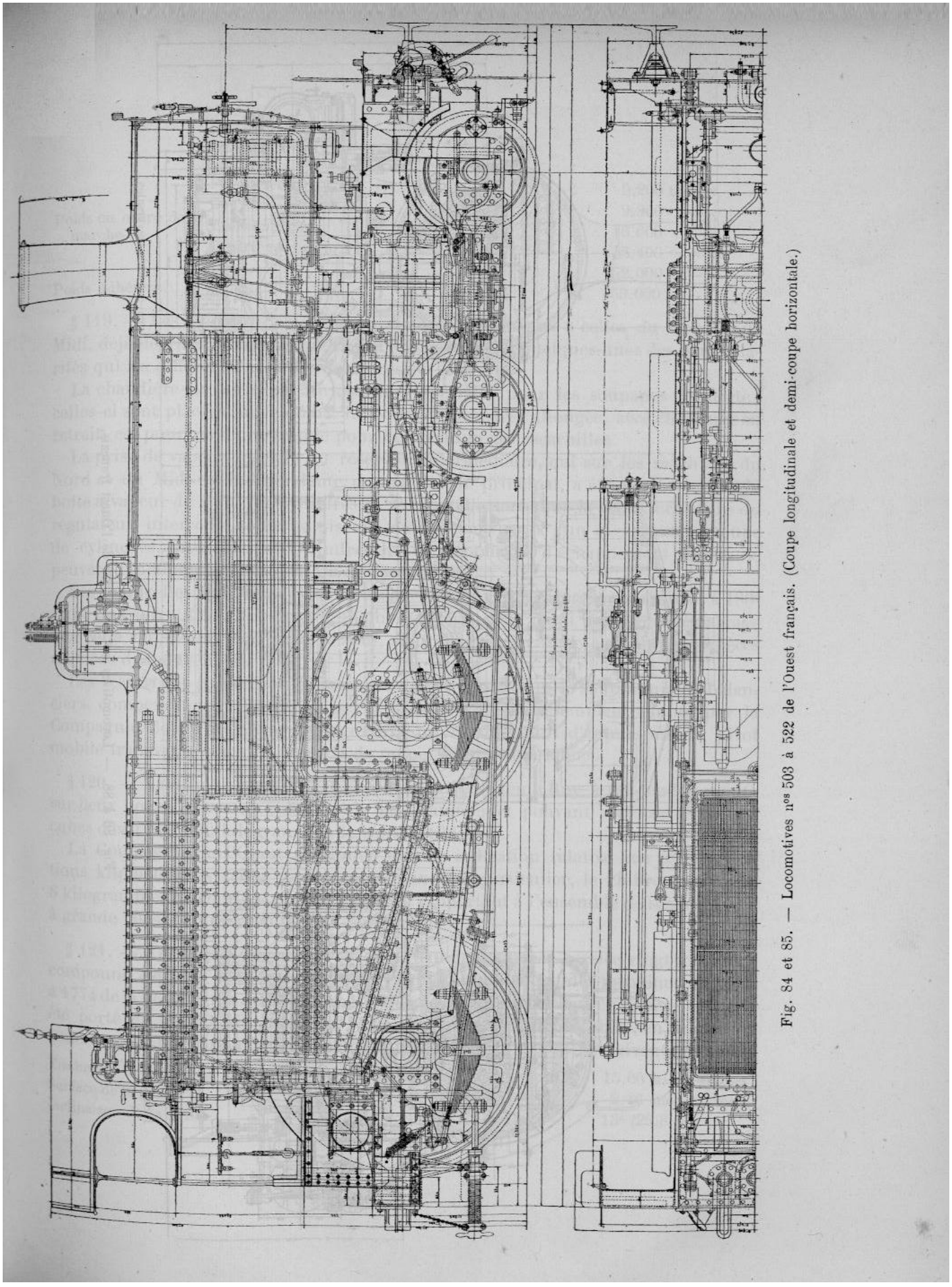


Fig. 84 et 85. — Locomotives nos 503 à 522 de l'Ouest français. (Coupe longitudinale et demi-coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

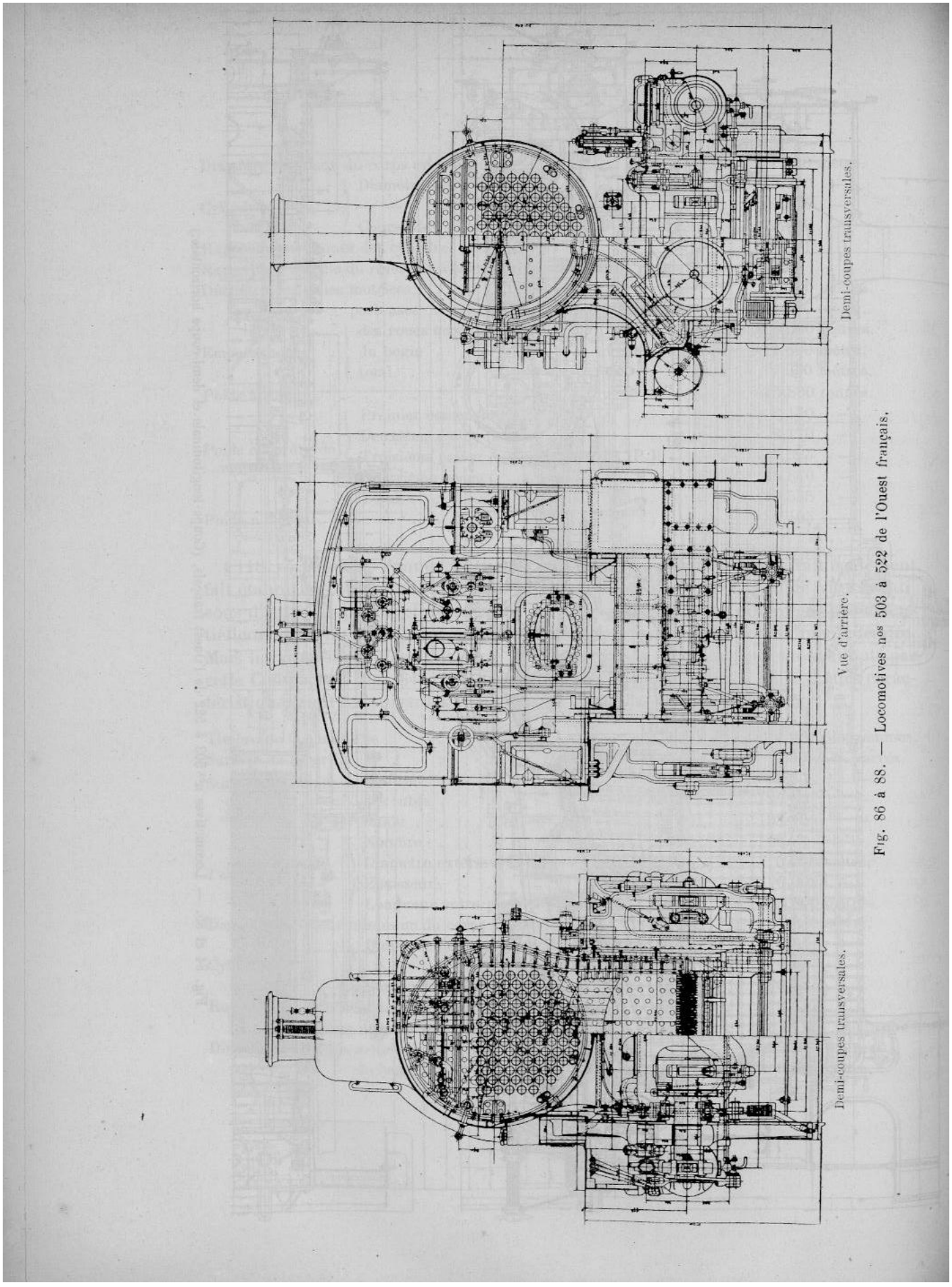


Fig. 86 à 88. — Locomotives nos 503 à 522 de l'Ouest français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Poids en ordre de marche	Premier essieu	9.200 tonnes.
	Deuxième essieu.	9.800 —
	Troisième essieu.	16.600 —
	Quatrième essieu	16.400 —
	Total	52.000 —
Poids adhérent.		53.000 —

§ 119. — Les machines en question étant très analogues à celles du Nord et du Midi, déjà décrites, nous nous bornerons à signaler ici quelques-unes des particularités qui les différencient de ces dernières.

La chaudière ne porte pas de colonnes spéciales pour les soupapes de sûreté : celles-ci sont placées sur le dôme. La boîte à fumée, très allongée, avec cheminée en retrait, est pourvue d'une trémie pour l'évacuation des escarbilles.

La prise de vapeur spéciale au réservoir intermédiaire, qui sur les machines du Nord et du Midi est indépendante du régulateur principal, a été placée ici sur la boîte à vapeur de l'un des cylindres H. P., de telle sorte que la seule fermeture du régulateur intercepte toute admission de vapeur vive à l'un et à l'autre groupe de cylindres. En outre, les cylindres H. P., dépourvus d'échappement direct, ne peuvent fonctionner autrement qu'en compound.

Les manivelles H. P. et B. P., d'un même côté de la machine, sont orientées à 180° l'une de l'autre. Cette disposition, moins avantageuse au point de vue du démarrage que celle adoptée par le Nord et le Midi, se prête à un meilleur équilibre des pièces animées de mouvements relatifs.

Les ressorts de suspension des essieux moteurs et accouplés sont munis de balanciers compensateurs. Enfin, le bogie est du type précédemment adopté par la Compagnie de l'Ouest, avec longeronnets intérieurs, point d'appui central, pivot mobile transversalement et ressorts de rappel conjugués à lames.

§ 120. — La machine est reliée par un attelage système Roy à un tender monté sur deux bogies, pesant à vide 18,160 kilogrammes et pouvant recevoir 18 mètres cubes d'eau et 7,000 kilogrammes de combustible.

La Compagnie de l'Ouest n'a donné aucune indication relative aux consommations kilométriques faites par cette machine en particulier, le chiffre moyen de 8 kilogrammes de charbon qu'elle accuse se rapportant à l'ensemble de ses machines à grande vitesse compound et non-compound.

§ 121. — Enfin, la *Compagnie d'Orléans* vient de mettre en service vingt machines compound à quatre cylindres qui ne diffèrent essentiellement des machines nos 1751 à 1774 de la Compagnie du Midi français que par le timbre de leur chaudière, lequel a été porté de 14 à 15 kilogrammes. Nous nous bornerons, par suite, en ce qui les concerne, à l'indication de leurs principaux éléments qui sont les suivants :

Timbre de la chaudière	15.00 kilogrammes.
Surface de la grille.	2.46 mèt. carrés.
Inclinaison de la grille	13° (22.8 p. c.).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer (bouilleur compris)	14.95	mèt. carrés
	des tubes	160.66	—
	totale	175.61	—
Tubes (Serve)	Nombre	111	
	Diamètre extérieur	0.070	mètre.
	Épaisseur	0.0025	—
	Longueur entre les plaques tubulaires	3.900	mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.344	mètre.
Cylindres	Diamètre des cylindres H. P.	0.350	—
	— — B. P.	0.550	—
	Course des pistons	0.640	—
Rapport des volumes des cylindres		2.469	
— —	du réservoir à celui des cylindres H. P. réunis	2.20	
Diamètre des roues motrices, avec bandages de 0.050 mètre		2.09	mètres.
— —	porteuses, — —	1.00	mètre.
Empattement	des roues accouplées	3.000	mètres.
	du bogie	2.000	—
	total	7.500	—
Poids à vide		51.000	tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu	22.000	—
	Deuxième essieu		
	Troisième essieu	16.600	—
	Quatrième essieu	16.600	—
	Total	55.200	—
Poids adhérent		33.200	—

Ces machines sont pourvues, comme celles du Midi, des organes du frein Wenger, avec freinage des essieux accouplés, et de sablières à vapeur système Gresham, avec réservoirs logés dans les couvre-roues. Elles ont été munies, en outre, d'un indicateur enregistreur de vitesse système Haushælter.

§ 122. — Leur tender peut recevoir 6 tonnes de combustible et 16,000 litres d'eau. Il est porté par trois essieux à roues de 1.19 mètre et pèse à vide 15.700 tonnes.

Il n'a pas été fourni de renseignements sur les consommations kilométriques de ces machines qui brûlent les mêmes combustibles que les machines à deux essieux accouplés non-compound de la même compagnie précédemment décrites.

Description des moteurs pour trains de grande vitesse à trois (et quatre) essieux accouplés.

§ 123. — Les moteurs à trois (et quatre) essieux accouplés sur lesquels nous avons été renseignés et qui tous sont affectés à la remorque des trains relativement rapides circulant sur des lignes accidentées sont indiqués dans le tableau XXXVIII où ils sont classés dans l'ordre chronologique de leur création.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XXXVIII.

DÉSIGNATION DE LA COMPAGNIE ou de L'ADMINISTRATION PROPRIÉTAIRE.	Nombre d'essieux accouplés.	Compound ou non-compound.	Date de la mise en service du premier exemplaire.
État belge.	3	Non-compound.	1886
Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée	3 et 4	Compound.	1893
— du Saint-Gothard.	3	—	1894
— du Midi français	3	—	1896
État hongrois.	3	—	1897
Compagnie du Nord français	3	—	1897
État autrichien	3	—	1898
Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée	3	—	1889

Moteurs à trois essieux accouplés non-compound.

§ 124. — La seule machine à six roues accouplées à simple expansion dont nous ayons à nous occuper est celle que l'*État belge* affecte au service des trains express sur les lignes à fortes rampes. Elle est pourvue à l'avant d'un essieu porteur à boîtes radiales et son foyer est de dimensions encore plus grandes que celui de la machine à grande vitesse précédemment décrite.

Ses principaux éléments sont les suivants :

Timbre de la chaudière.			10 atmosphères.
Surface de la grille			5.74 mèt. carrés.
		Tubes lisses.	Tubes à ailettes.
Surface de chauffe en contact avec les gaz . . .	du foyer	16.70 mèt. carrés.	16.64 mèt. carrés.
	des tubes	133.45 —	212.43 —
	totale	150.15 —	229.07 —
Tubes	Nombre	236.	136.
	Diamètre extérieur . . .	0.050 mètre.	0.070 mètre.
	Épaisseur	0.0025 —	0.0025 —
	Longueur entre plaques tubulaires. . .	4.00 mètres.	
Diamètre intérieur uniforme du corps cylindrique.			1.400 mètre.
— des cylindres			0.500 —
Course des pistons			0.600 —
Diamètre des roues motrices			1.700 —
— — porteuses			1.060 —
Poids à vide			44.800 tonnes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Poids en ordre de marche	Premier essieu	12.300	tonnes.
	Deuxième essieu	12.600	—
	Troisième essieu	15.050	—
	Quatrième essieu	13.450	—
	Total	53.400	—
Poids adhérent		41.100	—

§ 125. — De forme à peu près parallélipipédique, le foyer proprement dit de cette machine n'a pas moins de 2.57 mètres de largeur intérieure sur 2.23 mètres de longueur. Par contre, et en raison de ce que la grille, qui déborde à droite et à gauche au-dessus des roues motrices et accouplées, se trouve placée à peu près au niveau des tubes inférieurs du faisceau tubulaire, sa hauteur ne dépasse pas 90 centimètres.

La plaque tubulaire ne fait pas partie du foyer. Entre les deux se trouve une chambre de combustion dont le ciel plat forme le prolongement de celui du foyer et dont le reste du pourtour affecte une forme à peu près tronc-conique, évasée vers l'arrière. Plus profonde que le foyer, cette chambre en est séparée par un autel en briques réfractaires qui s'élève à environ 15 centimètres au-dessus du niveau de la grille.

Deux portes de chargement, à deux vantaux chacune, sont pratiquées dans la paroi arrière de la boîte à feu, au niveau même de la grille. Celle-ci est pourvue d'un jette-feu placé vers le milieu de sa longueur.

L'échappement variable est d'un type spécial, et la cheminée, suivant une coutume fort répandue en Belgique, est à section rectangulaire.

Le châssis est extérieur. Les boîtes radiales des roues d'avant sont pourvues de doubles plans inclinés servant d'appui aux chandelles de suspension. Elles reposent sur les coussinets par des portées sphériques permettant à l'essieu de prendre une position oblique dans son plan vertical sans forcer sur les guides des boîtes.

La suspension, très analogue à celle de la machine belge à deux essieux accouplés précédemment décrite, comporte deux balanciers longitudinaux entre les deux essieux d'avant et deux autres entre les deux essieux d'arrière, ceux d'avant étant reliés par un balancier transversal, de manière à réaliser la suspension sur trois points. Toutefois, une partie de la charge qui repose sur les balanciers d'arrière est transmise à un longeron intermédiaire qui s'appuie sur l'essieu moteur. Ce longeron est une sorte de bielle dont la grosse tête embrasse le corps de l'essieu et dont la petite tête est articulée à l'avant au massif des cylindres qui sont intérieurs aux longerons. Un ressort longitudinal à lames, suspendu à la grosse tête de cette bielle, est chargé à l'avant par une tige de pression articulée à une entretoise du châssis principal, et à l'arrière par un balancier transversal reliant les tiges de suspension arrière des ressorts qui chargent les fusées extérieures de l'essieu moteur.

Les boîtes à vapeur, placées au-dessus des cylindres, sont accessibles de l'extérieur. Le mécanisme de distribution est du type Walschaert et le changement de marche à levier est à contrepoids de vapeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le frein, du système Westinghouse, actionne les trois essieux accouplés.

§ 126. — Le tender, qui pèse à vide 16.950 tonnes, contient 14 mètres cubes d'eau et 3 tonnes de combustible.

La consommation kilométrique de cette machine s'élève en moyenne à 15.900 kilogrammes de combustible menu, susceptible de vaporiser 6 $^1/_2$ à 8 kilogrammes d'eau par kilogramme; mais aucune indication n'est donnée sur les conditions du service auquel correspond cette consommation. Nous nous bornerons, par suite, à rappeler que la machine en question était destinée, à l'origine, à remorquer, à la vitesse minimum de 60 kilomètres à l'heure, des trains de 110 tonnes brutes sur la ligne de Bruxelles à Arlon, qui comporte des déclivités de 16 millimètres par mètre, d'un développement de 15 et de 32 kilomètres.

Moteurs à trois essieux accouplés compound.

§ 127. — La *Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée* affecte à la conduite de ses trains relativement rapides, circulant sur des profils accidentés, des machines compound à quatre cylindres et à quatre essieux accouplés, dont un certain nombre cependant ont été ultérieurement modifiées par la substitution d'un bogie à l'essieu accouplé d'avant, substitution qui, ainsi qu'on peut s'en rendre compte par la simple inspection des figures 89 à 93, a pu être effectuée sans nécessiter aucune modification du mécanisme, sinon la suppression de deux bielles d'accouplement. Nous indiquons, dans le tableau XXXIX, les éléments les plus intéressants de ces machines.

§ 128. — Les chaudières de ces machines présentent tous les caractères communs à la plupart des chaudières de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, savoir : corps cylindrique et boîte à feu Belpaire en acier; foyer en cuivre avec grille assez inclinée, jette-feu, voûte et déflecteur; tubulure courte, à ailettes; prise de vapeur dans un dôme à diaphragme alimenté par des tuyaux collecteurs de vapeur; cheminée large à noyau central. Mais elles se distinguent des chaudières à grande vitesse par leur boîte à fumée, dont la longueur n'est pas inférieure à 2.325 mètres et dont la cheminée occupe néanmoins l'extrémité antérieure.

Les châssis sont intérieurs, les bogies du type de Paris-Lyon-Méditerranée déjà décrit. Les essieux extrêmes des machines dépourvues de bogie ont un jeu transversal de 16 millimètres. Les unes et les autres sont pourvues de balanciers compensateurs placés entre les deux essieux d'arrière.

Les cylindres H. P., intérieurs aux longerons et inclinés de 7° 48′, sont placés en arrière du bogie ou de l'essieu d'avant. Ils sont pourvus d'une glissière unique et attaquent l'avant-dernier essieu.

Les cylindres B. P., extérieurs aux longerons et horizontaux, sont placés en avant de l'essieu d'avant ou entre les deux essieux du bogie. Ils attaquent l'essieu placé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

immédiatement en avant de l'essieu moteur H. P. Leurs manivelles précèdent les manivelles H. P., à droite et à gauche, d'un angle de 135° dans le sens de la marche en avant.

TABLEAU XXXIX.

			MACHINES :	
			3211-3362.	B. 3261-3300.
Timbre de la chaudière		Kilog.	15	
Surface de la grille.		Mèt. car.	2.46	
Inclinaison de la grille		Degrès.	17	
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	Mèt. car.	9.79	
	des tubes	—	144.46	
	totale	—	154.25	
Tubes (Serve).	Nombre		139	
	Diamètre extérieur	Mètre.	0.065	
	Épaisseur.	—	0.0025	
	Longueur entre plaques tubulaires	Mètres.	3.000	
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		Mètre.	1.370	
Cylindres	Diamètre des cylindres H. P.	—	0.360	
	— — B. P.	—	0.590	
	Course des pistons	—	0.650	
Rapport des volumes des cylindres			2.69	
— du volume du réservoir à celui des cylindres H. P. réunis			2.18	
Diamètre des roues motrices		Mètre.	1.500	
Diamètre des roues porteuses		—	...	0.800
Empattement	des roues accouplées	Mètres.	5.730	3.840
	du bogie	—	...	2.000
	total	—	5.730	7.875
Poids à vide		Tonnes.	49.870	54.060
Poids en ordre de marche	Premier essieu	—	13.620	7.450
	Deuxième essieu	—	13.620	7.450
	Troisième essieu	—	13.230	14.330
	Quatrième essieu	—	13.230	14.330
	Cinquième essieu	—	...	14.330
	Total	—	53.700	57.890
Poids adhérent.		—	53.700	42.990

Les boîtes à vapeur H. P. sont placées au-dessous, celles B. P. au-dessus des cylindres correspondants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

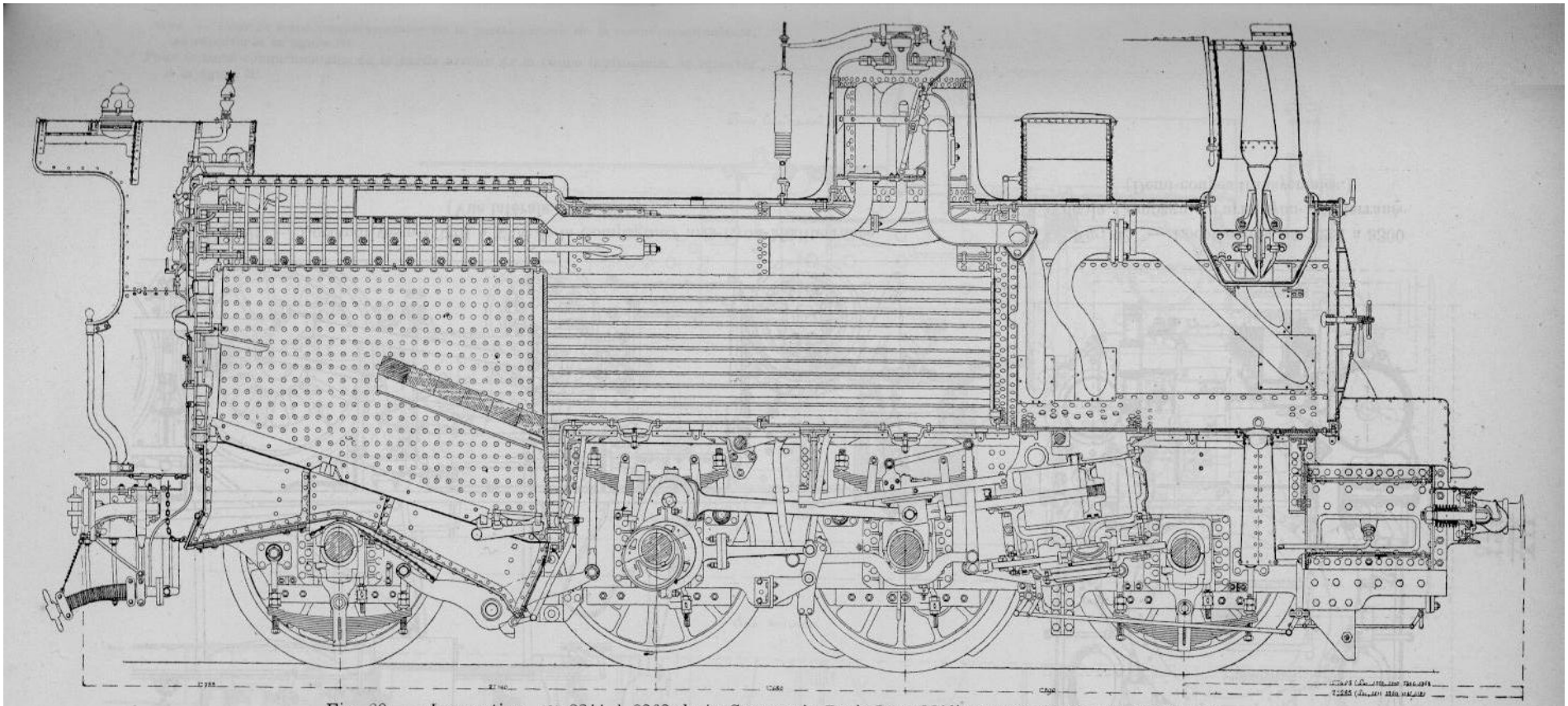


Fig. 89. — Locomotives nos 3211 à 3362 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Coupe longitudinale.)

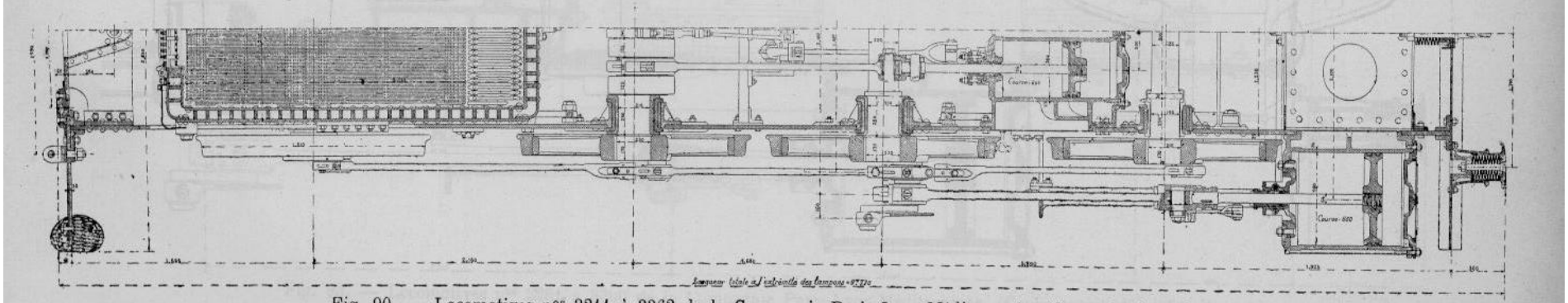


Fig. 90. — Locomotives nos 3211 à 3362 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

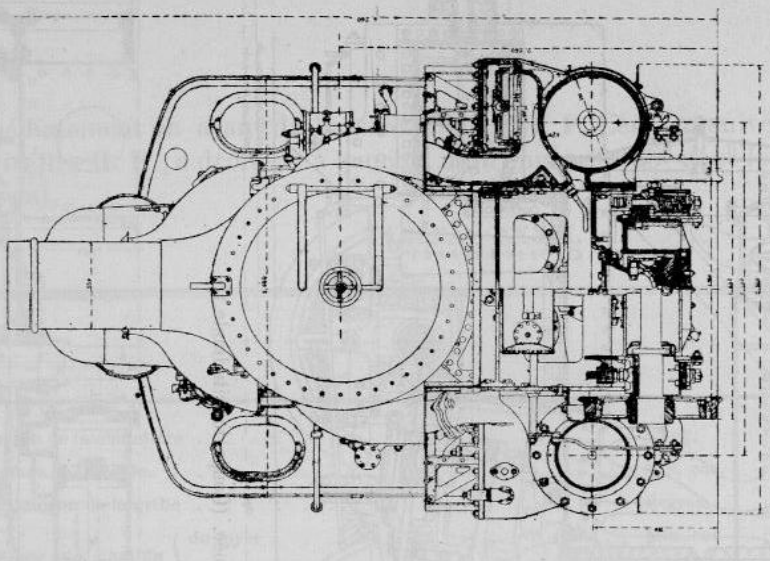


Fig. 92. — Locomotives nos 3261 à 3300 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Demi-coupes transversales.)

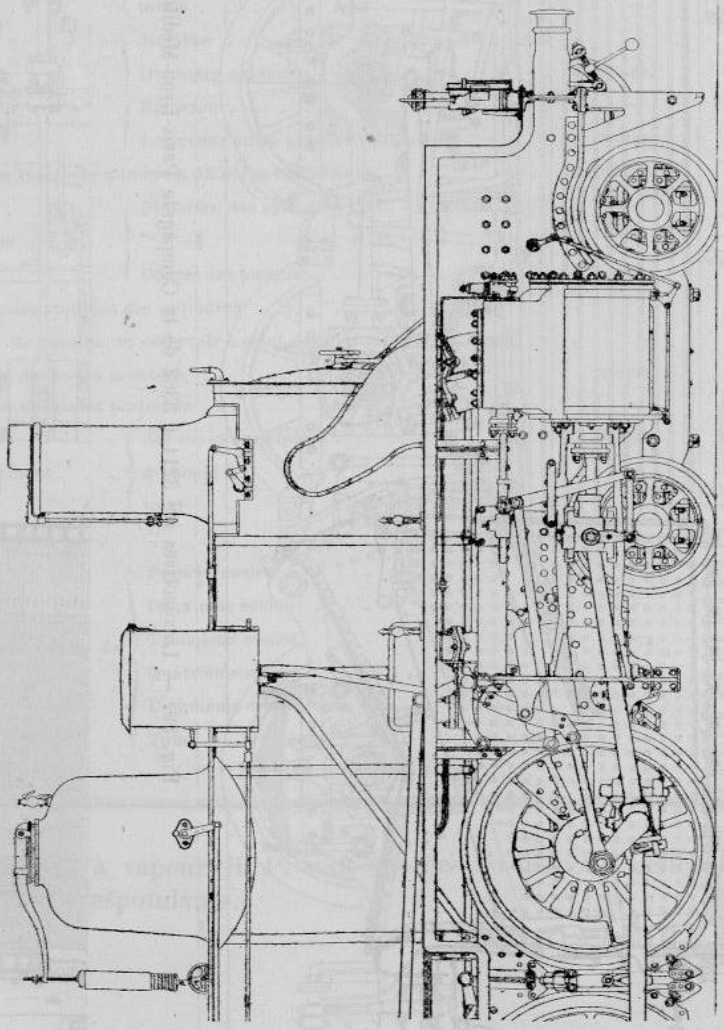
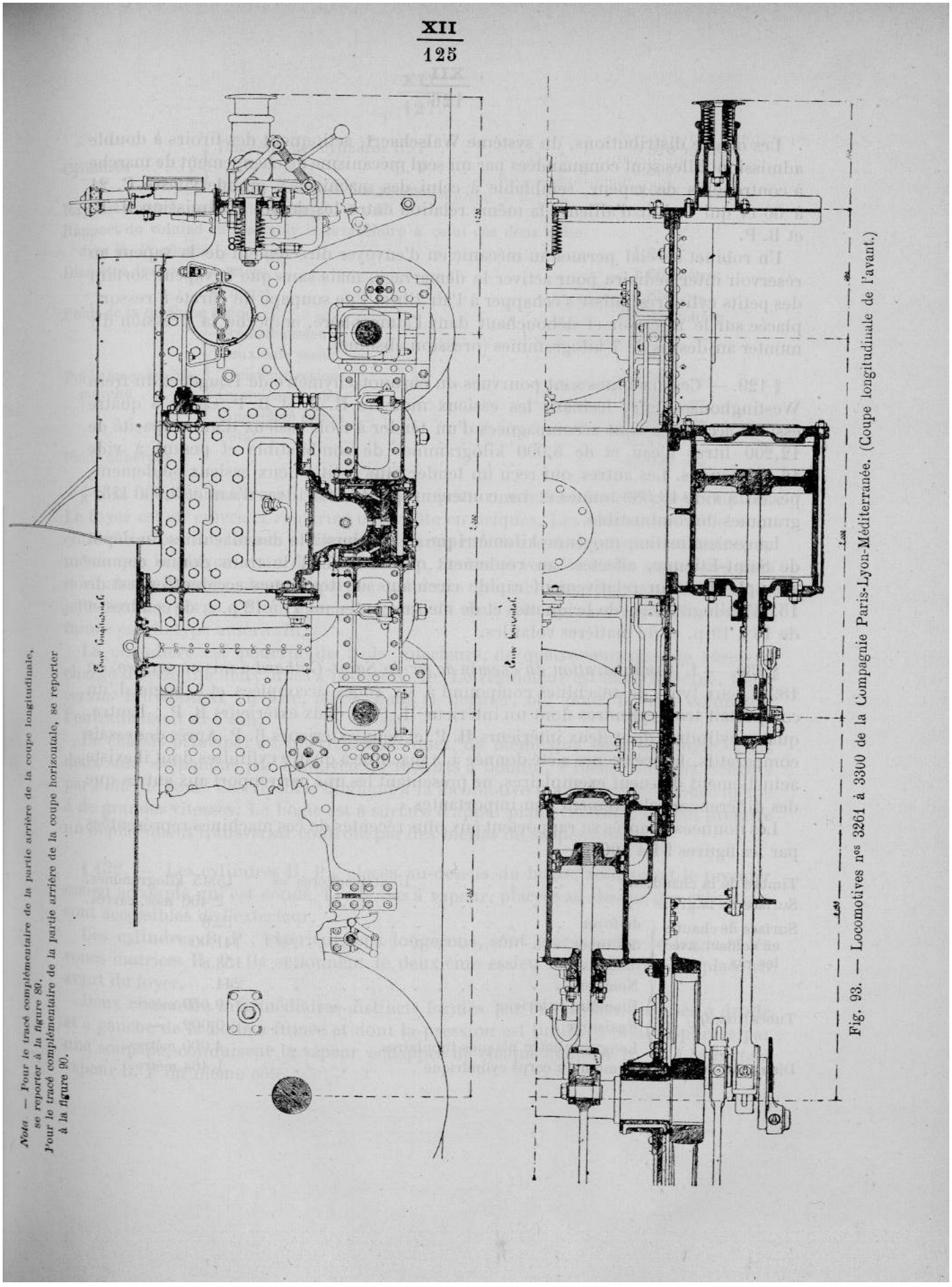


Fig. 91. — Locomotives nos 3261 à 3300 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Vue latérale de l'avant.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Nota — *Pour le tracé complémentaire de la partie arrière de la coupe longitudinale, se reporter à la figure 89.*
Pour le tracé complémentaire de la partie arrière de la coupe horizontale, se reporter à la figure 90.

Fig. 93. — Locomotives nos 3261 à 3300 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Coupe longitudinale de l'avant.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les quatre distributions, du système Walschaert, actionnent des tiroirs à double admission. Elles sont commandées par un seul mécanisme de changement de marche à contrepoids de vapeur, semblable à celui des machines à grande vitesse C. 21 à 60 et qui établit d'ailleurs la même relation entre les degrès d'admission H. P. et B. P.

Un robinet spécial permet au mécanicien d'envoyer directement de la vapeur au réservoir intermédiaire pour activer le démarrage, mais sans que la vapeur sortant des petits cylindres puisse s'échapper à l'air libre. Une soupape de sûreté à ressort, placée sur le réservoir et débouchant dans l'atmosphère, empêche la pression d'y monter au-dessus de 7 kilogrammes (pression absolue).

§ 129. — Ces machines sont pourvues du chronotachymètre de Pouget et du frein Westinghouse-Henry freinant les essieux moteurs H. P. et B. P. Celles à quatre essieux accouplés sont accompagnées d'un tender à trois essieux d'une capacité de 12,200 litres d'eau et de 5,000 kilogrammes de combustible et pesant à vide 16.100 tonnes. Les autres ont reçu un tender plus petit à deux essieux seulement, pesant à vide 13.580 tonnes et ne contenant que 10,000 litres d'eau et 5,000 kilogrammes de combustible.

La consommation moyenne kilométriqne de combustible des machines du dépôt de Saint-Etienne, affectées au roulement qui comprend le train donné comme exemple de train relativement rapide circulant sur des lignes accidentées, est de 15.147 kilogrammes de briquettes et de menus contenant 11 à 12 p. c. de cendres et de 16 à 19 p. c. de matières volatiles.

§ 130. — L'*Administration du chemin de fer du Saint-Gothard* a mis en service, en 1894, deux types de machines compound à six roues accouplées et à bogie. L'un comportait trois cylindres dont un intérieur H. P. et deux extérieurs B. P.; l'autre, quatre cylindres dont deux intérieurs H. P. et deux extérieurs B. P. Après des essais comparatifs, la préférence a été donnée à la machine à quatre cylindres dont il existe actuellement dix-neuf exemplaires, ne présentant les uns par rapport aux autres que des différences relativement peu importantes.

Les données ci-après se rapportent aux plus récentes de ces machines représentées par les figures 94 à 100.

Timbre de la chaudière		15 atmosphères =	15.45 kilogrammes.
Surface de la grille			2.400 mèt. carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer		12.8 —
	des tubes		141.00 —
	totale		153.8 —
Tubes (lisses)	Nombre		244.
	Diamètre extérieur		0.050 mètre.
	Épaisseur		0.002 —
	Longueur entre plaques tubulaires		4.000 mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique			1.464 mètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cylindres	Diamètre des cylindres H. P	0.370 mètre.
	— — B. P	0.590 —
	Course commune des pistons	0.600 —
Rapport des volumes des cylindres B. P., H. P.		2.54
Rapport du volume du réservoir intermédiaire à celui des deux cylindres H. P. réunis		1.21
Diamètre des roues motrices		1.60 mètre.
— — du bogie		0.85 —
Poids de la machine à vide		57.324 tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu	8.900 —
	Deuxième essieu	8.900 —
	Troisième essieu	15.300 —
	Quatrième essieu	15.300 —
	Cinquième essieu	15.300 —
	Total	63.714 —
Poids adhérent		45.900 —

§ 131. — La chaudière, en acier doux, comporte une boîte à feu du type Crampton. Le foyer est en cuivre et renferme une voûte en briques. Les armatures du ciel sont constituées par des tirants verticaux. La partie inférieure de la plaque tubulaire, de même que la plaque avant de la boîte à feu, inclinées vers l'arrière, sont à peu près normales à la grille, dont la partie antérieure est inclinée vers l'avant. Point de jette-feu. Le corps cylindrique est formé de deux viroles seulement. La boîte à fumée est du type américain.

La chaudière est pourvue de trois injecteurs, de quatre soupapes de sûreté à charge directe, de deux tubes à niveau d'eau. Le régulateur est dans le dôme. Deux écrans horizontaux en tôle, placés dans ce dernier, ont pour but de combattre l'entraînement de l'eau.

Le châssis principal est intérieur aux roues, de même que celui du bogie. Tous deux sont suspendus par le moyen de ressorts à boudin, à raison de deux ressorts par boîte de roue. Ces ressorts donnent à la locomotive une allure très douce même à de grandes vitesses. Le bogie est à surface d'appui plane centrale; il peut prendre un déplacement transversal contrôlé par des bielles de suspension.

§ 132. — Les cylindres H. P., placés au-dessus du bogie, actionnent le premier essieu accouplé qui est coudé. Les boîtes à vapeur, placées au-dessus des cylindres, sont accessibles de l'extérieur.

Les cylindres B. P., extérieurs aux longerons, sont placés entre le bogie et les roues motrices H. P. Ils actionnent le deuxième essieu accouplé qui est placé en avant du foyer.

Deux réservoirs intermédiaires distincts formés par des tuyaux disposés à droite et à gauche de la boîte à fumée et dont la pression est limitée à 8 atmosphères par une soupape, conduisent la vapeur échappée de chaque cylindre H. P, à la boîte à vapeur B. P du même côté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

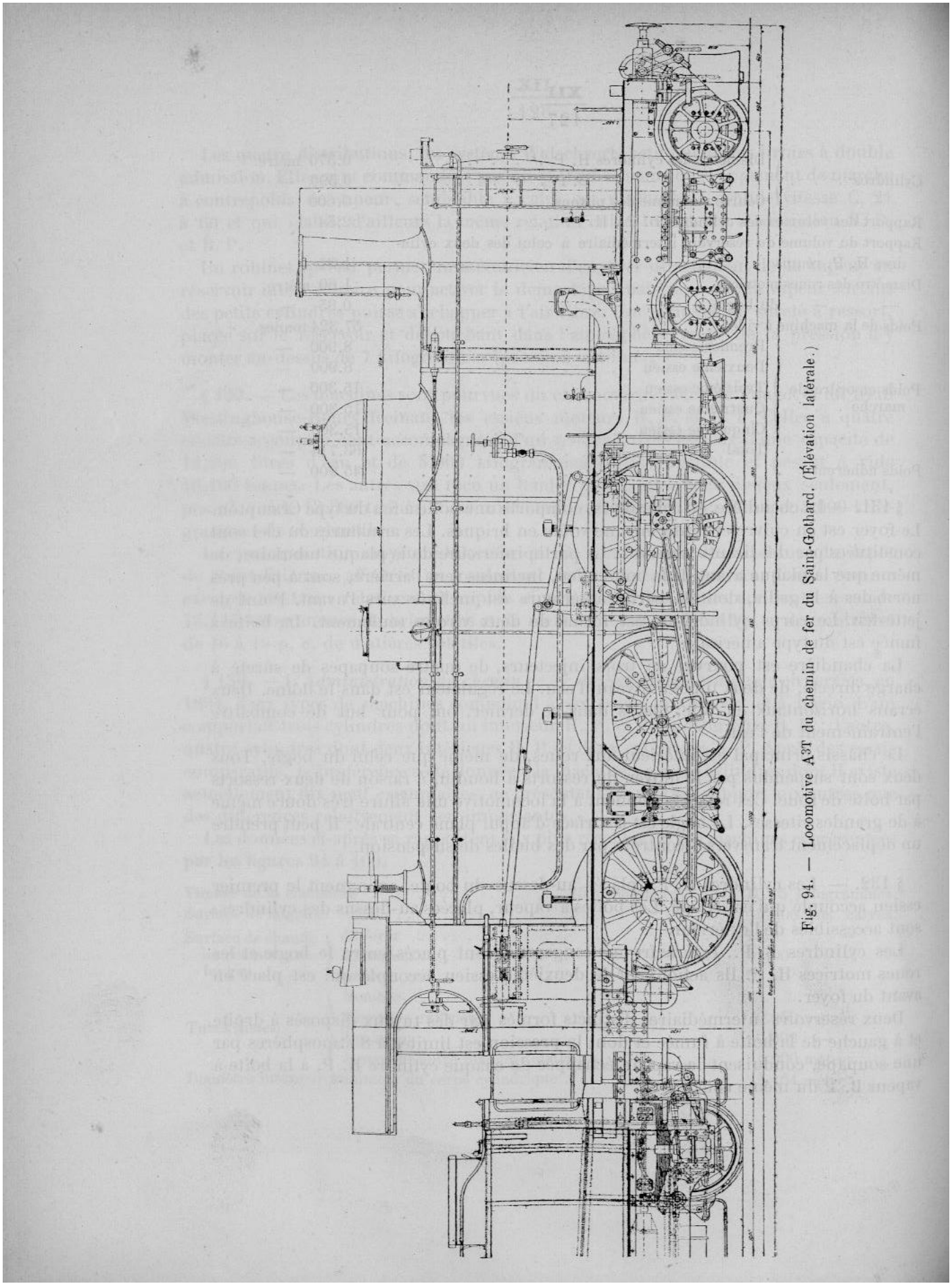
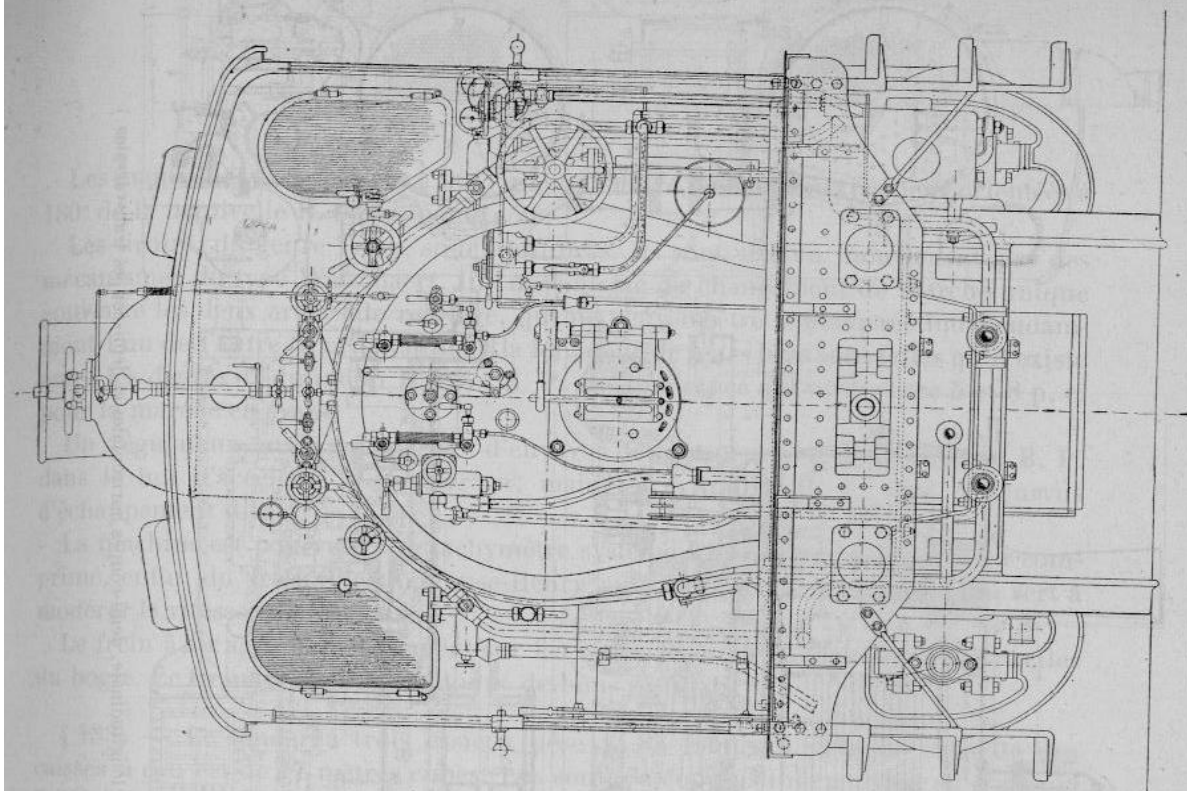
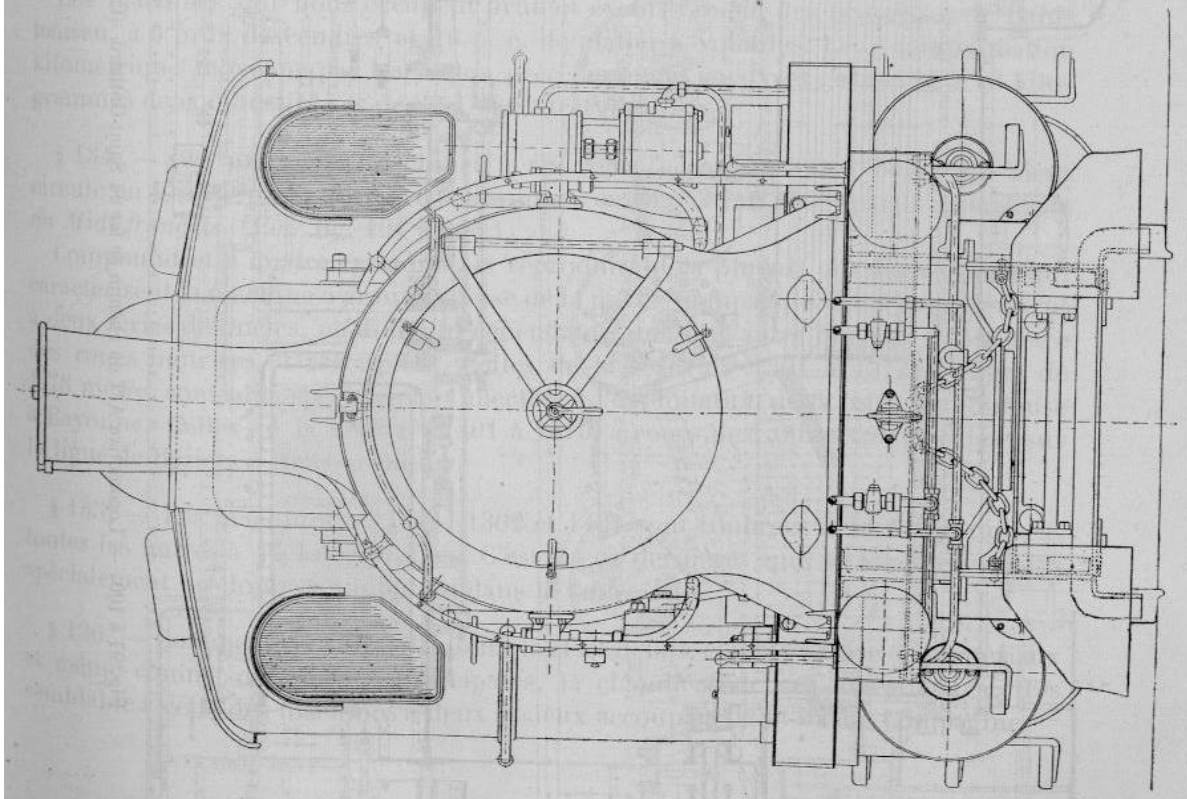


Fig. 94. — Locomotive A3T du chemin de fer du Saint-Gothard. (Élévation latérale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Vue d'arrière.



Vue d'avant.

Fig. 95 et 96. — Locomotive A3r du chemin de fer du Saint-Gothard.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

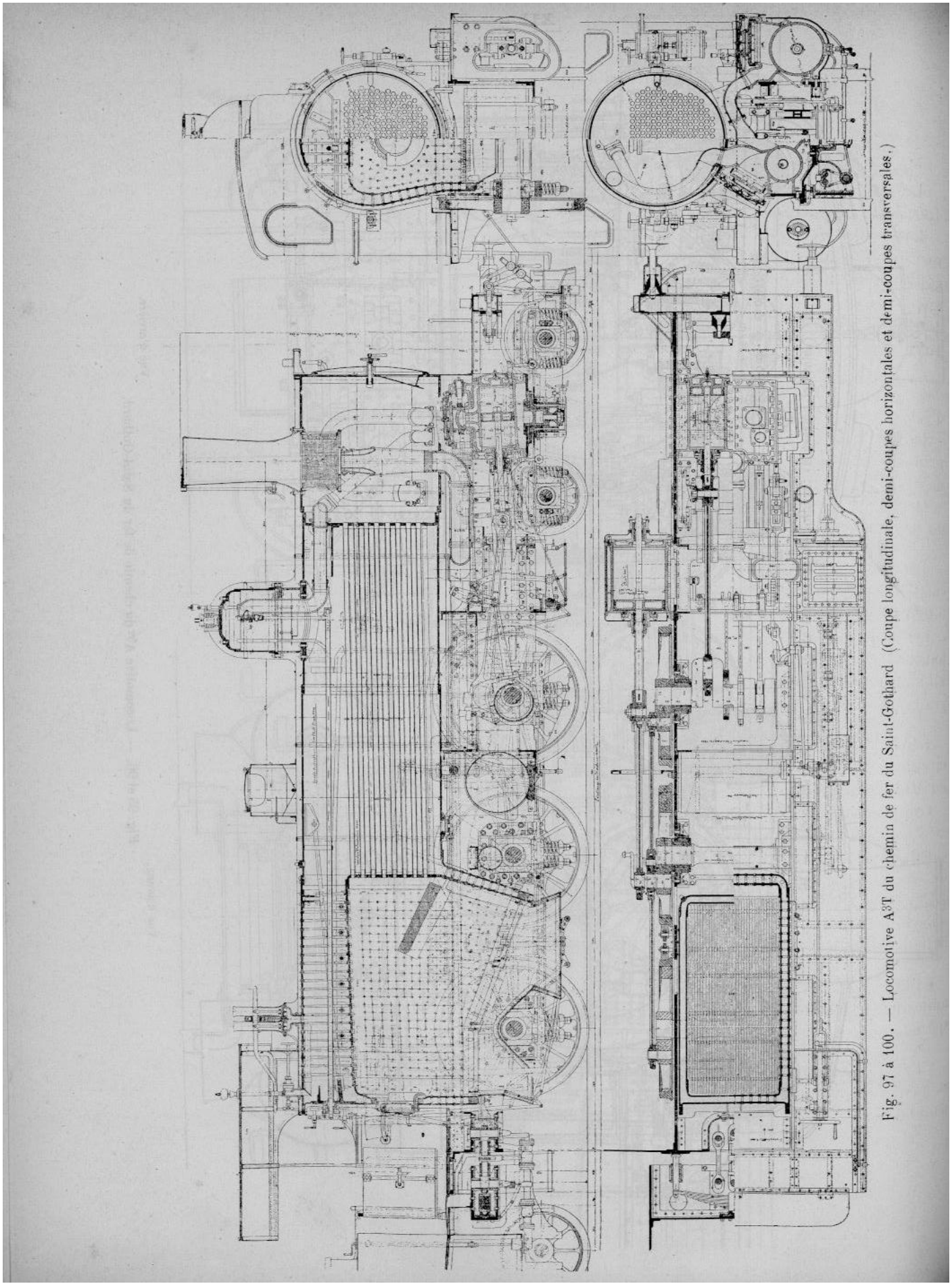


Fig. 97 à 100. — Locomotive A3T du chemin de fer du Saint-Gothard (Coupe longitudinale, demi-coupes horizontales et demi-coupes transversales.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les manivelles B. P., calées à 90° l'une de l'autre, sont respectivement orientées à 180° de la manivelle B. P. du même côté.

Les tiroirs, du genre Trick, sont équilibrés. Ils sont mis en mouvement par des mécanismes du type Walschaert. Un mécanisme de changement de marche unique gouverne les deux arbres de relevage, qui ne peuvent être manœuvrés indépendamment l'un de l'autre. L'orientation et la longueur de leurs bras sont telles qu'il existe entre les degrés d'admission H. P. et B. P. une différence qui varie entre 5 et 8 p. c. pour la marche en avant.

Un régulateur auxiliaire permet d'envoyer de la vapeur vive aux cylindres B. P. dans le but d'accélérer le démarrage; mais les cylindres H. P. sont dépourvus d'échappement direct.

La machine est pourvue d'un tachymètre système Klose, d'une sablière à air comprimé, enfin, du frein Westinghouse-Henry automatique et modérable, qui sert à modérer la vitesse sur les pentes.

Le frein à air agit, non seulement sur les roues accouplées, mais encore sur celles du bogie. Le freinage du bogie a donné de bons résultats.

§ 133. — Le tender à trois essieux pèse 14.85 tonnes à vide. La capacité des caisses à eau est de 17 mètres cubes. Les soutes à combustible peuvent en contenir 5,000 kilogrammes.

Les machines qui nous occupent brûlent exclusivement des briquettes de Dahlhausen, à 6 p. c. de cendres et 16 p. c. de matières volatiles. Leur consommation kilométrique moyenne par les trains précédemment analysés est de 12 à 13 kilogrammes de combustible et de 80 à 100 litres d'eau.

§ 134. — Les premières machines à six roues accouplées et à bogie qui aient circulé en France paraissent être celles mises en service, en 1896, par la *Compagnie du Midi français*. (*Voir* fig. 101 à 106.)

Compound et à quatre cylindres, et reproduisant la plupart des dispositions qui caractérisent la machine à grande vitesse de la même Compagnie, elles appartiennent à deux séries distinctes, ne différant cependant l'une de l'autre que par le diamètre des roues motrices et accouplées. Celles de la série n°s 1301 à 1312, à roues de 1.75 mètre, sont plus spécialement affectées à l'exploitation de la ligne de Toulouse à Bayonne. Celles de la série n°s 1401 à 1415, à roues de 1.60 mètre, circulent sur la ligne de Béziers à Neussargues.

§ 135. — Les machines n°s 1301, 1302 et 1401 sont timbrées à 14 kilogrammes; toutes les autres à 15 kilogrammes. C'est à ces dernières que se rapportent plus spécialement les données indiquées dans le tableau XL.

§ 136. — Comme disposition d'ensemble et de détail, comme nature des matériaux et même comme dimensions principales, la chaudière de ces machines est très semblable à celle des machines à deux essieux accouplés de la même Compagnie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

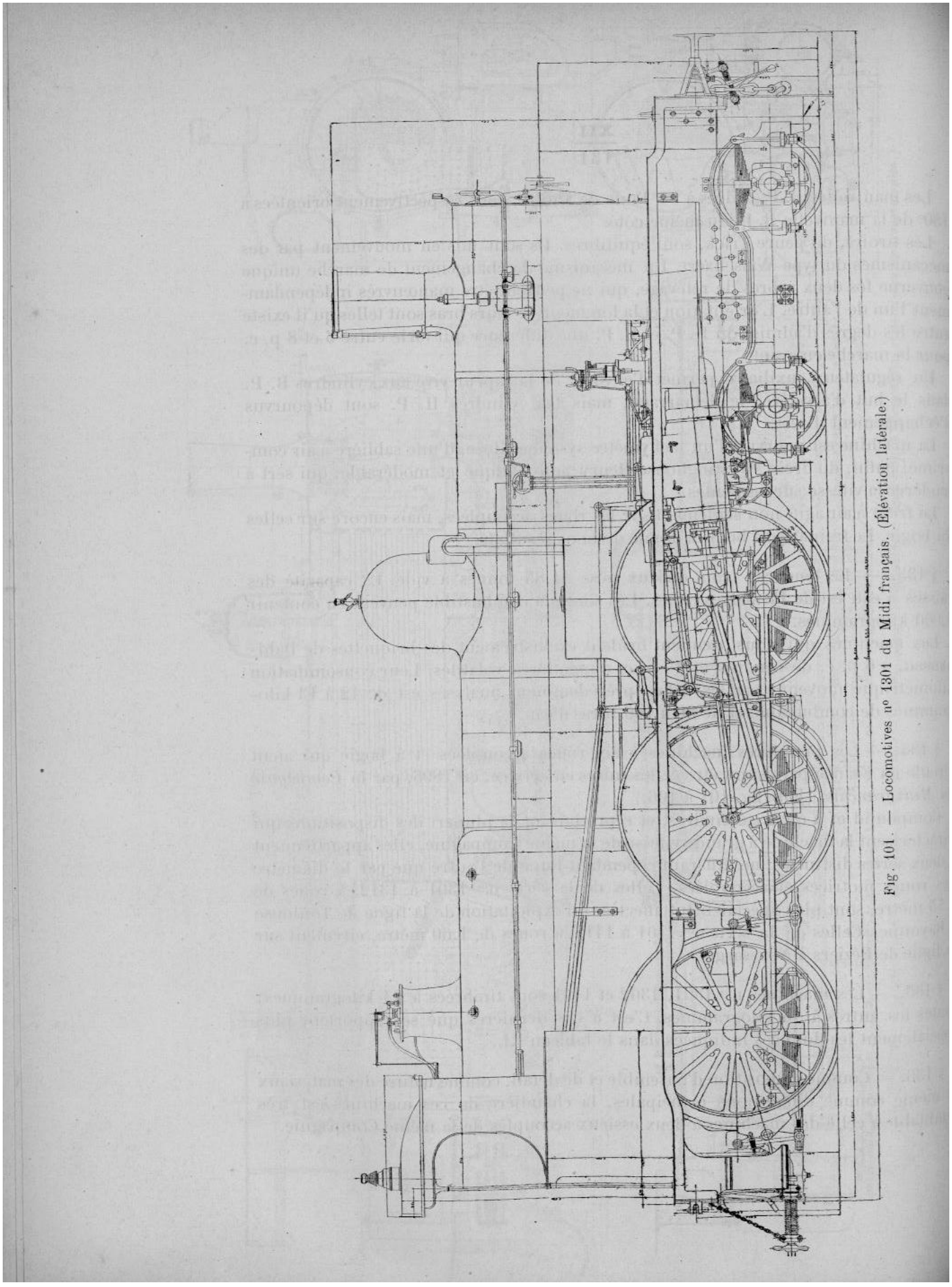


Fig. 101. — Locomotives nº 1301 du Midi français. (Élévation latérale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

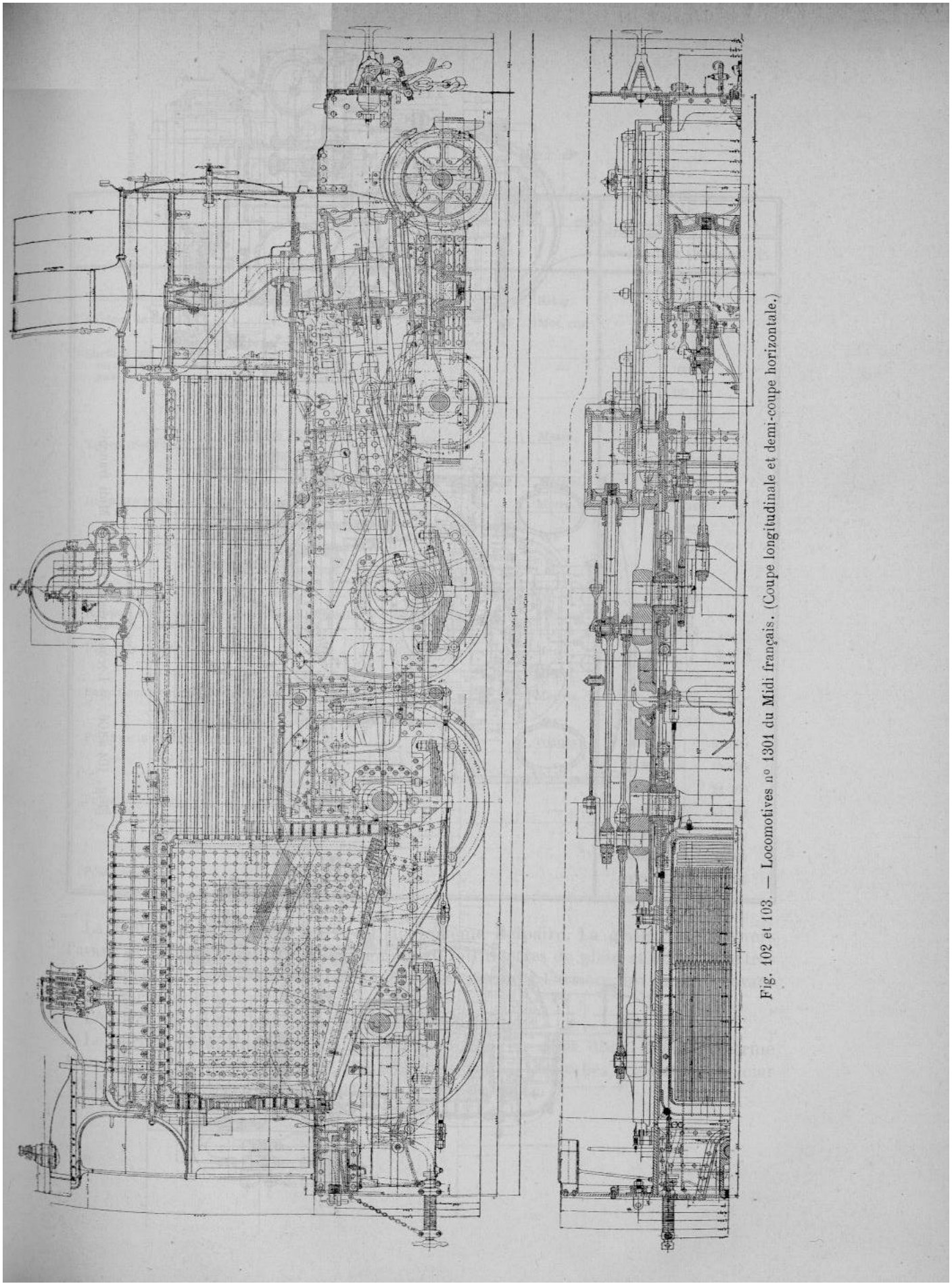


Fig. 102 et 103. — Locomotives nº 1301 du Midi français. (Coupe longitudinale et demi-coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

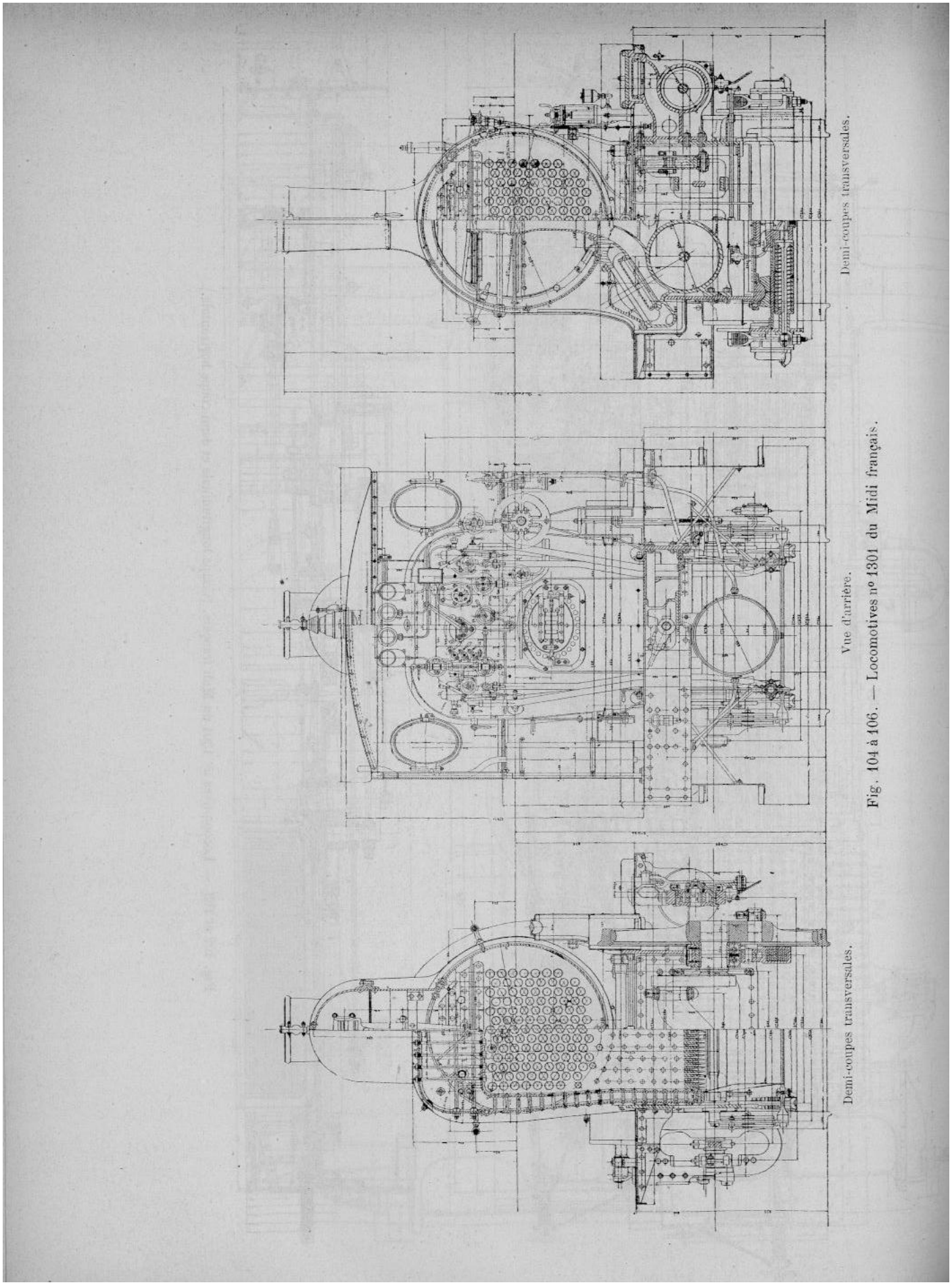


Fig. 104 à 106. — Locomotives nº 1301 du Midi français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XL.

		MACHINES :	
		N°s 1303-1312.	N°s 1402-1415.
Timbre de la chaudière	Kilog.	15	
Surface de la grille	Mèt. car.	2.49	
Surface de chauffe en contact avec les gaz : du foyer	—	12.64	
Surface de chauffe en contact avec les gaz : des tubes	—	169.10	
Surface de chauffe en contact avec les gaz : totale	—	181.74	
Tubes (Serve) : Nombre		111	
Tubes (Serve) : Diamètre extérieur	Mètre.	0.070	
Tubes (Serve) : Epaisseur	—	0.0025	
Tubes (Serve) : Longueur entre plaques tubulaires	Mètres.	4.100	
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique	Mètre.	1.348	
Cylindres : Diamètre des cylindres H. P.	—	0.350	
Cylindres : Diamètre des cylindres B. P.	—	0.550	
Cylindres : Course des pistons	—	0.640	
Rapport des volumes des cylindres B. P./H. P.		2 469	
Rapport du volume du réservoir intermédiaire à celui des deux cylindres H. P. réunis		2	
Diamètre des roues motrices	Mètre.	1.75	1.60
— — du bogie	Mètre.	0.850	
Empattement rigide	Mètres.	3.900	
— total	—	7.600	
Poids de la machine à vide	Tonnes.	54.800	54.500
Poids en ordre de marche : Bogie	—	15.800	15.800
Poids en ordre de marche : Premier essieu accouplé	—	14.700	14 700
Poids en ordre de marche : Deuxième essieu accouplé	—	14.800	14.700
Poids en ordre de marche : Troisième essieu accouplé	—	14.800	14 700
Poids en ordre de marche : Total	—	60.100	59.900
Poids adhérent	—	44.300	44.100

La boîte à feu, en acier doux, est du système Belpaire. La grille, inclinée vers l'avant et formée de barreaux de fer avec 20 millimètres de plein et 13 millimètres de vide, est pourvue d'un jette-feu. Le cendrier, fermé à l'arrière, est muni à l'avant d'une porte mobile.

Le foyer, en cuivre, renferme une voûte en briques.

Le corps cylindrique est, comme la boîte à feu, en acier doux. Il est de forme télescopique, la virole d'arrière étant la plus petite. Les tubes à ailettes, en acier doux, sont raboutis en cuivre et bagués du côté du foyer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le régulateur est dans le dôme.

La boîte à fumée est pourvue, comme celle des machines à deux essieux accouplés, d'une grille à flammèches en toile métallique superposée à la grille ordinaire à barreaux.

Les cylindres H. P. sont extérieurs au châssis. Placés entre le bogie et les premières roues accouplées, et inclinés de $^{75}/_{1000}$ sur l'horizon, ils actionnent l'essieu accouplé du milieu placé en avant du foyer.

Les cylindres B. P., intérieurs aux longerons et placés au-dessus du bogie, présentent également une inclinaison de $^{75}/_{1000}$. Leurs boîtes à vapeur, qui débordent à droite et à gauche par-dessus les longerons, sont accessibles de l'extérieur. Ils actionnent le premier essieu accouplé. Cet essieu se rattache au type Worsdell, en ce sens que les deux bras de manivelles les plus voisins des roues sont des plateaux circulaires. Mais les bras intérieurs sont supprimés, et, d'un tourillon de manivelle à l'autre, l'essieu affecte une forme prismatique, se rapprochant ainsi de la forme d'essieu connue sous le nom d'essieu Martin.

Les manivelles H. P. et B. P. d'un même côté de la machine, sont calées à 162° l'une par rapport à l'autre, celle de basse pression précédant celle de haute pression de la valeur de cet angle.

Le réservoir intermédiaire est placé entre la boîte à fumée et les cylindres B. P., auxquels il constitue une enveloppe de vapeur partielle. Il est pourvu d'une soupape de sûreté qui en limite la pression à 6 kilogrammes.

Les mécanismes de distribution et de changement de marche, de même que les appareils spéciaux pour activer le démarrage, sont en tous points semblables à ceux des machines à grande vitesse des Compagnies du Nord et du Midi précédemment décrites.

§ 137. — Les machines en question devant pouvoir fonctionner en contre-vapeur à la descente des fortes déclivités ont été pourvues des appareils nécessaires pour injecter, d'une part, un mélange de vapeur et d'eau dans la tuyère d'échappement, d'autre part, un mélange semblable dans les tuyaux d'échappement des cylindres H. P. Le fonctionnement en contre-vapeur a lieu réglementairement en compound, c'est-à-dire que les grands cylindres refoulent au réservoir la vapeur humide aspirée dans la tuyère d'échappement, pendant que les petits cylindres refoulent dans la chaudière la vapeur humide qu'ils puisent dans le réservoir. Toutefois, en cas de besoin, on peut faire travailler les quatre cylindres indépendamment les uns des autres, après avoir mis les cylindres H. P. en échappement direct et ouvert le régulateur auxiliaire. On peut augmenter ainsi notablement l'effort de retenue développé par la machine.

Les longerons principaux sont intérieurs. Ceux du bogie, au contraire, sont extérieurs. Ce dernier, du type de la Compagnie du Nord, à pivot central avec appuis latéraux, a un jeu transversal de 30 millimètres dans chaque sens, contrôlé par des ressorts à boudin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les machines en question sont pourvues de deux sablières à vapeur placées soit sur les couvre-roues (machines n° 1301), soit sur la chaudière (machines n° 1402), de l'enregistreur de vitesse système Haushælter et du frein à air comprimé système Wenger, agissant sur les six roues accouplées.

Le robinet d'isolement du cylindre à frein de la machine est placé à la portée du mécanicien, pour lui permettre de paralyser ce cylindre en cas de marche à contre-vapeur.

§ 138. — Le tender est à deux essieux. Il pèse vide 12.100 tonnes et peut recevoir 10,000 litres d'eau et 3,000 kilogrammes de combustible.

La consommation kilométrique des machines en question s'est élevée en moyenne, du 1er juillet au 30 septembre 1899, à 10.162 kilogrammes au dépôt de Toulouse (machines n° 1301), avec un train moyen remorqué de 12.03 véhicules, soit d'environ 150 tonnes, et à 11.211 kilogrammes au dépôt de Béziers (machines n° 1401), avec un train moyen de 8.6 véhicules, soit d'environ 90 tonnes.

La composition et la nature des combustibles délivrés sont indiquées dans le tableau XLI.

TABLEAU XLI.

Désignation et provenance.	Proportions distribuées.	TENEUR en cendres.	TENEUR en matières volatiles.
Dépôt de Toulouse (machine n° 1301).			
Houille grêle ou agglomérés . . . Carmaux.	10 p. c.	10 p. c	25.65
Grenus . . . . . —	15 —	10 1/2 p. c.	24.80
Menus. . . . . —	37.5 —	11 1/2 —	24.80
— . . . . . Graissessac.	37.5 —	11 p. c.	15.20
Moyennes	100 p. c.	11 p. c.	22.46
Dépôt de Béziers (machine n° 1401).			
Houille, grêle ou agglomérés . . . Graissessac.	20 p. c.	10 p. c.	21.50
Carmaux .			25.65
Menus. . . . . —	30 —	11 1/2 p. c.	24.20
— . . . . . Graissessac.	50 —	11 p. c.	15.20
Moyennes	100 p. c.	10.95 p. c.	21.64

§ 139. — Nous ajouterons que les machines nos 1301 et 1302 ont fait l'objet, tant sur le réseau du Midi que sur celui du Nord, d'essais dont les résultats les plus intéressants sont indiqués dans le tableau XLII.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLII.

Dates.	Stations d'arrêt.	Kilomètres parcourus.	Tonnage remorqué.	Temps employé.	VITESSE MOYENNE brute.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Profil.
		Km			Km	Km	
	Pau	...		...	...	...	
		28.5		22'	77.7	85.5	
	Saint-Pé	...		...	...	...	
		30.9		23'	80.6	88.2	
	Tarbes	...		...	...	...	
20 octobre 1896.		17.7	125t	19'	55.8	62.4	Voir fig. 16.
	Tournay	...		...	...	...	
		12.6		21'	36.0	39.7	
	Capvern	...		...	...	...	
		22.1		18'	73.6	82.8	
	Montréjeau	...		...	...	...	
	Montréjeau	...		...	...	...	
		22.1		21'	63.1	68.5	
	Capvern	...		...	...	...	
		12.6		14'	54.»	63.0	
	Tournay	...		...	...	...	
20 octobre 1896.		17.7	125t	16'	66.3	75.8	Voir fig. 16.
	Tarbes	...		...	...	...	
		30.9		25'	74.1	80.6	
	Saint-Pé	...		...	...	...	
		28.5		25'	68.4	80.2	
	Pau	...		...	...	...	
	Pau	...		...	...	...	
		28.5		26'	65.7	71.2	
6 novembre 1896.	Saint-Pé	...	200t	...	...	...	Voir fig. 16.
		30.9		24'	77.2	87.4	
	Tarbes	..		...	...	...	
	Tarbes	...		...	...	...	
		30.9		27'	68.6	74.1	
6 novembre 1896.	Saint-Pé	...	200t	...	...	...	Voir fig. 16.
		28.5		20'	85.5	95.0	
	Pau	...		..	...	...	
	Bordeaux	...		...	...	...	
		42.4		61'	41.7	43.1	
	Lamothe	...		...	...	...	
16 décembre 1896.		33.2	675t	49'	40.6	42.3	Voir fig. 8.
	Ychoux	...		...	...	...	
		33.1		42'	47.2	49.6	
	Morcenx	...		..	...	...	
	Morcenx	...		...	...	...	
		33.1	674t	46'	43.1	45.1	
	Ychoux	...		...	...	...	
16 décembre 1896.		33.2		43'	46.3	48.5	Voir fig. 8.
	Lamothe	...	660t	...	...	...	
		41.4		57'	43.5	45.1	
	Bordeaux (Bifurcation)	..		...	...	...	
	Paris	...		...	...	...	
		50.»		38'	78.»	83.3	
6 janvier 1897.	Creil	...	142t	...	...	...	Voir fig. 10.
		80.»		54'	88.8	92.3	
	Amiens	...		...	...	...	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine n° 1402 a fait l'objet d'essais semblables, d'où il résulte qu'avec une charge brute de 140 tonnes, elle peut soutenir la vitesse de 38 kilomètres à l'heure sur les parcours à rampes de 30 millimètres par mètre, et celle de 30 kilomètres à l'heure sur les rampes de 33 millimètres par mètre de la ligne de Béziers à Neussargues.

§ 140. — La direction des chemins de fer de l'*État hongrois* a mis en service, en 1897, sur les sections accidentées des lignes de Pest à Ruttka et de Pest à Fiume, des machines compound à deux cylindres, dont les figures 107 et 108 font connaître la disposition générale et dont les éléments principaux sont les suivants :

Timbre de la chaudière	13 atmosphères =	13.4	kilogrammes.
Surface de la grille		2.6	mètres carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz — du foyer		11.43	—
— des tubes		137.47	—
— totale		148.90	—
Tubes (lisses) — Nombre		207	
— Diamètre extérieur		0.052	mètre.
— — intérieur		0.0465	—
— Longueur entre les plaques tubulaires		4.500	mètres.
Diamètre intérieur maximum du corps cylindrique		1.400	mètre.
Capacité de la chaudière en eau		5.000	litres
— — en vapeur		2.000	—
— — totale		7.000	—
Cylindres — Diamètre du cylindre H. P.		0.510	mètre.
— — — B. P.		0.750	—
— Course des pistons		0.650	—
Rapport des volumes des cylindres		2.16	
Rapport du volume du réservoir intermédiaire à celui du cylindre H. P.		1.3	
Diamètre des roues accouplées		1.606	mètre.
— — du bogie		1.040	—
Poids de la machine à vide		52.600	tonnes.
Poids en ordre de marche — Premier essieu du bogie		7.500	—
— Deuxième —		7.500	—
— Premier essieu accouplé		14.200	—
— Deuxième —		14.200	—
— Troisième —		14.300	—
— Total		57.700	—
Poids adhérent		42.700	—

§ 141. — La chaudière est en fer fondu. Elle comporte une boîte à feu à berceau Crampton. Le foyer, en cuivre, dont le ciel est armaturé au moyen de tirants verticaux, renferme une voûte en briques. La grille est inclinée à $^1/_{10}$. La boîte à fumée a 1.80 mètre de longueur. Le régulateur est dans le dôme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

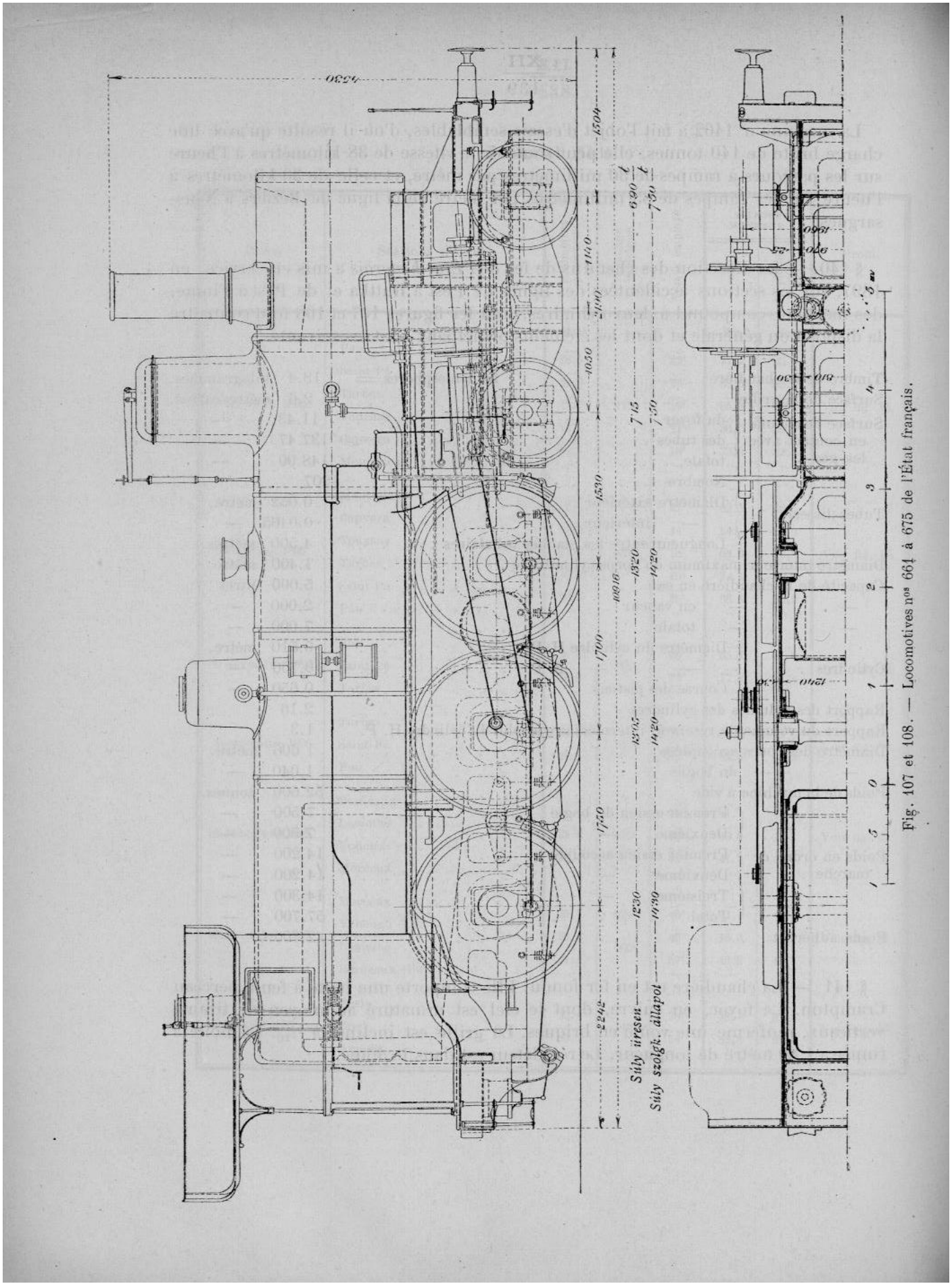


Fig. 107 et 108. — Locomotives nos 661 à 675 de l'État français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les longerons, intérieurs aux roues, sont coudés. Très rapprochés de l'avant, où leur écartement n'est que de 81 centimètres, ils sont fortement entretoisés au droit du coude, c'est-à-dire dans la partie comprise entre le bogie et les roues accouplées d'avant. Ils sont pourvus de plaques de garde en acier coulé.

Le bogie, à châssis intérieur très étroit, est analogue à celui de la machine à grande vitesse de la même Administration. Toutefois, son pivot hémisphérique repose sur une crapaudine comportant un jeu latéral, contrôlé par des ressorts de rappel.

Les cylindres, extérieurs au châssis, sont placés entre les roues du bogie. Ils ont une inclinaison de 0.07 et actionnent le deuxième essieu accouplé.

Le réservoir intermédiaire, formé d'un tuyau qui traverse la boîte à fumée, est pourvu d'une soupape de sûreté réglée à 6 $^1/_2$ atmosphères.

Le mécanisme de distribution, du type Walschaert, actionne des tiroirs de Trick équilibrés. L'arbre de relevage ayant reçu à droite et à gauche des bras d'inégale longueur, le coulisseau B. P. est toujours plus éloigné du milieu de la coulisse que le coulisseau H. P. Il en résulte entre les degrés d'admission H. P. et B. P. une différence d'environ 10 p. c. En particulier, lorsque la marche est à fond de course, les admissions sont de 70 p. c. au cylindre H. P. et de 81 p. c. au cylindre B. P.

L'appareil de démarrage comporte une valve permettant d'envoyer de la vapeur vive au réservoir intermédiaire.

La machine est pourvue du double frein Westinghouse automatique à action rapide et modérable agissant sur les roues motrices et accouplées et d'un enregistreur de vitesse système Hausshælter.

§ 142. — Le tender est à trois essieux. Son poids à vide est de 13.500 tonnes. Il a une contenance de 12 $^1/_2$ mètres cubes d'eau et de 8 $^3/_8$ mètres cubes de combustible.

Exprimée en charbon de Salgó Tarján vaporisant cinq fois son poids d'eau, la consommation kilométrique moyenne de ces machines est de 20.5 kilogrammes sur la ligne de Pest à Ruttka et de 21.7 kilogrammes sur la ligne de Pest à Fiume.

Toutefois, sur cette dernière ligne, elles ne reçoivent que du charbon de Szabolcs contenant 22 p. c. de cendres et 22.11 p. c. de matières volatiles, vaporisant 6 $^1/_2$ litres d'eau par kilogramme.

§ 143. — A la suite des essais faits avec la machine n° 1301 du Midi sur le réseau du Nord et dont il a été question ci-dessus, la *Compagnie du Nord français* a fait construire, en 1897, cinquante machines semblables, dont les données principales sont les suivantes :

Timbre de la chaudière		15.00	kilogrammes.
Surface de la grille		2.34	mèt. carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	11.10	—
	des tubes (Serve)	169.60	—
	total	180.70	—

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tubes (Serve)	Nombre	107	
	Diamètre extérieur	0.070	mètre.
	Épaisseur	0.0025	—
	Longueur entre les plaques tubulaires	4.100	mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.347	mètre.
Cylindres	Diamètre des cylindres H. P.	0.350	—
	— — B. P.	0.550	—
	Course des pistons	0.640	—
Rapport des volumes des cylindres		2.469	
Rapport du volume du réservoir intermédiaire à celui des deux cylindres H. P. réunis		1.95	
Diamètre des roues motrices		1.75	mètre.
— — du bogie		0.85	—
Empattement rigide		3.900	mètres.
— total		7.550	—
Poids en ordre de marche	Bogie	16.100	tonnes.
	Premier essieu accouplé	14.150	—
	Deuxième —	14.190	—
	Troisième —	14.130	—
	Total	58.570	—
Poids adhérent		42.470	—

§ 144. — En raison de la similitude que présentent ces machines avec celles de la Compagnie du Midi, précédemment décrites, nous nous bornerons à signaler ici les principales variantes.

La grille est formée de barreaux en fonte, avec 9 millimètres de plein et 10 millimètres de vide.

La boîte à fumée ne renferme pas de grille à flammèches en toile métallique superposée à celle ordinaire à barreaux.

Les deux sablières des machines du Midi sont remplacées par une sablière unique placée sur la chaudière.

Les machines sont pourvues du frein Westinghouse à action rapide, les sabots agissant à l'avant des six roues accouplées. Elles sont dépourvues d'indicateurs de vitesse.

Le tender est à trois essieux. Il pèse à vide 15.900 tonnes et contient 15,200 litres d'eau et 4,000 kilogrammes de combustible. Il se termine à l'arrière par une paroi verticale continue, sur laquelle les tampons de choc ne font saillie que de la quantité strictement nécessaire, afin de réduire au minimum la résistance due aux remous atmosphériques entre l'arrière du tender et le premier véhicule du train.

§ 145. — Les machines à six roues accouplées de la Compagnie du Nord consomment les mêmes combustibles que celles à quatre roues accouplées.

Aux trains nos 409bis et 426bis, précédemment cités, les consommations kilométriques moyennes ont été les suivantes :

Train 409*bis* . . . . 104.9 litres d'eau et 15 kilogrammes de charbon ;
— 426*bis* . . . . 101.6 — 15 — — .

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

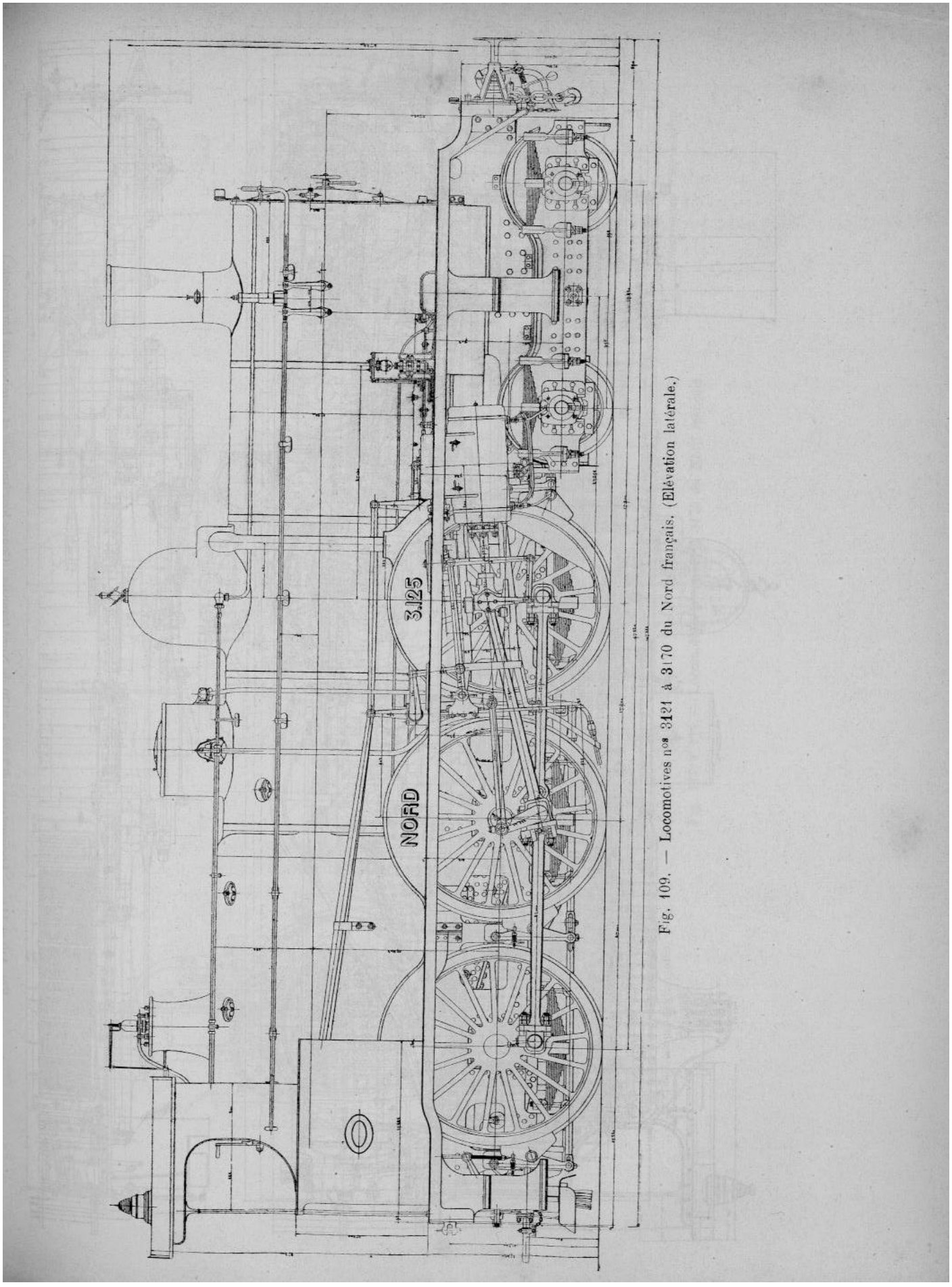


Fig. 109. — Locomotives nos 3121 à 3170 du Nord français. (Élévation latérale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

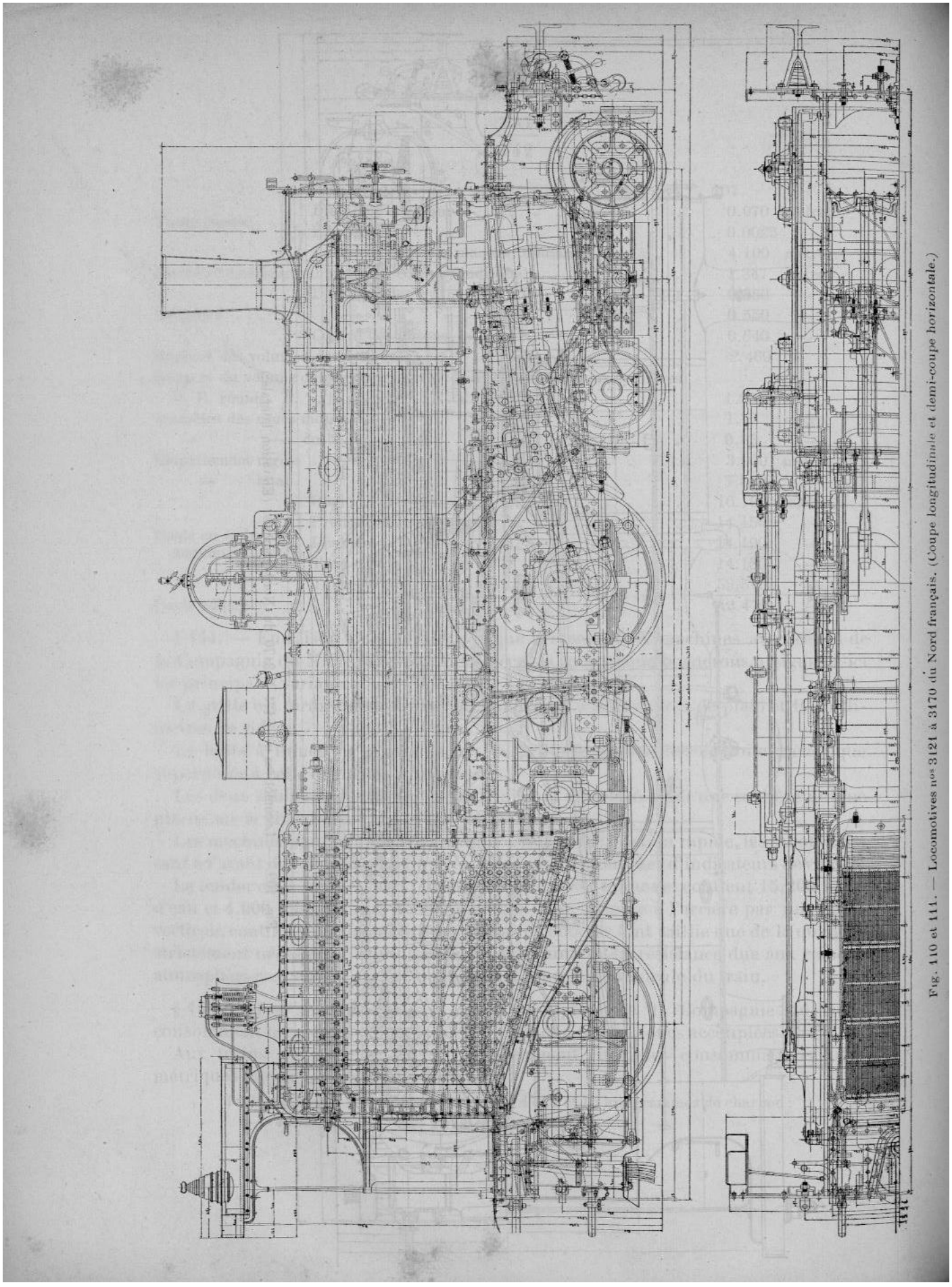


Fig. 110 et 111. — Locomotives nos 3121 à 3170 du Nord français. (Coupe longitudinale et demi-coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

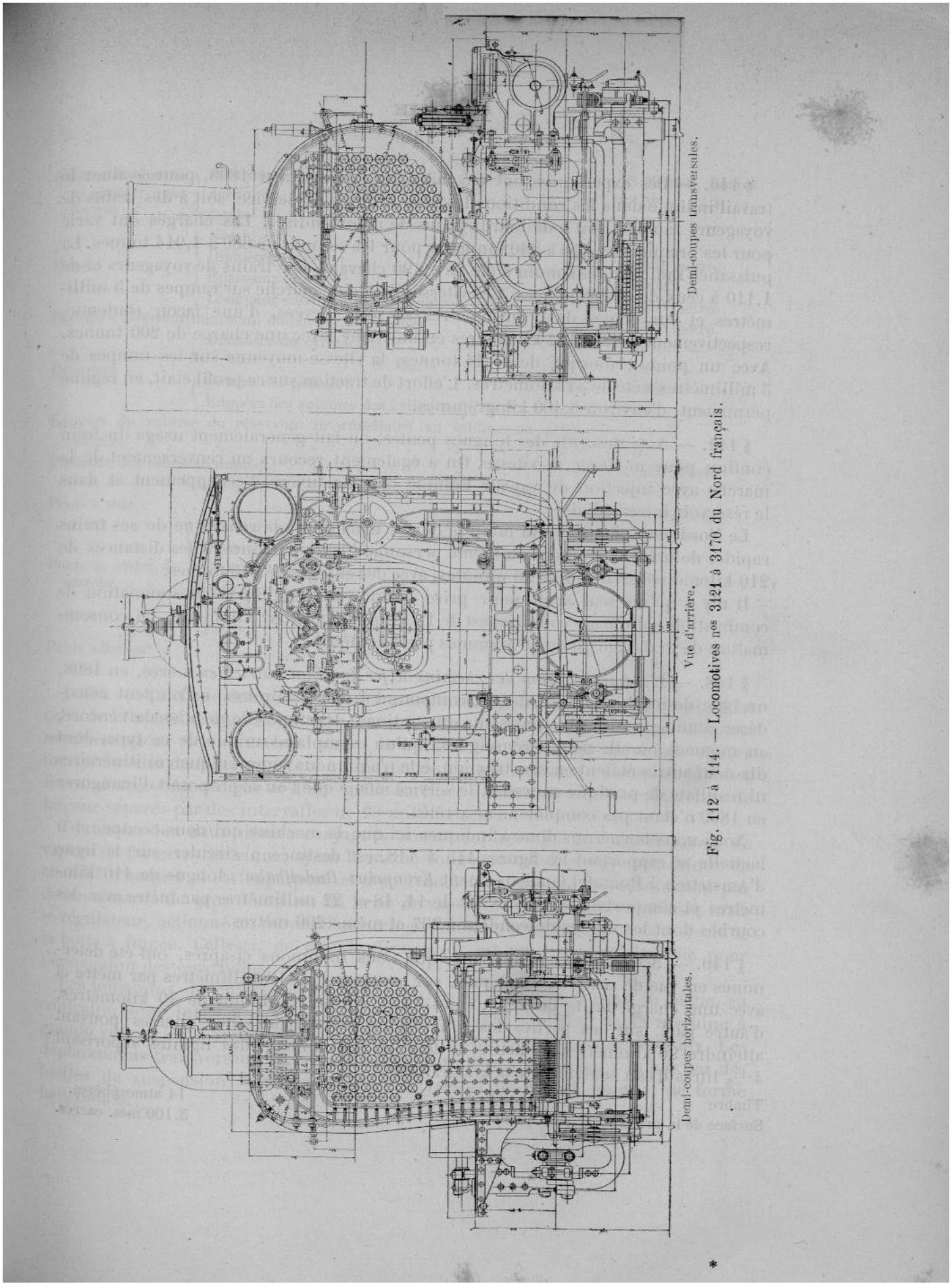


Fig. 112 à 114. — Locomotives nos 3121 à 3170 du Nord français.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 146. — Des expériences ont été faites, en avril et mai 1898, pour évaluer le travail indiqué dans les conditions les plus diverses du service, soit à des trains de voyageurs rapides, soit à de lourds trains de marchandises. Les charges ont varié pour les premiers de 158 à 240 tonnes et pour les seconds de 680 à 1,014 tonnes. La puissance indiquée maximum a été de 1,190 chevaux aux trains de voyageurs et de 1,110 à ceux de marchandises. Les vitesses de pleine marche sur rampes de 5 millimètres et sur pentes de 5 millimètres se sont élevées, d'une façon soutenue, respectivement à 82 et 112 kilomètres en moyenne, avec une charge de 200 tonnes. Avec un poids remorqué de 1,014 tonnes, la vitesse moyenne sur les rampes de 5 millimètres a été de 34 kilomètres. L'effort de traction sur ce profil était, en régime permanent, d'environ 5,400 kilogrammes.

§ 147. — A la descente des longues pentes, on fait généralement usage du frein continu pour modérer la vitesse. On a également recours au renversement de la marche avec injection de vapeur humide dans la tuyère d'échappement et dans le réservoir intermédiaire.

Le Nord emploie un grand nombre de ces machines à la remorque de ses trains rapides de houille. Montées du même personnel, elles parcourent des distances de 210 kilomètres en 6 heures 25 minutes, avec des charges de 675 tonnes.

Il n'y a qu'un seul arrêt pour prise d'eau à ces trains; la consommation de combustible (allumage compris) est de 11 kilogrammes par kilomètre. La consommation de graissage est de 20 grammes par kilomètre.

§ 148. — L'*Administration des chemins de fer de l'État autrichien* a créé, en 1898, un type de machine de montagne, compound à deux cylindres, qu'on peut considérer comme un des plus puissants du continent. Comme elle ne possédait encore, au moment où elle nous a renseignés, qu'un exemplaire unique de ce type, dont dix-neuf autres étaient en construction, elle n'a pu nous communiquer ni itinéraires ni résultats de pratique courante, le service même que l'on se proposait d'inaugurer en 1899 n'étant pas complètement arrêté.

Nous nous bornerons donc à indiquer ici que la machine qui nous occupe, et à laquelle se rapportent les figures 115 à 118, est destinée à circuler sur la ligne d'Amstetten à Pontafel (anciennement *Kronprinz Rudolfbahn*), longue de 410 kilomètres et comportant des déclivités de 14, 18 et 22 millimètres par mètre avec des courbes dont les rayons descendent à 237 et même 206 mètres.

§ 149. — Ses éléments principaux, que nous indiquons ci-après, ont été déterminés en vue de réaliser, d'une part, sur les rampes de 18 millimètres par mètre et avec une charge brute de 200 tonnes, une vitesse minimum de 40 kilomètres, d'autre part, sur les parties les plus faciles du parcours des vitesses pouvant atteindre 90 kilomètres à l'heure, le tout en consommant des lignites vaporisant 4 $^1/_2$ litres d'eau seulement par kilogramme.

Timbre	14 atmosphères.
Surface de la grille	3.100 mèt. carrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

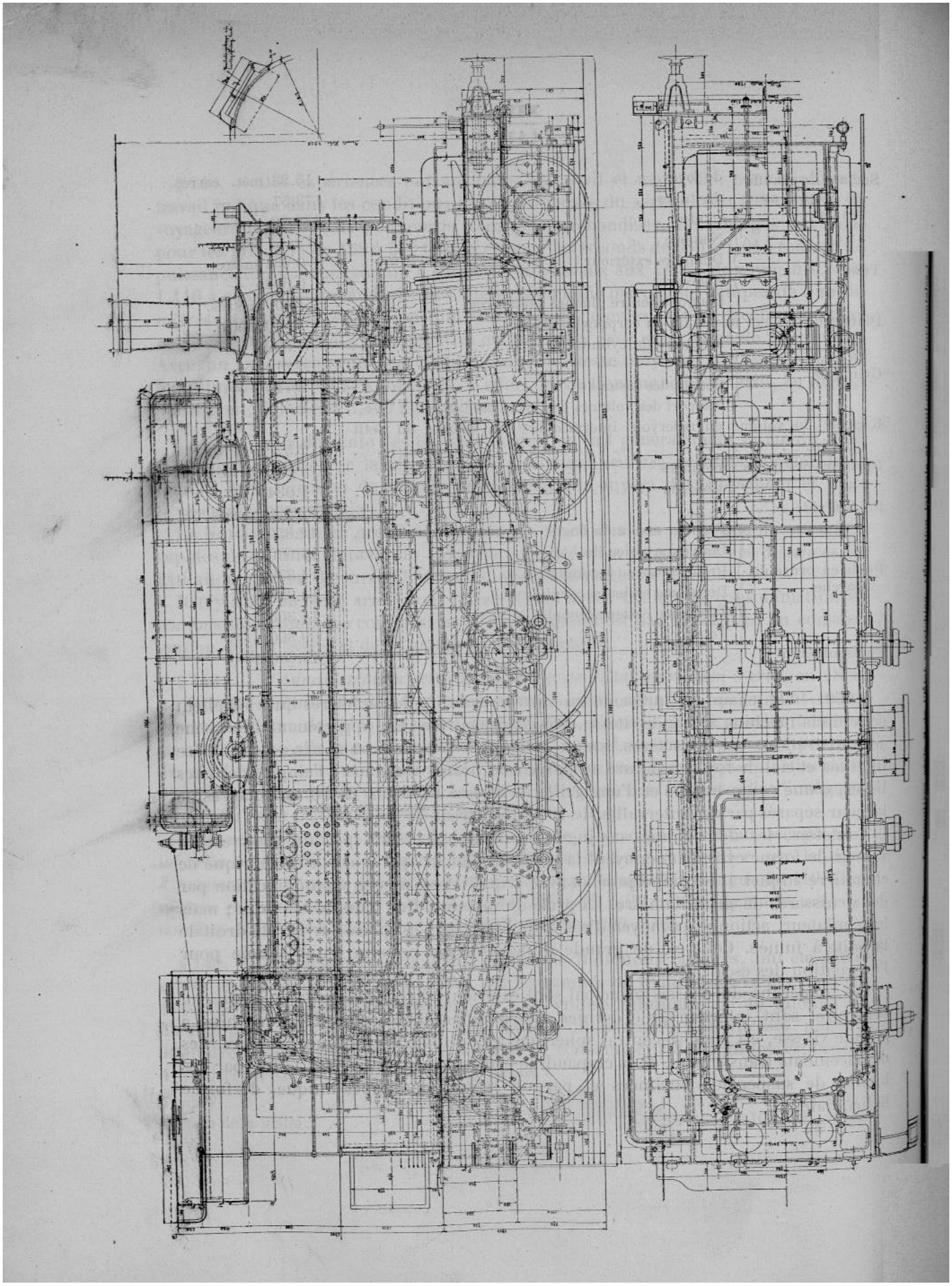
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	15.23 mèt. carrés.
	des tubes	173.57 —
	totale	188.80 —
Tubes	Nombre	273.
	Diamètre extérieur	0.051 mètre.
	Épaisseur	0.0025 —
	Longueur entre plaques tubulaires	4.400 mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.566 mètre.
Cylindres	Diamètre du cylindre H. P.	0.530 —
	— — B. B.	0.810 —
	Course des pistons	0.720 —
	Rapport des volumes des cylindres	2.33
Rapport du volume du réservoir intermédiaire au volume du petit cylindre		2.57
Diamètre des roues accouplées		1.820 mètre.
— — du bogie		1.034 —
Poids à vide		63.200 tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu du bogie	12.850 —
	Deuxième essieu du bogie	13.900 —
	Premier essieu accouplé	14.350 —
	Deuxième essieu accouplé	14.350 —
	Troisième essieu accouplé	14.350 —
	Total	69.800 —
Poids adhérent		43.050 —

§ 150. — La chaudière présente un certain nombre de caractères qui rappellent celle de la machine à grande vitesse, précédemment décrite, appartenant à la même administration. Ces caractères sont : la boîte à feu Crampton avec face arrière inclinée et ciel de foyer armaturé au moyen de tirants verticaux ; l'emploi de tubes lisses, d'une voûte longue et d'une grille inclinée à barreaux de 15 millimètres de largeur séparés par des intervalles de 20 millimètres.

Toutefois, les deux dômes conjugués sont remplacés ici par un réservoir de vapeur de forme cylindrique, ayant la même longueur que le corps cylindrique de chaudière auquel il est superposé et avec lequel il est mis en communication par deux cuissards de gros diamètre. La prise de vapeur a lieu dans ce réservoir ; mais le régulateur, actionné au moyen d'une tringle latérale, est placé sur le côté droit de la boîte à fumée. Celle-ci, de grande dimension, est pourvue d'une trémie pour l'évacuation des escarbilles.

Les longerons du châssis principal sont extérieurs aux roues, ceux du bogie, au contraire, sont intérieurs. Ce dernier, assez différent de celui de la machine à grande vitesse, est à appui central sphérique avec supports élastiques latéraux. Les déplacements transversaux de la crapaudine centrale sont contrôlés à la fois par des bielles de suspension inclinées et par un ressort de rappel unique, de forme hélicoïdale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

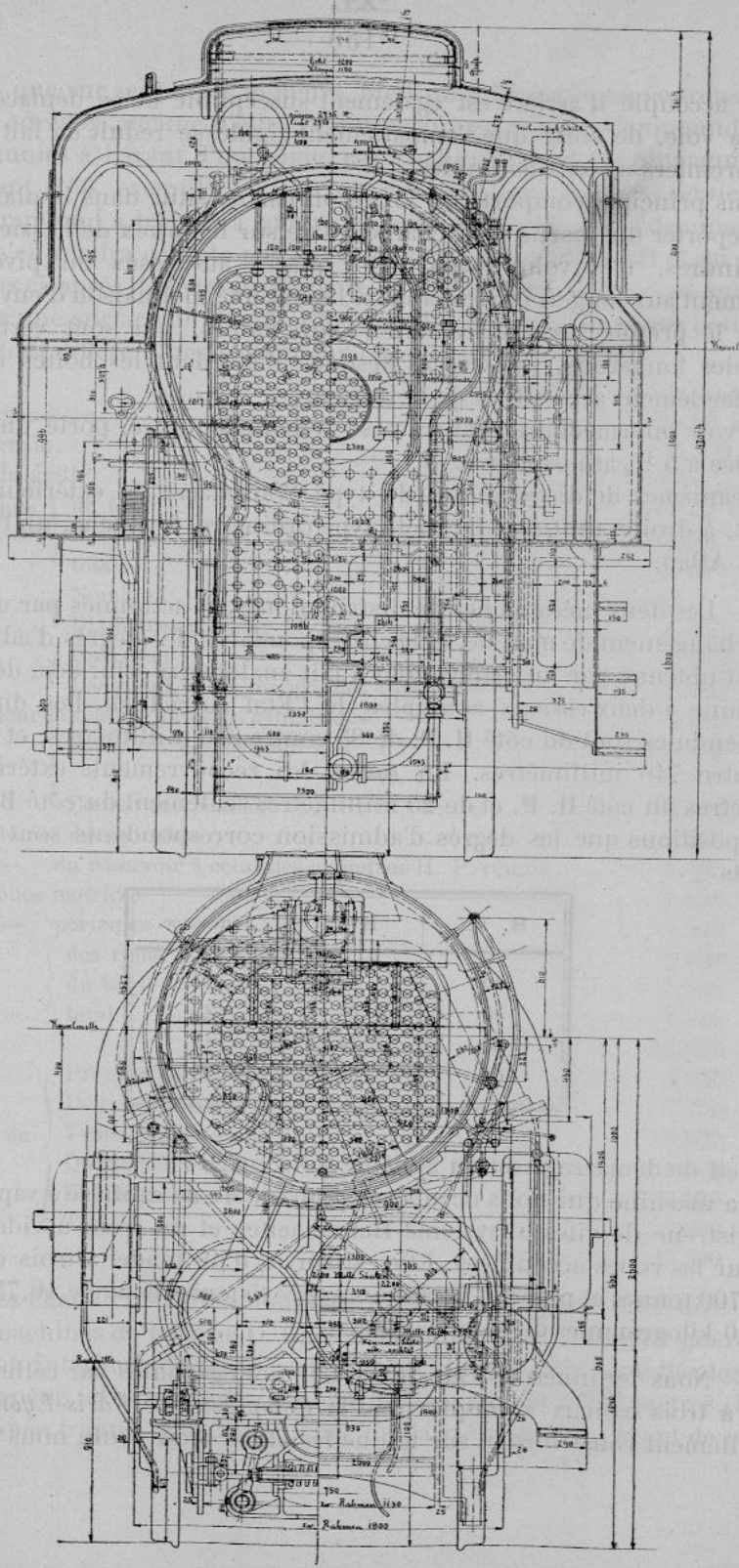


Fig. 117 et 118. — Locomotives série 9 de l'État autrichien. (Demi-coupes transversales.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'essieu accouplé d'arrière est également susceptible de se déplacer transversalement à la voie, de sorte que l'empattement rigide se réduit en fait à l'entre-axe des deux premiers essieux accouplés.

Le châssis principal comporte un longeron partiel situé dans le plan méridien et destiné à reporter une partie de la charge totale sur le milieu de l'essieu coudé.

Les cylindres, très volumineux, sont placés au-dessus du pivot du bogie, intérieurement aux longerons principaux. Ils ont une inclinaison d'environ $^{80}/_{1000}$ et actionnent le premier essieu accouplé. Leurs tables, qui sont verticales, sont à l'aplomb des longerons, par-dessus desquels débordent les boîtes à vapeur, par suite très facilement accessibles de l'extérieur.

Le réservoir intermédiaire, qui traverse la boîte à fumée, porte une soupape de sûreté réglée à 5 $^1/_2$ atmosphères.

Les mécanismes de distribution, du type Walschaert, et extérieurs au châssis, actionnent, à droite, un tiroir H. P. du type ordinaire, à gauche, un tiroir B. P. du type Trick-Allan.

§ 151. — Les deux mécanismes de distribution sont actionnés par un seul mécanisme de changement de marche, et la correspondance des degrés d'admission H. P. et B. P. est obtenue par un artifice tout à fait analogue à celui déjà décrit à propos de la machine à deux essieux accouplés de l'État autrichien. Les dimensions des bras des pendules sont du côté H. P. de 85 contre 680 millimètres, et du côté B. P. de 70 contre 746 millimètres. En outre, les recouvrements extérieurs sont de 35 millimètres du côté H. P. et de 25 millimètres seulement du côté B. P. Il résulte de ces dispositions que les degrés d'admission correspondants sont sensiblement les suivants :

H. P.	B P.	Différence.
40	55	15
50	65	15
60	72	12
90	90	...

L'appareil de démarrage est du système Gölsdorf.

Enfin, la machine qui nous occupe est pourvue d'une sablière à vapeur Gresham, de l'enregistreur de vitesse système Hausshaelter et du frein à vide automatique agissant sur les roues accouplées. Elle est suivie d'un tender à trois essieux pesant à vide 15,700 tonnes et pouvant porter un approvisionnement de 16,750 litres d'eau et de 7,200 kilogrammes de combustible.

§ 152. — Nous terminerons cette série de monographies par celle des nouvelles machines à trois essieux accouplés que la *Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée* fait actuellement construire et sur lesquelles elle a bien voulu nous renseigner en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même temps que sur ses autres moteurs, bien qu'à l'époque où ces renseignements nous ont été adressés aucune d'elles ne fût encore en service. Compound et à quatre cylindres, munies à l'avant d'un bogie, ces machines, dont la Compagnie possédera prochainement 150 exemplaires, seront affectées aux mêmes services que les machines compound à trois et à quatre essieux accouplés précédemment décrites. Ainsi qu'on s'en rendra compte par l'examen des figures 119 à 121 et du tableau que nous donnons ci-après de leurs principaux éléments, elles différeront surtout de ces dernières par une surface de chauffe plus grande, des cylindres plus petits et par un agencement tout différent des principaux organes du mécanisme.

		Machines n°s 3401-3550.
Timbre de la chaudière.		15.00 kilogrammes.
Surface de la grille.		2.480 —
Inclinaison de la grille		17°
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	12.53 mèt. carrés.
	des tubes	176.98 —
	totale.	189.51 —
Tubes (Serve)	Nombre	150
	Diamètre extérieur	0.065 mètre
	Épaisseur	0.0025 —
	Longueur entre les plaques tubulaires	3.400 mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.409 mètre.
Cylindres	Diamètre des cylindres H P.	0.340 —
	— — B. P.	0.540 —
	Course des pistons	0.650 —
Rapport des volumes des cylindres.		2.52
— —	du réservoir à celui des cylindres H. P. réunis	1.80
Diamètre des roues motrices		1.650 mètre.
— —	porteuses	1.000 —
Empattement	des roues accouplées	3.930 mètres.
	du bogie	2.000 —
	total	7.885 —
Poids à vide		55.020 tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu	7.750 —
	Deuxième essieu.	7.750 —
	Troisième essieu	14.500 —
	Quatrième essieu	14.500 —
	Cinquième essieu	14.500 —
	Total	59.000 —
Poids adhérent		43.500 —

§ 153. — Les chaudières de ces nouvelles machines sont pour ainsi dire identiques à celles des machines de la série C. 61-150 dont elles ne diffèrent guère que par l'aménagement intérieur du dôme sur l'avant duquel sont installés les appareils de prise de vapeur, et par la boîte à fumée qui, longue de 2.395 mètres, fait saillie sur une cheminée trapue, plus rapprochée de l'arrière que de l'avant de cette boîte.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

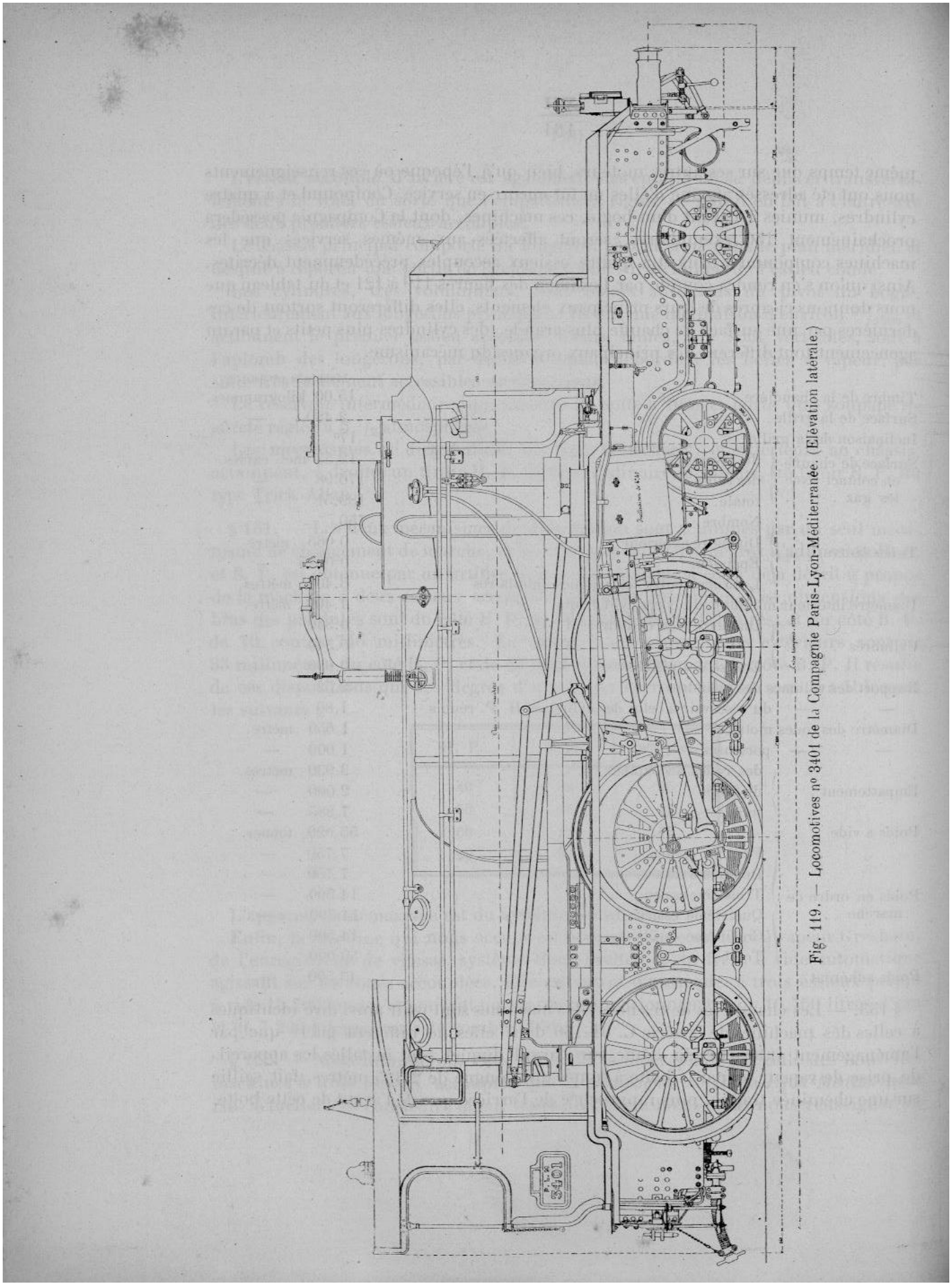


Fig. 119. — Locomotives nº 3401 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Élévation latérale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

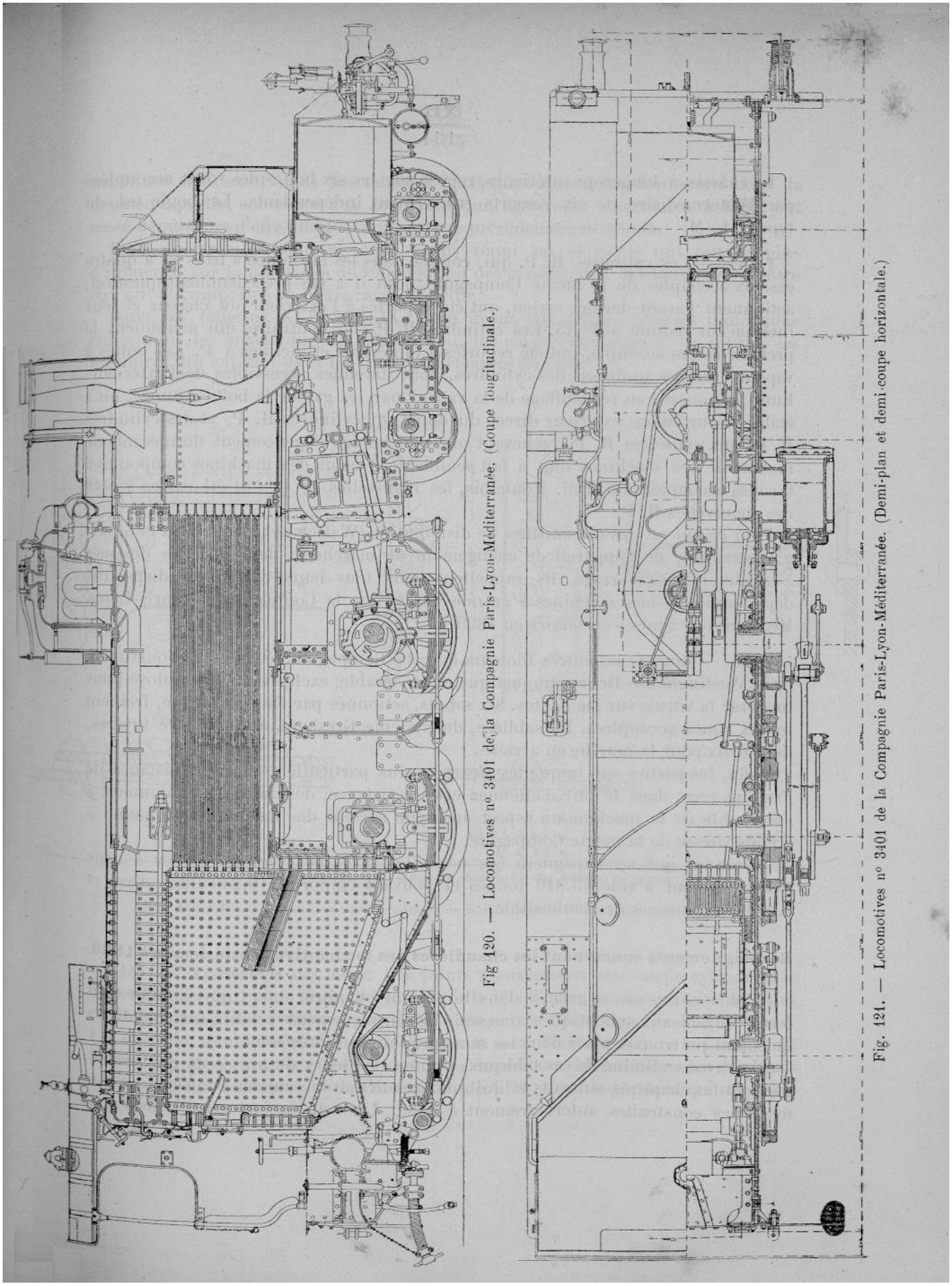


Fig. 120. — Locomotives n° 3401 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Coupe longitudinale.)

Fig. 121. — Locomotives n° 3401 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. (Demi-plan et demi-coupe horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le châssis, à longerons intérieurs, repose sur les six boîtes des roues accouplées par l'intermédiaire de six ressorts entièrement indépendants. Le bogie est du type P.-L.-M.

§ 154. — Les cylindres H. P. qui, comme dans les machines à trois et à quatre essieux accouplés de la même Compagnie, dont il a été précédemment question, actionnent l'avant-dernier essieu, ont été reportés à l'extérieur du châssis et leur inclinaison réduite à 4° 45. Les cylindres B. P., au contraire, qui actionnent le premier essieu accouplé, ont été reportés à l'intérieur et inclinés à 4°. Les boîtes à vapeur, placées au-dessus des cylindres, sont devenues accessibles de l'extérieur. Enfin, renonçant au réchauffage de la vapeur par les gaz de la boîte à fumée, on a établi un tuyautage extérieur direct du dôme aux cylindres H. P. et des cylindres H. P. aux cylindres B. P., achevant ainsi de rendre l'agencement du mécanisme moteur de ces machines tout à fait semblable à celui des machines compound à 6 roues accouplées du Midi. Toutefois, les manivelles B. P. ont été calées à 180° des manivelles H. P.

Pour ce qui est des mécanismes de distribution (Walschaert à l'extérieur et Gooch à l'intérieur), de l'appareil de changement de marche et des appareils destinés à accélérer le démarrage, ils rappellent dans tous leurs détails les dispositifs déjà appliqués aux machines à grande vitesse que la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée à mises en service en 1899.

§ 155. — Comme les autres moteurs de cette Compagnie, ceux-ci sont pourvus du frein Westinghouse-Henry automatique et modérable, exclusivement employé pour modérer la vitesse sur les pentes. Six sabots, actionnés par l'air comprimé, freinent les six roues accouplées. La sablière, du système Gresham, est à quatre tuyères, dont deux pour la marche en arrière.

Enfin, les parties sur lesquelles s'exerce plus particulièrement la résistance de l'air ont reçu, dans le but d'atténuer cette résistance, des formes qui donnent à l'ensemble de la machine un aspect analogue à celui des machines compound à grande vitesse de la même Compagnie.

Le tender qui accompagnera ces nouvelles machines sera un tender à deux essieux, pesant à vide 13.310 tonnes et pouvant emporter 10,250 litres d'eau et 4,000 kilogrammes de combustible.

Renseignements concernant les chaudières des locomotives postérieures à 1889.

§ 156. — Nous avons groupé dans le présent chapitre, autant que possible sous forme de tableaux synoptiques, une série de renseignements relatifs aux chaudières qui n'ont pu trouver place dans les monographies qui précèdent.

Nous avons éliminé de ces tableaux, comme d'ailleurs de tous ceux qui accompagnent les chapitres suivants et qui sont relatifs au mécanisme et au châssis, les machines construites antérieurement à 1889. Les renseignements relatifs à ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machines figureront dans les tableaux analogues que nous donnerons dans la deuxième partie, consacrée aux machines qui, également antérieures à 1889, ont cessé depuis lors d'être affectées aux services précédemment définis.

Dans un premier tableau, nous avons réuni les éléments qui ont le plus d'influence sur la puissance de vaporisation des générateurs. Quelques-uns d'entre eux ont été rapportés au mètre carré de grille.

Dans les tableaux XLIV à XLIX, nous avons fait figurer diverses indications concernant les enveloppes de boîtes à feu, les corps cylindriques, les foyers, les tubulures, les entretoises et les tirants d'armature de foyer.

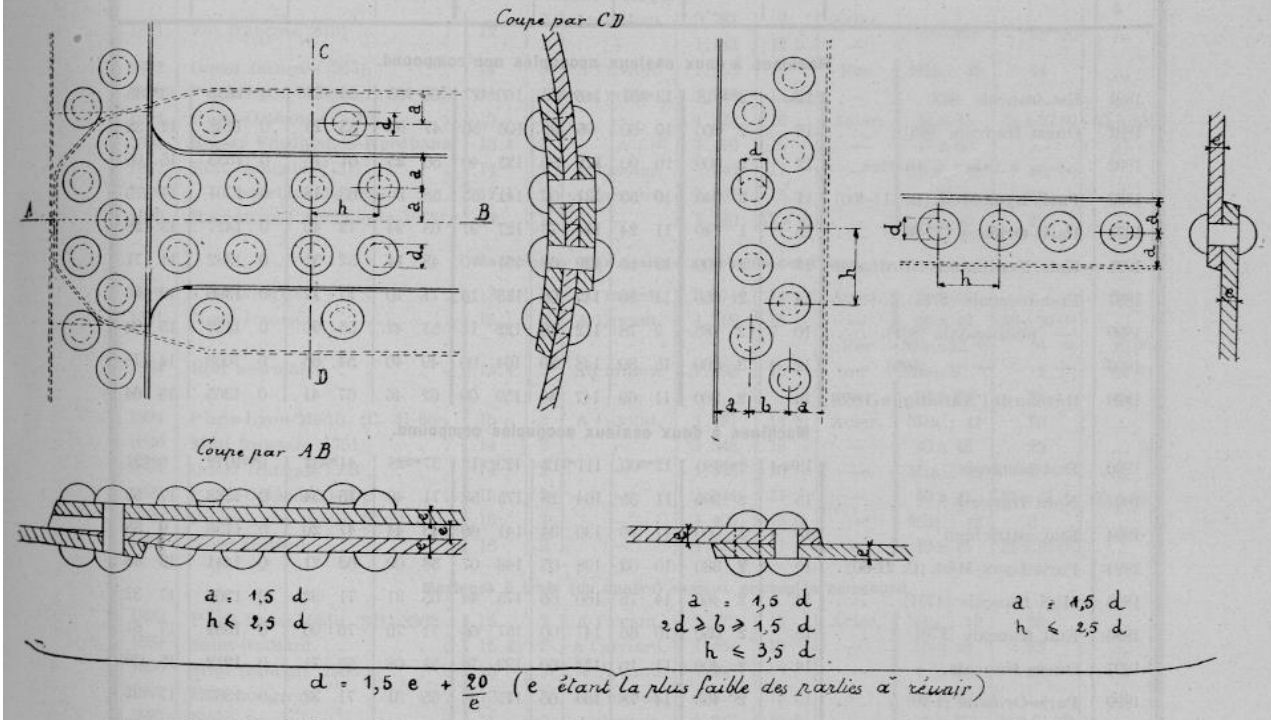


Fig. 122 à 128. — Clouures des chaudières de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

§ 157. — *Assemblage des tôles.* Les joints transversaux des corps cylindriques et des boîtes à feu, pour lesquels l'emploi de la tôle d'acier est devenu général, sont ordinairement à recouvrement avec double rangée de rivets disposés en quinconce. Les clouures transversales des chaudières de la série B. 111 à 400 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée et celles des corps supérieurs de chaudière des machines à deux essieux accouplés de la Compagnie de l'Est n'ont cependant qu'une seule rangée de rivets.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLIII.

Chaudières des locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements intéressant la puissance de vaporisation.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Timbre de la chaudière.	Surface de la grille.	SURFACE DE CHAUFFE EN CONTACT AVEC LES GAZ			PAR MÈTRE CARRÉ DE GRILLE.			
				du foyer.	des tubes.	totale.	Surface de chauffe en contact avec les gaz : des tubes.	totale.	Section de passage des gaz par le faisceau tubulaire.	Périmètre de frottement des gaz.
	Machines à deux essieux accouplés non compound.									
1891	Est français (813)	12kg	2m2418	13m261	146m266	160m227	60m265	66m228	0m21233	13m285
1892	Ouest français (963) . . .	12	2 000	10 60	95 90	106 50	47 95	53 25	0 1238	12 38
1892	— à tubes à ailettes .	12	2 000	10 90	112 50	123 40	56 25	61 70	0 1333	16 90
1893	Paris-Lyon-Méd. (B. 111-400)	11	2 240	10 50	131 03	141 53	58 50	63 18	0 1301	17 76
1894	Paris-Orléans (77-86). . .	15	1 740	11 24	114 73	127 97	65 94	72 40	0 1427	13 28
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	13 4	2 900	12 10	139 60	151 70	48 14	52 31	0 1382	11 71
1897	État français (2751) . . .	14	2 050	11 10	147 00	158 10	71 70	77 12	0 1396	19 06
1899	— néerlandais (801) . .	10 7	2 185	9 78	112 36	122 14	51 42	55 90	0 1152	15 94
1899	— — (995) . .	12 4	3 000	15 80	148 20	164 00	49 40	54 66	0 1068	14 78
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	14	2 360	11 69	147 40	159 09	62 46	67 41	0 1365	18 64
	Machines à deux essieux accouplés compound.									
1890	État hongrois	13kg 4	2m2980	12m200	111m212	123m212	37m228	41m232	0m21072	9m221
1891	Nord français	15	2 300	11 35	164 23	175 58	71 40	76 34	0 1383	17 53
1894	État autrichien	13 4	3 000	11 26	130 34	141 60	43 44	47 20	0 1136	9 88
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60) .	15	2 380	10 02	138 05	148 07	58 00	62 21	0 1441	19 66
1896	Midi français (1751) . . .	14	2 460	14 78	160 66	175 44	65 31	71 32	0 1367	17 32
1896	État français (2701) . . .	15	2 050	10 66	147 00	157 66	71 70	76 90	0 1389	17 61
1897	Ouest français.	14	2 400	11 10	122 60	133 70	51 08	55 71	0 1212	15 36
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	15	2 460	14 78	160 66	175 44	65 31	71 32	0 1367	17 32
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150).	15	2 480	12 53	176 98	189 51	71 36	76 41	0 1560	21 29
1899	Nord français	16	2 740	15 50	195 80	211 30	71 46	77 12	0 1393	17 66
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.									
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362).	15kg	2m2460	9m279	144m246	154m225	58m272	62m270	0m21457	19m288
1894	Saint-Gothard	15 45	2 400	12 80	141 00	153 80	58 75	64 08	0 1690	14 69
1896	Midi français	15	2 490	12 61	169 10	181 74	67 91	72 98	0 1350	17 12
1897	État hongrois	13 4	2 600	11 43	137 47	148 90	52 88	57 27	0 1352	11 63
1897	Nord français	15	2 340	11 10	169 60	180 70	72 78	77 22	0 1385	17 56
1898	État autrichien	14 4	3 100	15 23	173 57	188 80	55 99	60 90	0 1463	12 72
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401-3550).	15	2 480	12 53	176 98	189 51	71 36	76 41	0 1560	21 29

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLIV.

Chaudières des locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements relatifs aux corps cylindriques.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Timbre de la chaudière en kilogrammes.	Nombre de viroles.	La virole la plus large est :	Diamètre de la virole la plus étroite. (Mètres.)	Epaisseur de la tôle en millimètres.	Nature du métal.	QUALITÉ DU MÉTAL. Résistance par millimètre carré. (Kilogrammes)	Allongement minimum sur 200 millim. p. c.	Striction p. c.
	Machines à deux essieux accouplés non compound.									
1891	Est français (813)	12	3	Au milieu.	0.782	9	Acier.	40 à 45	28 (1)	...
			3	—	1.143	12.5	—			
1892	Ouest français (963).	12	3	A l'avant.	1.253	17	Fer.	Min.: 35	14	...
1893	Paris-Lyon-Médit. (B. 111-400)	11	3	Au milieu.	1.232	15.5	—	...	...	...
1894	Paris-Orléans (77-86)	15	3	—	1.222	16	Acier.	40 à 45	31 à 27 (2)	60 à 55
1895	Kaiser Ferdinands-Nordbahn	13.4	3	... (3).	1.470	15	—	47 à 53	...	37
1897	État français (2751)	14	2	A l'avant.	1.346	17	—	Min.: 40	26 (4)	...
1899	— néerlandais (995)	12.4	2	A l'arrière.	1.397	15.9	—	45	25	40
1899	Réseau de l'Adriatique (1865).	14	2	—	1.340	17 et 18	—	37 à 42	27	...
	Machines à deux essieux accouplés compound.									
1890	État hongrois.	13.4	3	Au milieu.	1.274	14	Acier.	34 à 40	...	50
1891	Nord français.	15	3	A l'avant.	1.318	16	—	36 à 40	33 à 31 (5)	...
1894	État autrichien	13.4	3	Au milieu.	1.390	15	Fer	Min.: 33 (6)	16 (6)	25 (6)
							ou	Min.: 30 (7)	12 (7)	12 (7)
							acier.	33 à 38	25	40
1894	Paris-Lyon-Médit. (C. 21-60).	15	2	A l'avant.	1.291	14.5	Acier.	Min : 42	26	...
1896	Midi français (1751)	14	3	—	1.348	16	—	40 à 46	25	...
1897	Ouest français (503).	14	2	—	1.348	16	—	Min.: 43	25	...
1899	Paris-Orléans (1-20).	15	3	—	1.344	17	—	40 à 45	31 à 27 (8)	60 à 55
1899	Paris-Lyon-Médit. (C. 61-150).	15	2	—	1.409	15.5	—	Min.: 42	2	...
1899	Nord français.	16	3	—	1.422	17	—	40 à 45	33 à 31 (9)	...
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés comoound.									
1893	Paris-Lyon-Médit. (3211-3362).	15	2	A l'avant.	1.370	15	Acier.	Min.: 42	26	...
1894	Saint-Gothard.	15.45	2	A l'arrière.	1.464	18	—	35 à 40	23	...
1896	Midi français (1303).	15	3	A l'avant.	1.348	18	—	4 à 46	25	...
1897	État hongrois.	13.4	3	Au milieu.	1.370	15	—	34 à 40	...	50
1897	Nord français.	15	3	A l'avant.	1.347	16.5	—	40 à 45	33 à 31 (10)	...
1898	État autrichien	14.4	3	Au milieu.	1.566	17	—	33 à 38	25	40
1899	Paris-Lyon-Médit. (3401-3550).	15	2	A l'avant.	1.409	15.5	—	Min.: 42	26	...

(1) Allongement mesuré sur 135 mill. pour tôle de 9 mill.
— — 140 — — 12 —
— — 150 — — 13 —
(2) Allongement mesuré sur 163 millimètres.
(3) Les viroles sont de même diamètre.
(4) Limite élastique minimum de 21 kilogrammes.
(5) Allongement mesuré sur 100 millimètres.
(6) Sens du laminage.
(7) Sens perpendiculaire au laminage.
(8) Allongement mesuré sur 168 millimètres.
(9) — — 100 —
(10) — — 100 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLV.

Chaudières des locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements relatifs aux boîtes à feu extérieures.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Type de boite à feu.	ÉPAISSEUR DES TÔLES (en millimètres)				Nature du métal.	QUALITÉ DES TÔLES EMBOUTIES (*).		
			du ciel ou du berceau	des parois				Résistance en kilogrammes par millimètre carré.	Allongement minimum p. c. sur 200 millim.	Striction p. c.
				latérales.	antérieure.	postérieure.				
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.									
1891	Est français (813)	Spécial.	12.5	12.5	14	13	Acier.	35 à 40	30 (1)	...
1892	Ouest français (963)	Crampton.	17	17	17	17	Fer.	Min.: 35	14	...
1893	Paris-Lyon-Médit. (B. 111-400)	Belpaire.	15	15	16	15	Acier.	32 à 40	25	...
1894	Paris-Orléans (77-86)	Ten Brink.	16	16	16.5	16.5	—	38 à 40	31 (2)	60 (2)
1895	Kaiser Ferdinands-Nordbahn	Crampton.	20	15	16	15	—	40 à 45	...	50
1897	État français (2751)	Belpaire.	16	16	17	17	—	34 à 40	28 (3)	...
189.	— néerlandais (995)	—	14.3	14.3	15.9	14.3	—	Min.: 40	28	45
1899	Réseau de l'Adriatique (1865).	Crampton.	20	16	16	16	—	37 à 42	27	...
	Machines à deux essieux accouplés compound.									
1890	État hongrois.	Crampton.	18	14.5	14.5	14	Acier.	34 à 40	...	50
1891	Nord français.	Belpaire.	15	15	16	15	—	36 à 40	36 à 33 (4)	...
1894	État autrichien	Crampton.	15	15	16	15	Fer ou acier.	Min.: 33 (5) Min.: 30 (6) 33 à 38	16 (5) 12 (6) 25	25 (5) 12 (6) 40
1894	Paris-Lyon-Médit. (C. 21-)	Belpaire.	14	14	15	14	Acier.	32 à 40	25	...
1896	Midi français (1351).	—	15	15	16	15	—	34 à 40	28	...
1897	Ouest français	—	15	15	15	15	—	39 à 42	30	...
1899	Paris-Orléans (1-20).	—	16	16	17	16	—	38 à 40	31 (7)	60
1899	Paris-Lyon-Médit. (C. 61-150).	—	12	12	14	16	—	32 à 40	25	...
1899	Nord français.	—	15	15	15	15	—	36 à 40	36 à 33 (8)	...
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.									
1893	Paris-Lyon-Médit. (3211-3362).	Belpaire.	15.5	15.5	16	15	Acier.	32 à 40	25	...
1894	Saint-Gothard.	Crampton.	22	17	18	18	—	34 à 39	28	...
1896	Midi français (1303).	Belpaire.	17	17	18	18	—	34 à 40	28	...
1897	État hongrois.	Crampton.	18	15.5	15.5	15.5	—	34 à 40	...	50
1897	Nord français.	Belpaire.	17	17	17	17	—	36 à 40	36 à 33 (9)	...
1898	État autrichien	Crampton.	17	17	17	17	—	33 à 38	25	40
1899	Paris-Lyon-Médit. (3401-3550).	Belpaire.	12	12	14	16	—	32 à 40	25	...

(*) *N. B.* — Les tôles d'enveloppe de foyer non embouties sont partout de même qualité que celles du corps cylindrique, sauf à l'État néerlandais et aux Compagnies du Nord et de l'Est français qui emploient la même qualité d'acier pour les tôles d'enveloppe de foyer embouties ou non.

(1) Allongement mesuré sur 140 mill. pour tôle de 12 mill.
— — 150 — — 13 —
— 155 — — 14 —

(2) Allongement mesuré sur 163 mill. pour tôle de 16 mill.
— — 168 — 17 —

(3) Limite élastique minimum de 21 kilogrammes.

(4) Allongement mesuré sur 100 millimètres.

(5) Sens du laminage.

(6) Sens perpendiculaire au laminage.

(7) Allongement mesuré sur 163 mill. pour tôle de 16 mill.
— — 168 — — 17 —

(8) Allongement mesuré sur 150 millimètres.

(9) — — 100 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLVI.

Chaudières des locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements concernant les foyers.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Nature du métal.	Mode d'armature du ciel.	Voûte ou bouilleur.	ÉPAISSEUR DES TÔLES			QUALITÉ DES TÔLES		
					Ciel et parois latérales.	Paroi arrière.	Plaque tubulaire.	Résistance minimum par millimètre carré.	Allongement minimum p. c. (1).	Striction minimum p. c.
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.									
1891	Est français (813). . . .	Cuivre.	Fermes transversales suspendues.	Voûte.	14 et 14.5	13.6	13.6 et 26.4	21.5	38	...
1892	Ouest français (963) . . .	—	Fermes transversales.	—	15 m/m	15	15 et 28	21 (Pièces non écrouies.)	30	...
								22 (Pièces écrouies.)	25	...
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400)	—	Tirants verticaux.	—	15	15	17 et 25	22	22	...
1894	Paris-Orléans (77 à 86). .	—	Fermes en long suspendues au berceau.	Bouilleur.	18	18	18 et 35	20	38	50
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	—	Tirants verticaux.	Ni voûte ni bouilleur.	18 et 16	16	16 et 26	22	...	37
1897	État français (2751) . . .	—	—	Voûte.	16	16	16 et 30	20	30	...
1899	État néerlandais (995) . .	—	Tirants verticaux. Deux fermes suspendues à l'avant.	—	14.3	14.3	25.4	22	35	45
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	—	Tirants verticaux.	Ni voûte ni bouilleur.	16	16	16 et 25	22	30	...
	Machines à deux essieux accouplés compound.									
1890	Etat hongrois	Cuivre.	Tirants verticaux.	Voûte.	15.5	14.5	16 et 26	22	...	40
1891	Nord français	—	—	—	16	16	16 et 28	22	34	...
1894	Etat autrichien	—	—	—	15 et 13.5	15	16 et 25	22	35	40
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60) .	—	—	—	14	14	14 et 25	22	22	...
1896	Midi français (1751) . . .	—	—	Bouilleur.	16	16	16 et 30	20	30	...
1897	Ouest français (503) . . .	—	—	Voûte.	15	15	15 et 28	21 et 22	30 et 25	...
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	—	-	Bouilleur.	17	17	17 et 33	20	38	50
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150) .	—	—	Voûte.	14	14	14 et 25	22	22	...
1899	Nord français	—	—	—	16	16	16 et 30	21.5	32	45
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.									
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362)	Cuivre.	Tirants verticaux.	Voûte.	15	15	17 et 25	22	22	...
1894	Saint-Gothard	—	—	—	20 et 16	16	16 et 30	20 à 22	34	...
1896	Midi français (1303) . . .	—	—	—	16	16	16 et 30	20	30	...
1897	État hongrois	—	—	—	17	16	17 et 26	22	...	40
1897	Nord français	—	—	—	16	16	16 et 30	22	34	...
1898	État autrichien	—	—	—	17 et 15	15	16 et 26	22	35	40
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401-3550)	—	—	—	14	14	14 et 25	22	22	...

(1) N. B. — La longueur utile des éprouvettes est en général de 200 millimètres. Elle varie entre 150 et 185 à l'Est français et entre 168 et 200 millimètres à la Compagnie d'Orléans, selon l'épaisseur de la tôle, dans la limite des épaisseurs indiquées ci-dessus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLVII.

Chaudières des locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements relatifs aux tubulures.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Type des tubes à fumée.	Nature du métal.	Diamètre extérieur en millimètres.	Epaisseur en millimètres.	Longueurs entre plaques tubulaires.	Nombre de tubes.	*Observations.*
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.							
1891	Est français (813)	Lisses.	Acier.	40	2.33	4m300	304	
1892	Ouest français (963) . . .	—		45	2.5	3.800	197	
		A ailettes.	—	70	2.5	3.800	88	
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400)	—	—	65	2.5	3.350	113	Raboutis en cuivre, bagués côté foyer.
1894	Paris-Orléans (77-86) . . .	Lisses.	Laiton.	48	2.5	4.957	171	
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn.	—	Acier.	52.7	2.75	4.110	229	Raboutis en cuivre.
1897	État français (2751) . . .	A ailettes.	—	65	2.5	3.582	111	
1899	— néerlandais (801). . .	—	—	70	3.3	3.360	88	
1899	— — (995). . .	—	—	70	3.3	3.482	112	
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	—	Fer.	65	2.5	3.200	125	Raboutis en cuivre.
	Machines à deux essieux accouplés compound.							
1890	Etat hongrois	Lisses.	Acier.	52	2.75	4m000	188	
1891	Nord français	A ailettes.	—	70	2.5	3.900	105	
1894	Etat autrichien	Lisses.	—	51	2.5	4.400	205	Raboutis en cuivre.
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60) .	A ailettes.	—	65	2.5	3.000	133	Raboutis, non bagués côté foyer.
1896	Midi français (1751) . . .	—	—	70	2.5	3.900	111	Raboutis, bagués côté foyer.
1896	Etat français (2701) . . .	—	—	70	2.5	3.900	94	
1897	Ouest français	—	—	70	2.5	3.800	96	
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	—	—	70	2.5	3.900	111	
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150).	—	—	65	2.5	3.400	150	Non raboutis, bagués côté foyer.
1899	Nord français	—	—	70	2.5	4.200	126	
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.							
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362).	A ailettes.	Acier.	65	2.5	3m000	139	Bagués côté foyer.
1894	Saint-Gothard . . .	Lisses.	—	50	2	4.000	244	Tubes raboutis, non bagués.
1896	Midi français	A ailettes.	—	70	2.5	4.100	111	Mre 1303 tubes raboutis, bagués côté foyer. Mre 1402 non raboutis et non bagués.
1897	Etat hongrois	Lisses.	—	52	2.75	4.500	207	
1897	Nord français	A ailettes.	—	70	2.5	4.100	107	
1898	Etat autrichien	Lisses.	—	51	2.5	4.400	273	Raboutis en cuivre.
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401-3550).	A ailettes.	—	65	2.5	3.400	150	Non raboutis, bagués côté foyer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLVIII.

Chaudières des locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements relatifs aux entretoises des parois des foyers.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Nature du métal.	Diamètre extérieur du taraudage.	Écartement des entretoises.	QUALITÉ DU MÉTAL — Résistance par millimètre carré.	QUALITÉ DU MÉTAL — Allongement p. c. (1).	QUALITÉ DU MÉTAL — Striction minimum p. c.	OBSERVATIONS.
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.							
1891	Est français (813)	Cuivre.	24 et 26	87.8-92.4	21.5 à 24.5	32	...	Dans le sens vertical, l'écartement est de 95 millimètres.
1892	Ouest français (963) . . .	—	25 et 28	100	24	25	...	
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400)	—	23	100	24	24	...	
1894	Paris-Orléans (77-86). . .	—	28	100	22	36	60	Dans le sens vertical, l'écartement est de 99 millimètres.
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	—	26	80 à 100	24	...	35	
1897	État français (2751) . . .	—	25-32	95	22	30	...	Entretoises perforées. Dans les rangées supérieures et dans les angles des parois une entretoise supplémentaire est placée au milieu de chaque carré de quatre entretoises selon le système Player.
1899	État néerlandais (995) . .	—	25.4	92.7	22	35	55	
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	—	21	82	23	35	...	
	Machines à deux essieux accouplés compound.							
1890	État hongrois	Bronze manganésé.	26 et 28	105 à 108	30	...	70	Les entretoises présentent entre les plaques une partie lisse respectivement de 22 et 23 millimètres de diamètre. Celles des trois rangées supérieures ont été remplacées, dans certaines machines, par des entretoises en bronze manganésé. Cette mesure a donné d'excellents résultats.
1891	Nord français	Cuivre.	25 et 26	95	25	25 à 35	...	
1894	État autrichien	—	25 et 28	99 à 102	22	35	40	
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60).	—	23	82	24	24	...	
1896	Midi français (1751) . . .	—	25	85 à 95	24	30	...	
1897	Ouest français (503) . . .	—	25 et 28	100	24	25	...	L'écartement dans le sens vertical est de 95 millimètres.
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	—	27	95	22	36	60	L'écartement dans le sens vertical est de 92.5.
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150).	—	22 et 24	82	24	24	...	
1899	Nord français	—	23	84	24	35	58	
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.							
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362)	Cuivre.	23	82	24	24	...	
1894	Saint-Gothard	—	22 et 24	91 à 93	20 à 22	34	...	
1896	Midi français (1203) . . .	—	23	79 à 85	24	30	...	
1897	État hongrois	Bronze manganésé.	26 et 28	Max : 107	30	...	70	Les entretoises présentent entre les plaques une partie lisse de 20 et 21 millimètres de diamètre.
1897	Nord français	Cuivre.	23 et 24	83	25	25 à 35	...	
1898	État autrichien	—	5 et 28	86 à 107	22	35	40	
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401-3550)	—	22 et 24	82	24	24	...	

(1) *N. B.* — La longueur utile des éprouvettes est en général de 200 millimètres. Elle varie entre 141 et 200 millimètres à l'Est français, suivant le diamètre des barres. A la Compagnie d'Orléans les allongements sont mesurés sur 100 millimètres.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLIX.

Chaudières des locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements concernant les tirants d'armature de foyer.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Désignation des tirants.	Diamètre au corps.	Écartement.	Nature du métal.	QUALITÉ DU MÉTAL			*Observations.*
						Résistance à la rupture en kilogrammes par millimètre carré.	Allongement minimum sur 200 millimètres, p. c.	Striction, p. c.	
1891	Est français (813 à deux essieux accouplés) . .	Horizontaux.	24	106.5×150	Acier.	38	28	55	Allongement mesuré sur 141 à 200 millimètres suivant les diamètres.
1894	Saint-Gothard (à trois essieux accouplés). . .	Verticaux.	26	99-120	Fer grain fin.	38	22	...	
1895	Kaiser Ferdinands-Nordbahn (à deux essieux accouplés).	—	29	...	Fer.	36	...	35	
1896	Midi français (à deux et à trois essieux accouplés).	—	23	100-103	—	35	20	...	
		Horizontaux.	26	123-135	—	35	20	...	
1897	État hongrois (à trois essieux accouplés). . .	Verticaux.	...	...	Fer ou acier.	34 à 40	...	40	
		—	...	...	—	34 à 40	...	50	
1897	Nord français (à trois essieux accouplés). . .	—	...	...	Fer ou acier doux.	38	23	...	
		Horizontaux.	...	...	—	36	32	...	
1898	État autrichien (à trois essieux accouplés) . .	Verticaux.	33	110-114	—	33	...	35	Les diamètres indiqués sont ceux du taraudage.
		Horizontaux.	42	...	—	35	...	40	
1899	Réseau de l'Adriatique (à deux essieux accouplés)	Verticaux.	25	110	Fer ou acier.	37 à 40	25	...	

Les corps cylindriques des machines de la *Kaiser Ferdinands-Nordbahn* qui, sont doublés de cuivre à leur partie inférieure, sont formés de viroles de même diamètre reunies par des couvre-joints extérieurs comportant une seule rangée de rivets de part et d'autre du joint.

Les clouures longitudinales des corps cylindriques sont généralement à double couvre-joint et à quatre rangées de rivets disposées conformément aux indications des figures qui sont relatives aux assemblages des chaudières les plus récentes de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. Les machines B. 111 de cette dernière Compagnie, celles de la série 77 à 86 de la Compagnie d'Orléans, enfin celles à deux corps de chaudière de la Compagnie de l'Est, présentent seules des joints longitudinaux à recouvrement et à deux rangées de rivets.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la *Kaiser Ferdinands-Nordbahn* et à l'État hongrois, les couvre-joints intérieurs et extérieurs sont de même largeur, avec double rangée de rivets de chaque côté du

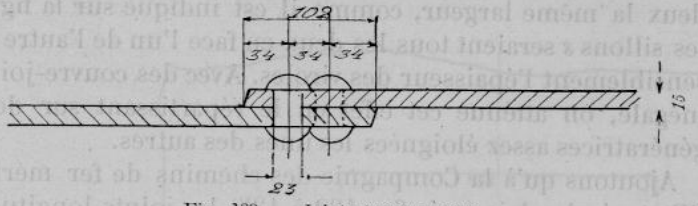


Fig. 129. — Joints transversaux.

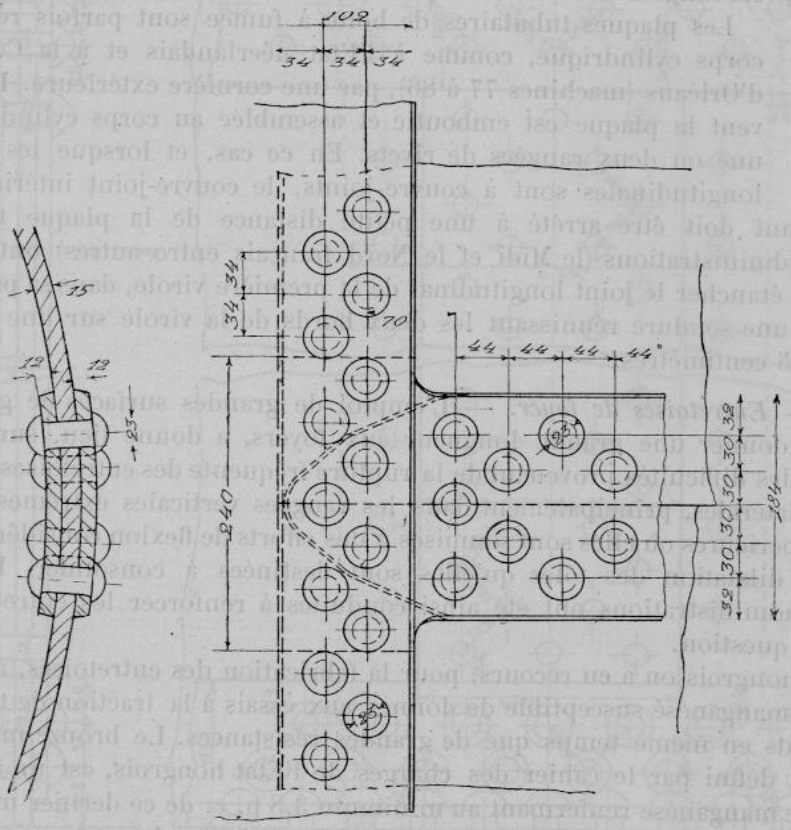


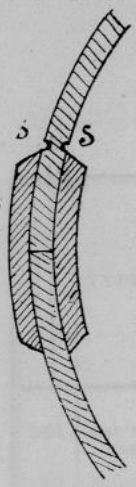
Fig. 130 et 131. — Jonction des rivures transversales et longitudinales des viroles du corps cylindrique.

Fig. 129 à 131. — Clouures longitudinales et transversales des chaudières de l'État hongrois.

joint. Partout ailleurs le couvre-joint extérieur, moins large que le couvre-joint intérieur, n'est traversé que par les rivets des deux rangées les plus voisines du joint.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La Compagnie du Nord français explique les motifs qui l'ont conduite à adopter cette disposition. Le matage des chanfreins déterminant sur les viroles des sillons plus ou moins profonds, si les couvre-joints avaient tous deux la même largeur, comme il est indiqué sur la figure ci-contre, les sillons *s* seraient tous les deux en face l'un de l'autre et réduiraient sensiblement l'épaisseur des viroles. Avec des couvre-joints de largeur inégale, on atténue cet effet en le répartissant sur des couples de génératrices assez éloignées les unes des autres.



Ajoutons qu'à la Compagnie des chemins de fer méridionaux et à l'Etat néerlandais (*voir* fig. 132 à 135) les joints longitudinaux sont à six rangées de rivets dont quatre traversent les trois épaisseurs de tôle.

Les plaques tubulaires de boîte à fumée sont parfois réunies au corps cylindrique, comme à l'État néerlandais et à la Compagnie d'Orléans (machines 77 à 86), par une cornière extérieure. Plus souvent la plaque est emboutie et assemblée au corps cylindrique par une ou deux rangées de rivets. En ce cas, et lorsque les clouures longitudinales sont à couvre-joints, le couvre-joint intérieur de la virole d'avant doit être arrêté à une petite distance de la plaque tubulaire. Plusieurs administrations (le Midi et le Nord français entre autres) ont été ainsi conduites à étancher le joint longitudinal de la première virole, dans sa partie intérieure, par une soudure réunissant les deux bords de la virole sur une longueur d'environ 25 centimètres.

§ 158. — *Entretoises de foyer*. — L'emploi de grandes surfaces de grille, qui obligent à donner une grande longueur aux foyers, a donné lieu, sur certains réseaux, à des difficultés provenant de la rupture fréquente des entretoises en cuivre des parois latérales, principalement dans les rangées verticales extrêmes et horizontales supérieures où elles sont soumises à des efforts de flexion considérables dus à l'inégale dilatation des tôles qu'elles sont destinées à consolider. Un grand nombre d'administrations ont été ainsi conduites à renforcer les entretoises des rangées en question.

A l'État hongrois on a eu recours, pour la fabrication des entretoises, à l'emploi du bronze manganésé susceptible de donner aux essais à la traction de très beaux allongements en même temps que de grandes résistances. Le bronze manganésé, tel qu'il est défini par le cahier des charges de l'État hongrois, est un alliage de cuivre et de manganèse renfermant au minimum 3.8 p. c. de ce dernier métal.

Des essais ont été faits récemment au Nord français sur des entretoises confectionnées avec divers métaux autres que le cuivre et placées dans les régions du foyer qui sont plus particulièrement fatiguées. Le fer et l'acier doux n'ont pas donné les résultats qu'on en attendait. Le bronze manganésé (à environ 5 p. c. de manganèse) s'est au contraire très bien comporté. Le bronze Stone et le cuproaluminium ont également fait l'objet d'applications récentes à titre d'essai.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

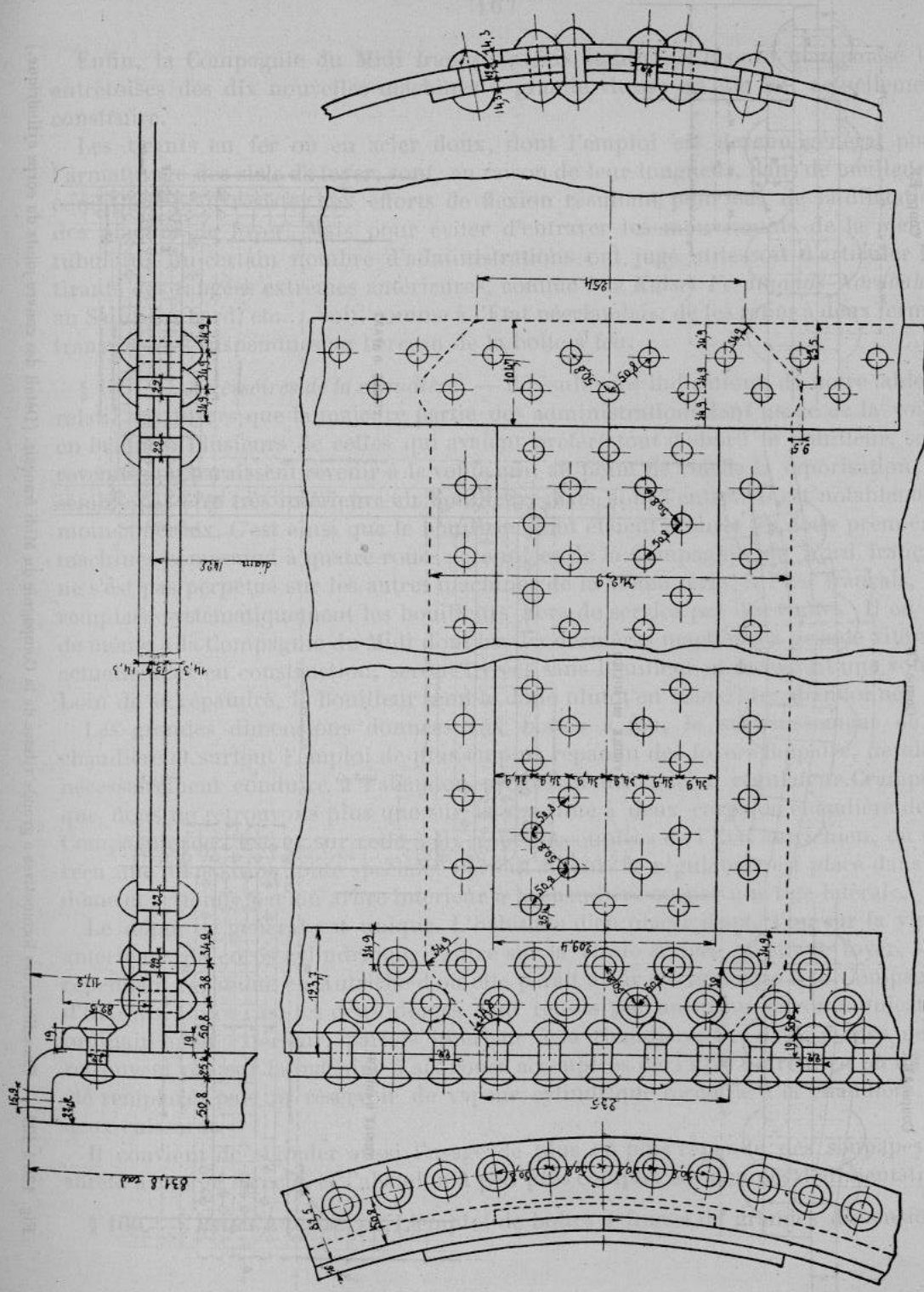


Fig. 132 à 135. — Clouures longitudinales et transversales des chaudières de l'État néerlandais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

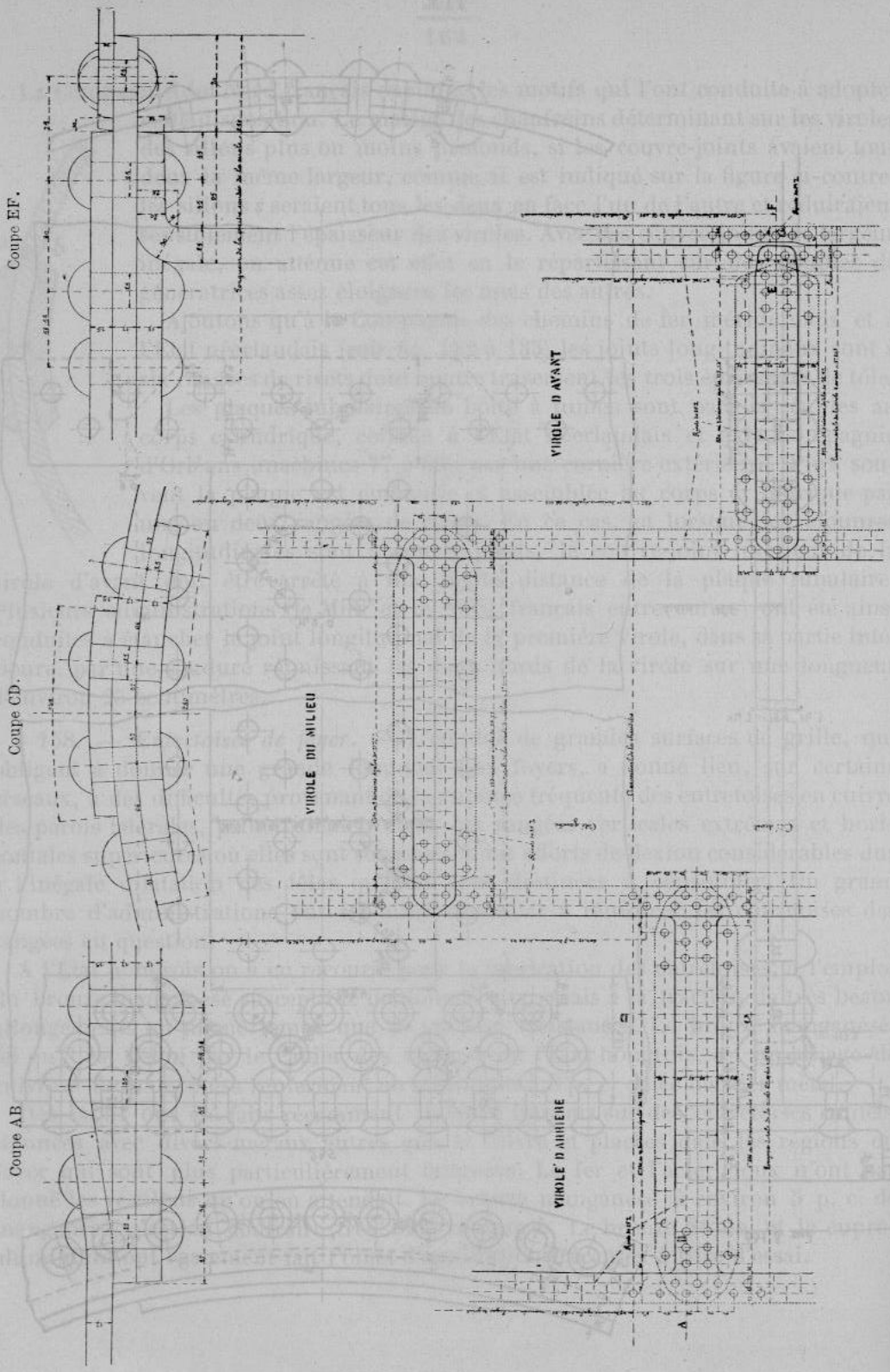


Fig. 136 à 139. — Chaudières des locomotives à grande vitesse de la Compagnie du Midi français. (Détail des couvre-joints du corps cylindrique.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin, la Compagnie du Midi français a fait établir en bronze manganésé les entretoises des dix nouvelles machines à grande vitesse qu'elle fait actuellement construire.

Les tirants en fer ou en acier doux, dont l'emploi est devenu général pour l'armaturage des ciels de foyer, sont, en raison de leur longueur, dans de meilleures conditions pour résister aux efforts de flexion résultant pour eux de la dilatation des plaques de foyer. Mais pour éviter d'entraver les mouvements de la plaque tubulaire, un certain nombre d'administrations ont jugé utile soit d'articuler les tirants des rangées extrêmes antérieures, comme à la *Kaiser Ferdinands-Nordbahn*, au Saint-Gothard, etc..., soit, comme à l'État néerlandais, de les relier à deux fermes transversales suspendues au berceau de la boîte à feu.

§ 159. — *Accessoires de la chaudière.* — Il résulte des indications de notre tableau relatif aux foyers que la majeure partie des administrations font usage de la voûte en briques. Plusieurs de celles qui avaient préféré tout d'abord le bouilleur, sont revenues ou paraissent revenir à la voûte qui, au point de vue de la vaporisation, ne semble pas être très inférieure au bouilleur, mais dont l'entretien est notablement moins onéreux. C'est ainsi que le bouilleur dont étaient munies les deux premières machines compound à quatre roues accouplées de la Compagnie du Nord français ne s'est pas perpétué sur les autres machines de la même série. A l'Est français, on remplace systématiquement les bouilleurs hors de service par des voûtes. Il en est de même à la Compagnie du Midi dont les dix dernières machines à grande vitesse, actuellement en construction, seront livrées sans bouilleur et recevront une voûte. Loin de se répandre, le bouilleur semble donc plutôt en voie d'être abandonné.

Les grandes dimensions données aux boîtes à feu, le surhaussement de la chaudière et surtout l'emploi de plus en plus répandu des foyers Belpaire, devaient nécessairement conduire à l'abandon progressif de l'ancien régulateur Crampton que nous ne retrouvons plus que sur la machine à deux corps de chaudière de la Compagnie de l'Est et sur celle à six roues accouplées de l'État autrichien, où il a reçu une disposition toute spéciale. Partout ailleurs le régulateur est placé dans un dôme et actionné par un arbre intérieur à la chaudière ou par une tige latérale.

Le dôme en général est unique. L'habitude d'en placer deux, l'un sur la virole antérieure du corps cylindrique, l'autre sur la virole arrière ou sur le foyer, s'est cependant répandue en Autriche d'où elle paraît avoir été importée à la Compagnie d'Orléans. En ce cas, les deux dômes sont réunis par un tuyau de communication ordinairement extérieur, parfois intérieur à la chaudière. Ces deux dômes ne se retrouvent pas sur la machine à six roues accouplées de l'État autrichien où ils ont été remplacés par un réservoir de vapeur cylindrique raccordé à la chaudière par deux cuissards.

Il convient de signaler aussi l'usage de plus en plus répandu des soupapes de sûreté à charge directe, et l'abandon à peu près complet des pompes d'alimentation.

§ 160. — *Boîtes à fumée.* — L'emploi de boîtes à fumée de grandes dimensions,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

déjà signalé en 1895 au Congrès de Londres, paraît se généraliser. Nous indiquons ci-dessous la longueur intérieure de la boîte à fumée des machines pour lesquelles cette cote excède 1.30 mètre :

Ouest français, machine n° 963	1.350 mètre.
Kaiser Ferdinands-Nordbahn, deux essieux accouplés	1.400 —
Société des chemins de fer méridionaux, deux essieux accouplés	1.400 —
Nord français, trois essieux accouplés	1.550 —
Paris-Lyon-Méditerranée, séries C. 21 et C. 61	1.560 —
État autrichien, trois essieux accouplés (série 9)	1.600 —
Midi français, deux essieux accouplés	1.650 —
Paris-Orléans, deux essieux accouplés compound	1.650 —
Midi français, trois essieux accouplés	1.652 —
Saint-Gothard, trois essieux accouplés	1.684 —
État hongrois, deux essieux accouplés	1.730 —
Ouest français, machine n° 503	1.791 —
État hongrois, trois essieux accouplés	1.800 —
Nord français, deux essieux accouplés (en construction)	1.900 —
Midi français, deux essieux accouplés (nouvelle série en construction)	2.000 mètres.
Paris-Lyon-Méditerranée, machines nos 3211 à 3362.	2.325 —
Paris-Lyon-Méditerranée, machines nos 3401 à 3550.	2.395 —

D'une manière générale, les cheminées sont placées fortement en retrait par rapport à la paroi antérieure de la boîte de fumée.

Les avantages invoqués jusqu'ici en faveur de ces dispositions consistent surtout dans les facilités qu'elles offrent pour empêcher les escarbilles incandescentes de s'échapper par la cheminée et de se répandre, encore en ignition, sur les propriétés riveraines. Tandis que les produits gazeux de la combustion sont entraînés dans la cheminée par l'échappement, les escarbilles sont projetées, en vertu de la vitesse qu'elles ont acquise en traversant le faisceau tubulaire, vers l'avant de la boîte à fumée, où elles peuvent s'accumuler en quantités relativement considérables sans obstruer le tirage.

Les grandes boîtes permettent également l'emploi de grilles à flammèches à mailles suffisamment serrées pour ne laisser passer que des escarbilles inoffensives.

Il ne semble pas d'ailleurs que l'emploi de ces boîtes à fumée soit défavorable à la production de la vapeur. Elles auraient plutôt pour effet de régulariser le tirage et d'atténuer ainsi les inconvénients que peut présenter le serrage de l'échappement au point de vue de la tenue du feu.

Un certain nombre d'administrations sont restées fidèles à l'ancienne porte de boîte à fumée à deux vantaux au contour dessinant la section droite du faisceau tubulaire. Le plus grand nombre cependant ont adopté la porte à vantail unique, affectant la forme d'une calotte sphérique, et permettant d'obtenir une bonne étanchéité. Quelques-unes, qui n'ont pas eu recours à des formes spéciales destinées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à atténuer la résistance opposée par l'air ont cependant accentué, dans ce but, le bombement de la calotte en question.

Des trémies, destinées à faciliter l'évacuation des escarbilles accumulées dans les boîtes, sont employées par plusieurs administrations, notamment par l'État autrichien, l'État français et l'Ouest français.

Les tuyères d'échappement à section variable sont en grande majorité. Toutes sont du type ordinaire à valves, dont la disposition classique n'a été modifiée que par la Compagnie du Paris-Lyon-Méditerranée, par l'addition d'un noyau central destiné à épanouir le jet de vapeur.

Parmi les échappements fixes employés par quelques administrations, nous citerons ceux à jet annulaire, genre Adams, appliqués aux machines non-compound de la Compagnie de l'Ouest, ainsi qu'aux machines à six roues accouplées du Saint-Gothard.

Renseignements divers concernant le mécanisme des locomotives postérieures à 1889.

§ 161. — Les renseignements de détail concernant le mécanisme des locomotives construites depuis 1889 ont fait l'objet des tableaux L à LIII ci-après, analogues à ceux que nous avons établis pour les chaudières.

Le premier tableau est relatif aux dimensions des cylindres, aux volumes des espaces nuisibles et à la capacité des réservoirs intermédiaires.

Dans le deuxième tableau, nous avons indiqué les dimensions des lumières d'admission et d'échappement et les rapports de leurs sections à celles des cylindres.

Les renseignements que nous avons pu recueillir sur les distributions ont été groupés dans le troisième.

Enfin, le quatrième est exclusivement consacré aux efforts de traction théoriques.

Nous complétons ces indications par les suivantes :

§ 162. — *Tiroirs.* — Le tiroir plan ordinaire, dit à coquille, continue à être le plus généralement employé. Toutefois on semble faire un usage plus fréquent du tiroir à canal ou à double admission, dit tiroir de Trick ou tiroir d'Allan. Toutes choses égales d'ailleurs, ce genre de tiroir paraît plus particulièrement indiqué lorsqu'il s'agit de cylindres de gros diamètre pour lesquels on est obligé de réduire proportionnellement la section des lumières pour éviter d'avoir à donner de trop grandes dimensions aux tiroirs. Il a été néanmoins l'objet d'applications assez nombreuses aux cylindres de haute pression des machines compound.

Les tiroirs plans équilibrés paraissent se répandre. Nous ne les trouvons cependant que sur les machines à quatre roues accouplées du réseau de l'Adriatique et sur celles à six roues accouplées de l'État hongrois et du Saint-Gothard. Le système adopté par la première de ces administrations est celui connu sous la désignation de *American balance valve*. Les deux autres font usage du dispositif de M. von Borries, dans lequel le joint est constitué par deux segments concentriques

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU L.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements relatifs aux cylindres.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Nombre des cylindres.	Diamètre des cylindres en millimètres. H.P.	Diamètre des cylindres en millimètres. B.P.	Course des pistons en millimètres.	Rapport des volumes des cylindres $\frac{\text{B.P.}}{\text{H.P.}} = \text{K.}$	Espaces nuisibles en p. c. du volume engendré par le piston. H.P.	Espaces nuisibles en p. c. du volume engendré par le piston. B.P.	Surface de la grille en mètres carrés.	Rapport de la somme du volume des cylindres à la surface de grille. H. P.	Rapport de la somme du volume des cylindres à la surface de grille. B. P.	Rapport du volume du (ou des) réservoir à la somme des volumes des cylindres H. P.
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.											
1891	Est français (813). . . .	2	470		660	...	8		2.418	94.712		...
1892	Ouest français (963) . . .	2	460		660	...	6 1/2		2.000	109.686		...
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400)	2	500		620	...	5.5		2.240	108.693		...
1894	Paris-Orléans (77-86). . .	2	440		650	...	8		1.740	113.603		...
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	2	470		600	...	...		2.900	71.791		...
1897	État français (2751) . . .	2	440 et 460		650	...	8.5 et 7.9		2.050	96.424 105.389		...
1899	État néerlandais (995) . .	2	483		660	...	10.2 et 9.9		3.000	80.619		...
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	2	480		600	...	7.5		2.300	92.012		...
	Machines à deux essieux accouplés compound.											
1890	État hongrois	4	320	490	650	2.35	15	8	2.980	35.084	82.264	1.11
1891	Nord français	4	340	530	640	2.43	12.6	5.5	2.300	50.528	122.780	1.95
1894	État autrichien	2	500	760	680	2.31	8 environ.	8 environ	3.000	44.506	102.826	2.66
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60) .	4	340	540	620	2.52	12.6	6	2.380	47.304	119.323	2.22
1896	Midi français (1751) . . .	4	350	550	640	2.47	11.6	6.5	2.460	50.061	123.620	2.00
1897	Ouest français.	4	340	530	640	2.43	10	8	2.400	48.422	117.663	1.12
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	4	350	550	640	2.47	11.6	6.5	2.460	50.061	123.620	2.18
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150).	4	340	540	620	2.52	11.1	7.4	2.480	45.396	114.511	2.40
1899	Nord français	4	340	560	640	2.71	14	9	2.740	42.399	115.000	2.00
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.											
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362).	4	360	590	650	2.69	12.3	6.8	2.460	53.790	144.478	2.18
1894	Saint-Gothard	4	370	590	600	2.54	12	7.4	2.400	53.761	136.698	2.42
1896	Midi français	4	350	550	640	2.47	11.6	6.5	2.490	49.458	122.131	2.00
1897	État hongrois	2	510	750	650	2.16	11.4	7	2.600	51.070	110.446	1.30
1897	Nord français	4	350	550	640	2.47	14	6.9	2.340	52.628	129.960	1.95
1898	État autrichien	2	530	810	720	2.34	8	8	3.100	51.240	119.697	2.58
1899	Paris-Lyon-Méditerranée .	4	340	540	650	2.52	10.8	7	2.480	47.592	120.052	1.70

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LI.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements relatifs aux lumières des cylindres.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	DIMENSIONS DES LUMIÈRES				RAPPORT DES SECTIONS DES LUMIÈRES A LA SECTION DES PISTONS			
		d'admission.		d'échappement.		d'admission.		d'échappement.	
		H. P.	B. P.	H. P.	B. P.	H. P.	B. P.	H. P.	B. P.
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.								
1891	Est français (813)	370 × 45		370 × 86		0.096		0.183	
1892	Ouest français (963) . . .	320 × 42		320 × 74		0.081		0.142	
1893	Paris-Lyon-Méd. (B. 111-400).	300 × 35		300 × 85		0.053		0.129	
1894	Paris-Orléans (77-86) . . .	340 × 35		340 × 60		0.078		0.134	
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn.	(122.7 cent. carrés)		(188.7 cent. carrés)		0.071		0.109	
1897	État français (2751) . . .	258 × 38		258 × 38		0.064 0.059		0.064 0.059	
1899	— néerlandais (995). . .	457 × 44.4		457 × 44.4		0.111		0.111	
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	450 × 30		450 × 60		0.074		0.149	
	Machines à deux essieux accouplés compound.								
1890	État hongrois	290×35	425×40	290×66	425×76	0.126	0.090	0.238	0.171
1891	Nord français	260×35	400×40	260×60	400×80	0.100	0.072	0.172	0.145
1894	État autrichien	480×40	550×40	480×80	550×80	0.097	0.048	0.195	0.097
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60) .	240×36	330×49	240×80	330×100	0.095	0.070	0.211	0.144
1896	Midi français (1751) . . .	270×35	420×40	270×70	420×80	0.098	0.070	0.196	0.141
1897	Ouest français	260×33	400×40	260×70	400×80	0.094	0.072	0.200	0.145
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	270×35	420×40	270×70	420×80	0.098	0.070	0.196	0.141
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150).	260×36	410×49	260×80	410×100	0.103	0.088	0.229	0.179
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.								
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362).	230×40	420×45	230×60	420×80	0.090	0.069	0.135	0.123
1894	Saint-Gothard	340×38	450×42	340×64	450×70	0.120	0.069	0.202	0.115
1896	Midi français	270×35	420×40	270×70	420×80	0.098	0.070	0.196	0.141
1897	État hongrois	470×40	650×45	470×70	650×90	0.092	0.066	0.161	0.132
1897	Nord français	270×35	420×40	270×70	420×80	0.098	0.070	0.196	0.141
1898	État autrichien	490×58	550×55	490×80	550×80	0.129	0.058	0.178	0.085
1899	Paris-Lyon-Méditerranée .	260×36	410×49	260×80	410×100	0.103	0.088	0.229	0.179

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LII.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements concernant les mécanismes de distribution.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	TYPE DE LA DISTRIBUTION.		TYPE DES TIROIRS.		Largeur des recouvrements (en millimètres) extérieurs.		Largeur des recouvrements (en millimètres) intérieurs.		Avances linéaires à l'admission (en millimètres).		Course minimum des tiroirs (en millimètres).	
		H. P.	B. P.	H. P.	B. P.	H. P.	B. P.	H. P.	B. P.	H. P.	B. P.	H. P.	B. P.
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.												
1891	Est français (813). . . .	Stephenson.		A coquille.		33		+ 2		Minimum : 2		140	
1892	Ouest français (963) . . .	Spécial.		—		29		— 1		6		140	
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400)	Allan.		Trick.		31		+ 1		Maximum : 8.4		123.5	
1894	Paris-Orléans (77-86). . .	Gooch.		A coquille.		26		— 2		8		136	
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	Walschaert.		—		35		0		...		154	
1897	État français (2751) . . .	—		Cylindriques Ricour.		30		— 4		5		127	
1899	État néerlandais (995) . .	Stephenson.		Cylindriques.		25.4		0		Minimum : 1		109.5	
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	—		A coquille équilibrés.		22		0		...		105	
	Machines à deux essieux accouplés compound.												
1890	État hongrois	Walschaert.	Walschaert.	Coquille.	Coquille.	Av. 28.5	Ar. 25	Av. 25	Ar. 22.5	— 5	— 4.5	...	...	139	139
1891	Nord français	—	—	—	—	26.75		26.75		— 3	— 5	7	7	129	129
1894	État autrichien	—	—	—	—	31		23		— 5	0	Av. 5	Ar. 4	Av. 7	Ar. 5.5	190	189
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60) .	—	Gooch.	Trick.	Trick.	26		34.5		0	0	Av. 7.8	Ar. 6.8	Av. 3.7	Ar. 9.7	122	150
1896	Midi français (1751) . . .	—	Walschaert.	Coquille.	Coquille.	27		27		— 3	— 3	6.5		6.5		134	134
1897	Ouest français	—	—	—	—	27		27		— 3	— 3	7		7		130	133
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	—	—	—	—	27		27		— 3	— 3	6.5		6.5		126	126
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150).	—	Gooch.	Trick.	Trick.	26		34		0	0	8.5		Av. 8	Ar. 12	122	125
1899	Nord français	—	Walschaert.	Coquille.	Coquille.	...		...		— 3	— 5	6.0		6.25		...	...
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.												
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362)	Walschaert.	Walschaert.	Trick.	Trick.	28		29		+ 1	+ 1	7		7		137	143
1894	Saint-Gothard	—	—	Trick équilibrés.	Trick équilibrés.	27		27		— 8	— 2	3		3		112	116
1896	Midi français	—	—	Coquille.	Coquille.	27		27		— 3	— 3	6.5		6.4		139	133.5
1897	État hongrois	—	—	Trick équilibrés.	Trick équilibrés.	30.5		28.5		— 6	— 1	...		...		...	...
1897	Nord français	—	—	Coquille.	Coquille.	27		27		— 3	— 3	6.5		6.4		139	133.5
1898	État autrichien	—	—	Trick.	—	35		25		— 8	0	Av. 5	Ar. 4	Av. 5.5	Ar. 4.5	190	185
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401-3550)	—	Gooch.	—	Trick.	26		34		0	0	Av. 7 1/2	Ar. 9 1/2	Av. 8	Ar. 11 1/2	122	127

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à section triangulaire maintenus l'un au contact de l'autre au moyen de ressorts à boudins. Quelques applications isolées du système Richardson ont été faites, en outre, mais sans grand succès jusqu'ici, sur deux machines à deux essieux accouplés de la Compagnie de l'Est.

Enfin, l'État français et l'État néerlandais emploient pour leurs machines non-compound des tiroirs cylindriques. Ceux de l'État français sont du système bien connu de M. Ricour.

§ 163. — *Mécanismes de distribution.* — Une préférence très marquée se manifeste en faveur du mécanisme de distribution Walschaert (ou Heusinger von Waldeck). On a expliqué cette préférence par la facilité avec laquelle ce système se prête à l'emploi simultané de tables de distribution parallèles à l'axe du cylindre et de boîtes à vapeur placées au-dessus et au-dessous de ces derniers.

Ce mécanisme n'est d'ailleurs pas nécessairement extérieur ou intérieur au châssis, suivant que les cylindres sont eux-mêmes extérieurs ou intérieurs. La machine à six roues accouplées de l'État autrichien nous offre l'exemple d'une distribution Walschaert tout entière extérieure, alors que les cylindres sont intérieurs aux longerons. Cette disposition a pu être réalisée d'une manière très simple au moyen d'un excentrique extérieur, compris entre la boîte à graisse de l'essieu moteur et la manivelle d'accouplement, qui actionne la coulisse, et d'une bielle articulée à la bielle d'accouplement d'avant, qui actionne l'extrémité du pendule.

On fait aussi valoir en faveur de la distribution Walschaert la propriété qu'elle possède de donner des avances linéaires constantes. Mais cette propriété, qui d'ailleurs ne lui est pas particulière, ne paraît pas avoir, en pratique, toute l'importance qu'on a été tenté de lui attribuer.

Une autre propriété du mécanisme de Walschaert, qui n'est vraisemblablement pas étrangère à la faveur dont il jouit actuellement, mais qui ne nous paraît pas avoir été suffisamment mise en relief, est la suivante :

Les distributions à coulisse et à deux excentriques sont des distributions très symétriques, en ce sens qu'à des positions angulaires des manivelles équidistantes des points morts correspondent des élongations du tiroir sensiblement égales, en avant et en arrière de sa position moyenne. Mais à ces élongations égales ne correspondent plus pour le piston des positions équidistantes des points morts, à cause des perturbations introduites par l'obliquité de la bielle motrice. Il en résulte que les diverses phases de la distribution sont nécessairement inégales et que notamment les degrés d'admission à l'avant et à l'arrière du piston, évalués en fractions de la course, sont souvent très différents.

La distribution Walschaert ne possède pas la symétrie des distributions à deux excentriques ; mais il est facile de se rendre compte qu'en faisant dériver le mouvement du tiroir de celui d'un pendule dont l'extrémité est actionnée par la crosse, autrement dit par la petite tête de la bielle motrice, on atténue, dans une large mesure, les inégalités résultant pour les phases de la distribution de l'obliquité de cette bielle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En fait, la distribution Walschaert donne des phases d'importance sensiblement égale en avant et en arrière du piston, ainsi que l'on peut s'en assurer par l'examen des tableaux qui précèdent, relatifs aux machines à deux essieux accouplés de la Compagnie du Midi français. Cette propriété doit être considérée comme un avantage, notamment pour les cylindres H. P. des machines compound, puisqu'elle permet d'égaliser et par conséquent de réduire l'importance maximum des compressions qui, lorsqu'on n'a pas eu le soin d'en régler convenablement le jeu, peuvent exercer une influence très fâcheuse sur l'allure de ces machines.

§ 164. — *Dispositions diverses destinées à réduire les compressions dans les locomotives compound.* — Concilier des compressions modérées avec l'emploi de mécanismes de distribution par coulisses, tel paraît avoir été en effet un des problèmes les plus importants qu'aient eu à résoudre les constructeurs qui, les premiers, ont cherché à appliquer la double expansion aux locomotives. Il semble que de la solution donnée à ce problème dépendent aujourd'hui encore, dans une large mesure, non seulement l'agencement de toute une partie du mécanisme d'une locomotive compound, mais encore les qualités qui la distingueront dans le service auquel elle sera affectée.

On admet généralement qu'une distribution bien réglée ne doit pas permettre à la vapeur comprimée d'atteindre une pression notablement supérieure à celle qui serait strictement nécessaire pour équilibrer l'inertie des organes de transmission, et pour assurer aux approches des points morts, par un amortissement graduel des forces vives en jeu, la liberté des tourillons.

Le travail résistant dû à la compression grandit avec la vitesse; il prend d'ailleurs d'autant plus d'importance pour une même pression initiale de la vapeur comprimée, que l'admission est plus réduite. Mais la force vive des organes en mouvement grandit aussi très rapidement avec la vitesse et l'on s'explique ainsi, que, d'une manière générale, la condition que nous venons d'exprimer puisse être assez aisément remplie à toutes les vitesses, même aux plus élevées.

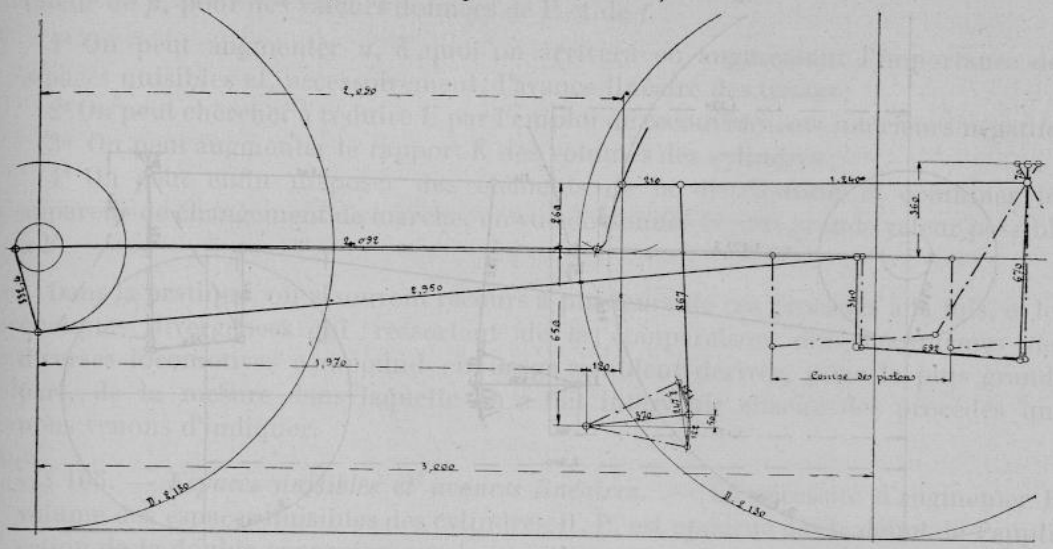
Si l'on appliquait cependant telles quelles, aux cylindres H. P. des locomotives compound, les dispositions en usage sur les machines non-compound, on arriverait à créer dans ces cylindres, même à de faibles vitesses, des compressions exagérées, dues à ce que la pression initiale de la vapeur comprimée, pression qui est celle du réservoir intermédiaire, y est notablement supérieure à ce qu'elle est dans les cylindres des machines à simple expansion.

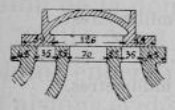
Désignons par U et u les volumes occupés par la vapeur au début et à la fin de la période de compression, par P la pression absolue de la vapeur admise, par K le rapport du volume des cylindres B. P. à celui des cylindres H. P., enfin par f et F les degrés d'admission aux petits et aux grands cylindres. La pression finale p de la vapeur comprimée a pour expression, par application de la loi de Mariotte :

$$p = \frac{U}{u} \times \frac{Pf}{KF}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diagramme des cylindres à haute pression





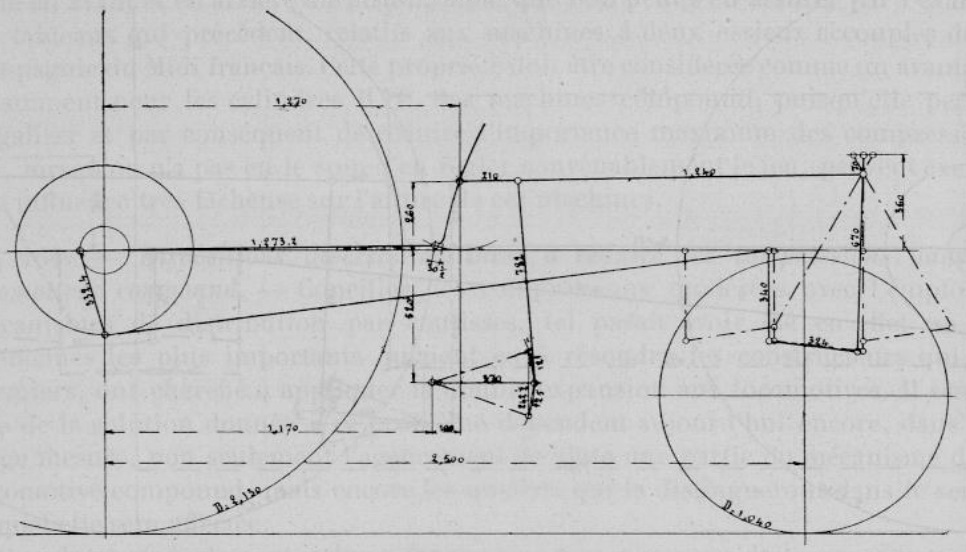
Course des pistons	640 millimètres.
Course de la bielle d'excentrique	180 —
Angle de calage	90°
Recouvrement extérieur	27 millimètres.
Découvrement intérieur	3 —

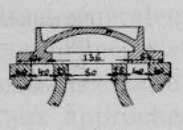
Fig. 140 et 141. — Distribution des cylindres H. P. des locomotives nos 1751 à 1774 du Midi français. Épure et coupe des tiroirs et des lumières.

SENS DE LA MARCHE.		Avance linéaire.		Ouverture maximum.		Introduction en pour cent.		Détente en pour cent.		Échappement anticipé.		Échappement en pour cent.		Compression en pour cent.		Contre-vapeur.	
		Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Maximum.	Avant	6 1/2	6 1/2	44	36	79	79	12	13	9	8	94	94	5 1/2	5 1/2	1/2	1/2
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	44	43 1/2	80	82	12	12	8	6	95	93	4 1/2	6 1/2	1/2	1/2
60 p. c.	Avant	6 1/2	6 1/2	21 1/2	19	60	59	22	23	18	18	88	88	11 1/4	11	3/4	1
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	21 1/2	20	60	62	22	22	18	16	88	88	11	11	1	1
50 p. c.	Avant	6 1/2	6 1/2	16	15	50	48	28	30	22	22	83	82	16	16 1/2	1	1 1/2
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	16	14 1/2	50	51	27	28	23	21	84	83	15	15 1/2	1	1 1/2
40 p. c.	Avant	6 1/2	6 1/2	12	11 1/2	40	38	32	33	28	29	79	79	19 1/2	19	1 1/2	2
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	12	11 1/2	40	40	31	33	29	27	80	79	18	19	2	2
30 p. c.	Avant	6 1/2	6 1/2	9 1/2	9	30	29	36	35	34	35	72	72	25 1/2	25	2 1/2	3
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	9 1/2	9	30	30	36	37	34	33	73	73	24 1/2	24	2 1/2	3
P. M.		6 1/2	6 1/2	6 1/2	6 1/2	9 1/2	11	36 1/2	34	54	55	54	55	36 1/2	35	9 1/2	10

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diagramme des cylindres à basse pression.





Course des pistons.	640 millimètres.
Course de la bielle d'excentrique	180 —
Angle de calage.	90°
Recouvrement extérieur.	27 millimètres.
Découvrement intérieur	3 —

Fig. 142 et 143. — Distribution des cylindres B. P. des locomotives nos 1751 à 1774 du Midi français. Épure et coupe des tiroirs et des lumières.

SENS DE LA MARCHE.		Avance linéaire.		Ouverture maximum.		Introduction en pour cent.		Détente en pour cent.		Échappement anticipé.		Échappement en pour cent.		Compression en pour cent.		Contre-vapeur.	
		Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Maximum.	Avant .	6 1/2	6 1/2	44 1/2	36	80	79	12	13	8	8	94	94	5 1/2	5 1/2	1/2	1/2
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	39 1/2	38 1/2	79	80	12	12	9	8	95	93	4 1/2	6 1/2	1/2	1/2
70 p. c.	Avant .	6 1/2	6 1/2	30 1/2	25 1/2	70	69	18	19	12	12	91	91	8 1/4	8 1/4	3/4	3/4
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	30	29	70	73	18	17	12	10	93	90	6 1/4	9 1/4	3/4	3/4
60 p. c.	Avant .	6 1/2	6 1/2	22	19	60	59	22	23	18	18	88	87	11	12	1	1
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	21	20	60	61	22	24	18	15	89	87	10	12	1	1
50 p. c.	Avant .	6 1/2	6 1/2	16	14	50	48	28	31	22	21	83	82	16	16 3/4	1	1 1/4
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	15	15	50	51	28	30	22	20	85	82	14	16 3/4	1	1 1/4
40 p. c.	Avant .	6 1/2	6 1/2	12	11 1/2	40	38	32	33	28	29	80	79	18 1/2	19 1/4	1 1/2	1 3/4
	Arrière.	6 1/2	6 1/2	12	11 1/2	40	41	31	33	29	26	81	79	17 1/2	19 1/4	1 1/2	1 3/4
P. M.		6 1/2	6 1/2	6 1/2	6 1/2	10	11	37	36	53	53	56	56	35	35	9	9

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quatre procédés différents s'offrent, par suite, au constructeur pour réduire la valeur de p, pour des valeurs données de P et de f.

1° On peut augmenter u, à quoi on arrivera en augmentant l'importance des espaces nuisibles et, accessoirement, l'avance linéaire des tiroirs;

2° On peut chercher à réduire U par l'emploi de recouvrements intérieurs négatifs;

3° On peut augmenter le rapport K des volumes des cylindres;

4° On peut enfin disposer des éléments de la distribution et combiner les appareils de changement de marche, en vue de donner la plus grande valeur possible à F.

Dans la pratique, on a souvent recours à plusieurs de ces procédés à la fois, et les quelques divergences qui ressortent de la comparaison des mécanismes des diverses locomotives compound en usage semblent dériver, pour la plus grande part, de la mesure dans laquelle on a fait intervenir chacun des procédés que nous venons d'indiquer.

§ 165. — *Espaces nuisibles et avances linéaires.* — La nécessité d'augmenter le volume des espaces nuisibles des cylindres H. P. est apparue dès le début de l'application de la double expansion aux locomotives. C'est ainsi que dans la locomotive n° 701 du Nord français, les espaces en question ont été portés de 8 à 13 p. c. du volume engendré par le piston, ce qui a pu être réalisé aisément par la substitution de pistons évidés aux pistons à plateaux venus de construction avec la machine.

La proportion actuellement admise est en général de 12 p. c. Cependant, elle n'est que de 8 p. c. à l'État autrichien. Elle a été portée à 14 p. c. aux machines à six roues accouplées du Nord français et à 13 p. c. aux machines à quatre roues accouplées en construction pour le Midi français.

La période de compression a également été réduite quelque peu sur la machine n° 701 du Nord, à la suite des premiers essais, par une augmentation correspondante de l'admission anticipée, obtenue en réduisant de 2 millimètres les recouvrements extérieurs.

Des avances linéaires de 6 $^1/_2$ à 7 millimètres se retrouvent aujourd'hui sur les machines de la Compagnie du Nord français et sur la plupart des machines similaires. Au Saint-Gothard, elles ne sont cependant que de 3 millimètres. Par contre, elles dépassent 9 millimètres à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.

§ 166. — *Recouvrements intérieurs.* — L'emploi de recouvrements intérieurs négatifs est considéré comme un des moyens les plus efficaces pour réduire le travail de la compression. Aussi, la plupart des administrations y ont-elles eu recours plus ou moins, malgré l'inconvénient, généralement peu sensible, d'une réaction des deux coups d'échappement l'un sur l'autre. La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a seule conservé des recouvrements nuls.

C'est sur les cylindres H. P. des machines compound à deux cylindres que, d'une manière générale, on rencontre les plus forts découvrements. L'augmentation des

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

valeurs de K et de F a, en effet, pour conséquence, toutes choses égales d'ailleurs, une diminution de la pression au réservoir et, par suite, du travail fourni par les cylindres B. P. On conçoit donc que l'on ait cherché à réduire les compressions, au cylindre H. P. des machines à deux cylindres, par des procédés qui n'entraînent pas une répartition trop inégale du travail total entre les deux mécanismes H. P. et B. P.

M. von Borries, qui a été le propagateur de la disposition compound à deux cylindres en Allemagne, recommande d'employer, pour le cylindre H. P. de ces machines, des découvrements intérieurs d'environ 20 à 25 p. c. de la valeur des recouvrements extérieurs, selon qu'il s'agit d'une machine à petite ou à grande vitesse; des avances linéaires d'environ 10 p. c. des mêmes recouvrements; enfin, des espaces nuisibles d'environ 12 p. c. du volume du cylindre, le tout avec une valeur de K n'excédant pas 2.25 et des distributions liées de manière à maintenir entre les degrés d'admission f et F un écart d'environ 0.10.

Pour ce qui est des cylindres B. P., qui se trouvent dans des conditions plus analogues à celles des cylindres des machines à simple expansion, M. von Borries conseille des espaces nuisibles de 6 à 7 p. c. du volume de ces cylindres et des découvrements intérieurs nuls ou ne dépassant pas les 5 p. c. de la valeur du recouvrement extérieur.

Ces indications se rapportent sans doute plus spécialement aux machines à deux cylindres. Lorsqu'il s'agit de machines à quatre cylindres, la compression peut devenir excessive aux cylindres B. P., en raison de l'abaissement même que l'on fait souvent subir à la pression qui règne au réservoir, et, en ce cas, des découvrements un peu plus grands peuvent être utilement employés. Il en est de même des grandes avances linéaires que la grande dimension des cylindres peut d'ailleurs, dans certains cas, suffire à justifier.

Il est intéressant de remarquer que les machines à six roues accouplées du Saint-Gothard, bien que pourvues de quatre cylindres, ont reçu des découvrements intérieurs H. P. encore supérieurs à ceux recommandés par M. von Borries : 29 p. c. du recouvrement extérieur. Par contre, les machines en question ayant été pourvues d'un appareil de changement de marche unique, contrairement à ce qui avait été fait pour la première du type, l'écart entre les degrés d'admission H. P. et B. P. a pu être réduit au-dessous de 10 p. c. : il oscille entre 0.05 et 0.08.

§ 167. — *Rapport des volumes des cylindres.* — Lors des premières applications de la disposition compound aux locomotives, on paraît s'être préoccupé le plus souvent de réaliser l'égalité des travaux dans les cylindres H. P. et B. P., tout en réduisant, autant que possible, l'importance de la chute de pression au réservoir. Un grand nombre de machines furent ainsi établies avec des valeurs de K comprises entre 2 et 2.25. Il y en eut même — telles la machine n° 701 du Nord français et celle de même numéro de l'État néerlandais — pour lesquelles K fut pris inférieur à 2.

L'expérience a montré depuis, notamment à la Compagnie du Nord français et à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, que des chutes relativement élevées ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

présentent pas, au point de vue du rendement, les inconvénients qu'on avait été tenté de leur attribuer tout d'abord. Dès lors, il n'y avait pas de raison de ne pas accepter, pour les machines à quatre cylindres tout au moins, des valeurs de K compatibles avec une plus grande liberté d'allure de la machine.

Le rapport en question oscille entre 2.16 et 2.34 pour les machines à deux cylindres de l'État autrichien et de l'État hongrois, et entre 2.35 et 2.69 pour les machines à quatre cylindres en service, qui figurent sur nos tableaux. Il sera porté à 2.71 pour la machine du Nord français, actuellement en construction.

§ 168. — *Appareils de changement de marche.* — Il n'existe pas actuellement en Europe, à notre connaissance (1), de machine compound à deux cylindres à distributions indépendantes. Nous avons, d'ailleurs, indiqué plus haut les motifs qui paraissent militer, en ce cas, en faveur de la liaison des deux mécanismes. Celle-ci est généralement conçue de manière à réaliser, tout au moins aux crans de marche les plus usuels, un certain écart entre les admissions H. P. et B. P., ces dernières étant toujours les plus prolongées. L'écart en question peut être obtenu, soit au moyen de bielles de suspension d'inégale longueur, comme à la machine à six roues accouplées à deux cylindres de l'État hongrois, soit en donnant des positions angulaires différentes aux bras de l'arbre de relevage, soit en combinant ces deux solutions, comme on l'a fait pour la machine à quatre cylindres du Saint-Gothard, soit enfin par l'emploi de mécanismes de distribution entièrement différents. Lorsque les mécanismes sont du type Walschaert, une solution élégante consiste à employer des pendules de distribution H. P. et B. P., dont les deux segments sont entre eux dans des rapports différents. Tel est le cas des machines compound à quatre et à six roues accouplées à deux cylindres de l'État autrichien.

Le principe de l'indépendance des appareils de changement de marche a été admis par plusieurs administrations pour leurs machines à quatre cylindres, et notamment par la Compagnie du Nord français, qui a été conduite à adopter cette solution après une série d'essais qui ont fait ressortir l'intérêt qu'il y a à abaisser la pression au réservoir aux grandes allures par une admission B. P. plus prolongée, alors qu'aux faibles vitesses, il a été reconnu préférable, pour éviter des chutes de pression inutiles, de rapprocher le degré d'admission aux cylindres B. P. de celui correspondant au point critique.

Les essais faits par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée sur ses machines à deux essieux accouplés de la série C. 21 l'ont conduite à des conclusions analogues, avec cette différence cependant que les admissions prolongées aux grands cylindres ont été reconnues les plus avantageuses non seulement aux grandes vitesses, mais encore aux vitesses modérées. Comme conséquence de ces constatations, l'appareil de changement de marche des machines à quatre cylindres de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a été établi de manière à assurer mécaniquement une admisssion constante aux cylindres B. P.

(1) Novembre 1899.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il convient de rappeler à ce propos que les distributions des machines de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée diffèrent sous plusieurs rapports de celles en usage à la Compagnie du Nord et semblent comporter, pour un même degré d'admission H. P., des périodes de détente et de compression un peu plus prolongées.

Au Saint-Gothard, où l'on emploie des tiroirs comportant de larges découvrements intérieurs, on a renoncé à l'indépendance des mécanismes de distribution pour adopter, comme nous l'avons indiqué, des dispositions analogues à celles généralement appliquées aux machines à deux cylindres.

Enfin, la machine compound tandem à deux essieux accouplés de l'État hongrois ne comporte qu'une seule vis de changement de marche, les tiroirs H. P. et B. P. de chaque côté étant actionnés par une même tige. Les écarts de 8 à 10 p. c. qui existent entre les admissions H. P. et B. P. sont obtenus par l'emploi de recouvrements extérieurs de largeurs différentes.

Nous ajouterons, pour clore ce qui est relatif aux appareils de changement de marche, que la vis continue à être employée, d'une manière générale, comme organe unique de manœuvre. Les dispositions particulières appliquées aux machines à distributions indépendantes et aux machines compound de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée ont été décrites antérieurement au cours des monographies que nous avons données de ces différentes machines.

§ 169. — *Appareils de démarrage.* — Les appareils de démarrage comportant une valve à fonctionnement automatique (*intercepting-valve*) et qui avaient fait tout d'abord l'objet d'applications assez nombreuses aux locomotives compound à deux cylindres, semblent être aujourd'hui d'un emploi moins fréquent. Nous en trouvons cependant encore un spécimen sur la machine n° 701 de l'État néerlandais (système Worsdell et von Borries).

Les administrations qui emploient la disposition compound à deux cylindres semblent actuellement leur préférer, soit des appareils non automatiques comportant la séparation temporaire des échappements et dont le prototype est celui imaginé par M. Mallet, soit des appareils dépourvus de tout organe de séparation entre les deux cylindres et dans lesquels l'admission de la vapeur vive au réservoir est rendue fonction de la position de la barre de relevage ou de l'élongation maximum des tiroirs B. P., comme dans les appareils Lindner ou Gölsdorf. Ce dernier système est celui qui a été appliqué aux machines à deux et à trois essieux accouplés de l'État autrichien.

Un certain nombre de machines à quatre cylindres n'ont reçu pour tout appareil de démarrage qu'un tuyau d'admission de vapeur vive aboutissant au réservoir. Tel est le cas des machines à deux essieux accouplés de l'État hongrois, des machines n°s 503 à 570 de l'Ouest français, des machines C. 21 et 3211 de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, enfin de celles du chemin de fer du Saint-Gothard.

A l'Etat hongrois, l'admission de la vapeur dans ce tuyau a lieu automatiquement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lorsque la barre de relevage est dans l'une ou l'autre de ses positions extrêmes. Sur les autres réseaux elle est commandée par un régulateur auxiliaire à la disposition du mécanicien. A l'Ouest français, ce régulateur est placé sur l'une des boîtes à vapeur H. P., de sorte que toute admission de vapeur aux cylindres est interrompue par la fermeture du régulateur principal.

Les machines compound à quatre cylindres de l'État, du Nord et du Midi français, ainsi que celles de la Compagnie de Paris à Orléans, sont pourvues, en outre, d'un appareil permettant au mécanicien de diriger directement dans l'atmosphère la vapeur échappée des cylindres H. P. Cet appareil, actionné par un servo-moteur à vapeur ou à air comprimé, a été décrit antérieurement. Une disposition analogue a été appliquée aux machines des séries C. 61 et 3401 de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée ainsi qu'aux nouvelles machines compound (à six roues accouplées) de la Compagnie de l'Ouest.

Il convient d'ajouter que c'est principalement dans le but de faciliter le démarrage que plusieurs des administrations françaises ont évité de caler les manivelles B. P. de leurs machines exactement à 180° des manivelles H. P. Le calage à 180° a prévalu à l'Ouest français et au Saint-Gothard. Il a également été appliqué aux dernières machines compound de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée (C. 61 et 3401).

§ 170. — *Graissage des pistons et des tiroirs.* — A l'Est français, le graissage des tiroirs et des pistons de la plupart des machines à grande vitesse est assuré au moyen d'un graisseur à boule, à deux robinets, placé à la portée du mécanicien.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a généralisé sur ses machines l'emploi du graisseur-compresseur Dusert. Cet appareil est disposé sur les machines compound de manière à permettre au mécanicien d'envoyer le graissage à son gré soit aux cylindres H. P., soit aux cylindres B. P.

Sur les autres réseaux, on a eu recours à des appareils à débit continu, mécaniques ou à condensation.

En France, la préférence a été généralement donnée aux appareils à fonctionnement mécanique (systèmes Mollerup et Bourdon) que la plupart des administrations ont appliqués à leurs machines à quatre cylindres.

Les machines autrichiennes, hongroises et italiennes, qui figurent sur nos tableaux, sont toutes pourvues d'appareils à condensation à gouttes visibles du système Nathan.

L'État néerlandais fait usage du graisseur double à condensation de la *Vacuum Oil Company*.

Les administrations qui emploient le graisseur Nathan ont disposé cet appareil de manière à envoyer le graissage par des tuyaux distincts, à la fois aux cylindres et aux boîtes à vapeur. En ce cas, l'huile ne peut pénétrer dans les cylindres que par un orifice notablement plus étroit que celui qui lui donne accès aux boîtes à vapeur.

Sur les autres réseaux on se contente généralement de graisser directement les tiroirs. Toutefois, la Compagnie de l'Ouest français a appliqué à ses machines à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grande vitesse non-compound deux graisseurs distincts pour chaque cylindre : un graisseur à condensation placé sur les boîtes à vapeur et un graisseur à succion placé sur les cylindres et qui ne fonctionne qu'en marche à régulateur fermé.

§ 171. — *Équilibre des organes animés de mouvements relatifs.* — Il nous a paru intéressant, eu égard à l'accroissement des vitesses, et surtout à l'emploi de machines à cylindres multiples, de rechercher de quelle manière avaient été équilibrés les organes animés de mouvements relatifs.

§ 172. — *Machines à deux cylindres.* — Pour ce qui est des machines à deux cylindres (compound ou non compound), il ne semble pas que d'une manière générale aucune modification de quelque importance ait été apportée aux méthodes anciennes.

Partout il est de règle d'équilibrer la totalité des masses en rotation, en ayant soin, bien entendu, d'équilibrer séparément chaque paire de roues et de tenir compte, dans la répartition des contrepoids entre les deux roues, de ce que les centres de gravité des divers organes se meuvent dans des plans différents. Aux contrepoids ainsi calculés, qui sont ceux de l'équilibre vertical strict, on ajoute le plus souvent des contrepoids supplémentaires destinés à équilibrer une fraction déterminée du poids des organes animés d'un mouvement alternatif. Le plus souvent ces derniers contrepoids, dits de l'équilibre horizontal, sont répartis également entre les différentes paires de roues accouplées. A l'Est français cependant, de même qu'à l'État néerlandais, ils sont supportés par les seules roues motrices.

Dans ces calculs, la bielle motrice est considérée pour les deux tiers ou les trois cinquièmes environ de son poids comme un organe tournant. Le restant de son poids est compris dans celui des organes en mouvement rectiligne alternatif.

Quant à la fraction du poids de ces derniers organes que l'on s'est proposé d'équilibrer, il varie entre des limites très étendues :

A l'État français (machine n° 2751), cette fraction est de. . . .	5 p. c.
A l'État autrichien, elle est de	10 —
A l'Est français (machine n° 801).	25 —
Au Nord français, suivant la règle admise	33 —
A la Kaiser Ferdinands-Nordbahn	50 —
A l'Ouest français (machines n°s 963 à 990)	50 —
Aux chemins de fer méridionaux (Adriatique).	50 —
A l'État néerlandais (machine n° 905)	66 —

A l'État autrichien, la proportion ci-dessus indiquée résulte de ce que l'on s'est proposé de limiter à 600 kilogrammes par roue les forces de soulèvement développées à la vitesse maximum de 90 kilomètres à l'heure. Pour les machines à six roues accouplées de la même administration, cette limite a été même réduite à 550 kilogrammes par roue, pour la même vitesse maximum.

§ 173. — *Machines à quatre cylindres.* — L'équilibre des machines à quatre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindres et à quatre manivelles motrices a été réalisé de bien des manières différentes.

Dans les machines à grande vitesse de la Compagnie du Nord français on a équilibré séparément tout l'attirail H. P. et tout l'attirail B. P., comme s'il s'agissait de deux machines à roues libres absolument distinctes l'une de l'autre, sauf cependant que les bielles d'accouplement ont été équilibrées par moitié sur chaque essieu moteur. Suivant la règle précédemment admise, les masses en translation ont été équilibrées, pour chaque attirail, dans la proportion de 33 p. c.

§ 174. — Par suite du calage à 162° des manivelles B. P., par rapport à celles H. P., le calcul a conduit, en ce qui concerne les roues motrices B. P., à des contrepoids différents pour la roue de droite et pour la roue de gauche. Dans la roue de droite des machines 2161 à 2180, on a trouvé qu'il fallait un contrepoids de 80 kilogrammes placé suivant une direction faisant un angle de 74° avec la manivelle d'accouplement de cette roue, et dans la roue de gauche un contrepoids de 55 kilogrammes placé dans une direction faisant un angle de 15° avec la manivelle d'accouplement du même côté, les angles de déviation étant, dans les deux cas, situés dans le quadrant formé par les deux manivelles considérées. Pour avoir des centres de roues identiques à droite et à gauche on eût été conduit à leur appliquer des contrepoids égaux d'un poids égal à la moyenne des deux poids calculés, soit 68 kilogrammes avec un angle de déviation moyen, soit de 44.5°. Mais afin d'unifier les types de corps de roue dans les différents modèles de locomotive à grande vitesse et dans le but de faciliter les remplacements, on a conservé, pour les machines construites en dernier lieu, les mêmes corps de roue que ceux des locomotives compound des séries précédentes. Par suite, les contrepoids des roues motrices d'avant sont de 64 kilogrammes au lieu de 68 et font avec la manivelle un angle de 45° au lieu de 45.5°, de telle sorte que les axes des contrepoids sont dirigés suivant la bissectrice du dièdre droit formé par les deux manivelles d'accouplement.

Les contrepoids des roues motrices d'arrière sont de 108 kilogrammes. Ils sont situés en dehors du dièdre droit formé par les manivelles motrices côté droit et côté gauche et leur angle de déviation est de 7°.

§ 175. — Un équilibre un peu différent a été appliqué aux machines à six roues accouplées de la même Compagnie. Les masses animées d'un mouvement alternatif ont été équilibrées, comme dans la machine à grande vitesse, dans la proportion de 33 p. c.; mais les contrepoids partiels de l'équilibre horizontal de l'un et l'autre attirail ont été appliqués aux roues motrices B. P. seules où, composés entre-eux, ils ont pu être remplacés par des contrepoids résultants relativement légers, grâce au calage réciproque à 162° des manivelles motrices H. P. et B. P. Les roues motrices H. P. et les roues accouplées n'ont reçu que les contrepoids de l'équilibre vertical.

§ 176. — A la *Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée*, où l'auto-équilibre partiel

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui résulte pour les masses en translation de l'orientation réciproque à 180° des manivelles motrices a été jugé suffisant, on a appliqué à toutes les roues l'équilibre vertical strict.

§ 177. — Au *Saint-Gothard*, on a au contraire profité de l'importance de cet auto-équilibre partiel pour réaliser l'équilibre horizontal complet au moyen de contrepoids partiels répartis sur l'ensemble des roues accouplées et équilibrant la différence des masses en translation appartenant aux deux attirails H. P. et B. P.

§ 178. — Sur le réseau du *Midi français*, où divers systèmes d'équilibre ont été successivement appliqués ou essayés, depuis l'équilibre vertical pur et simple jusqu'à l'équilibre horizontal complet, l'expérience a montré que la neutralisation partielle des forces d'inertie des organes animés de mouvements alternatifs présente notablement plus d'intérêt en ce qui concerne le mouvement de recul qu'en ce qui concerne le mouvement de lacet.

Le fait s'explique si on considère que l'inertie des organes en question n'intervient que dans une mesure relativement faible dans la production du lacet. D'autres causes contribuent à produire ce mouvement, savoir :

1° L'action alternative de la vapeur qui sollicite inégalement l'adhérence des deux côtés de la machine et fait naître, à droite et à gauche, des forces de propulsion dont l'intensité varie périodiquement;

2° La conicité des bandages combinée avec le jeu de la voie, les inégalités inévitables de cette dernière, enfin l'élasticité des rails qui provoquent des oscillations analogues auxquelles il n'est pratiquement possible d'assigner aucune loi, mais qui deviennent prépondérantes aux grandes vitesses.

§ 179. — Il n'en est pas de même du mouvement de recul dû principalement à l'inertie des organes en translation, sur lequel les inégalités de la voie sont à peu près sans effet, et dans la production duquel l'action de la vapeur en marche à régulateur ouvert n'intervient elle-même que par la variation du moment moteur, c'est-à-dire dans une mesure bien plus faible que pour la production du lacet.

D'autre part, lors même que les perturbations horizontales n'auraient d'autre cause que l'inertie des organes animés de mouvements relatifs, les contrepoids seraient néanmoins plus efficaces contre le recul que contre le lacet. Entre les forces d'inertie développées par les organes en translation et les composantes horizontales des forces d'inertie des contrepoids qui seraient destinés à équilibrer complètement ces organes, il existe, en effet, des différences d'intensité notables, tantôt positives, tantôt négatives, uniquement dues à l'obliquité des bielles motrices. Par suite du calage à 90° des manivelles motrices, ces différences ont, à droite et à gauche, des valeurs très sensiblement égales et des signes contraires. Leurs effets perturbateurs s'ajoutent, par suite, en ce qui concerne le lacet, et s'annulent très sensiblement en ce qui concerne le recul.

En fait, les effets perturbateurs dus aux diverses causes qui interviennent dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la production du mouvement de lacet n'ont pu être atténués dans la pratique — et ils l'ont été dans une très large mesure — que par un allongement de la base d'appui de la machine et par la suppression des masses en porte-à-faux. Il est clair que ce remède, très efficace contre le lacet dû à des causes étrangères à l'inertie des organes, l'est *a fortiori* contre ceux dus à cette cause et, par suite, il est rationnel de disposer des contrepoids supplémentaires, ou *balourds*, qu'il sera possible d'appliquer aux roues, en sus de ceux de l'équilibre vertical, de manière à combattre plus efficacement le mouvement de recul, parfois très gênant.

§ 180. — La méthode à suivre est très simple. Elle consiste à répartir également entre les deux roues conjuguées d'un même essieu supposées déjà pourvues des contrepoids de l'équilibre vertical, les contrepoids destinés à équilibrer horizontalement tout ou partie de chacun des deux attirails (gauche et droite) considérés isolément. On est ainsi conduit à appliquer à chaque roue deux contrepoids égaux, orientés l'un à l'opposé de la manivelle de cette roue, l'autre à 90° du premier, dans la direction opposée à la manivelle de l'autre roue. Ces deux contrepoids sont ensuite composés entre eux et avec celui de l'équilibre vertical.

Dans ces conditions, on conserve au mouvement de lacet, en tant qu'il est dû à l'inertie des organes, l'importance qu'il aurait sous le régime des contrepoids de l'équilibre vertical pur et simple. Mais on arrive à équilibrer une même fraction des masses non équilibrées par les contrepoids de l'équilibre vertical, au point de vue du recul seul, au moyen de contrepoids sensiblement plus légers. Réciproquement, avec des contrepoids supplémentaires effectifs d'un poids maximum déterminé à l'avance, on arrive à équilibrer, au point de vue du recul seul, une proportion plus grande des masses en translation que par le procédé ordinaire.

§ 181. — Ce mode d'équilibre, surtout avantageux lorsque les cylindres sont extérieurs, auquel cas il permet souvent de réduire les balourds de plus de 40 p. c., a été appliqué en premier lieu à un certain nombre de machines des séries nos 1601 et 801, dont il sera question plus loin (machines antérieures à 1889) et dont il a permis d'atténuer, dans une large mesure, le mouvement de recul qu'elles prenaient antérieurement. Les contrepoids supplémentaires de l'équilibre horizontal ont été répartis, dans chaque cas, entre les différentes roues accouplées ; mais leur valeur absolue a été déterminée de manière à ne pas dépasser une limite fixée à l'avance, généralement plus élevée pour les roues intermédiaires que pour les roues extrêmes.

C'est ce même système d'équilibre qui a été appliqué aux machines compound à quatre cylindres des deux types précédemment décrits de la Compagnie du Midi, avec cette seule différence que l'on a profité de l'auto-équilibre partiel dû au calage des manivelles H. P. et B. P. à 162° les unes par rapport aux autres pour équilibrer la totalité des forces de recul dues à l'inertie des organes. Les balourds ont été, dans chaque cas, répartis également entre toutes les roues accouplées. Rapportée à une distance de l'essieu égale à la longueur des manivelles, leur valeur commune est de 28.850 kilogrammes pour chacune des quatre roues de la machine à deux essieux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

accouplés et de 20.5 kilogrammes seulement pour chacune des six roues de la machine à trois essieux accouplés.

Au point de vue du lacet, ces machines se trouvent donc placées dans les mêmes conditions que celles de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. Au point de vue du recul, elles se trouvent dans les mêmes conditions que celles du Saint-Gothard. Enfin, au point de vue des forces de soulèvement et de pression contre les rails exercées alternativement sur chaque roue, elles sont, toutes proportions gardées, dans une situation intermédiaire entre les machines de ces deux compagnies.

§ 182. — On trouvera au chapitre III de la note complémentaire de M. Salomon sur les essais de traction faits à la Compagnie de l'Est sur la machine n° 1760 de la Compagnie du Midi (*voir* l'annexe), une courbe dynamométrique des efforts de traction mesurés à la barre d'attelage de cette machine. Il résulte de ce qui vient d'être dit que le tracé de cette courbe n'a pu être influencé par l'inertie des organes animés de mouvements relatifs que dans la limite résultant de l'approximation avec laquelle ont pu être pratiquement cubés ou pesés les organes en question et leurs contrepoids.

Nous ajouterons, pour terminer ce qui est relatif à l'équilibre des machines, que les contrepoids des machines compound à quatre cylindres de la série n° 1 à 20 de la *Compagnie d'Orléans* ont été établis comme ceux des machines similaires de la Compagnies du Midi.

§ 183. — *Efforts de traction maximums.* — Le dernier des tableaux que nous avons consacrés au mécanisme est relatif aux efforts de traction maximums théoriques des diverses machines dont nous avons eu à nous occuper.

Ces efforts ont été calculés à l'aide de la formule générale :

$$\frac{(P - p)\, d^2 l}{D},$$

dans laquelle P et p désignent les pressions absolues qui s'exercent sur chaque face du piston, d le diamètre des cylindres, l la course des pistons et D le diamètre des roues motrices.

Pour les machines à simple expansion, on a pris $P - p$ égal au timbre de la chaudière.

Pour les machines compound à quatre cylindres, on a appliqué la formule successivement à chacun des deux groupes de cylindres H. P. et B. P. et on a totalisé les résultats ainsi obtenus. On a opéré de même pour les machines compound à deux cylindres ; mais les résultats ont été divisés par deux.

Trois cas ont d'ailleurs été considérés, savoir :

1° Le fonctionnement ordinaire en compound ;

2° Le fonctionnement ordinaire avec admission de vapeur vive au réservoir ;

3° Pour les machines qui le comportent, le fonctionnement en non-compound avec échappement direct.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LIII.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Efforts de traction.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	FONCTIONNEMENT NORMAL. Effort H. P.	Effort B. P.	Effort total E.	Avec envoi de vapeur vive au réservoir (sans échappement direct). Effort total E'.	Avec admission directe aux 4 cylindres et échappement direct. Effort total E''.	RAPPORT DE L'EFFORT TOTAL AU POIDS ADHÉRENT P. $\frac{E}{P}$.	$\frac{E'}{P}$.	$\frac{E''}{P}$.
	Machines à deux essieux accouplés non compound.								
1891	Est français (813)	...	...	8,370	...	...	0.250	...	...
1892	Ouest français (963)	...	...	8,337	...	...	0.298	...	...
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400).	...	...	8,525	...	...	0.276	...	...
1894	Paris-Orléans (77-86)	...	...	9,438	...	...	0.328	...	...
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn.	...	...	8,880	...	...	0.319	...	...
1897	Etat français. Cylindre 440.	...	...	8,678	...	...	0.291	...	...
	— 460.	...	...	9,485	...	...	0.318	...	...
1899	— néerlandais (995)	...	...	8,950	...	...	0.303	...	...
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	...	...	10,080	...	...	0.347	...	...
	Machines à deux essieux accouplés compound.								
1890	État hongrois	2,757	3,985	6,742	9,064	...	0.240	0.324	...
1891	Nord français	3,200	4,737	8,037	8,252	10,352	0.259	0.274	0.334
1894	État autrichien	3,249	4,790	8,039	8,002	...	0.280	0.279	...
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60)	3,465	4,818	8,283	8,103	...	0.260	0.254	...
1896	Midi français (1751)	3,290	4,599	7,889	8,398	10,606	0.240	0.256	0.323
1896	État français (1701)	3,263	4,671	7,934	8,151	10,226	0.246	0.253	0.318
1897	Ouest français (503)	3,209	4,538	7,747	8,188	...	0.238	0.252	...
1899	Paris-Orléans (1-20)	3,511	4,963	8,474	8,766	10,974	0.255	0.264	0.330
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-50)	3,465	4,818	8,283	8,103	9,895	0.247	0.242	0.296
1899	Nord français	3,898	5,165	9,063	9,529	11,705	0.245	0.240	0.293
							0.274	0.289	0.355
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.								
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362)	5,655	7,436	13,091	13,834	...	0.244	0.258	...
	(3261-3300)						0.305	0.322	...
1894	Saint-Gothard	5,129	7,127	12,256	14,457	...	0.267	0.315	...
1896	Midi français. (1303)	4,274	6,040	10,314	10,669	13,357	0.233	0.241	0.301
	(1402)	4,674	6,607	11,281	11,670	14,610	0.256	0.265	0.331
1897	État hongrois	4,079	6,431	10,510	11,336	...	0.246	0.265	...
1897	Nord français	4,274	6,040	10,314	10,669	13,357	0.243	0 251	0.314
1898	État autrichien	4,912	7,215	12,127	12,201	...	0.282	0.283	...
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401)	4,404	6,122	10,525	10,297	12,574	0.242	0.237	0.289

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le premier cas, on a pris, pour les cylindres de haute pression, P égal à la pression absolue en chaudière et p égal à cette même pression divisée par K, K étant le rapport des volumes des cylindres. Pour les cylindres de basse pression, on a pris P égal à la pression absolue en chaudière divisée par K, et p égal à la pression atmosphérique.

Dans le deuxième cas, on a pris pour p aux cylindres H. P. et pour P aux cylindres B. P. , la valeur de la pression absolue résultant, pour la vapeur admise au réservoir, du timbre de la soupape dont ce réservoir est pourvu. Les autres pressions ont reçu la même valeur que dans le premier cas.

Enfin, dans le troisième cas, on a donné à $(P - p)$ la valeur du timbre de la chaudière, pour les cylindres H. P., et la valeur du timbre de la soupape du réservoir pour les cylindres B. P.

Renseignements concernant le véhicule des locomotives postérieures à 1889.

§ 184. — Nous avons groupé sous ce titre les renseignements les plus intéressants concernant les châssis, les roues, les bogies, les freins, les suspensions et les poids sur rails des locomotives qui nous occupent. Ils font l'objet de six tableaux synoptiques auxquels nous en avons ajouté un septième concernant les tenders. Ceux qui n'ont pu trouver place dans ces tableaux sont indiqués ci-après :

§ 185. — *Châssis.* — Les longerons, généralement en acier, sont en grande majorité intérieurs aux roues. La disposition contraire semble n'avoir été appliquée que lorsqu'elle était justifiée par l'agencement du mécanisme moteur ou par les dimensions des cylindres. C'est ainsi qu'à l'État hongrois les quatre cylindres en tandem ne pouvaient que difficilement s'accommoder d'un châssis intérieur. De même, le grand diamètre du cylindre B. P. de la machine à six roues accouplées de l'État autrichien a conduit à placer les deux cylindres entre les deux longerons d'un châssis extérieur.

L'emploi d'un châssis extérieur n'est cependant pas le seul moyen auquel on ait eu recours pour résoudre la difficulté pouvant résulter des grandes dimensions que l'on est amené à donner aux cylindres B. P. des machines compound à deux cylindres. La machine à quatre roues accouplées de l'État autrichien et celle à six roues accouplées de l'État hongrois ont reçu, toutes deux, un châssis intérieur, et grâce aux dispositions spéciales qui ont été adoptées, les cylindres ont pu être placés à l'extérieur de ce châssis sans empiéter sur le gabarit.

Dans le premier cas, on a fait pénétrer le cylindre B. P. dans le longeron de gauche, convenablement évidé à cet effet. Le plateau d'avant lui-même pénètre dans l'évidement ; mais pour en permettre le montage malgré la contre-tige du piston qui le traverse, on a dû l'établir en deux parties. L'une, de forme annulaire, est appliquée directement sur la collerette du cylindre et pénètre seule dans l'évidement du longeron. L'autre, de forme circulaire, est fixée à la première à la façon d'un plateau ordinaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LIV.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Type du châssis. — Entre-axes des essieux. — Diamètre et jeu des roues.

Date de la construction du premier exemplaire du type	TYPE DE LA MACHINE.	Type du châssis.	DISTANCE D'AXE EN AXE DES ESSIEUX (EN MÈTRES). Du premier essieu porteur au deuxième (bogie).	Du deuxième essieu du bogie ou de l'essieu porteur AV. ou premier essieu accouplé.	Du premier essieu accouplé au deuxième.	Du deuxième essieu accouplé au troisième.	Du deuxième essieu accouplé à l'essieu porteur AR. ou du troisième essieu accouplé au quatrième.	Empattement. Total.	DIAMÈTRE DES ROUES. du bogie ou de l'essieu porteur AV.	des roues accouplées.	de l'essieu porteur AR.	Demi-jeu transversal des essieux porteurs. AV.	AR. Millimètres.
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.												
1891	Est français (813). . . .	Intérieur.	1.900	2.550	3.000	...	...	7m450	1m06	2m090	...	...	...
1892	Ouest français (963) . . .	—	2.000	2.500	2.900	...	...	7.400	0.960	2.040	...	...	...
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400)	—	2.020	2.500	2.970	...	...	6.470	1.000	2.000	...	...	...
1894	Paris-Orléans (77-86) . .	—	...	1.900	2.100	...	1.800	5.800	1.260	2.040	1.220	10	10
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	Extérieur.	2.200	2.150	2.300	...	1.700	8.350	1.010	2.000	1.010	...	32
1897	État français (2751) . . .	Intérieur.	2.000	2.550	2.700	...	...	7.250	0.960	2.030	...	...	...
1899	État néerlandais (995) . .	Double.	2.133	2.133	2.591	...	1.981	8.839	1.219	2.133	1.219	...	45
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	Intérieur.	1.900	2.370	2.430	...	...	4.700	0.950	1.920	...	...	...
	Machines à deux essieux accouplés compound.												
1890	État hongrois	Extérieur.	1.800	2.100	2.400	...	...	6.300	1.050	2.001	...	...	...
1891	Nord français	Intérieur.	1.800	2.530	3.000	...	...	7.330	1.040	2.114	...	...	...
1894	État autrichien	—	2.700	1.800	2.800	...	...	7.300	1.034	2.140	...	...	...
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60).	—	2.000	2.200	2.700	...	...	6.900	1.000	2.000	...	...	...
1896	Midi français (1751) . . .	—	2.000	2.500	3.000	...	...	7.500	1.040	2.130	...	...	...
1896	État français (2701) . . .	—	1.800	2.530	3.000	...	...	7.330	1.040	2.140	...	...	...
1897	Ouest français (503) . . .	—	2.000	2.500	2.900	...	...	7.400	0.960	2.040	...	...	...
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	—	2.000	2.500	3.000	...	...	7.500	1.040	2.130	...	...	...
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150)	—	2.000	2.250	3.000	...	...	7.250	1.000	2.000	...	...	...
1899	Nord français	—	1.800	1.850	2.150	...	2.400	8.200	0.900	2.040	1.420	...	...
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.												
1893	P.-L.-M. (3211-3362) . .	Intérieur.	...	...	1.890	1.680	2.160	5.730	...	1.500	...	16	16
	P.-L.-M. (B. 3261-3300). .	—	2.000	2.035	1.650	2.160	...	7.875	0.800	1.500	...	...	...
1894	Saint-Gothard	—	1.800	2.300	1.830	2.000	...	7.930	0.850	1.600	...	...	...
1896	Midi français (1301) . .	—	2.000	1.700	1.900	2.000	...	7.630	0.850	1.750	...	...	...
	Midi français (1401) . .	—							0.850	1.600	...	...	.
1897	État hongrois	—	2.190	1.530	1.700	1.750	...	7.170	1.040	1.606	...	...	...
1897	Nord français	—	1.950	1.700	1.900	2.000	...	7.550	0.850	1.750	...	...	...
1898	État autrichien	Extérieur.	2.650	1.910	1.950	1.950	...	8.460	1.034	1.820	...	...	...
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401) . .	Intérieur.	2.000	1.955	1.830	2.100	...	7.885	1.000	1.650	...	...	..

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LV.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements relatifs aux bogies.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Ecartement des essieux.	Diamètre des roues.	Rapport du diamètre des roues à celui des roues motrices.	Distance du pivot au centre de figure (en millimètres).	Demi-jeu transversal du pivot (en millimètres).	SYSTÈME DE RAPPEL.	RESSORTS DE RAPPEL		TYPE du châssis.	TYPE de la suspension.	TYPES des appuis du châssis principal sur celui du bogie.
								bande initiale en kilogr.	flexibilité.			
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.											
1891	Est français (813)	1m800	1m060	0.50	0	45	Ressorts à lames.	2,500	6.25	Extérieur.	Ordinaire.	Central plan.
1892	Ouest français (963) . . .	2.000	0.960	0.47	50	25	— —	1,400	21.4	Intérieur.	Américaine.	— —
1893	Paris-Lyon-Méd. (B. 111-400)	2.000	1.000	0.50	0	15	Plans inclinés.	...	...	—	—	Central sphérique.
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	2.200	1.010	0.50	0	0	Néant.	...	...	—	Ordinaire.	Sphériques latéraux.
1897	État français (2751) . . .	2.000	0.960	0.47	0	25	Ressorts à lames.	1,500	21	—	Américaine.	Central plan.
1899	— néerlandais (995) . .	2.133	1.219	0.57	0	32	Bielles en triangle.	...	...	Extérieur.	—	— —
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	1.900	0.950	0.49	0	35	Bielles inclinées.	...	...	Intérieur.	—	— —
	Machines à deux essieux accouplés compound.											
1890	État hongrois	1m800	1m050	0.52	0	0	Néant.	...	...	Intérieur.	Ordinaire.	Central sphérique et latéraux élastiques.
1891	Nord français	1.800	1.040	0.49	0	44	Ressorts à boudin.	3,000	20	Extérieur.	—	Sphériques latéraux.
1894	État autrichien	2.700	1.034	0.48	40	0	Néant.	...	...	Intérieur.	—	— —
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60)	2.000	1.000	0.50	0	15	Plans inclinés.	...	...	—	Américaine.	Central sphérique.
1896	Midi français (1751) . . .	2.000	1.040	0.49	0	25	Ressorts à boudin.	946	37	Extérieur.	Ordinaire.	Sphériques latéraux.
1897	Ouest français.	2.000	0.960	0.47	50	40	Ressorts à lames.	1,500	21.4	Intérieur.	Américaine.	Central plan.
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	2.000	1.040	0.49	0	25	Ressorts à boudin.	1,150	30	Extérieur.	Ordinaire.	Sphériques latéraux.
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150).	2.000	1.000	0.50	0	15	Plans inclinés.	...	...	Intérieur.	Américaine.	Central sphérique.
1899	Nord français	1.800	0.900	0.44	0	...	Ressorts à boudin.	...	...	Extérieur.	Ordinaire.	Sphériques latéraux.
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.											
1893	Paris-Lyon-Méd. (B. 3251-3300)	2m000	0m800	0.53	0	15	Plans inclinés.	...	...	Intérieur.	Américaine.	Central sphérique.
1894	Saint-Gothard	1.800	0.850	0.53	0	...	Bielles en triangle.	...	...	—	Spéciale.	Central plan.
1896	Midi français (1201). . . (1401). . .	2.000	0.850	0.49 / 0.53	0	30	Ressorts à boudin.	1,350	37	Extérieur.	Ordinaire.	Sphériques latéraux.
1897	État hongrois	2.190	1.040	0.65	45	30	Ressorts.	2,800	...	Intérieur.	—	Central sphérique et latéraux élastiques.
1897	Nord français	1.950	0.850	0.49	0	...	Ressorts à boudin.	1,700	27.6	Extérieur.	—	Sphériques latéraux.
1898	État autrichien . . .	2.650	1.034	0.57	75	35	Bielles inclinées.	...	...	Intérieur.	—	Central sphérique et latéraux élastiques.
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401) . .	2.000	1.000	0.61	0	15	Plans inclinés.	...	...	—	Américaine.	Central sphérique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LVI.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements concernant la suspension.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	POSITION PAR RAPPORT AUX ROUES ET FLEXIBILITÉ DES RESSORTS DE SUSPENSION (EN MILLIMÈTRES PAR TONNE).								Position des essieux entre les ressorts desquels il existe des balanciers compensateurs ou des organes similaires.
		du bogie ou de l'essieu AV		des essieux moteurs.		des essieux accouplés.		de l'essieu porteur d'arrière		
		à l'intérieur du châssis.	à l'extérieur du châssis.	à l'intérieur du châssis.	à l'extérieur du châssis.	à l'intérieur du châssis	à l'extérieur du châssis.	à l'intérieur du châssis.	à l'extérieur du châssis.	
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.									
1891	Est français (813)	...	6.8	6.6	...	6.6	...	...	...	Néant.
1892	Ouest français (963)	...	9.6	8	...	8	...	...	...	1er et 2e ; 3e et 4e.
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-460)	...	8.6	12.4	...	12.4	...	...	...	1er et 2e ; 3e et 4e.
1894	Paris-Orléans (77-86)	6	...	6.7	...	6.7	...	...	39.7	2e et 3e.
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	8.5	...	...	11	...	11	...	15.5	3e et 4e.
1897	État français (2751)	9.6	...	7	...	7	...	...	...	Néant.
1899	— néerlandais (995)	...	4	19	15.9	...	14.3	...	14.3	1er et 2e ; 4e et 5e.
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	8	...	8	...	8	...	...	...	1er et 2e ; 3e et 4e.
	Machines à deux essieux accouplés compound.									
1890	État hongrois	3.9	...	...	6.9	...	6.9	...	...	3e et 4e.
1891	Nord français	...	9.6	6.5	...	6.5	...	...	...	Néant.
1894	État autrichien	8.5	...	10	...	10	...	...	...	3e et 4e.
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60)	...	8.6	8.6	...	8.6	...	...	...	1er et 2e ; 3e et 4e.
1896	Midi français (1751)	...	8.9	6.7	...	6.7	...	...	...	Néant.
1897	Ouest français	...	9.6	8	...	8	...	...	...	1er et 2e ; 3e et 4e.
1899	Paris-Orléans (1-20)	...	7.9	6.9	...	6.9	...	...	...	Néant.
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150)	...	7.5	6.6	...	6.6	...	...	...	1er et 2e.
1899	Nord français	...	10	15	...	15	...	15	...	3e et 4e ; 4e et 5e.
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.									
1893	P.-L.-M. (3211-3362)	5.5	...	5	...	5.5	...	...	...	1er et 2e ; 3e et 4e.
	P.-L.-M. (B. 3261-3300)	...	4.9	5.5	...	5.5	...	...	...	1er et 2e ; 4e et 5e.
1894	Saint-Gothard	7	...	7	...	7	...	...	...	Néant.
1896	Midi français (1303)	...	9.6	7.2	...	7.2	...	...	...	Néant.
1897	État hongrois	...	5.7	4.6	...	4.6	...	...	...	4e et 5e.
1897	Nord français	...	9.6	9.1	...	9.1	...	...	...	Néant.
1898	État autrichien	...	8.5	...	10	...	10	...	...	3e et 4e.
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401)	...	4.9	5.92	...	5.92	...	...	...	1er et 2e.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LVII.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Composition du métal des coussinets de boîtes à graisse.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	COMPOSITION EN P. C. DU MÉTAL DES COUSSINETS PROPREMENT DITS.						COMPOSITION EN P. C. DE LA GARNITURE EN MÉTAL BLANC.					*Observations.*
		Cu	*Sn*	*Pb*	*Zn*	*Cu* Phosphoré	*Sb*	*Sn*	*Sb*	*Cu*	*Cu* Phosphoré	*Pb*	
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.												
1891	Est français (813). . . .	86	16	...	...	...	...	83.33	11.11	5.55	...	...	
1892	Ouest français (763) . . .	84	14	...	2	...	...	83.33	11.11	5.55	...	...	
1893	Paris-Lyon Méd. B. (111-400)	82	16	...	2	...	...	...	...	...	...	...	
1894	Paris-Orléans (77-86) . .	77.85	11	...	7.65	3.5	...	73	12	4	4	7	
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	10	75	...	...	...	15	...	...	...	...	...	Coussinets non garnis.
1897	État français (2751) . . .	...	...	...	...	...	...	83.33	11.11	5.55	...	...	
1899	État néerlandais (995) . .	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	Coussinets en bronze garnis de métal blanc.
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	82	18	...	...	...	...	83	11	6	...	...	
	Machines à deux essieux accouplés compound.												
1890	État hongrois	80	13.6	6.4	...	...	...	...	...	...	...	...	
1891	Nord français	84	14	...	2	...	...	80	10	10	...	...	
1894	État autrichien	80	9	3	8	...	...	84	10	6	...	...	
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60).	82	16	...	2	...	...	...	...	...	...	...	
1896	Midi français (1751) . . .	83	12	...	...	...	...	83.33	11.11	5.55	...	...	La composition des coussinets comporte une tolérance de 5 p. c.
1897	Ouest français.	84	14	...	2	...	...	83.33	11.11	5.55	...	...	
1899	Paris-Orléans (1-20) . . .	77.85	11	...	7.65	3.5	...	73	12	4	4	7	
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150).	82	16	...	2	...	...	...	...	...	...	...	
1899	Nord français	85	13	...	2	...	...	82	10	8	...	...	
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.												
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362).	82	16	...	2	...	...	...	...	...	...	...	
1894	Saint-Gothard	5	79	...	...	1	15	...	...	...	...	...	Coussinets non garnis.
1896	Midi français (1303) . . .	83	12	...	...	...	...	83.33	11.11	5.55	...	...	
1897	Etat hongrois	80	13.6	6.4	...	...	...	...	...	...	...	...	
1897	Nord français	85	13	...	2	...	...	82	10	8	...	...	
1898	État autrichien	80	9	3	8	...	...	84	10	6	...	...	
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401) . .	82	16	...	2	...	...	...	...	...	...	...	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LVIII.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements relatifs aux freins.

Date de la construction du premier exemplaire du type	TYPE DE LA MACHINE.	TYPE DU FREIN.	NOMBRE DES ESSIEUX FREINÉS.			RAPPORT DE LA PRESSION MAXIMUM EXERCÉE SUR LES SABOTS AU POIDS SUR RAILS DES ESSIEUX FREINÉS.		
			De bogie.	Accouplés	Porteurs.	Bogie.	Roues accouplées.	Roues porteuses.
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.							
1891	Est français (813)	Westinghouse automatique.	...	2	...	...	0.60	...
1892	Ouest français (963)	— —	...	2	...	...	0.62	...
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400)	Westinghouse-Henry.	...	2	...	...	0.50	...
1894	Paris-Orléans (77-86)	Wenger.	...	0	...	...	...	...
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn	A vide automatique et non automatique.	...	2	...	...	0.75	...
1897	État français (2751)	Wenger	...	2	...	...	0.44	...
1899	— néerlandais (995)	Westinghouse à action rapide.	...	2	...	...	0.55	...
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	— — —	...	2	...	...	0.31	...
	Machines à deux essieux accouplés compound.							
1890	État hongrois	Westinghouse à action rapide.	...	2	...	...	0.70	...
1891	Nord français	— — —	...	2	...	...	0.79	...
1894	État autrichien	A vide automatique.	...	2	...	...	0.75	...
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60)	Westinghouse-Henry.	...	2	...	...	0.50	...
1896	Midi français (1751)	Wenger.	...	2	...	...	0.55	...
1897	Ouest français (503)	Westinghouse automatique.	...	2	...	...	0.53	...
1899	Paris-Orléans (1-20)	Wenger.	...	2	...	...	0.55	...
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150)	Westinghouse-Henry.	...	2	...	...	0.50	...
1899	Nord français	Westinghouse à action rapide.	...	2	1	...	0.70	0.70
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.							
1893	Paris-Lyon-Méd. (3211-3362)	Westinghouse-Henry.	...	2	...	...	0.50	...
1894	Saint-Gothard	— —	2	2	...	0.67	0.59	...
1896	Midi français (1303)	Wenger.	...	3	...	...	0.43	...
1897	État hongrois	Westinghouse à action rapide.	...	3	...	...	0.71	...
1897	Nord français	— — —	...	3	...	...	0.65	...
1898	État autrichien	A vide automatique.	...	2	...	...	0.75	...
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401)	Westinghouse-Henry.	...	3	...	...	0.50	...

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LIX.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Poids sur rails des divers essieux.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	POIDS EN CHARGE (tonnes).							Poids total à vide (tonnes).	Poids adhérent (tonnes).	Poids total par mètre carré de grille.
		Bogie ou essieu porteur Av.		Essieux accouplés.			Essieu porteur arrière ou 4e essieu accouplé	TOTAL.			
		1er essieu.	2e essieu.	1er essieu.	2e essieu.	3e essieu.					
	Machines à deux essieux accouplés non-compound.										
1891	Est français (813)	11.685	11.685	16.649	16.747	...	...	56.766	50.937	33.400	23.47
1892	Ouest français (963)	8.100	8.700	14.100	13.900	...	...	44.800	41.300	28.000	22.4
1893	Paris-Lyon Méd. B. (111-400)	9.530	9.530	15.450	15.450	...	...	49.960	46.330	30.900	22.3
1894	Paris-Orléans (77-86)	12.670	...	14.660	14.110	...	6.860	48.300	44.765	28.770	27.75
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn.	10.600	10.600	13.900	13.900	...	10.500	59.500	53.500	27.800	20.51
1897	État français (2751)	10.810	10.120	14.460	15.360	...	...	50.750	46.250	29.820	24.74
1899	État néerlandais (995)	12.000	12.800	14.750	14.750	...	11.400	64.700	...	29.500	21.56
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	9.000	9.000	14.700	14.300	...	...	47.000	...	29.000	19.90
	Machines à deux essieux accouplés compound.										
1890	État hongrois	13.350	13.350	14.000	14.000	...	...	54.700	50.400	28.000	18.35
1891	Nord français	9.725	9.725	15.510	15.500	...	...	50.460	46.200	31.010	21.93
1894	État autrichien	13.000	14.160	14.350	14.350	...	...	55.860	50.470	28.700	18.62
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60)	9.360	9.360	15.940	15.940	...	...	50.600	47.480	31.880	21.26
1896	Midi français (1751)	10.600	10.600	16.400	16.400	...	...	54.000	48.950	32.800	21.95
1896	État français (2701)	8.170	8.170	16.325	15.870	...	...	48.535	45.880	32.195	23.67
1897	Ouest français (503)	8.900	10.135	16.275	16.190	...	...	51.500	...	32.465	21.45
1899	Paris-Orléans (1-20)	11.000	11.000	16.600	16.600	...	...	55.200	51.000	33.200	22.43
1899	P.-L.-M. C. 61-130	10.995	10.995	16.730	16.730	...	...	55.450	51.470	33.460	22.35
	P.-L.-M. C. 131-150	18.985	10.985	16.870	16.870	...	...	55.710	51.730	33.740	22.46
1899	Nord français	8.250	8.250	16.500	16.500	...	...	64.000	57.500	33.000	22.35
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound										
1893	P.-L.-M. 3211-3362	...	...	13.620	13.620	13.230	13.230	53.700	49.870	53.700	21.83
	P.-L.-M. B. 3261-3300	7.450	7.450	14.330	14.330	14.330	...	53.890	54.060	42.990	21.90
1894	Saint-Gothard	8.900	8.900	15.300	15.300	15.300	...	63.700	57.324	45.900	26.54
1896	Midi français 1303	7.900	7.900	14.700	14.800	14.800	...	60.100	54.800	44.300	24.13
	Midi français 1402	7.900	7.900	14.700	14.700	14.700	...	59.900	54.500	44.100	24.05
1897	Etat hongrois	7.500	7.500	14.200	14.200	14.300	...	57.700	52.600	42.700	22.19
1897	Nord français	8.500	8.500	14.150	14.190	14.130	...	58 570		42.470	25.03
1898	État autrichien	12.850	13.900	14.350	14.350	14.350	...	69.800	63.200	43.050	22.51
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401)	7.750	7.750	14.500	14.500	14 500	...	59.000	55.020	43.500	23.79

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LX.

Locomotives construites de 1889 à 1899.

Renseignements concernant les tenders.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	DISTANCES D'AXE EN AXE DES ESSIEUX (en mètres).			Empattement total (mètres).	Diamètre des roues au contact (mètres).	CAPACITÉ.		Poids à vide (tonnes).	Poids en charge (tonnes).
		1er au 2e.	2e au 3e.	3e au 4e.			Eau (mètres cubes).	Charbon (tonnes)		
	Machines à deux essieux accouplés non compound.									
1891	Est français (813)	2.200	1.700	...	3.900	1.240	20.000	5.000	17.900	42.900
1892	Ouest français (963)	2.950	...	...	2.950	1.140	12.200	3.500	11.600	27.300
1893	Paris-Lyon-Méd. B. (111-400)	1.700	1.700	...	3.400	1.200	16.100	3.000	16.920	36.320
1894	Paris-Orléans (77-86)	2.400	1.350	...	3.750	1.220	14.500	4.700	17.340	36.540
1895	Kais. Ferdinands-Nordbahn.	1.630	1.570	...	3.200	1.010	15.000	7.500m3	16.100	37.100
1897	État français (2751)	3.100	...	...	3.100	1.230	10.000	5.000	12.700	27.700
		1.800	2.600	1.800	6.200	1.040	20.000	9.000	21.500	50 500
1899	— néerlandais (995)	1.828	1.676	1.828	5.332	1.219	18.000	5.000	22.000	45.000
1899	Réseau de l'Adriatique (1865)	2.000	2.000	...	4.000	1.120	10.500	4.350	14.500	29.500
	Machines à deux essieux accouplés compound.									
1890	État hongrois	1.600	1.600	...	3.200	1.048	17.000	8.800m3	15.200	40.535
1891	Nord français	1.800	2.050	1.800	5.650	1.040	18.000	5.000	19.840	42.840
1894	État autrichien	1.700	1.500	...	3.200	1.034	16.750	7.200	15.700	40.750
1894	Paris-Lyon-Méd. (C. 21-60)	1.700	1.700	...	3.400	1.200	16.100	3.000	17.200	36.600
1896	Midi français (1751)	1.750	1.450	...	3.200	1.230	15.800	4.000	15.500	35.600
1897	Ouest français (503)	1.800	1.600	1.800	5.200	0.980	18.000	7.000	18.160	43.160
1899	Paris-Orléans (1-20)	1.750	1.450	...	3.200	1.19	16.000	6.000	15.700	37.700
1899	Paris-Lyon-Méd. (C. 61-150)	1.700	1.700	...	3.400	1 200	16.100	3.000	16.920	36.320
1899	Nord français	1.700	2.050	1.700	5.450	1.040	20.000	5.000	20.500	45.500
	Machines à trois (ou quatre) essieux accouplés compound.									
1893	P.-L.-M. (3211-3362)	1.700	1.700	...	3.400	1.200	12.200	5.000	16.100	33.600
	P.-L.-M. B. (3261-3300)	2.500	...	...	2.500	1.200	10 000	5.000	13.580	28.580
1894	Saint-Gothard	1.900	1.600	...	3.500	1.020	17.000	5.000	14 850	36.850
1896	Midi français (1303)	2.600	...	...	2 600	1.230	10.000	3 000	12.300	25.600
1897	État hongrois	1.580	1.580	...	3.160	1.040	12.500	8.800m3	13.500	34.000
1897	Nord français	1.650	1.450	...	3.100	1 2475	15.200	4 000	15.900	35.350
1898	État autrichien	1.700	1.500	...	3.200	1.034	16.750	7 200	15.700	40.750
1899	Paris-Lyon-Méd. (3401)	2.500	...	...	2.500	1.200	10.250	4.000	13.310	27.860

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le deuxième cas, les longerons, de 30 millimètres d'épaisseur, ont été coudés et leur écartement qui est de 1.24 mètre au droit des roues accouplées a été ainsi ramené à 0.81 mètre au droit des cylindres. Ils ont d'ailleurs été fortement entretoisés, tant dans la partie infléchie que dans la partie rétrécie du châssis, au moyen de caissonnements et de tôles armées de cornières.

A l'État hollandais, on a conservé pour les machines à cinq essieux le châssis double précédemment appliqué aux machines à grande vitesse de la même administration. L'essieu moteur seul, comme il est d'usage en ce cas, a été pourvu à la fois de fusées extérieures et intérieures. L'essieu accouplé et l'essieu porteur d'arrière n'ont reçu que des fusées extérieures.

§ 186. — *Bogies*. — Les bogies dont l'emploi est devenu général sont à châssis intérieur ou à châssis extérieur. Toutefois, cette dernière disposition n'est jamais appliquée lorsque la machine est pourvue de cylindres extérieurs placés entre les deux essieux du bogie.

L'entre-axes de ceux-ci est généralement compris entre 1.800 et 2.200. Seuls font exception à cette règle les bogies de l'État autrichien sur lesquels, par suite de l'obligation de ne pas dépasser une charge maximum sur rails de 14.500 tonnes par essieu, une partie notable du poids suspendu a dû être reporté, et pour lesquels l'entre-axes en question atteint 2.65 et 2.70 mètres.

Les pivots de ces bogies ne coïncident pas avec leur centre de figure. Ils ont été déportés vers l'arrière, respectivement de 75 et de 90 millimètres. La même disposition a été appliquée aux machines à quatre roues accouplées de l'Ouest français et à celles à six roues accouplées de l'État hongrois, mais apparemment dans le seul but de réduire la poussée radiale exercée sur le rail extérieur des courbes par l'essieu d'avant du bogie.

On remarquera que le diamètre des roues des avant-trains mobiles diffère généralement assez peu de la moitié du diamètre des roues motrices correspondantes.

Au point de vue de la suspension de leur châssis, les bogies sont de deux sortes : ceux qui, comme les véhicules ordinaires, s'appuient sur quatre ressorts indépendants, remplacés au Saint-Gothard par huit ressorts à boudin, et ceux qui ont reçu la suspension dite américaine comportant de chaque côté un ressort unique renversé, chargé directement en son milieu et suspendu par ses extrémités à un balancier longitudinal qui repose sur les boîtes à huile.

Le but de cette dernière disposition, qui est de répartir également les poids supportés par les deux essieux, est atteint, sur d'autres bogies, par l'emploi de pièces d'appui à portée sphérique, centrales ou latérales.

Lorsque la suspension américaine est employée concurremment avec des appuis sphériques dont l'altitude au-dessus du niveau des rails diffère nécessairement très peu de celle des brides des ressorts de suspension, le châssis du bogie devient fou autour d'un axe horizontal, et il devient indispensable, comme on l'a fait à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, de fixer sa position au moyen d'une bielle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

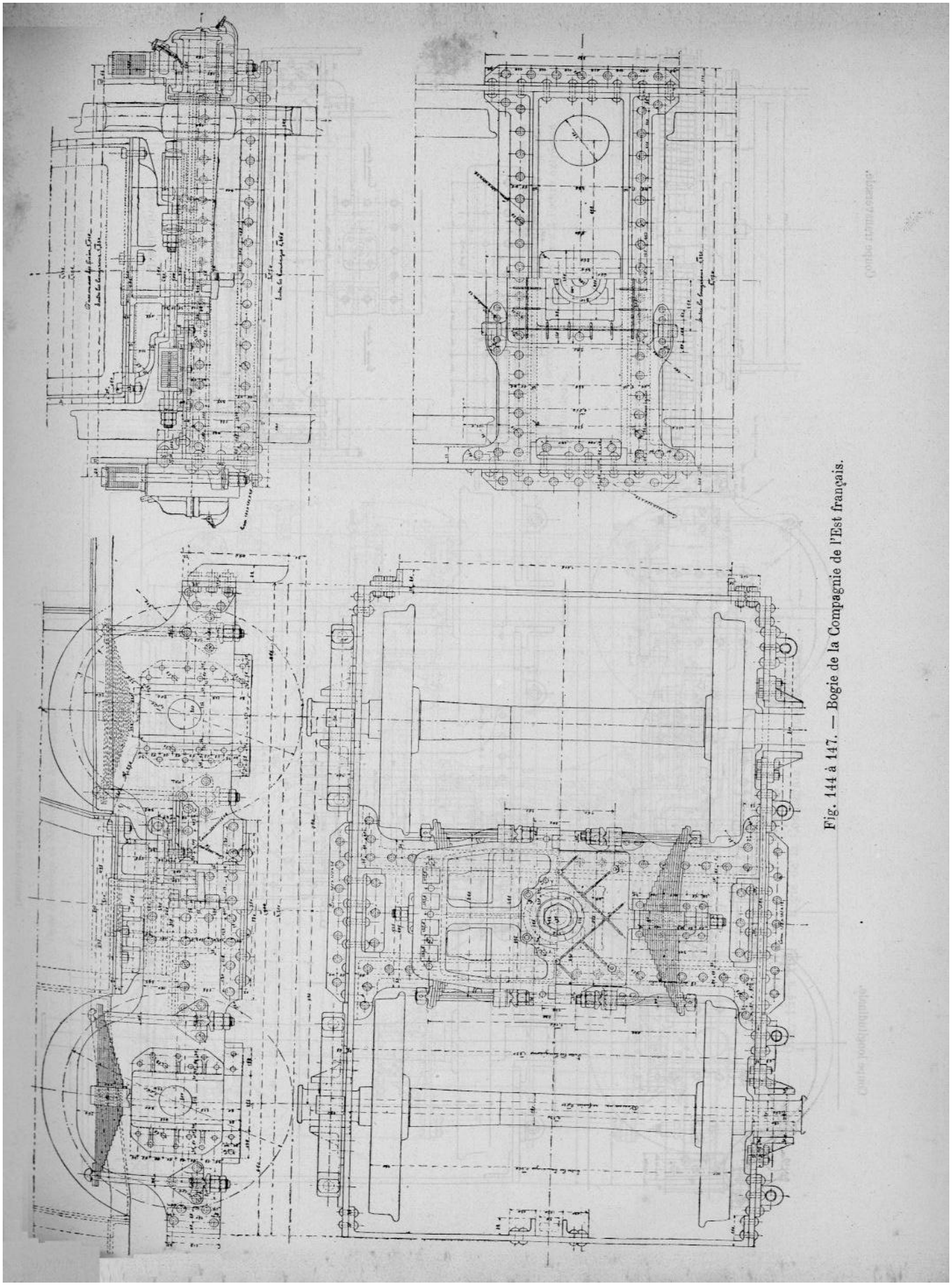


Fig. 144 à 147. — Bogie de la Compagnie de l'Est français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

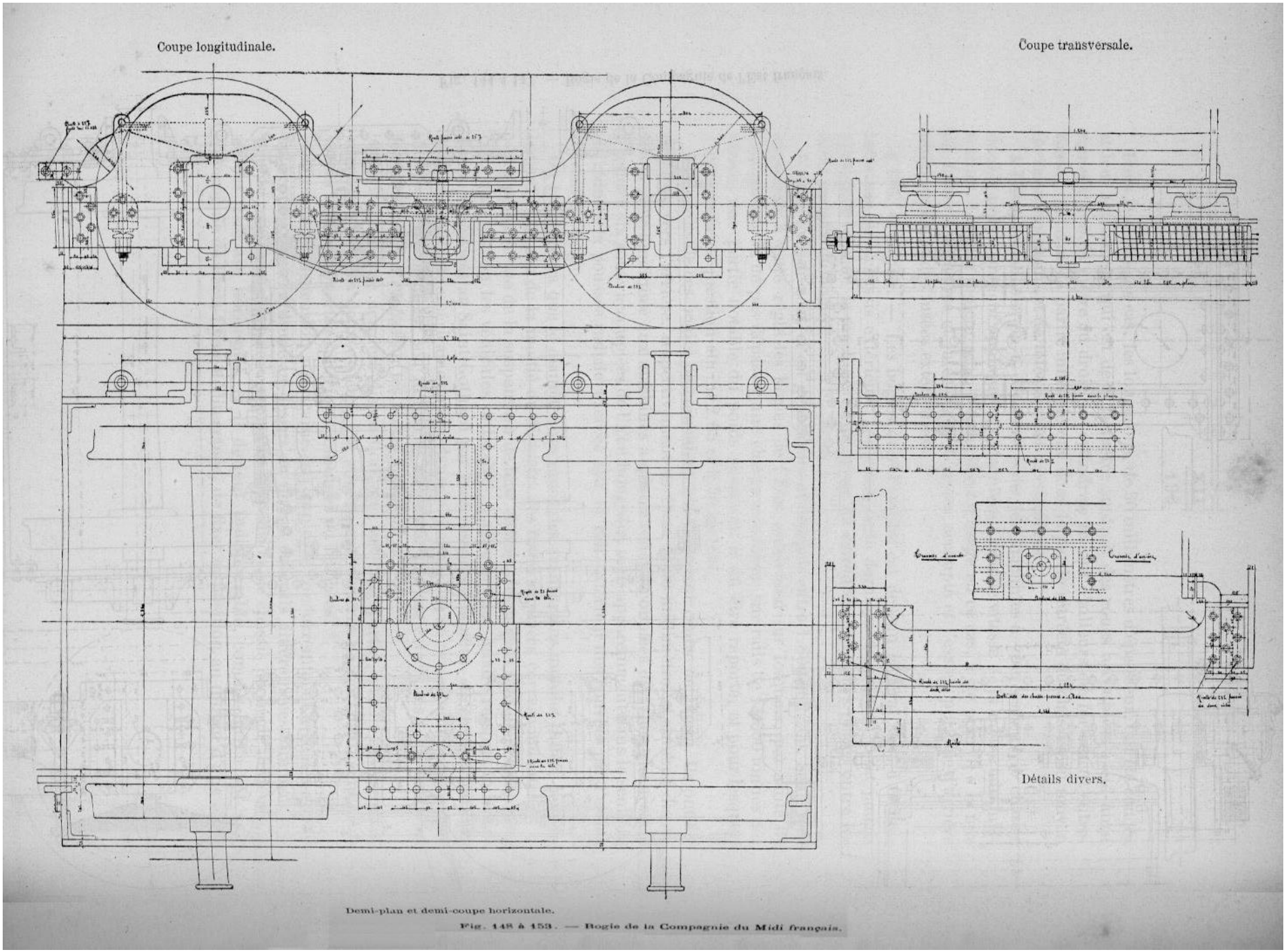


Fig. 148 à 153. — Bogie de la Compagnie du Midi français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Demi-coupes transversales.

Nota. — Les tendeurs des ressorts de rappel sont montés du côté opposé aux trous A avant l'introduction des ressorts ; les trous A servent à passer les axes à l'autre extrémité des tendeurs.

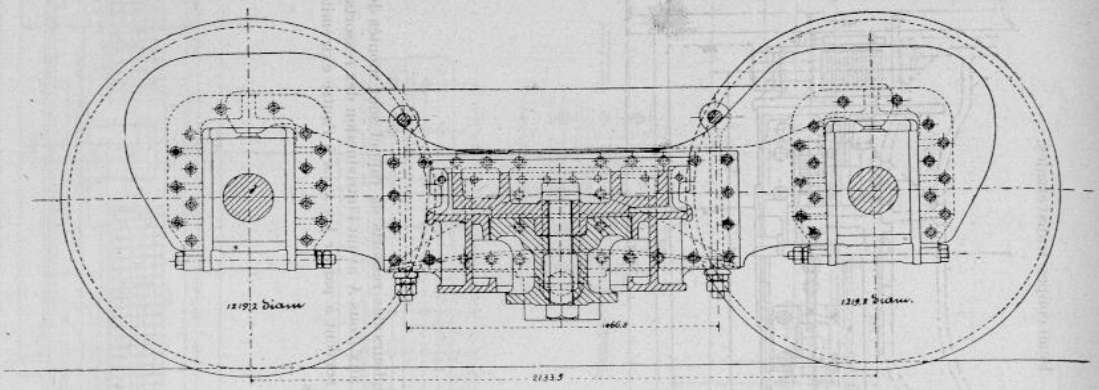
Demi-élévation et demi-coupe longitudinale.

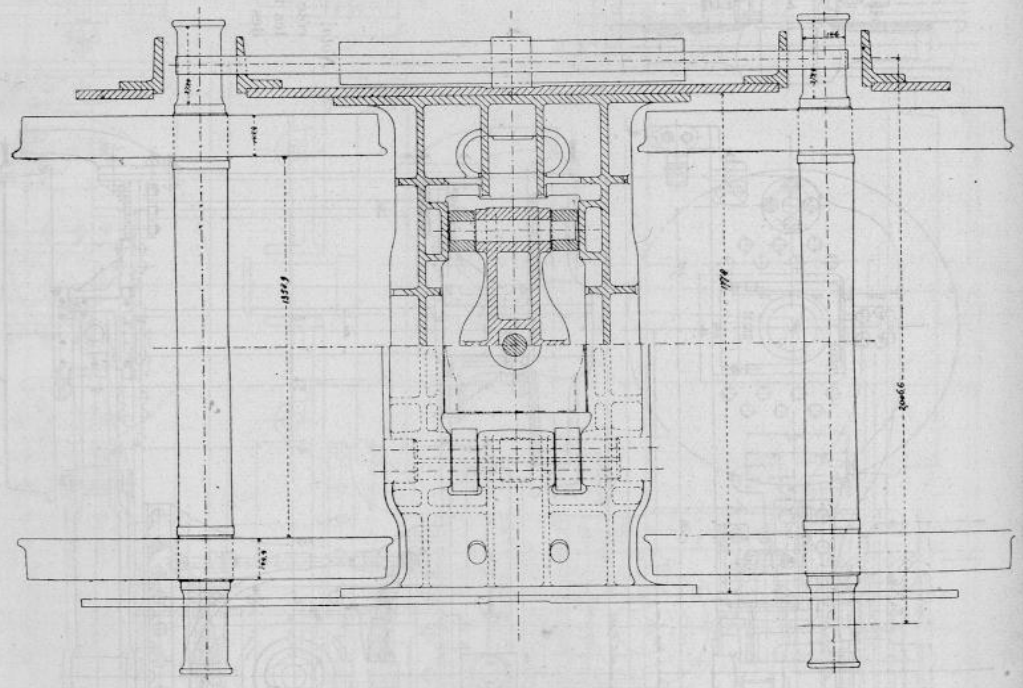
Demi-plan et demi-coupe horizontale.

Fig. 154 à 156. — Bogie de la Compagnie de l'Ouest français.

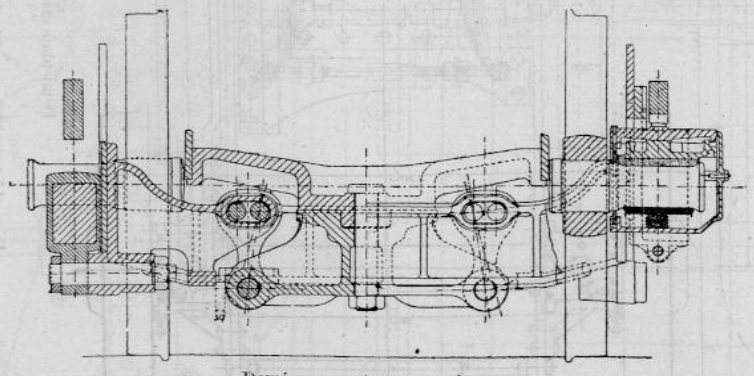
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Coupe longitudinale.

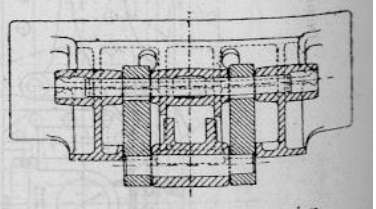




Demi-plan et demi-coupe horizontale.



Demi-coupes transversales.



Coupe des bielles de suspension.

Fig. 157 à 160. — Bogie de l'État néerlandais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

articulée au châssis principal assez longue pour ne pas gêner les déplacements du pivot.

Les bogies des machines à quatre roues accouplées de l'État autrichien, du Nord autrichien et de l'État hongrois sont les seuls dont les crapaudines soient dépourvues de jeu transversal.

Variable dans d'assez fortes limites sur les autres réseaux, ce jeu est contrôlé soit par des ressorts à lames ou à boudin, possédant une forte bande de pose, soit par des dispositifs dont le fonctionnement est basé sur l'action de la gravité.

Ces derniers sont employés par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, par l'État autrichien, la Société des chemins de fer méridionaux, l'État néerlandais et le Saint-Gothard.

A la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, la crapaudine repose sur des plans inclinés en sens contraires dont la disposition et le fonctionnement sont analogues à ceux des mécanismes de rappel précédemment appliqués aux roues porteuses d'avant et d'arrière des anciennes machines à grande vitesse de la même Compagnie.

Les quatre autres administrations emploient le système de rappel américain qui consiste à suspendre la crapaudine au châssis du bogie au moyen de menottes ou de bielles inclinées; mais dans l'application qu'elles en ont faite, on peut encore distinguer plusieurs variétés.

A l'État autrichien, la disposition des menottes est telle que leurs axes prolongés se rencontrent au-dessus des cylindres. Sur le réseau de l'Adriatique, le point de rencontre des mêmes axes est situé au-dessous du niveau des rails.

Dans le premier cas, l'inclinaison prise par l'axe de la crapaudine s'ajoute au dévers de la voie mais reste sans influence notable sur l'inclinaison du pivot par suite de la portée sphérique de l'appui central.

Dans le second cas, l'effet du dévers sur l'inclinaison du pivot lui-même est légèrement atténué par le jeu des bielles inclinées.

A l'État néerlandais et au Saint-Gothard, où la machine repose sur le bogie par une large portée plane, on empoie des menottes triangulaires suspendues au châssis par deux boulons d'articulation qui les traversent avec un certain jeu. La rotation des menottes s'effectuant autour de l'un ou de l'autre de ces deux boulons, suivant que le bogie se déplace transversalement dans un sens ou dans l'autre, le plan d'appui de la machine reste toujours parallèle à lui-même pendant ce déplacement.

Quant à l'inclinaison des menottes sur la verticale, elle est d'environ 20 p. c. à l'État autrichien et au Saint-Gothard, d'environ 15 p. c. à l'État néerlandais et aux chemins de fer méridionaux.

§ 187. — *Hauteur des chaudières.* — A défaut de la hauteur du centre de gravité des machines, hauteur qui n'est généralement pas très exactement déterminée, il nous a paru intéressant de rechercher sur les dessins qui nous ont été communi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qués la hauteur de l'axe des corps cylindriques de chaudière au-dessus du plan de roulement des rails. Laissant de côté les hauteurs inférieures à 2.45 mètres pour les machines à quatre roues accouplées et à 2.40 mètres pour les machines à six roues accouplées, nous avons pu dresser le tableau suivant :

	Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus du niveau des rails.
Machines à quatre roues accouplées.	
Machine nº 1751 du Midi français	2.450 mètres.
— nº 2158 du Nord français	2.450 —
Machines nºs 1 à 20 de la Compagnie Paris-Orléans	2.450 —
Machine nº 1865 de l'Adriatique	2.450 —
— C. 61 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée	2.470 —
— nº 503 de l'Ouest français	2.501 —
— nº 2641 du Nord français (en construction)	2.520 —
— série 106 de l'État autrichien	2.590 —
— nº 995 de l'État néerlandais	2.667 —
Machines à six roues accouplées.	
Machines nºs 661-675 de l'État hongrois	2.400 mètres.
Machine nº 1301 du Midi français	2.420 —
— nº 3121 du Nord français	2.420 —
— nº 3401 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée	2.435 —
— série 9 de l'État autrichien	2.600 —

Du rapport très documenté de M. Aspinall, relatif à la question VI de la cinquième session du Congrès, il résulte qu'en 1895 la cote de 2.50 mètres n'était atteinte en Europe que par une seule machine, celle à six roues accouplées du chemin de fer du Vladicaucase, alors que les machines américaines dépassaient généralement cette cote et que l'une d'elles, celle à grande vitesse du « New-York Central & Hudson River Railway » atteignait même celle de 2.75 mètres.

Si les avantages d'une certaine surélévation du centre de gravité des machines, si bien mis en lumière par M. Aspinall, sont encore parfois discutés, les chiffres ci-dessus semblent du moins indiquer que les ingénieurs européens appréhendent moins qu'autrefois de suivre l'exemple qui leur est donné par leurs confrères d'Amérique.

§ 189. — *Attelages d'arrière des machines.* — Le type d'attelage de machine à tender le plus répandu comprend :

1º Un tendeur d'attelage ou une barre rigide réunissant deux chevilles ouvrières solidaires, l'une du caisson d'attelage de la machine, l'autre du caisson d'attelage du tender;

2º Deux tampons dont les champignons, portés par le tender, s'appuient contre la traverse d'arrière de la machine et dont les tiges viennent buter contre les deux extrémités d'un ressort à lames. La chape qui assemble ces lames est ordinairement libre d'osciller sur une crapaudine ou autour d'un axe fixe qui souvent se confond avec la cheville ouvrière du tender;

3º Deux attelages de sûreté placés de part et d'autre de l'attelage principal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

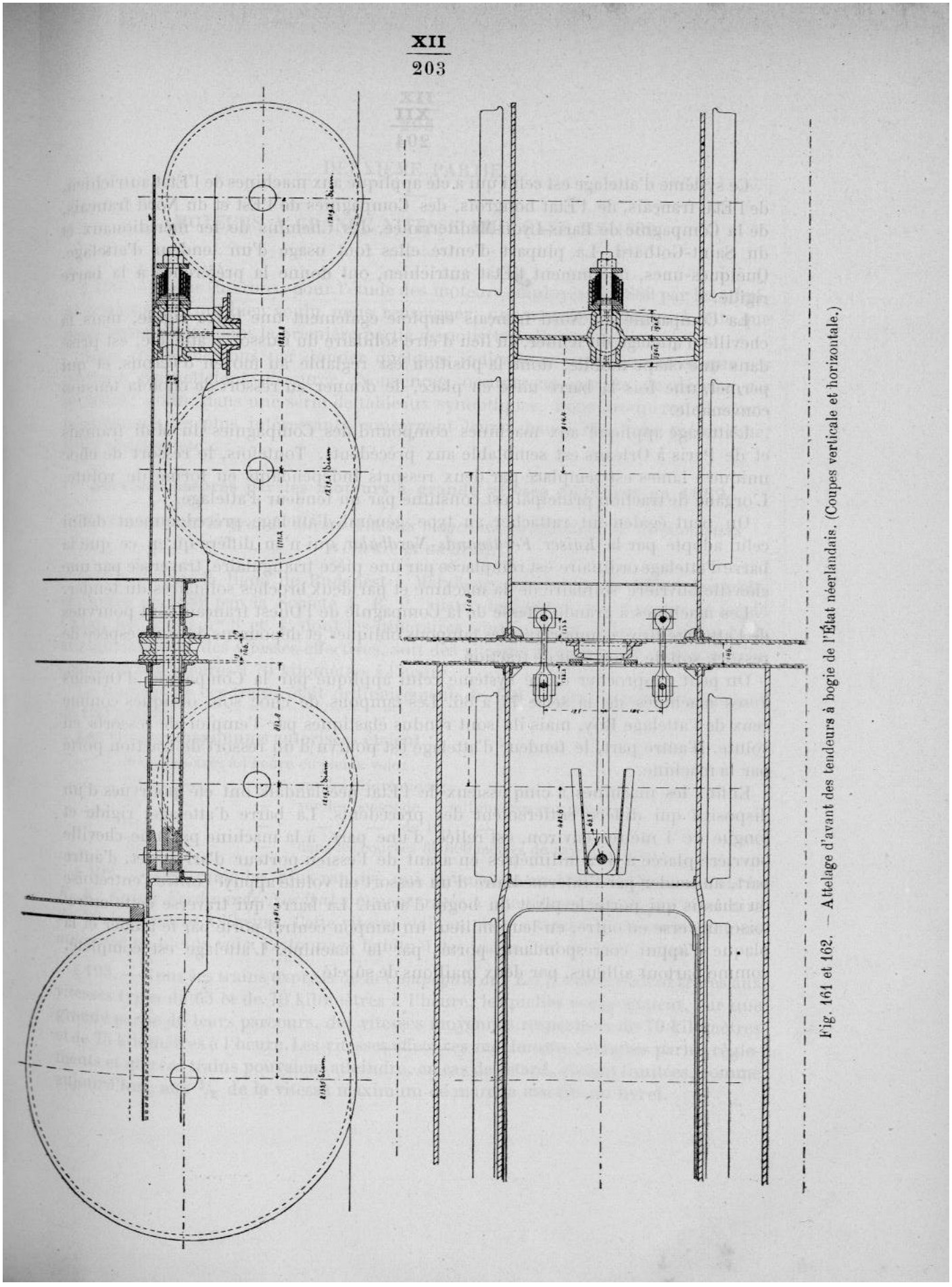


Fig. 161 et 162. — Attelage d'avant des tenders à bogie de l'État néerlandais. (Coupes verticale et horizontale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce système d'attelage est celui qui a été appliqué aux machines de l'État autrichien, de l'État français, de l'État hongrois, des Compagnies de l'Est et du Nord français, de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, des Chemins de fer méridionaux et du Saint-Gothard. La plupart d'entre elles font usage d'un tendeur d'attelage. Quelques-unes, notamment l'État autrichien, ont donné la préférence à la barre rigide.

La Compagnie du Nord français emploie également une barre rigide, mais la cheville d'attelage du tender, au lieu d'être solidaire du caisson d'attelage, est prise dans une chape mobile, dont la position est réglable au moyen d'écrous, et qui permet, une fois la barre mise en place, de donner au ressort de choc la tension convenable.

L'attelage appliqué aux machines compound des Compagnies du Midi français et de Paris à Orléans est semblable aux précédents. Toutefois, le ressort de choc unique à lames est remplacé par deux ressorts indépendants en forme de volute. L'organe de traction principal est constitué par un tendeur d'attelage.

On peut également rattacher au type général d'attelage précédemment défini celui adopté par la *Kaiser Ferdinands-Nordbahn*, qui n'en diffère qu'en ce que la barre d'attelage ordinaire est remplacée par une pièce triangulaire, traversée par une cheville ouvrière solidaire de la machine et par deux broches solidaires du tender.

Les machines à grande vitesse de la Compagnie de l'Ouest français sont pourvues de l'attelage Roy, comportant des tampons obliques et dépourvus de toute espèce de ressort, soit de choc, soit de traction.

On peut rapprocher de ce système celui appliqué par la Compagnie d'Orléans à ses machines de la série 77 à 86. Les tampons de choc sont obliques comme ceux de l'attelage Roy, mais ils sont rendus élastiques par l'emploi de ressorts en volute. D'autre part, le tendeur d'attelage est pourvu d'un ressort de traction porté par la machine.

Enfin, les machines à cinq essieux de l'État néerlandais ont été pourvues d'un dispositif qui diffère entièrement des précédents. La barre d'attelage, rigide et longue de 4 mètres environ, est reliée, d'une part, à la machine par une cheville ouvrière placée à 482 milimètres en avant de l'essieu porteur d'arrière et, d'autre part, au tender par l'intermédiaire d'un ressort en volute appuyé contre l'entretoise du châssis qui porte le pivot du bogie d'avant. La barre qui traverse cette entretoise, traverse en outre, en leur milieu, un tampon central porté par le tender et la plaque d'appui correspondante portée par la machine. L'attelage est complété, comme partout ailleurs, par deux maillons de sûreté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME PARTIE.

MOTEURS A GRANDE VITESSE EMPLOYÉS EN 1889.

§ 190. — Nous suivrons, pour l'étude des moteurs employés en 1889 par les administrations qui ont bien voulu nous renseigner, une marche analogue à celle que nous avons suivie dans la première partie de notre travail.

Nous commencerons par donner quelques indications sur les services que ces moteurs permettaient d'assurer. Nous nous occuperons ensuite de décrire ces moteurs; enfin, dans une série de tableaux synoptiques, nous grouperons les renseignements les plus intéressants concernant leurs chaudières, leur mécanisme, leurs châssis, etc.

Services assurés par les moteurs à grande vitesse employés en 1889.

a) *Trains de très grande vitesse (vitesses moyennes ou effectives de 70 kilomètres à l'heure et au delà).*

§ 191. — Sur la ligne de Budapest à Marchegg, du réseau de l'*État hongrois*, exploitée en 1889 par la Société I. R. P. austro-hongroise des chemins de fer de l'Etat, les trains nos 3 et 4, dont les itinéraires sont analysés dans le tableau LXI, atteignaient soit des vitesses effectives, soit des vitesses moyennes de pleine marche égales ou supérieures à 70 kilomètres à l'heure.

Le tonnage de ces trains était ordinairement de 130 tonnes, exceptionnellement de 150 tonnes.

Les vitesses maximums autorisées étaient :

80 kilomètres à l'heure en pleine voie ;
50 — — sur les bifurcations ;
75 — — sur les pentes de 5 millimètres par mètre ;
64 — — — — de 10 —
75 — — dans les courbes de 600 mètres de rayon.

§ 192. — Les trains les plus rapides qui circulaient en 1889 sur le réseau de la *K. K. Kaiser Ferdinands-Nordbahn* étaient tracés à une vitesse moyenne d'itinéraire de 80 kilomètres à l'heure. Cette vitesse était en même temps la vitesse maximum autorisée en pleine voie. Le tonnage habituel des trains était de 120 tonnes.

§ 193. — Tous les trains express de la *Compagnie de l'Est français* étaient tracés aux vitesses types de 65 et de 70 kilomètres à l'heure, lesquelles comportaient, sur une grande partie de leurs parcours, des vitesses moyennes respectives de 70 kilomètres et de 75 kilomètres à l'heure. Les vitesses effectives maximums permises parles règlements et que ces trains pouvaient atteindre, en cas de retard, étaient limitées, comme aujourd'hui, aux $^3/_2$ de la vitesse maximum de marche inscrite au livret.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXI.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km.			Km	Km		
4	Budapest	...	...	...	...	...	Rampes et pentes douces de 0 à 3 millimètres de Pest à Pozsony.	Budapest-Marchegg (231·3 kilom.).
	Vácz	33.3	32′	1′	62.4	66.6		
	Párkány-Nána	44.0	45′	2′	58.6	60.9		
	Érsekujvár	44.1	41′	6′	64.5	67.8		
	Tôt-Megyer	10.0	11′	1′	54.5	66.6		
	Galantha	32.3	31′	1′	62.5	66.8		
	Pozsony	48.8	45′	3′	65.0	68.1	Rampes et pentes de 6 à 7 millimètres de Pozsony a Marchegg.	
	Marchegg	18.8	22′	...	51.2	56.4		
3	Marchegg	...	...	...	...	...	Courbes généralement de grand rayon. Quelques-unes de 380 à 500 mètres de rayon.	Marchegg Budapest (231.3 kilom.).
	Pozsony	18.8	23′	3′	49.0	53.7		
	Galantha	48.8	41′	1′	71.4	75.0		
	Tôt-Megyer	32.3	30′	1′	62.6	64.9		
	Érsekujvár	10.0	11′	6′	54.5	66.6		
	Párkány-Nána	44.1	41′	2′	64.5	68.8		
	Vácz	44.3	43′	1′	61.8	64.8		
	Budapest	33.3	33′	...	60.5	64.4		

§ 194. — Sur le réseau du *Midi français*, plusieurs express étaient tracés partiellement à des vitesses moyennes égales ou supérieures à 70 kilomètres à l'heure. C'est ce qui résulte du tableau LXII, qui résume les conditions dans lesquelles circulaient ces trains sur leurs parcours les plus intéressants.

La vitesse maximum autorisée en pleine voie, de 100 kilomètres à l'heure, était fréquemment atteinte par quelques-uns de ces trains, notamment en cas de retard, sur les parties les plus faciles de leur parcours.

§ 195. — Parmi les trains de la *Compagnie du Nord français*, dont les itinéraires comportaient des vitesses moyennes de marche de 70 kilomètres à l'heure et au delà, nous citerons les trains C.1, C.2, O et P, qui circulaient entre Paris et Calais, et les trains nos 29, 18 et 46, qui circulaient entre Paris et Lille, dans les conditions indiquées par le tableau LXIII.

Un assez grand nombre d'autres trains, quoique tracés à une vitesse moyenne inférieure à 70 kilomètres à l'heure, atteignaient effectivement, sur une notable partie de leur parcours, des vitesses supérieures à ce chiffre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXII

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distance des stations entre elles.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Tonnage habituel.	Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
		Km			Km	Km			
	Bordeaux.	...	...	...	...	...			
		41.6	39′	2′	64.0	67.4			
101	Langon.	...	...		...	...	150	Voir fig. 9.	Bordeaux-Toulouse
		18.9	18′		63.0	70.8	environ.		(256.6 kilomètres).
	La Réole	...	...	1′	...	...			
		18.3	18′		61.0	68.6			
	Marmande	...	...	...	...	...			
	Bordeaux.	...	...	...	...	...			
		78.3	65′		72.7	75.0			
	Marmande	...	...	4′	...	...			
		56.7	48′		70.9	73.9			
	Agen	...	...	5′	...	...			Bordeaux-Agen
		70.2	61′		69.0	71.4			(135.5 kilomètres).
	Montauban	...	...	4′	...	...			
		50.9	48′		63.6	66.4	140		
121	Toulouse	...	...	9′	...	...		Voir fig. 9.	Agen-Toulouse
		54.6	50′		65.5	68.2	environ.		(121.1 kilomètres).
	Castelnaudary	...	...	2′	...	...			
		36.1	32′		67.8	72.2			
	Carcassonne	...	...	5′	...	...			Toulouse-Narbonne
		58.8	51′		69.1	72.0			(149.5 kilomètres).
	Narbonne.	...	...	...	...	...			
	. . . . .	...	...	...	...	...			
	. . . . .	...	...	...	...	...			
	Castelnaudary	...	...	...	...	...			Narbonne-Toulouse
		54.6	49′		66.8	69.7			(149.5 kilomètres).
	Toulouse	...	...	11′	...	...			
		51.0	45′		68.0	71.1	140		
122	Montauban	...	...	3′	...	...		Voir fig. 9.	Toulouse-Agen
		70.2	64′		65.8	67.9	environ.		(121.1 kilomètres).
	Agen	...	...	5′	...	...			
		56.7	52′		65.4	68.0			
	Marmande	...	...	4′	...	...			Agen Bordeaux
		78.3	66′		71.1	73.0			(135.5 kilomètres).
	Bordeaux (contrôle). .	...	...	...	...	...			
	Bordeaux	...	...	...	...	...			
		42.4	36′		70.6	74.8			
	Lamothe	...	...	3′	...	...			
		79.7	71′		67.3	69.3			
	Rion	...	...	1′	...	...			
		25.5	22′		69.5	76.5	130		Bordeaux-Irun
79	Dax.	...	...	3′	...	...		Voir fig. 8.	
		37.2	32′		69.7	74.4	environ.		(237 kilomètres).
	Labenne	...	...	1′	...	...			
		9.3	9′		62.0	79.7			
	Le Boucau	...	...	...	...	...			
	. . . . .	...	...	...	...	...			
	. . . . .	...	...	...	...	...			
	Le Boucau	...	...	...	...	...			
		46.5	40′		69.7	73.4			
	Dax	...	...	2′	...	...			
76		25.5	26′		58.8	63.7	130	Voir fig. 8.	Hendaye-Bordeaux
	Rion	...	...	1′	...	...			
		13.4	15′		52.6	61.8	environ.		(235 kilomètres).
	Morceux	...	...	8′	...	...			
		66.3	57′		69.7	72.3			
	Lamothe	...	...	2′	...	...			
		41.9	37′		67.9	71.8			
	Bordeaux (contrôle). .	...	...	...	...	...			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXII. (*Suite.*)

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distance des stations entre elles.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	Vitesse moyenne brute entre deux points d'arrêt.	Vitesse moyenne de pleine marche.	Tonnage habituel.	Profil.	Parcours effectués sans changement de machine.
		Km			Km	Km			
270	Tarbes	...	...	...	...	...	130 environ.	Pente à peu près continue de 2 à 6 millim. par mètre de Tarbes à Cazères. Rampes et pentes de 5 millim. de Cazères à Morceux. Courbes de grand rayon.	Tarbes-Bordeaux (245.7 kilomètres).
	Vic-Bigorre	17.5	16′	1′	65.6	75.0			
	Castelnau	24.7	23′	8′	64.4	70.5			
	Riscle	8.8	10′	4′	52.8	66.0			
	Cazères	24.2	26′	1′	55.8	60.5			
	Mont-de-Marsan	23.4	22′	3′	63.8	70.2			
	Morceux	38.4	35′	5′	65.8	69.8			
78	Lamothe	66.3	57′	3′	69.7	72.3	130 environ.	Voir fig. 8.	Tarbes-Bordeaux (245.7 kilomètres).
	Bordeaux	41.9	37′	...	67.9	71.8			

En général, les trains soutenaient facilement la vitesse de 75 kilomètres, en palier, sur des parcours étendus. Sur les pentes, ils atteignaient, dépassaient même la vitesse de 100 kilomètres à l'heure.

Des vitesses effectives aussi élevées s'imposaient, d'ailleurs, sur les parcours les plus faciles, par suite des ralentissements assez nombreux qui faisaient perdre du temps aux abords des bifurcations et au passage de certaines courbes.

La vitesse maximum autorisée en pleine voie était limitée aux $^3/_2$ de la vitesse moyenne de marche, sans pouvoir excéder 120 kilomètres à l'heure.

§ 196. — Le plus rapide des trains que la *Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée* faisait circuler entre Paris et Marseille, au cours du service d'été de 1889, était le train n° 10, qui faisait le trajet total de Marseille à Paris en 14 heures 40 minutes, alors que ce même trajet est effectué aujourd'hui par le train L. 22 en 11 heures 57 minutes.

Le maximum de vitesse autorisé, qui est aujourd'hui de 110 kilomètres à l'heure, n'était, en 1889, que de 80 kilomètres.

Le tonnage normal du train n° 10 était 190 tonnes.

§ 197. — Sur le réseau de la *Compagnie d'Orléans*, les trains rapides circulant entre Paris et Bordeaux et les trains Sud-Express étaient tracés à des vitesses supérieures à 70 kilomètres à l'heure, ainsi que cela résulte des indications du tableau LXIV.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXIII.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	CHARGE HABITUELLE. Tonnes.	CHARGE HABITUELLE. Essieux.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km					
	Paris.	...	...	...	...	...				
C_1	Amiens	130.6	110′	5′	71.2	72.5	125 ou 155	18 ou 24	Voir fig. 10.	Paris-Amiens (130.6 kilomètres).
	Calais-Maritime . .	166.6	138′		72.4	73.5				Amiens-Calais (166.6 kilomètres).
	—	...	...	...	...	...				
	Calais-Maritime . .	...	...	...	...	...				
C_2	Amiens	166.6	138′	5′	72.4	73.5	125 ou 155	18 ou 24	Voir fig. 10.	Calais-Amiens (166.6 kilomètres).
	Paris.	130.6	110′		71.2	72.5				Amiens-Paris (130.6 kilomètres).
	—	...	...	...	...	...				
	Calais-Ville	...	...	...	...	...				
O	Amiens	164.0	136′	5′	72.3	73.4	110	22	Voir fig. 10.	Calais-Amiens (166.6 kilomètres).
	Paris.	130.6	115′		68.1	69.3				Amiens-Paris (130.6 kilomètres).
	—	...	...	...	...	...				
	Calais-Ville	...	...	...	...	...				
P	Amiens	164.0	140′	5′	70.2	71.3	115	28	Voir fig. 10.	Calais-Amiens (166.6 kilomètres).
	Pierrefitte	120.5	107′		67.5	68.8				Amiens-Paris (130.6 kilomètres).
	—	...	...	...	...	...				
	Paris.	...	...	...	...	...				
	Longueau	126.0	105′	5′	72.0	73.4				
29	Arras	65.6	55′	2′	71.5	74.2	120	24	Voir fig. 11.	Paris-Lille (250.9 kilomètres).
	Douai	25.8	23′	2′	67.3	70.3				
	Lille.	33.5	33′		60.9	64.8				
	—	...	...	...	...	...				
	Lille	...	...	...	...	...				
	Douai	33.5	32′	2′	62.8	67.0				
	Arras	25.8	25′	2′	61.9	67.3				
18	Longueau	65.6	58′	7′	67.8	70.3	120	24	Voir fig. 11.	Lille-Paris (250.9 kilomètres).
	Creil.	75.7	67′	2′	67.7	69.8				
	Paris.	50.3	50′		60.3	62.8				
	—	...	...	...	...	...				
	Lille	...	...	...	...	...				
	Douai	33.5	32′	2′	62.8	67.0				
	Arras	25.8	25′	5′	61.9	67.3				
46	Longueau	65.6	52′	5′	75.6	78.7	100	18	Voir fig. 11.	Lille-Paris (250.9 kilomètres).
	Creil.	75.7	66′	2′	68.8	70.9				
	Paris	50.3	49′		61.6	64.2				

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXIV.

Désignation des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km		
Sud-Express.	Les Aubrais	...	...	4′	...	...	Voir fig. 14.	Les Aubrais-Saint-Pierre (112 kilomètres).
		112.0	91′		73.8	75.5		
	St-Pierre-des-Corps.	...	...	4′	...	...		
	—							
Sud-Express.	St-Pierre-des-Corps.	...	...	5′	...	...	Voir fig. 14.	Saint-Pierre-Les Aubrais (112 kilomètres).
		112 0	92′		73.1	74.6		
	Les Aubrais	...	...	4′	...	...		
	—							
Rapide de jour.	Paris	...	...	...	...	...	Voir fig. 14.	Paris-Les Aubrais (119 kilomètres). Les Aubrais-Saint-Pierre (112 kilomètres).
		56.0	49′		68.5	71.5		
	Étampes	...	...	2′	...	...		
		63.0	53′		71.3	74.1		
	Les Aubrais	...	...	24′	...	...		
		59.0	48′		73.7	76.9		
	Blois.	...	...	2′	...	...		
		53.0	44′		72.2	75.7		
	St-Pierre-des-Corps.	...	...	5′	...	...		
	—							
Rapide de jour.	St-Pierre-des-Corps.	...	...	5′	...	...	Voir fig. 14.	Saint-Pierre-Les Aubrais (112 kilomètres). Les Aubrais-Paris (119 kilomètres).
		53.0	45′		70.6	73.9		
	Blois.	...	...	2′	...	...		
		59.0	48′		73.7	76.9		
	Les Aubrais	...	...	5′	...	...		
		63.0	52′		72.7	75.6		
	Étampes	...	...	2′	...	...		
		56.0	47′		71.5	74.6		
	Paris	...	...	...	...	...		

La vitesse maximum autorisée était de 100 kilomètres en pleine voie, de 75 kilomètres seulement sur la pente d'Etampes.

Le tonnage indiqué aux gares pour les trains rapides et pour les trains Sud-Express était de 155 tonnes.

b) *Trains express lourdement chargés.*

§ 198. — Il ne semble pas qu'en 1889 il circulât, sur les divers réseaux dont nous avons à nous occuper, un grand nombre de trains express pouvant être qualifiés de *lourdement chargés*.

Sur le réseau de l'*État hongrois*, les trains express les plus lourds (les trains nos 3 et 4, dont il a été question au § 191) étaient habituellement de 130 tonnes, exceptionnellement de 150 tonnes.

Sur celui de la *K. K. Kaiser Ferdinands-Nordbahn*, le train n° 3, de Vienne à Prerau, tracé aux mêmes vitesses qu'aujourd'hui (*voir* le tableau du § 11), avait une charge habituelle de 180 tonnes.

Les trains nos 3 et 4 du *Midi français* circulaient, entre Bordeaux et Hendaye, avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des charges qui, entre Bordeaux et Morcenx, dépassaient généralement 200 tonnes et atteignaient fréquemment 235 tonnes. Les itinéraires de ces trains sont analysés dans le tableau LXV.

TABLEAU LXV.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche	Tonnage habituel.	Profil	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km			
3	Bordeaux.	...	...	...	...	...	235 environ.	Voir fig. 8.	Bordeaux-Dax (147.6 kilomètres).
	Facture.	39.4	37′	1′	63.9	67.5			
	Lamothe	3.0	5′	2′	36.0	60.0			
	Ychoux.	33.2	35′	1′	56.9	60.3			
	Labouheyre	15.3	15′	1′	53.2	61.4			
	Morcenx	19.8	21′	4′	56.5	62.5			
	—	...	...	...	—	...			
4	Morcenx	...	...	...	...	...	235 environ.	Voir fig. 8.	Morcenx-Bordeaux (108.7 kilomètres)
	Labouheyre.	19.8	21′	1′	56.5	62.5			
	Ychoux	13.3	14′	1′	57.0	66.5			
	Lamothe	33.2	32′	2′	62.2	66.4			
	Bordeaux (contrôle). .	41.9	42′	...	59.8	62.8			
		...	...		...	...			

Les trains express du *Nord français* avaient un tonnage de 100 à 120 tonnes. Seuls, les trains C.1 et C.2, dont il a été précédemment question (*voir* § 195), étaient habituellement de 125 à 155 tonnes. L'un de ces trains, le C.1 du 26 août 1889, a été remorqué sans perte de temps, de Paris à Amiens, par une machine du type *Outrance* et d'Amiens à Calais-Maritime par une machine du même type, avec une charge d'environ 205 tonnes.

c) *Trains express parcourant des profils accidentés.*

§ 199. — Les trains express qui circulaient, en 1889, sur la section accidentée de Salgó-Tarján à Ruttka de l'*État hongrois*, font l'objet du tableau LXVI.

Les vitesses autorisées étaient les suivantes :

80 kilomètres à l'heure en pleine voie ;
70 — — sur pente de 5 ;
60 — — — de 10 ;
52 — — — de 15 ;
46 — — — de 20 ;
40 — — — de 25 ;
30 — — sur les bifurcations.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXVI.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Tonnage habituel.	Profil.	Parcours effectués par une même machine
		Km			Km	Km			
	Salgó-Tarján	...	...	...	...	...			
		21.6	29′		44.7	48.0			
	Fülek	...	...	8′	...	...			
		15.5	16′		58.1	66.4			
	Lasonez	...	...	1′	...	...			
		14.2	16′		53.2	60.8			Salgó-Tarján à Zólyom (89.3 kilomètres).
	Lángabánya	...	...	2′	...	...			
102		38.0	53′		43.0	44.7	90 à 100.		
	Zólyom	...	...	4′	...	...			Zólyom à Ruttka (98.1 kilomètres).
		39.1	59′		39.7	41.1			
	Körmöczbánya	...	...	1′	...	...			
		30.0	46′		39.1	40.9			
	Stubuya	...	...	1′	...	...			
		29.0	33′		52.7	56.1			
	Ruttka	...	...	...	...	...			
	—								
	Ruttka	...	...	...	...	...			
		29.0	33′		52.7	56.1			
	Stubuya	...	...	1′	...	...			
		30.0	52′		34.6	36.0			Ruttka-Zólyom (98.1 kilomètres).
	Körmöczbánya	...	...	1′	...	...			
101		39.1	52′		45.1	46.9	90 à 100.		
	Zólyom	...	...	8′	...	...			Zólyom à Salgó-Tarján (89.3 kilomètres).
		67.7	81′		50.1	51.4			
	Fülek	...	...	10′	...	...			
		21.6	32′		40.5	43.2			
	Salgó-Tarján	...	...	...	...	...			

A été décrit § 37.

§ 200. — Sur le réseau du *Midi français*, les trains express nos 503, 502, 853 et 854 circulaient sur les lignes très accidentées de Montréjeau à Pau et de Béziers à Neussargues, dans les conditions indiquées au tableau LXVII.

Les vitesses maximums autorisées étaient les suivantes :

Entre Montréjeau et Capvern	75 kilomètres à l'heure.		
— Capvern et Tournay	55	—	—
— Tournay et Coarraze-Nay (à 17 kilom. de Pau)	75	—	—
— Coarraze-Nay et Pau	85	—	—
— Béziers et Faugères	70	—	—
— Saint-Chély et Talizat (à 6 kilom. de Neussargues)	70	—	—
— Talizat et Neussargues	55	—	—

§ 201. — Sur le réseau du *Nord français*, les trains express qui desservaient avant 1889 la ligne de Paris au Tréport (*voir* profil § 18) ne dépassaient pas la vitesse moyenne de pleine marche de 60 kilomètres à l'heure. Leur charge n'excédait pas 120 tonnes.

§ 202. — La vitesse des trains express que la *Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée* faisait circuler sur la partie difficile de la ligne de Lyon à Saint-Étienne, c'est-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXVII.

Numéros des trains.	Stations d'arrêt.	Distances franchies sans arrêt.	Temps accordé.	Durée des stationnements.	VITESSE MOYENNE brute entre deux points d'arrêt.	VITESSE MOYENNE de pleine marche.	Tonnage habituel.	Profil.	Parcours effectués par une même machine.
		Km			Km	Km			
	Montréjeau.	...	...	...	...	...			
		6.7	10′		40.2	50.2			
	Saint-Laurent Saint-Paul .	...	...	1′	...	...			
		9.9	14′		42.4	49.5			
	Lannemezan	...	...	′	...	...			
		5.5	8′		41.2	55.0	110 environ de Montréjeau à Tarbes.		
	Capvern	...	...	4′	...	...			
		12.6	21′		36.0	39.8			Montréjeau à Pau (111.8 kilomètres).
	Tournay	...	...	1′	...	...			
503		13.2	17′		46.5	52.8		Voir fig. 16.	Une machine de renfort était attelée au train sur le parcours de Capvern à Tournay.
	Poste de Sarrouilles. . . .	...	...	1′	...	...			
		4.5	8′		33.7	45.0			
	Tarbes	...	...	10′	...	...	140 de Tarbes à Pau.		
		10.2	15′		40.8	47.1			
	Ossun	...	...	1′	...	...			
		10.4	13′		48.0	56.7			
	Lourdes	...	...	8′	...	...			
		38.8	44′		52.9	55.4			
	Pau.	...	...	...	...	...			
	—								
	Pau.	...	...	...	...	...			
		38.8	46′		50.6	52.9			
	Lourdes.	...	...	8′	...	...			
		10.4	14′		44.6	52.0			
	Ossun.	...	...	1′	...	...			
		10.2	13′		47.1	55.6			
	Tarbes	...	...	25′	...	...			Pau à Montréjeau (111.8 kilomètres).
		4.5	7′		38.5	54.0	130 environ de Pau à Montréjeau.		
502	Poste de Sarrouilles. . . .	...	...	1′	...	...			
		13.2	17′		46.6	52.8		Voir fig. 16.	Une machine de renfort était attelée au train sur le parcours de Tournay à Capvern.
	Tournay	...	...	3′	...	...			
		12.6	31′		24.4	26.0			
	Capvern	...	...	1′	...	...			
		5.5	9′		36.6	47.1			
	Lannemezan	...	...	1′	...	...			
		9.9	12′		49.5	59.4			
	Saint-Laurent-Saint-Paul .	...	...	1′	...	...			
		6.7	9′		44.6	57.4			
	Montréjeau	...	...	1′	...	...			
	—								
	Béziers	...	...	...	...	...			
		32.7	37′		53.0	56.0			
853	Faugères	...	...	1′	...	...	130	Voir fig. 17.	Béziers-Millau (118 kilomètres).
	...	...	...	...	...	...			
	—								
	Neussargues	...	...	...	...	...			
		14.9	26′		34.4	37.2			
	Andelot.	...	...	1′	...	...			
		4.1	7′		35.1	49.2			
	Saint-Flour	...	...	2′	...	...			
		10.6	14′		45.4	53.0			Neussargues-Séverac (129 kilomètres).
854	Ruines	...	...	1′	...	...			
		26.1	33′		47.4	50.5	70	Voir fig. 17.	
	Saint-Chély	...	...	1′	...	...			Séverac-Béziers (148 kilomètres).
	...	...	...	...	...	...			
	Faugères	...	...		...	...			
		32.7	37′		53.0	56.0			
	Béziers	...	...	1′	...	...			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à-dire entre Rive-de-Gier et Saint-Etienne, était, en 1889, la même qu'aujourd'hui. Mais le tonnage offert, qui est actuellement de 200 à 225 tonnes, suivant le type des machines, n'était alors que de 148 tonnes.

§ 203. — Enfin, la ligne de Paris à Toulouse, du réseau de la *Compagnie de Paris-Orléans*, était desservie en 1889 par des express moins nombreux qu'aujourd'hui et tracés à une vitesse nominale de 70 kilomètres à l'heure au lieu de 75. Le trajet de Brive à Toulouse s'effectuait par Capdenac sur une ligne comprenant de nombreuses déclivités de 12.5 millimètres et une de 16 millimètres par mètre.

Moteurs à deux essieux accouplés en usage en 1889.

§ 204. — Nous rappellerons que parmi les moteurs à deux essieux accouplés non-compound, qui assurent aujourd'hui encore le service des trains de très grande vitesse sur certains réseaux, plusieurs étaient en service en 1889, savoir :

Les machines à quatre essieux (séries nos 448 à 575 et nos 51 à 76) de la Compagnie d'Orléans.
La machine à trois essieux de l'État néerlandais.
— à bogie no 1855 du réseau de l'Adriatique.
— à quatre essieux de l'État belge.
Enfin, la machine à bogie type no 951 de l'Ouest français.

Ces machines ont été décrites antérieurement. Il convient toutefois de noter qu'en 1889 les machines nos 448 à 575 et nos 51 à 76 de la Compagnie d'Orléans étaient timbrées à 10 kilogrammes seulement au lieu de 11 kilogrammes, timbre actuel.

Les moteurs à deux essieux accouplés qui ont cessé, depuis 1889, de remorquer les trains les plus rapides sur leurs réseaux respectifs, et sur lesquels nous avons pu être renseignés, sont :

La machine à bogie de la K. K. Kaiser Ferdinands-Nordbahn;
— à trois essieux, type no 501, de la Compagnie de l'Est français ;
— à trois essieux, type no 1601, de la Compagnie du Midi français ;
— type *Outrance* de la Compagnie du Nord français ;
— à quatre essieux, type nos 111-400, de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Tous ces moteurs sont à simple expansion. Cependant, la Compagnie du Nord français avait mis en service dès 1886, et à titre d'essai, une machine compound à quatre cylindres, dont nous donnerons également la description ci-après, bien que ses deux essieux moteurs ne soient pas accouplés.

§ 205. — L'avant-dernier type de machine à grande vitesse de la ***Kaiser Ferdinands-Nordbahn*** présente les mêmes caractères généraux que le type le plus récent, savoir : un châssis principal extérieur, un bogie à châssis intérieur, des cylindres extérieurs placés entre les deux essieux du bogie et actionnant le premier essieu accouplé, l'autre essieu accouplé étant placé sous le foyer. Mais sa

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaudière est moins puissante et l'essieu porteur d'arrière leur fait défaut. Le tableau ci-dessous complète ces indications.

Timbre de la chaudière		12.40	kilogrammes.
Surface de la grille		2.07	mèt. carrés.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	8.20	—
	des tubes	108.10	—
	totale	116.30	—
Tubes (lisses)	Nombre	177	
	Diamètre extérieur	0.0527	mètre.
Longueur du corps cylindrique		4.27	mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.272	mètre.
— des cylindres		0.435	—
Course des pistons		0.622	—
Diamètre des roues motrices		2.002	mètres.
— — porteuses		1.010	mètre.
Empattement	des roues accouplées	2.600	mètres.
	du bogie	1.700	mètre.
	total	6.150	mètres.
Poids à vide		43.000	tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu	19.400	—
	Deuxième essieu		
	Troisième essieu	13.800	—
	Quatrième essieu	13.800	—
	Total	47.000	—
Poids adhérent		27.600	—
Tender	Contenance des caisses à eau	12.000	litres.
	— de la soute à charbon	6.000	kilog.
	Poids à vide	14.300	tonnes.
	Poids en charge	32.400	—
Système de freins		à vide (Hardy) non automatique.	

§ 206. — Les machines nos 501 de l'*Est français* et la machine n° 1601 du *Midi français*, toutes deux à trois essieux dont un porteur à l'avant muni de plans inclinés, présentent entre elles une assez grande analogie résultant surtout de la position de leurs cylindres qui, placés à l'arrière des roues porteuses, actionnent l'essieu accouplé d'arrière, et de l'agencement de leur mécanisme de changement de marche qui comporte un arbre de relevage passant par-dessus la chaudière.

§ 207. — Une réduction du diamètre des roues motrices des machines primitives a cependant permis d'abandonner cette dernière disposition dans les machines nos 543 à 562 de la *Compagnie de l'Est* (*voir* fig. 163 et 164), auxquelles se rapportent plus spécialement les dimensions principales indiquées plus loin. Les chaudières de ces machines sont en fer. Les foyers, du type Belpaire et à grille très inclinée, passent par-dessus l'essieu moteur. Leur châssis est double, mais les essieux moteurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et accouplés n'ont que des fusées intérieures et l'essieu d'avant n'a que des fusées extérieures. Les cylindres sont compris entre les longerons extérieurs et les longerons intérieurs. Des longeronnets spéciaux servent d'appui aux supports de glissière et au mécanisme distributeur qui est du type Gooch. Ces machines sont pourvues du frein Westinghouse avec freinage des essieux accouplés.

§ 208. — Les chaudières des machines nos 1601 à 1634 de la *Compagnie du Midi*, dont la figure 165 donne le diagramme, sont également en fer, mais elles s'assemblent avec la boîte à feu suivant le mode Crampton. Le foyer, à grille horizontale, est compris entre les deux essieux accouplés. L'armaturage du ciel est constitué par des fermes transversales. Le châssis, formé de deux longerons intérieurs, est fixé d'une manière invariable à l'arrière de la boîte à feu, et la chaudière, en se dilatant, coulisse à l'avant sur un entretoisement des longerons placé au-dessous de la boîte à fumée. Ce mode de fixation de la chaudière a eu pour conséquence l'emploi de dispositifs spéciaux à emboîtement permettant aux tuyaux d'admission et d'échappement que la chaudière entraîne dans son mouvement, de se déplacer légèrement par rapport aux cylindres. Ces derniers sont nécessairement extérieurs et leurs tiroirs sont actionnés par des coulisses de Gooch.

Les machines nos 1601 à 1634 sont pourvues des organes du frein à air comprimé, mais leurs essieux ne sont pas susceptibles d'être freinés. Leurs tenders sont à châssis intérieur et à trois essieux. Ils pèsent à vide 15.200 et 29.000 tonnes en charge. La capacité des caisses à eau est de 10,000 litres; celle de la soute à charbon de 4,000 kilogrammes.

§ 209. — Les données et dimensions principales des machines nos 543 à 562 de la *Compagnie de l'Est* et celles des machines nos 1601 à 1634 de la *Compagnie du Midi* ont été groupées dans le tableau LXIX.

Les consommations de la machine no 501 de l'Est n'ont pas été indiquées. Les machines nos 1601 consommaient en 1889, allumages compris, de 9 à 9.5 kilogrammes d'un mélange de 75 p. c. d'agglomérés Carmaux à 7 p. c. de cendres et 25 p. c. de grenus à 10 p. c. de cendres de même provenance.

§ 210. — La première machine *Outrance* de la *Compagnie du Nord français*, construite en 1871, était à trois essieux dont un porteur à l'avant. A partir de 1876, les machines de ce type reçurent de construction un bogie (fig. 166) et la première qui en fut munie figura à l'exposition universelle de 1878. Plus tard, il a été appliqué des bogies successivement à toutes les *Outrance* construites avant 1876.

La chaudière des *Outrance* est en fer. Le foyer, du type Belpaire, pourvu d'une voûte, d'une grille inclinée vers l'avant et d'un jette-feu, passe par-dessus l'essieu d'arrière. Le châssis est double, mais l'essieu moteur seul possède à la fois des fusées extérieures et des fusées intérieures. L'essieu accouplé n'a que des fusées extérieures.

Les ressorts de suspension extérieurs des roues motrices et ceux des roues accouplées sont conjugués par deux équerres de compensation reliées par une bielle et répartissant la charge à peu près également sur les essieux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

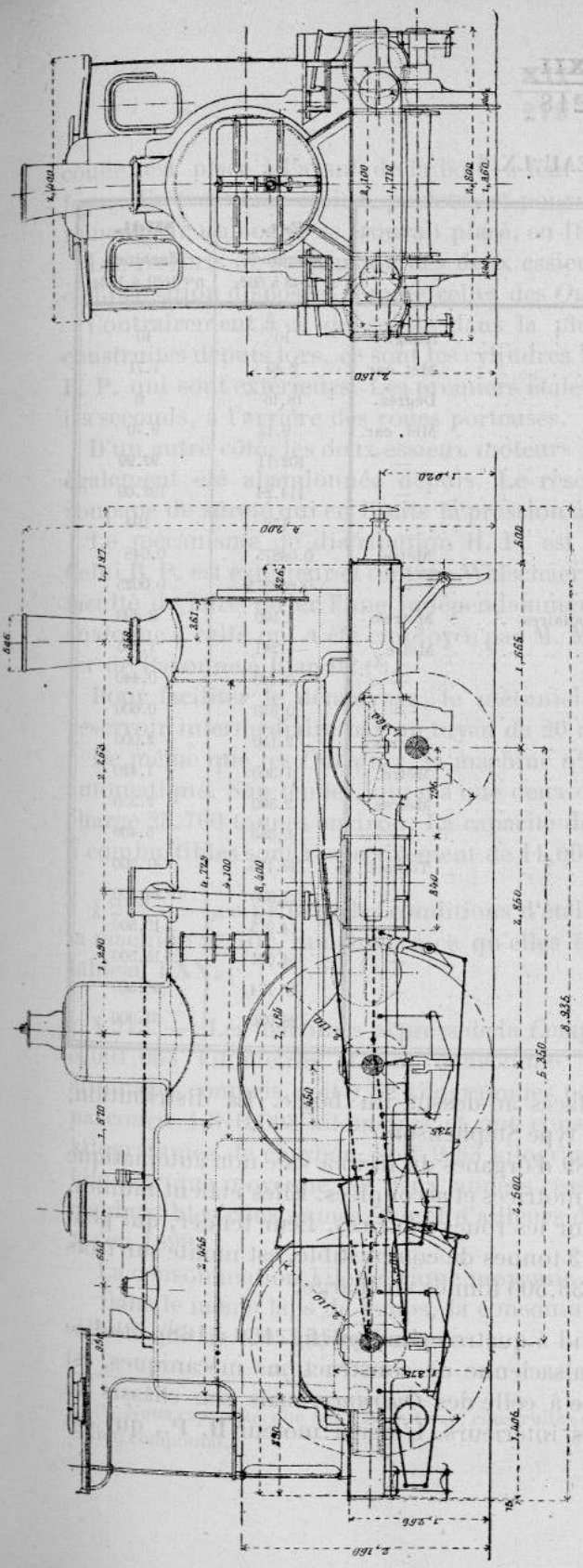


Fig. 163 et 164. — Locomotives à grande vitesse nos 543 à 562 de l'Est français.

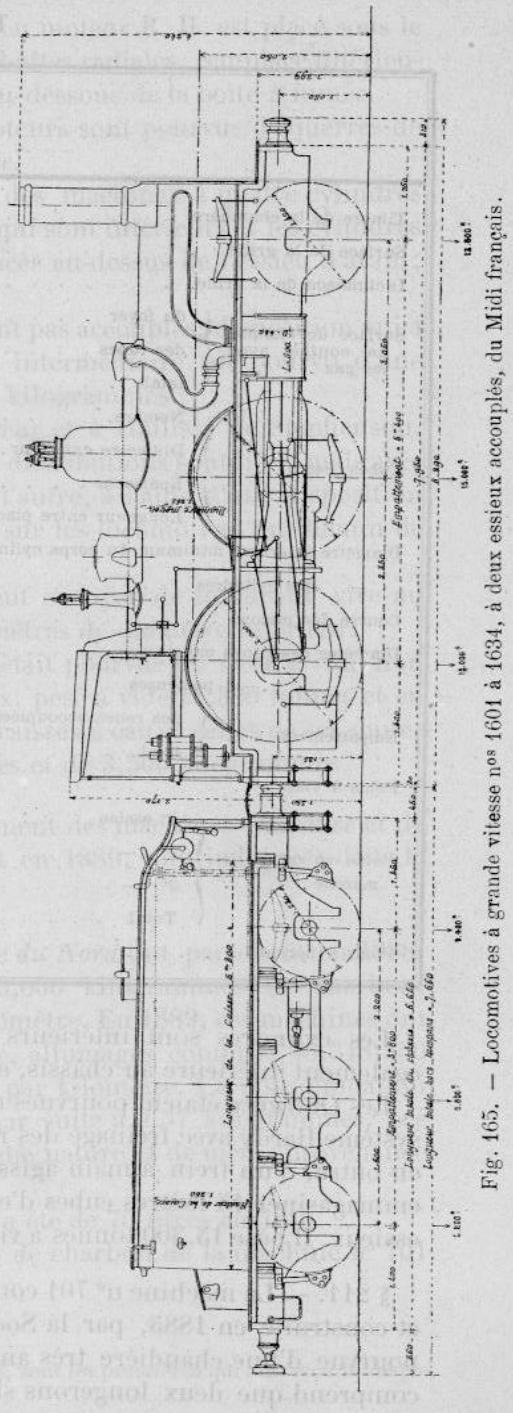


Fig. 165. — Locomotives à grande vitesse nos 1601 à 1634, à deux essieux accouplés, du Midi français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXIX.

		Est. — Machines nos 543 à 562.	Midi. — Machines nos 1601 à 1634.
Timbre de la chaudière	Kilog.	10	10
Surface de la grille	Mèt. car.	2.40	1.71
Inclinaison de la grille	Degrés.	18.16′	0
Surface de chauffe en contact avec les gaz — du foyer	Mèt. car.	9.13	9.70
— des tubes	—	102.11	92.99
— totale	—	114.24	102.69
Tubes (lisses) — Nombre		178	194
— Diamètre extérieur	Mètre.	0.04875	0.048
— Épaisseur	—	0.002375	0.0025
— Longueur entre plaques tubulaires	Mètres.	4.100	3.493
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique	Mètre.	1.241	1.235
— des cylindres	—	0.440	0.440
Course des pistons	—	0.610	0.600
Diamètre des roues motrices	Mètres.	2.110	2.000
— — porteuses	Mètre.	1.360	1.420
Empattement — des roues accouplées	Mètres.	2.500	2.350
— total	—	5.350	5.400
Poids à vide	Tonnes.	39.175	41.500
Poids en ordre de marche — 1er essieu	—	13.838	14.500
— 2e —	—	14.915	15.500
— 3e —	—	14.021	15.500
— Total	—	42.774	45.500
Poids adhérent	—	28.936	31.000

Les cylindres sont intérieurs et placés au-dessus du bogie. La distribution, également intérieure au châssis, est du type Stephenson.

Les *Outrance* étaient pourvues en 1889 d'organes du frein à vide non automatique système Hardy avec freinage des roues motrices et accouplées. Elles étaient munies, en outre, d'un frein à main agissant sur les roues motrices. Leur tender, qui peut emmagasiner 15 mètres cubes d'eau et 3 tonnes de combustible, est monté sur trois essieux. Il pèse 15.300 tonnes à vide et 33.500 tonnes en charge.

§ 211. — La machine n° 701 compound à quatre cylindres (fig. 166 à 168), étudiée et construite en 1885, par la Société alsacienne de constructions mécaniques, est pourvue d'une chaudière très analogue à celle des *Outrance*, mais son châssis ne comprend que deux longerons simples intérieurs. L'essieu moteur H. P., qui est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

coudé, est placé à l'avant de la boîte à feu. L'essieu moteur B. H. est placé sous le foyer. Un troisième essieu, porteur, et pourvu de boîtes radiales, remplacé ultérieurement par un bogie, se trouvait placé, en 1889, au-dessous de la boîte à fumée.

Les ressorts de suspension des deux essieux moteurs sont pourvus d'équerres de compensation disposées comme celles des *Outrance*.

Contrairement à ce qui existe dans la plupart des machines à quatre cylindres construites depuis lors, ce sont les cylindres H. P. qui sont intérieurs et les cylindres B. P. qui sont extérieurs. Les premiers étaient placés au-dessus de l'essieu d'avant; les seconds, à l'arrière des roues porteuses.

D'un autre côté, les deux essieux moteurs ne sont pas accouplés, disposition qui a également été abandonnée depuis. Le réservoir intermédiaire est pourvu d'une soupape de sûreté qui en limite la pression à 5.75 kilogrammes.

Le mécanisme de distribution H. P. est intérieur et à coulisse de Stephenson. Celui B. P. est extérieur et du type Walschaert. Les distributions sont liées, mais avec faculté de faire varier l'une indépendamment de l'autre, à l'aide d'une disposition analogue à celle qui a été employée par M. Mallet sur les locomotives du chemin de fer de Bayonne à Biarritz [1].

Pour faciliter le démarrage, le mécanicien peut envoyer de la vapeur vive au réservoir intermédiaire par un tuyau de 20 millimètres de diamètre intérieur.

De même que les *Outrance*, la machine n° 701 était pourvue du frein à vide non automatique. Son tender, qui n'a que deux essieux, pèse à vide 11.560 tonnes et en charge 25.700 tonnes environ. La capacité de ses caisses à eau et celles de ses soutes à combustibles sont respectivement de 11,000 litres et de 3,500 kilogrammes.

§ 212. — Les principales conditions d'établissement des machines *Outrance* et de la machine n° 701, ramenées à ce qu'elles étaient en 1889, sont indiquées dans le tableau LXX.

§ 213. — Les machines express de la *Compagnie du Nord* ont parcouru, en 1888, 5,001,063 kilomètres et ont consommé 47,643,050 kilogrammes de charbon, allumages compris, soit 9.52 kilogrammes par kilomètre. En 1889, ces machines ont parcouru 4,810,003 kilomètres et ont consommé, allumages compris, 46,348,550 kilogrammes de charbon, soit 9.63 kilogrammes par kilomètre. La consommation kilométrique moyenne des deux années ressort par suite à 9.57 kilogrammes. Les combustibles consommés étaient d'ailleurs de même nature et de même provenance qu'en 1899.

La consommation kilométrique moyenne d'eau a été de 75 litres environ.

Dans le même laps de temps, la consommation de charbon de la machine n° 701 n'a été que de 7.955 kilogrammes.

---

[1] Nous rappelons que ces locomotives, construites en 1876, sont les premières qui ont reçu la disposition compound.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

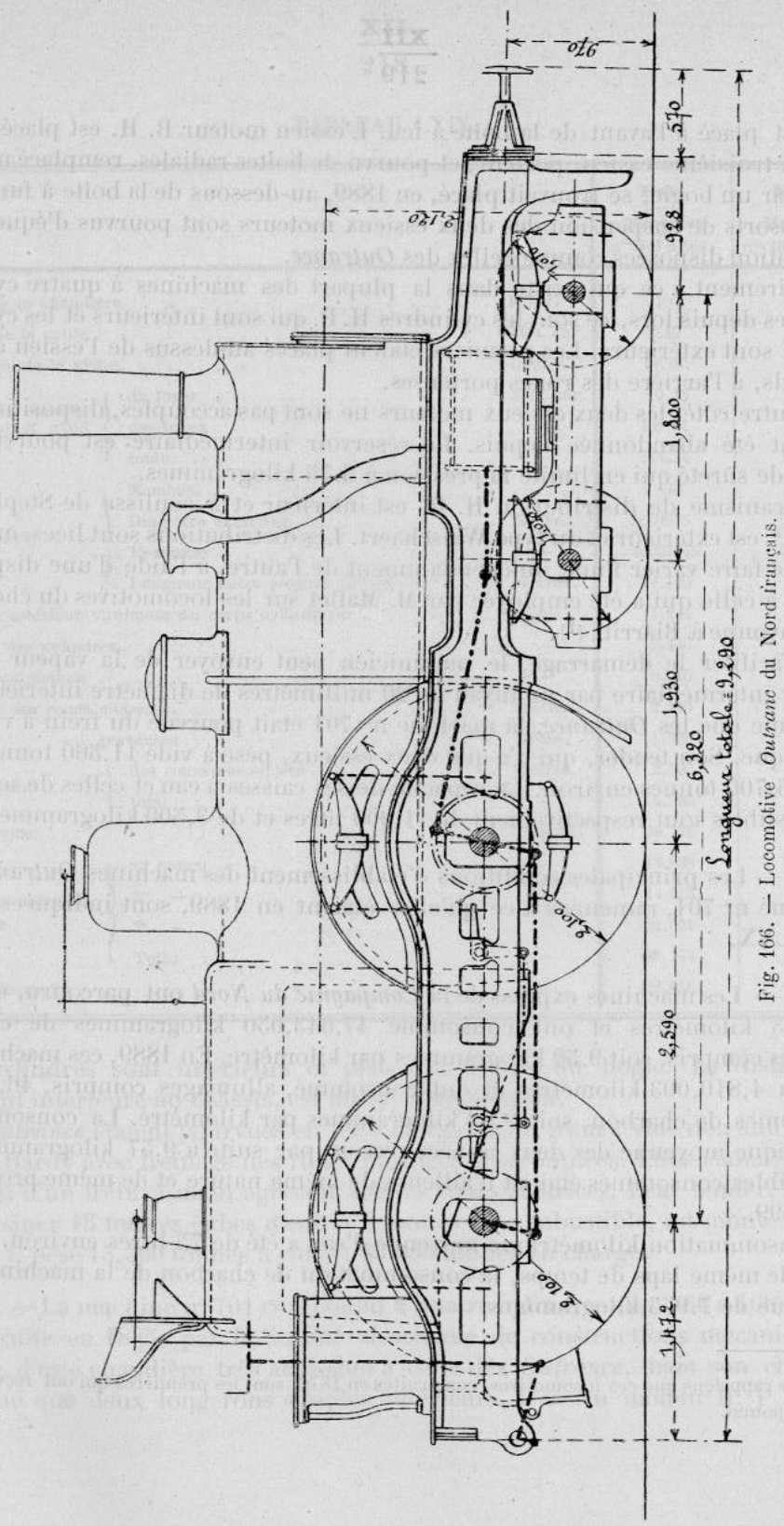


Fig. 166. — Locomotive *Outrane* du Nord français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

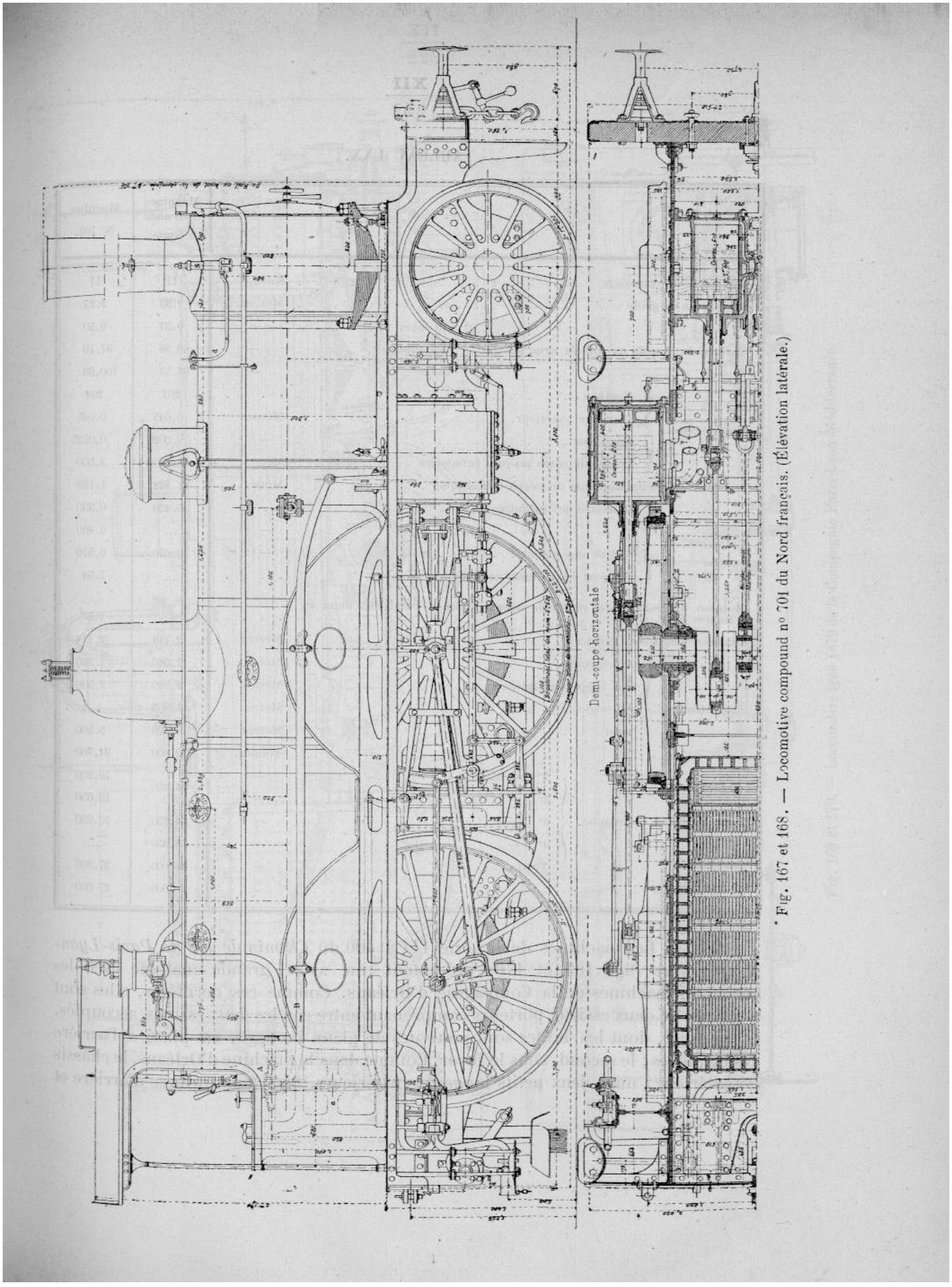


Fig. 167 et 168. — Locomotive compound n° 701 du Nord français. (Élévation latérale.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXX.

			Machines *Outrance* (à bogie).	Machine N° 701.
Timbre de la chaudière		Kilog.	11	11
Surface de la grille		Mèt. car.	2.33	2.27
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	—	9.37	9.50
	des tubes	—	88.38	91.19
	totale	—	97.75	100.69
Tubes (lisses).	Nombre		201	204
	Diamètre extérieur	Mètre.	0.045	0.045
	Épaisseur	—	0.0025	0.0025
	Longueur entre plaques tubulaires	Mètres.	3.500	3.500
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		Mètre.	1.222	1.193
Cylindres	Diamètre des cylindres H. P.	—	0.450	0.330
	— — B. P.	—	...	0.460
	Course des pistons	—	0.610	0.610
	Rapport des volumes des cylindres $\frac{\text{B. P.}}{\text{H. P.}}$		...	1.94
Rapport du volume du réservoir intermédiaire à celui des deux cylindres H. P. réunis			...	1.5
Diamètre des roues motrices		Mètres.	2.114	2.114
— — porteuses		Mètre.	1.040	1.300
Empattement	des roues accouplées	Mètres.	2.590	2.500
	du bogie	Mètre.	1.800	...
	total	Mètres.	6.320	5.500
Poids à vide		Tonnes.	39.800	34.700
Poids en ordre de marche.	1er essieu	—	14.400	10.200
	2e —	—		13.650
	3e —	—	14.250	13.950
	4e —	—	14.350	...
	Total	—	43.000	37.800
Poids adhérent		—	28.600	27 600

§ 214. — Les machines de la série 111 à 400 du *Chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée* (fig. 169 et 170) présentent une assez grande analogie avec les anciennes machines de la Compagnie d'Orléans. Comme ces dernières, elles sont pourvues de deux essieux porteurs comprenant entre eux les deux essieux accouplés. Le premier, dont les boîtes sont pourvues de plans inclinés, est placé à l'arrière des cylindres ; le second, sous le foyer. Comme dans la machine d'Orléans, le châssis est extérieur ; mais deux petits longerons extérieurs, fixés à la traverse d'arrière et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

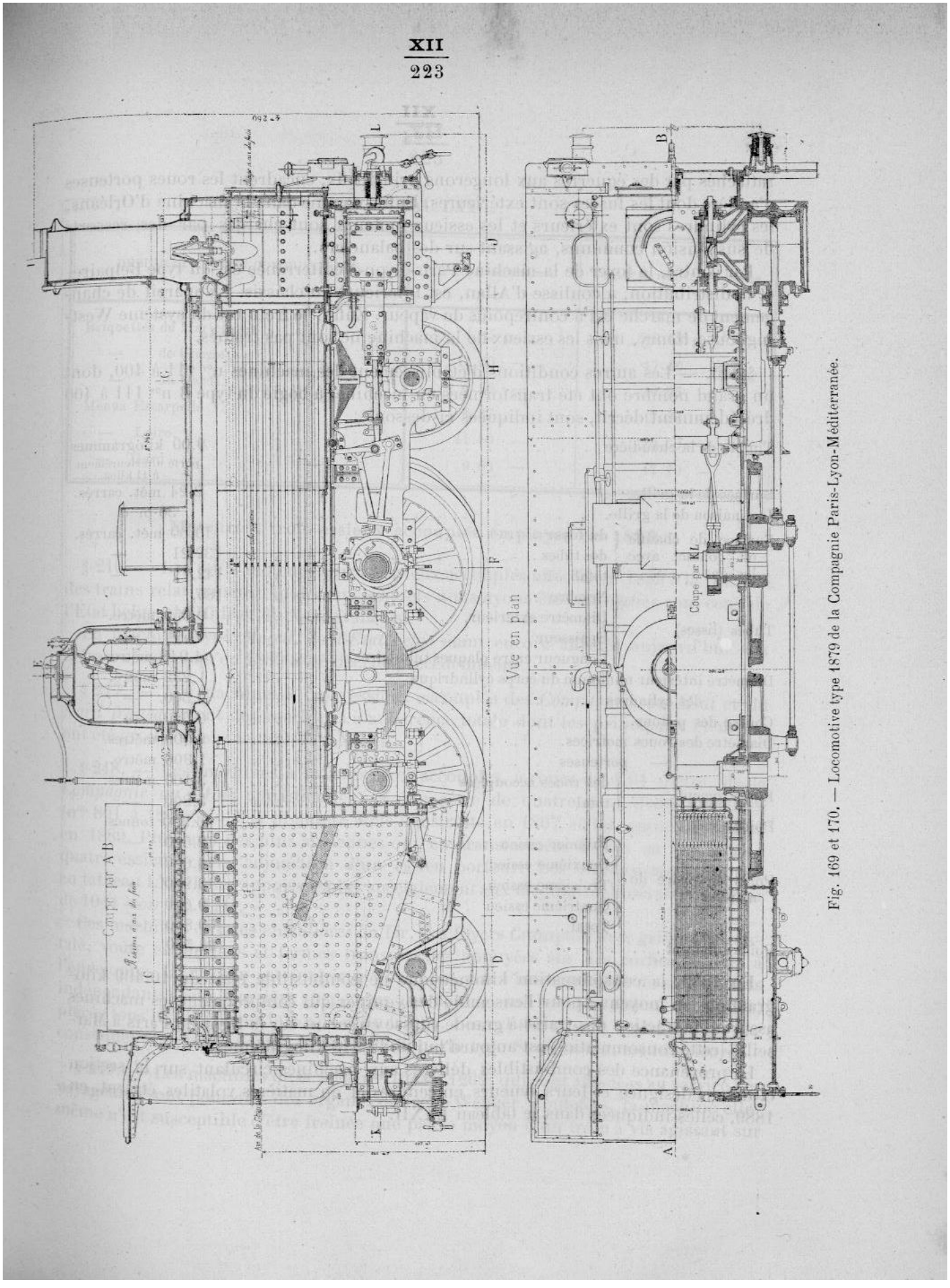


Fig. 169 et 170. — Locomotive type 1879 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rattachés par des équerres aux longerons principaux, encadrent les roues porteuses d'arrière dont les fusées sont extérieures. Enfin, comme dans la machine d'Orléans, les cylindres sont extérieurs et les essieux moteurs sont chargés par des ressorts de suspension communs, agissant sur des balanciers.

Par contre, le foyer de la machine Paris-Lyon-Méditerranée est du type Belpaire, et la distribution, à coulisse d'Allan, est intérieure au châssis. L'appareil de changement de marche est à contrepoids de vapeur. Enfin, le frein est du système Westinghouse-Henry, mais les essieux de la machine ne sont pas freinés.

§ 215. — Les autres conditions d'établissement des machines nos 111 à 400, dont un grand nombre ont été transformées en machines à bogie du type B nos 111 à 400 précédemment décrit, sont indiquées ci-dessous :

Timbre de la chaudière		9.00 kilogrammes, porté ultérieurement à 11 kilog.
Surface de la grille		2.24 mèt. carrés.
Inclinaison de la grille		30 p. c.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	10.50 mèt. carrés.
	des tubes	132.21 —
	total	142.71 —
Tubes (lisses)	Nombre	185.
	Diamètre extérieur	0.050 mètre.
	Épaisseur	0.002 —
	Longueur entre plaques tubulaires	4.945 mètres.
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		1.232 mètre.
— des cylindres		0.500 —
Course des pistons		0.620 —
Diamètre des roues motrices		2.000 mètres.
— — porteuses		1.300 mètre.
Empattement	des roues accouplées	3.100 mètres.
	total	5.800 —
Poids à vide		46.330 tonnes.
Poids en ordre de marche	Premier essieu	12.620 —
	Deuxième essieu	14.600 —
	Troisième essieu	13.950 —
	Quatrième essieu	9.660 —
	Total	50.850 —
Poids adhérent		28.550 —

En 1889, la consommation kilométrique de combustible était de 10.499 kilogrammes en moyenne pour l'ensemble des équipes qui comprenaient les machines assurant la traction des trains à grande vitesse circulant sur la ligne de Paris à Marseille (cette consommation est aujourd'hui de 11.410 kilogrammes).

La provenance des combustibles délivrés aux machines circulant sur la section ci-dessus désignée et leurs teneurs en cendres et en matières volatiles étaient, en 1889, celles indiquées dans le tableau LXXII.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXII.

DÉSIGNATION DES COMBUSTIBLES.	Teneur en cendres.	Teneur en matières volatiles.
Briquettes de Mariemont	4.45 p. c.	18.53 p. c.
— de Chazotte	11.30 —	17.10 —
— du Gard	9.06 —	16.27 —
Menus Escarpelle	6.97 —	17.28 —
— Loire.	11.00 —	20.60 —
— Gard	9.00 —	17.29 —

Moteurs à trois essieux accouplés employés en 1889.

§ 216. — Les seuls moteurs à trois essieux accouplés affectés en 1889 à la traction des trains relativement rapides sur lesquels nous ayons été renseignés sont ceux de l'État belge, du Midi et du Nord français.

La machine, type *Mogul*, de l'*État belge* étant encore affectée aujourd'hui aux mêmes services qu'en 1889 a été décrite précédemment.

§ 217. — Les machines à trois essieux accouplés des *Compagnies du Midi* et du *Nord français* sont des machines à adhérence totale dont les principaux éléments ont été groupés dans le tableau LXXIII.

§ 218. — Les machines à trois essieux accouplés, à roues de 1.61 mètre, de la *Compagnie du Midi* appartiennent à une série de quatre cent deux machines (nos 801 à 1202), dont la première a été construite en 1867 et les quinze dernières en 1889. Plusieurs des plus anciennes ont été transformées depuis en machines à quatre essieux, par l'adjonction d'un essieu porteur. Les dimensions indiquées au tableau LXXIII se rapportent plus spécialement aux machines numérotées à partir de 1044 (*voir* fig. 171).

Ces machines ont des chaudières en fer, des foyers Crampton avec grille horizontale, voûte en briques et fermes transversales appuyées sur des corbeaux rivés à l'enveloppe. Le châssis est intérieur et repose, par l'intermédiaire de six ressorts indépendants (ceux d'arrière suspendus aux boîtes), sur les trois essieux accouplés, placés tous les trois sous le corps cylindrique. Les cylindres sont extérieurs et, par conséquent, en porte à faux. La distribution, du type Stephenson, est intérieure.

§ 219. — Les machines de la série nos 1044 à 1202, qui sont affectées au service des voyageurs, sont pourvues des organes du frein Wenger. Toutefois, la machine elle-même n'est susceptible d'être freinée que par le moyen d'un frein à vis agissant sur

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

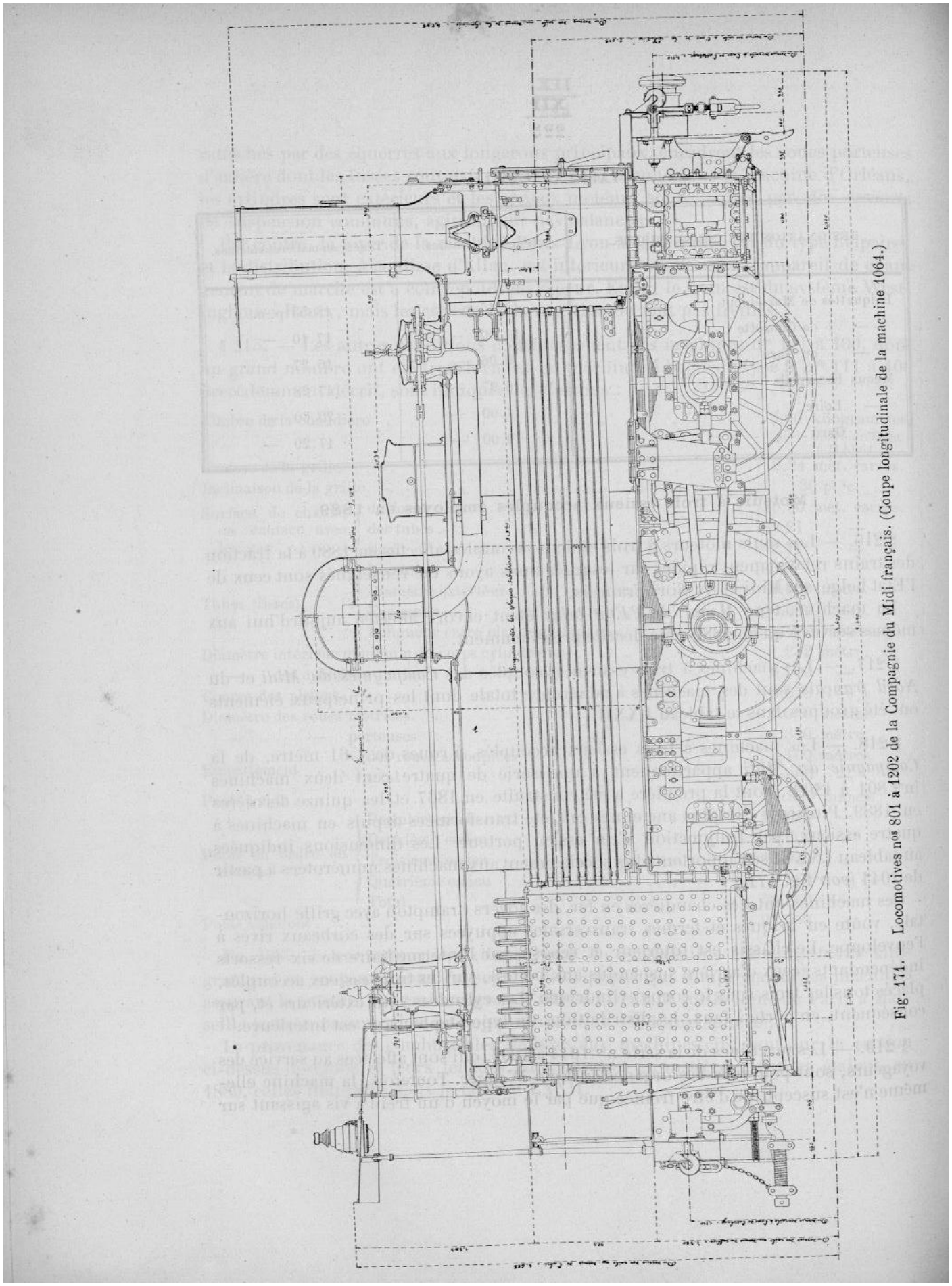


Fig. 171. — Locomotives nos 801 à 1202 de la Compagnie du Midi français. (Coupe longitudinale de la machine 1064.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les essieux accouplés d'arrière. La modération de la vitesse est obtenue, sur les fortes pentes du réseau, par l'emploi de la contre-vapeur, que l'application des freins continus n'a pas fait abandonner.

TABLEAU LXXIII.

			Midi. — Machine n° 1044.	Nord. — Machine n° 3473.
Timbre de la chaudière		Kilog.	8.500	10
Surface de la grille		Mèt. car.	1.460	2.31
Inclinaison de la grille		...	...	25 p. c.
Surface de chauffe en contact avec les gaz	du foyer	Mèt. car.	8.360	9.37
	des tubes	—	112.770	88.82
	totale	—	121.130	98.19
Tubes (lisses)	Nombre		166	202
	Diamètre extérieur	Mètre.	0.053	0.045
	Épaisseur	—	0.0025	0.0025
	Longueur entre plaques tubulaires	Mètres.	4.450	3.500
Diamètre intérieur minimum du corps cylindrique		Mètre.	1.328	1.222
— des cylindres		—	0.450	0.480
Course des pistons		—	0.650	0.610
Diamètre des roues motrices		—	1.610	1.664
Empattement		Mètres.	3.600	4.100
Poids à vide		Tonnes.	35.000	37.460
Poids en ordre de marche	Premier essieu	—	12.650	13.400
	Deuxième essieu	—	13.600	14.000
	Troisième essieu	—	13.450	13.400
	Total	—	39.700	40.800
Poids adhérent		—	39.700	40.800
Tenders	Capacité des caisses à eau	—	6.500	10.000
	— de la soute à combustible	—	4.000	3.500
	Nombre des essieux		2	2
	Poids à vide	Tonnes.	10.000	11.650
	— en charge	—	20.500	25.450

Les machines qui faisaient, en 1889, le service des trains de voyageurs entre Pau et Montréjeau consommaient, en 1889, de 10 à 11 kilogrammes de combustible comprenant 80 p. c. de charbon grêle de Carmaux à 10 p. c. de cendres et 22 à 25 p. c. de matières volatiles et 20 p. c. de menus de même provenance.

§ 220. — Les machines n°s 3473 à 3512 du *Chemin de fer du Nord* (fig. 172), sensi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

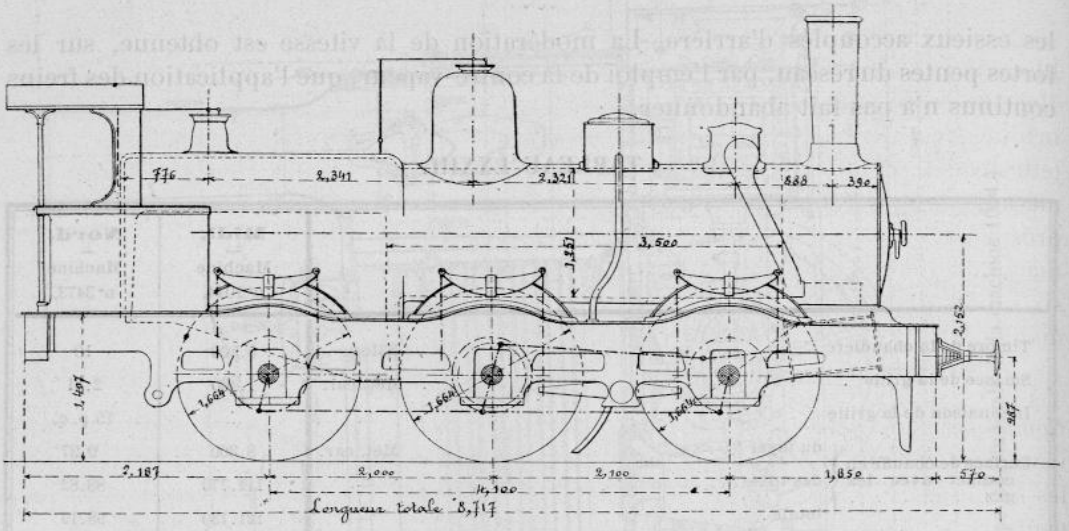


Fig. 172. — Locomotives nos 3,453 à 3,512 de la Compagnie du Nord français.

Conditions d'établissement.

DÉSIGNATION.			3,453-3,472	3,473-3,512
Grille	Longueur	Mètres.	2.273	2.273
	Largeur	—	1.020	1.020
	Surface	Mètres car.	2.31	2.31
Hauteur du ciel du foyer au-dessous du cadre		Mètres.	1.580 1.010	1.580 1.010
Tubes	Nombre		201	202
	Longueur à l'intérieur des plaques	Mètres.	3.500	3.500
	Diamètre extérieur	Mètre.	0.045	0.045
Surface de chauffe	du foyer	Mètres car.	9.37	9.37
	des tubes à l'intérieur	—	88.38	88.82
	totale	—	97.75	98.19
Corps cylindrique de la chaudière	Diamètre intérieur moyen	Mètres.	1.2365	1.2365
	Épaisseur des tôles	—	0.0145	0.0145
	Hauteur au-dessus du rail	—	2.152	2.152
Capacité de la chaudière	Eau (10 centimètres au-dessus du ciel)	Mèt. cubes.	3.050	3.040
	Vapeur	—	2.550	2.490
Tension de la vapeur en kilogrammes			10	10
Cylindres	Écartement d'axe en axe	Mètres.	0.712	0.712
	Diamètre	—	0.480	0.480
	Course	—	0.610	0.610
Diamètre des roues		Mètre.	1.654	1.664
Écartement des essieux	1er-2e	Mètres.	2.100	2.100
	2e-3e	—	2.000	2.000
Écartement des essieux extrêmes		—	4.100	4.100
Poids de la machine	Vide	Tonnes.	36.400	37.460
	En charge	—	40.100	40.800
Répartition du poids. (Machine en charge.)	1er essieu	—	13.200	13.400
	2e —	—	13.600	14.000
	3e —	—	13.300	13.400
Poids pour l'adhérence		—	40.100	40.800
Effort maximum théorique de traction $\frac{Pd^2L}{D}$		Kilog.	8.446	8.446

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blement plus puissantes que les précédentes, ont également une chaudière en fer. Mais le foyer, de très grandes dimensions et pourvu, d'ailleurs, d'une voûte en briques, est du type Belpaire. La grille, assez fortement inclinée, comporte un jette-feu et passe par-dessus l'essieu accouplé arrière. Le châssis est double et le mécanisme entièrement intérieur. Des balanciers compensateurs répartissent à peu près également les charges sur les premier et deuxième essieux. Le frein, dont ces machines étaient pourvues, en 1889, est celui du système Hardy. Il actionnait six sabots placés à l'avant des six roues et susceptibles d'être également serrés à la main.

§ 221. — Les machines à six roues accouplées de la série nos 3001 à 3140 de la *Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée*, qui faisaient, en 1889, le service des voyageurs sur la ligne de Lyon à Saint-Etienne sont conçues dans le même style que les machines à grande vitesse nos 111 à 400 (type 1879) de la même Compagnie. On peut même dire qu'elles ne diffèrent essentiellement de ces dernières que par le diamètre des roues accouplées et par les roues d'avant, qui, simplement porteuses dans la machine à grande vitesse, sont accouplées dans la machine no 3001 (*voir* fig. 173 et 174).

L'appareil de vaporisation, un peu plus puissant que celui de la machine no 111, comprend comme lui un foyer Belpaire à grande grille et des tubes d'environ 5 mètres de longueur. Le châssis est intérieur, mais s'appuie à l'arrière sur les fusées de l'essieu porteur placé sous le foyer, par l'intermédiaire de petits longerons extérieurs rapportés. Les cylindres sont extérieurs et en porte-à-faux. La distribution, du type Allan, est intérieure; enfin, les six roues accouplées sont comprises entre les cylindres et la boîte à feu.

Les six ressorts de suspension des roues accouplées sont identiques et placés au-dessus des boîtes. Ceux des deuxième et troisième essieux sont conjugués de chaque côté par un balancier.

§ 222. — Voici, d'ailleurs, les principales données relatives à ces machines :

Timbre de la chaudière		10.00 kilogrammes.
Surface de la grille		2.30 mèt. carrés.
Inclinaison de la grille		17 degrès.
Surface de chauffe en contact avec les gaz.	du foyer	10.24 mèt. carrés.
	des tubes	146.53 —
	totale	156.76 —
Tubes (lisses)	Nombre	
	Diamètre extérieur	0.050 mètre.
	Épaisseur	0.0025 —
	Longueur entre plaques	5.025 mètres.
Diamètre intérieur de la plus petite virole du corps cylindrique		1.342 mètre.
— des cylindres		0.540 —
Course des pistons		0.650 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

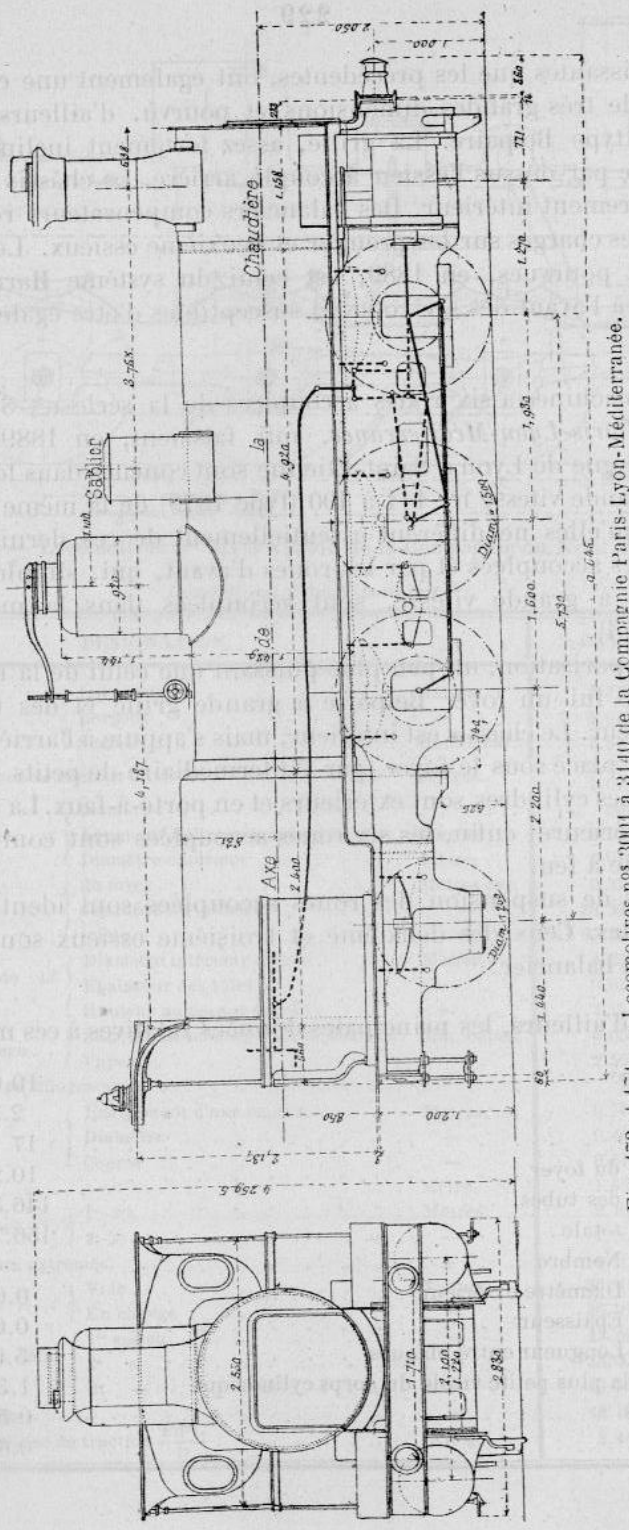


Fig. 173 et 174. — Locomotives nos 3001 à 3140 de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diamètre des roues motrices	1.500	mètre.
— — porteuses	1.200	—
Empattement des roues accouplées	3.530	mètres.
— total	5.730	—
Poids à vide	45.330	tonnes.
Poids en ordre de marche : Premier essieu	13.920	—
Deuxième essieu	13.920	—
Troisième essieu	13.920	—
Quatrième essieu	9.370	—
Total	51.130	—
Poids adhérent	41.760	—

La consommation des machines du dépôt de Saint-Etienne, qui assurent les trains de voyageurs sur le parcours de Saint-Étienne à Lyon, était de 13.774 kilogrammes par kilomètre, en 1889. Par suite de l'augmentation du tonnage remorqué, elle est aujourd'hui de 15.147 kilogrammes.

Le combustible délivré aux machines qui remorquaient les trains dont il s'agit, provenait, comme aujourd'hui, du bassin de la Loire, et les proportions de cendres et de matières volatiles étaient les suivantes en 1889 :

Cendres : Briquettes	11.30	p. c.
Menus	11.00	—
Matières volatiles. Briquettes	17.10	—
Menus	20.60	—

Renseignements divers concernant les chaudières, les mécanismes moteurs, les châssis, etc., des moteurs antérieurs à 1889.

§ 223. — Les renseignements auxquels nous consacrons les pages qui suivent sont de même nature que ceux que nous avons groupés antérieurement dans les tableaux relatifs aux machines de construction postérieure à 1889. Ils font l'objet de tableaux analogues se succédant à peu près dans le même ordre. (*Voir* tableaux LXXV à LXXXVII.)

Nous avons d'ailleurs fait figurer dans ces tableaux, non seulement les moteurs que nous venons de décrire, mais encore ceux qui, bien que contemporains, assurent aujourd'hui encore les services en vue desquels ils ont été créés et qui, pour ce motif, ont été décrits dans la première partie de notre rapport.

PROGRÈS RÉALISÉS DE 1889 A 1899.

§ 224. — Les améliorations apportées au service des trains express, pendant la période décadaire que nous sommes convenus de considérer, ressortent de la comparaison des itinéraires que nous avons successivement analysés dans la première et dans la deuxième partie de notre rapport.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXV.

Chaudières de locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements intéressant la puissance de vaporisation.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Timbre de la chaudière.	Surface de la grille.	SURFACE DE CHAUFFE EN CONTACT AVEC LES GAZ			PAR MÈTRE CARRÉ DE GRILLE.			
							Surface de chauffe en contact avec les gaz		Section de passage des gaz par le faisceau tubulaire.	Périmètre de frottement des gaz.
				du foyer.	des tubes.	totale.	des tubes.	totale.		
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).									
1871	Nord français (*Outrance*) .	11kg	2m²33	9,237	88m²38	97m²75	37m²93	41m²95	0m²1084	10m²84
1877	Est français (543-562) . .	10	2 40	9 13	102 11	114 24	42 55	47 60	0 1128	10 25
1879	Paris-Orléans (448-575) . .	11	1 705	11 725	120 15	131 87	70 47	77 34	0 1576	14 65
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400) .	11	2 24	10 50	132 21	142 71	59 02	63 71	0 1373	11 94
1880	État néerlandais (301-475) .	10 3	2 185	9 78	91 42	101 20	41 84	46 31	0 1203	12 34
1884	Midi français (1601-1634) .	10	1 71	9 70	92 99	102 69	54 38	60 05	0 1647	15 32
1885	Paris-Orléans (51-76). . .	11	1 70	11 725	125 20	136 92	73 65	80 54	0 1580	14 69
1885	Nord français (701) . . .	11	2 27	9 50	91 19	100 69	40 17	44 35	0 1129	11 29
1887	Adriatique (1855-1864) . .	12	2 02	8 45	92 10	101 55	45 59	50 27	0 1425	12 66
1888	Ouest français (951) . . .	11	1 78	10 00	112 00	122 00	...	...	...	...
1888	État belge (t.12) tubes lisses	10 3	4 707	12 503	110 254	122 758	23 42	26 08	0 0338	6 38
	État belge (t.12) tubes Serve	10 3	4 707	12 83	158 97	171 80	33 77	36 50	0 0715	9 06
	Kais Ferd.-Nordb. (Sér. II c.)	12 4	2 070	8 20	108 10	116 30	52 22	56 18	...	...
	Machines à trois essieux accouplés.									
1866	Midi français (801) . . .	8kg5	1m²46	8m²36	112m²77	121m²13	77m²24	82m²96	0m²2057	17m²14
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001) . .	10	2 30	10 24	146 52	156 76	63 70	68 16	0 1420	12 46
1883	Nord français (3473). . .	10	2 31	9 37	88 38	97 75	38 26	42 31	0 1093	10 93
1886	État belge (t. 6) tubes lisses	10 3	5 74	16 704	133 45	150 154	23 25	26 16	0 0651	5 81
	État belge (t. 6) tubes Serve	10 3	5 74	16 644	212 432	229 076	37 01	39 91	0 0718	9 10

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXVI.

Chaudières des locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements relatifs aux corps cylindriques.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Timbre de la chaudière en kilogrammes.	Nombre de viroles.	La virole la plus large est :	Diamètre de la virole la plus étroite. (Mètres.)	Épaisseur de la tôle en millimètres.	Nature du métal.	QUALITÉ DU MÉTAL. Résistance par millimètre carré. (Kilogrammes.)	QUALITÉ DU MÉTAL. Allongement minimum sur 200 millimètres. p. c.
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).								
1871	Nord français (*Outrance*) .	11	3	Au milieu.	1.122	14.5	Fer.	35 en long. 32 en travers.	19 en long. 12 en travers. (1)
1877	Est français (543-562) . .	10	...	...	1.241	13.5	—	...	...
1879	Paris-Orléans (448-575) . .	...	3	Au milieu.	1.222	14	—	...	...
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400) .	11	4	...	1.232	14.5	—	...	... (2)
1880	État néerlandais (301) . .	10.3	3	Au milieu.	1.245	14	—	...	...
1884	Midi français (1601) . . .	10	3	Au milieu.	1.235	15	—	...	...
1885	Paris-Orléans (51-76) . .	11	3	Au milieu.	1.222	14	—	...	...
1885	Nord français (701) . . .	11	...	...	1.193	14.5	—	35 en long. 32 en travers.	19 en long. 12 en travers. (3)
1887	Adriatique (1855-1864) . .	12	2	A l'arrière.	1.304	14	Acier.	...	...
1888	Ouest français (951) . . .	11	3	...	...	15	Fer.	...	...
1888	État belge (type 12) . . .	10.3	...	...	1.300	13	Fer ou acier.	34 en long. 30 en travers. 35	14 en long. 9.6 en travers. 28 (4)
	Kaiser Ferdinands-Nord-bahn, série IIc . . .	10.4	3	...	1.272	14	...	...	... (5)
	Machines à trois essieux accouplés.								
1866	Midi français (801-1202). .	8.5	3	Au milieu.	1.328	14	Fer.	...	...
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001). .	10	3	A l'avant.	1.342	14.5	—	...	...
1883	Nord français (3473). . .	10	...	...	1.222	14.5	—	35 en long. 32 en travers.	19 en long. 12 en travers. (6)
1886	État belge (type 6) . . .	10.3	...	...	1.400	14	Fer ou acier.	34 en long. 30 en travers. 35	14 en long. 9.6 en travers. 28

(1) Allongement mesuré sur 100 millimètres.
(2) Les diamètres des quatre viroles sont alternés.
(3) Allongement mesuré sur 100 millimètres.
(4) Viroles d'égal diamètre assemblées à couvre-joint.
(5) Viroles d'égal diamètre assemblées à couvre-joint.
(6) Allongement mesuré sur 100 millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXVII.

Chaudières des locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements relatifs aux boites à feu extérieures.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Type de boite à feu.	ÉPAISSEUR DES TÔLES (en millimètres)				Nature du métal.	QUALITÉ DES TÔLES EMBOUTIES.	
			du ciel ou du berceau	des parois				Résistance en kilogrammes par mill. carré.	Allongement minimum pour cent sur 200 millim.
				latérales.	antérieure.	postérieure.			
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).								
1871	Nord français (*Outrance*) .	Belpaire.	14.5	14.5	15	15	Fer.	37 en long. 34 en travers.	25 en long. (1) 20 en travers.
1877	Est français (543-562). . .	—	13.5	13.5	13.5	13.5	—	...	...
1879	Paris-Orléans (448-575) . .	Ten Brink.	14	14	14.5	14.5	—	...	...
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400) .	Belpaire.	...	...	...	...	—	...	...
1880	État néerlandais (301) . .	—	14	14	14	14	...	...	...
1884	Midi français (1601) . . .	Crampton.	15	15	15	15	Fer.	35 en long. 33 en travers.	15 en long (1) 11 en travers.
1885	Paris-Orléans (51-76). . .	Ten Brink.	14	14	14.5	14.5	—	...	...
1885	Nord français (701) . . .	Belpaire.	14.5	14.5	15	15	—	37 en long. 34 en travers.	25 en long. (1) 20 en travers.
1887	Adriatique (1855-1864) . .	Crampton.	20	16	16	16	Acier.	...	...
1888	Ouest-français (951) . . .	—	...	...	...	...	Fer.	...	...
1888	État belge (type 12) . . .	Belpaire.	13	13	14-15	13	Fer ou acier.	34 en long. 30 en travers. 35	14 en long. 9.6 en travers. 28
...	Kais. Ferd.-Nordb. (sér. IIc.)	...	20	14	14	14	...	...	...
	Machines à trois essieux accouplés.								
1866	Midi français (801-1202) . .	Crampton.	14	14	14	14	Fer.	35 en long. 33 en travers.	15 en long. 11 en travers.
1881	Paris-Lyon-Médit. (3001). .	Belpaire.	...	...	...	...	...	...	...
1883	Nord français (3473) . . .	—	14.5	14.5	15	15	Fer.	35 en long. 34 en travers.	25 en long. (1) 20 en travers.
1886	État belge (type 6). . . .	—	14	11	14	14	Fer ou acier.	34 en long. 30 en travers. 35	14 en long. 9.6 en travers. 28

(1) Allongement mesuré sur 100 millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXVIII.

Chaudières de locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements concernant les foyers.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Mode d'armature du ciel.	Voûte ou bouilleur.	ÉPAISSEUR DES TÔLES DE CUIVRE (EN MILLIMÈTRES). Ciel et parois latérales.	Paroi arrière.	Plaque tubulaire.	QUALITÉS DES TÔLES. Résistance minimum par millimètre carré.	Allongement minimum pour cent sur 200 millimètres.	Diamètre au tarandage des entretoises (millimètres).	QUALITÉ DU CUIVRE DES ENTRETOISES. Résistance par millimètre carré.	Allongement pour cent sur 200 millimètres.
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).										
1871	Nord français (*Outrance*)	Tirants verticaux.	Voûte.	14.5	14.5	14.5 & 30	22 k.	34 (2)	25 et 23 (1)	25	25 à 35 (2)
1877	Est français (543-562)	Tirants verticaux.	...	14	14	14 et 30	...	...	...	...	...
1879	Paris-Orléans (448-575)	Fermes en long.	Bouilleur.	14	15	15 et 30	...	...	24	...	...
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400)	Tirants verticaux.	Voûte.	15	15	17 et 25	...	...	...	...	...
1880	État néerlandais (301)	Tirants verticaux.	...	...	...	...	...	...	25	...	...
1885	Midi français (1601)	Fermes en travers.	...	13	15	15 et 30	21 k.	25	21	28 k.	15
1885	Paris-Orléans (51-76)	Fermes en long.	Bouilleur.	14	15	15 et 30	...	...	24	...	...
1885	Nord français (701)	Tirants verticaux.	Voûte.	14.5	14.5	15 et 30	22 k.	34 (2)	25 et 23 (1)	25	25 à 35 (2)
1887	Adriatique (1855-1864)	Tirants verticaux.	Néant.	16	16	16 et 25	...	...	21	...	...
1888	Ouest français (951)	Fermes en travers	Voûte.	...	...	...	...	...	...	...	...
1888	État belge (type 12)	Tirants verticaux.	Néant.	14	14	14 et 25	22	35	25 (3)	24	24
	Machines à trois essieux accouplés.										
1866	Midi français (801-1202)	Fermes en travers.	Voûte.	13	15	15 et 30	21 k.	25	21	28 k.	15
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001)	Tirants verticaux.	...	15	15	17 et 25	...	...	...	...	...
1883	Nord français (3473)	Tirants verticaux.	Voûte.	14.5	14.5	14.5 et 30	22	34	23 et 22 (1)	25	25 à 35 (2)
1886	État belge (type 6).	Tirants verticaux.	Néant.	14	14	14 et 25	22	35	25 (3)	24	24

(1) Le plus fort diamètre indiqué se rapporte aux entretoises des rangées extrêmes. Les entretoises des chaudières du Nord sont perforées d'un trou débouchant dans le foyer seulement.
(2) Allongement mesuré sur 100 millimètres.
(3) Entretoises à corps lisse de 22 millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXIX.

Chaudières de locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements relatifs aux tubulures.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Type des tubes à fumée.	Nature du métal.	Diamètre extérieur en millimètres.	Epaisseur en millimètres.	Longueur entre plaques tubulaires en mètres.	Nombre de tubes.	*Observations.*
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).							
1871	Nord français (*Outrance*) .	Lisses.	Acier.	45	2.5	3.500	201	Tubes raboutis en cuivre.
1877	Est français (543-562) . . .	Lisses.	...	48.75	2.375	4.100	178	Tubes raboutis en cuivre.
1879	Paris-Orléans (448-575). . .	Lisses.	Laiton.	48	2.5	4.752	185	
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400) .	Lisses.	...	50	2	4.945	185	
1880	État néerlandais (301) . . .	Lisses.	Acier.	44	2.5	3.360	220	
1884	Midi français (1601)	Lisses.	Acier.	48	2.5	3.493	194	Tubes raboutis en cuivre.
1885	Paris-Orléans (51-76	Lisses.	Laiton.	48	2.5	4.952	185	
1885	Nord français (701).	Lisses.	Acier.	45	2.5	3.560	204	Tubes raboutis en cuivre.
1887	Adriatique (1855-1864) . . .	Lisses.	Fer.	50	2.5	3.600	181	Tubes raboutis en cuivre.
1888	Ouest français (951)	Lisses.	Laiton.	49 45	variable.	4.180	183 212	
1888	État belge (type 12)	Lisses.	Acier et laiton.	45	2.5	3.800	239	
		A ailettes.		70	2.5	3.800	111	Tubulures postérieures à 1889.
...	Kais. Ferd.-Nordb.(sér. II c.)	Lisses.	...	52.7	...	4.270	177	
	Machines à trois essieux accouplés.							
1866	Midi français (801-1202) . .	Lisses.	Fer.	53	2.5	4.450	166	Tubes raboutis en cuivre.
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001) . .	Lisses.	Fer.	50	2.2	5.055	210	
1883	Nord français (3473). . . .	Lisses.	Acier.	45	2.5	3.500	201	Tubes raboutis en cuivre.
1885	État belge (type 6).	Lisses.	Acier et laiton.	50	2.5	4.000	236	
		A ailettes.		70	2.5	4.000	136	Tubulures postérieures à 1889.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXX.

Locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements relatifs au mécanisme moteur.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	Nombre de cylindres.	Diamètre des cylindres en millimètres.	Course des pistons en millim.	Espaces nuisibles en p. c. du volume engendré par le piston.	Rapport de la somme des volumes des cylindres à la surface de grille.	EFFORT DE TRACTION THÉORIQUE $\frac{(P-p)\ d^2 l}{D}$.	EFFORT DE TRACTION THÉORIQUE par tonne de poids adhérent.
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).							
1871	Nord français (*Outrance*) .	2	450	610	7.3	83.27	6428 kilog.	225
1877	Est français (543-562) . . .	2	440	610	...	77.29	5597 —	193
1879	Paris-Orléans (448-575). . .	2	410	650	8	115.93	7690 —	299
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400) .	2	500	620	...	108.69	8525 —	299
1880	État néerlandais (301) . . .	2	460	660	...	100.40	6741 —	241
1884	Midi français (1601)	2	440	600	6	106.70	5808 —	187
1885	Paris-Orléans (51-76) . . .	...	440	650	8	116.27	6921 —	248
1885	Nord français (701)	4	H. P. 330 B. P. 460	610	H. P. 8.4 B. P. 8	45.97 H. P. 89.32 B. P.	4985 —	181
1887	Adriatique (1855-1864) . . .	2	465	600	7.5	100.83	8108 —	279
1888	Ouest français (951)	...	460	660	...	123.24	7530 —	257
1888	État belge (type 12)	2	500	600	7.4	50 05	7357 —	229
...	Kais. Ferdin.-Nordb. (sér. IIc)	2	435	622	...	89.32	7290 —	264
	Machines à trois essieux accouplés.							
1836	Midi français (801-1202) . .	2	450	650	...	141.61	6949 kilog.	175
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001) . .	2	540	650	...	129.45	12636 —	303
1883	Nord français (3473)	2	480	610	6.5	95.57	8446 —	207
1886	Etat belge (type 6).	2	500	600	8.2	41 05	9.83 —	221

N. B. — Le rapport du volume des cylindres B. P. au volume des cylindres H. P. de la machine compound 701 du Nord français est de 1.94. Le rapport du volume du réservoir intermédiaire à la somme des volumes des cylindres H. P. de la même machine est de 1.5.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXXI.

Locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements concernant le mécanisme distributeur.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	TYPE DE LA DISTRIBUTION.	TYPE DES TIROIRS.	DIMENSIONS DES LUMIÈRES (en millimètres) d'admission.	DIMENSIONS DES LUMIÈRES (en millimètres) d'échappement.	Recouvrement extérieur (en millimètres).	Recouvrement intérieur (en millimètres).	Avance linéaire ou angle d'avance.	Course maximum (en millimètres).
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).								
1871	Nord français (*Outrance*) .	Stephenson.	Ordinaires.	330 × 40	330 × 100	33.5	2	30°	134.5
1877	Est français (543-562) . .	Gooch.	—	330 × 40	330 × 75	28.5	1	30°	130
1879	Paris-Orléans (448-575). .	—	—	340 × 35	340 × 60	26	—2	30°	110
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-200).	Allan.	—	300 × 35	300 × 85	31	1	44°	123
1880	État néerlandais (301) . .	Stephenson.	...	370 × 35	370 × 89	25	...	6 millim	96
1884	Midi français (1601) . . .	Gooch.	Ordinaires.	300 × 40	300 × 74	19	2	16°	120.6
1885	Paris-Orléans (51-76) . .	—	—	340 × 35	340 × 60	25	—2	30°	136
1885	Nord français (701) . . .	H. P. Stephenson.	—	H.P. 250×3	H.P. 250×6	H. P. 21	H.P.—4	H.P. 24°	H. P. 96
		B.P. Walschaert.	—	B.P 330×40	B.P. 330×80	B. P. 27	B. P. 0	B.P. ...	B. P. 90
1887	Adriatique (1855-1864) . .	Stephenson.	Plans équilibrés.	350 × 30	350 × 60	22	2	16°	95
1888	Ouest français (951) . . .	Gooch.	Ordinaires.	2 × 190 × 35	2 × 190 × 80	29	—1	6 millim (28°)	131
1888	État belge (type 12) . . .	Walschaert.	Trick non équilibrés.	380 × 32	382 × 64	25	0.5	...	111
...	Kaiser Ferdinands-Nordbahn (sér. IIc.). . . .	Stephenson.	Non équilibrés.	280 × 35	280 × 78	25	...	2 et 6 ½	101.75
	Machines à 3 essieux accouplés.								
1866	Midi français (801-1202). .	Stephenson.	Ordinaires.	310 × 40	310 × 80	33	4	30°	144
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001) .	Allan.	—	300 × 35	300 × 85	28	1	...	122.5
1883	Nord français (3473). . .	Stephenson.	—	330 × 40	330 × 80	33.5	2	12°	134.5
1886	État belge (type 6) . . .	Walschaert.	Trick non équilibrés.	400 × 42	400 × 80	25	0.5	...	100.5

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXXII.

Locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements concernant les châssis et les roues.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	TYPE DU CHASSIS.	ÉCARTEMENT DES ESSIEUX (en mètres)						DIAMÈTRE DES ROUES (en mètres)			Demi-jeu transversal des essieux	
			du bogie.	de l'essieu ar. au bogie ou de l'essieu av. au 1er essieu accouplé.	du 1er au 2e essieu accouplé.	du 2e au 3e essieu accouplé.	du 2e essieu accouplé à l'essieu porteur ar.	Empattement total.	du bogie ou de l'essieu porteur av.	accouplées.	porteuses.	av.	ar.
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).												
1871	Nord français (*Outrance*) .	Double	1.800	1.930	2.590	...	...	6.320	1.040	2.114	...	...	...
1877	Est français (543-562) . . .	Mixte.	...	2.850	2.500	...	...	5.350	1.360	2.110	...	10	...
1879	Paris-Orléans (448-575) . .	Intérieur.	...	1.900	1.900	...	1.800	5.600	1.220	1.800	1.220	10	...
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400) .	—	...	1.850	2.100	...	1.850	5.800	1.300	2.000	1.300	10	10
1880	État néerlandais (301) . .	Double.	...	2.906	2.590	...	...	5.496	1.219	2.134	...	...	...
1884	Midi français (1601) . . .	Intérieur.	...	3.050	2.350	...	...	5.400	1.420	2.000	...	10	...
1885	Paris-Orléans (51-76) . . .	—	...	1.900	2.100	...	1.800	5.800	1.220	2.000	1.220	10	10
1885	Nord français (701)	—	...	3.000	2.500	...	...	5.500	1.300	2.114	...	6	...
1887	Adriatique (1855-1864) . .	—	1.900	2.370	2.430	...	...	6.700	0.950	1.920	...	...	...
1888	Ouest français (951) . . .	—	2.000	2.710	2.700	...	...	7.410	0.940	2.040	...	...	...
1888	État belge (type 12) . . .	Extérieur.	...	2.100	2.160	...	2.300	6.560	1.200	2.100	1.200	32	0
	Kais. Ferd.-Nordb. (sér. IIc.)	—	1.700	1.850	2.600	...	...	6.150	1.010	2.002	...	...	...
	Machines à trois essieux accouplés.												
1866	Midi français (801-1202) . .	Intérieur.	...	...	1.920	1.680	...	3.600	...	1.610	...	8	0
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001) . .	—	...	...	1.930	1.600	2.200	5.730	...	1.500	1.200	...	...
1883	Nord français (3473) . . .	Double.	...	...	2.100	2.000	...	4.100	...	1.664	...	0	0
1886	État belge (type 6). . . .	Extérieur.	...	2.350	1.900	2.400	...	6.650	1.060	1.700	...	32	...

Observation. — Les châssis des machines Paris-Orléans (448-575), Paris-Lyon-Méditerranée (111-400), Paris-Orléans (51-76) et Paris-Lyon-Méditerranée (3001), bien qu'intérieurs, comportent à l'arrière des longerons extérieurs rapportés qui chargent les fusées de l'essieu porteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXXIII.

Locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements relatifs aux bogies.

	Machine *Outrance* du Nord français.	Machines 1855 à 1864 du réseau de l'Adriatique.	Machine 951 de la Compagnie de l'Ouest.	Machine de la série IIc de la K. K. Kaiser Ferdinands-Nordbahn.
Écartement des essieux	1m800	1m900	2m000	1m700
Diamètre des roues	1m040	0m950	0m940	1m010
Départ du pivot à l'arrière du centre de figure	...	...	0m050	...
Demi-jeu transversal	...	35	0m050	...
Mode de rappel	Néant.	Bielles inclinées.	Ressorts à lames.	...
Course initiale des ressorts de rappel	...	...	1,400	...
Flexibilité —	...	...	25	...
Type de châssis	Extérieur.	Intérieur.	Intérieur.	Intérieur.
— de la suspension	Ordinaire.	Américaine.	Américaine.	...
— des appuis	Latéraux sphériques.	Central plan.	Central plan.	...

TABLEAU LXXXIV.

Hauteur de l'axe des chaudières au-dessus des rails.

Machines à quatre roues accouplées.

Machines de la Compagnie Paris-Orléans, nos 448 à 575	1.950	mètre.
— — — nos 51 à 76	1.957	—
— — du Midi, no 1601	2.050	mètres.
— de la Kaiser Ferdinands-Nordbahn	2.100	—
— de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, nos 111-400	2.100	—
— — du Nord (*Outrance*)	2.127	—
— — — no 701	2.157	—
— de l'Est français, no 543	2.160	—
— de l'Ouest français, no 951	2.200	—
— de l'Adriatique, no 1855	2.250	—
— de l'État belge, type 12	2.350	—
— de l'État néerlandais, no 301	2.350	—

Machines à six roues accouplées.

Machines de la Compagnie du Midi français, no 801	2.015	mètres.
— — Paris-Lyon-Méditerranée, no 3001	2.050	—
— — du Nord français, no 3473	2.152	—
— — de l'État belge	2.370	—

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXXV.

Locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements concernant les freins et la suspension.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	TYPE DU FREIN.	Nombre d'essieux freinés (1).	Coefficient de freinage.	FLEXIBILITÉ DES RESSORTS DE SUSPENSION				Essieux entre lesquels sont placés des balanciers compensateurs ou des organes similaires.
					Essieu av. ou bogie.	Essieu moteur.	Essieux accouplés.	Essieu porteur ar.	
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).								
1871	Nord français (*Outrance*) .	A vide non automatique Hardy.	2	91 p. c.	9	7 et 19 (2)	7	...	3e et 4e.
1877	Est français (543-562) . .	Westinghouse automatique.	2	...	6.95	6.95	6.95	...	Néant.
1879	Paris-Orléans (448-575) . .	Westinghouse automatique.	0	...	6	6.7	6.7	39.7	2e et 3e.
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400) .	Westinghouse-Henry.	0	...	...	...	...	...	2e et 3e.
1880	État néerlandais (301) . .	Westinghouse automatique.	...	...	...	...	...	...	Néant.
1884	Midi français (1601) . . .	Westinghouse automatique.	0	...	11.5	11.5	11.5	...	—
1885	Paris-Orléans 51-70) . .	Wenger.	0	...	6	6.7	6.7	39.7	2e et 3e.
1885	Nord français (701) . . .	A vide non automatique Hardy.	2	100 p. c.	...	7	7	7	3e et 4e.
1887	Adriatique (1855-1864) . .	Westinghouse action rapide.	2	65 —	8	8	8	...	3e et 4e.
1888	Ouest français (951) . . .	Westinghouse automatique.	2	...	...	...	...	...	...
1888	État belge (type 12) . . .	Westinghouse automatique.	2	60 p. c.	17	17	17	17	1er et 2e; 3e et 4e balancier transversal aux roues d'avant.
...	Kais. Ferdin.-Nordb. (sér. IIc)	A vide non automatique Hardy.	...	...	...	...	...	...	...
	Machines à trois essieux accouplés.								
1866	Midi français (801-1202) .	Wenger.	0	...	...	8.2	11.6 (Av.) / 6 (Ar.)	...	Néant.
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001) . .	...	...	...	...	...	...	...	2e et 3e.
1883	Nord français (3473) . . .	A vide non automatique Hardy.	3	43 p. c.	...	7 et 19 (2)	7	...	1er et 2e.
1886	État belge (type 6) . . .	Westinghouse automatique.	3	60 —	17	17	17	...	1er et 2e; 3e et 4e balancier transversal aux roues d'avant.

(1) Les essieux freinés sont tous des essieux moteurs ou accouplés.
(2) La flexibilité de 19 millimètres se rapporte aux ressorts qui chargent les fusées intérieures.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXXVI.

Locomotives construites antérieurement à 1889.

Poids sur rails.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	POIDS EN ORDRE DE MARCHE (EN TONNES).						Poids à vide en tonnes.	Poids adhérent, en tonnes.	Poids total de la machine par mètre carré de grille.
		Bogie ou essieu porteur avant.	Premier essieu accouplé.	Deuxième essieu accouplé.	Troisième essieu accouplé.	Essieu porteur arrière.	Total.			
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).									
1871	Nord français (*Outrance*) .	14.400	14.250	14.350	...	...	43.000	39.800	28.600	18,454
1877	Est français (543-562) . .	13.858	14.915	14.021	...	...	42.774	39.175	28.936	17,822
1879	Paris-Orléans (448-575). .	12.100	13.100	12.650	...	6.670	44.520	40.650	25.750	26,111
1879	Paris-Lyon-Méd. (111-400).	12.620	14.600	13.950	...	9.630	50.830	46.330	28.550	22,691
1880	État néerlandais (301) . .	12.660	14.220	13.800	...	...	40.680	...	28.020	18,617
1884	Midi français (1601) . . .	14.500	15.500	15.500	...	...	45.500	41.800	31.000	26,608
1885	Paris-Orléans (51-76) . .	12.450	14.200	13.760	...	6.280	46.690	41.000	27.960	27,464
1885	Nord français (701) . . .	10.200	13.650	13.950	...	...	37.800	34.800	27.600	18,651
1887	Adriatique (1855-1864) . .	15.800	14.800	14.300	...	...	44.900	...	29 100	22,227
1888	Ouest français (951) . . .	18.500	14.800	14.500	...	...	47.800	...	29.300	26,853
1888	État belge (type 12) . . .	9.750	16.000	16.100	...	9.800	51.650	48.000	32.100	10,973
...	Kaiser Ferdinands-Nordbahn (série IIc) . . .	19.400	13.800	13.800	...	...	47.000	43.000	27.600	22,705
	Machines à trois essieux accouplés.									
1866	Midi français (801-1202). .	...	12.650	13.600	13.450	...	39.700	35.000	39.700	27,191
1881	Paris-Lyon-Méd. (3001) .	...	13.920	13.920	13.920	9.370	51.130	45.330	41.760	22,304
1883	Nord français (3473) . . .	...	13.400	13.400	13.400	...	40.800	37.400	40.800	17,662
1886	État belge (type 6). . . .	12.300	12.600	15.050	13.450	...	53.400	44.800	41.050	9,303

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LXXXVII.

Locomotives construites antérieurement à 1889.

Renseignements concernant les tenders.

Date de la construction du premier exemplaire du type.	TYPE DE LA MACHINE.	ÉCARTEMENT DES ESSIEUX (en mètres)			Diamètre des roues en mètres.	Capacité des caisses à eau en mètres cubes.	Capacité des soutes à charbon en tonnes.	Poids à vide en tonnes.	Poids total en tonnes.
		du premier au deuxième.	du deuxième au troisième.	Empattement total.					
	Machines à deux essieux accouplés (ou moteurs).								
1871	Nord français (*Outrance*) .	2.200	1.500	3.700	1.2475	15.300	3.000	15.300	33.330
1877	Est français (543-562) . . .	2.500	...	2.500	1.220	13.000	3.250	12.298	28.648
1879	Paris-Orléans (448-575) . .	3.000	...	3.000	1.220	10.000	4.200	12.000	26.200
1880	État néerlandais (301). . .	1.981	1.981	3.962	1.219	12.000	3.000	...	29.990
1884	Midi français (1601) . . .	2.200	1.600	3.800	1.230	10.000	3.500	15.500	29.000
1885	Paris-Orléans (51-76) . . .	3.000	...	3.000	1.220	10.000	4.200	12.450	25.000
1885	Nord français (701) . . .	3.000	...	3.000	1.2475	11.000	3.500	11.560	26.060
1887	Adriatique (1855-1864). . .	1.830	1.830	3.660	1.120	10.700	4.350	14.500	29.700
1888	État belge (type 12) . . .	1.905	1.630	3.535	1.060	14.000	3.000	16.700	33.700
	Kais. Ferd.-Nordb. (sér. IIc).	1.630	1.570	3.200	1.010	12.000	6.000	14.300	32.400
	Machines à trois essieux accouplés.								
1876	Midi français (801-1202) . .	2.500	...	2.500	1.230	6.500	3.000	11.000	20.800
1883	Nord français (3473) . . .	3.000	...	3.000	1.2475	10.000	3.500	11.650	25.150
1886	État belge (type 6). . . .	1.910	1.690	3.600	1.060	14.000	3.000	16.950	33.950

En 1889, les vitesses moyennes de marche ne dépassaient guère 75 kilomètres à l'heure. Elles atteignent aujourd'hui 95 et 100 kilomètres.

En 1889, les trains les plus lourds, d'un poids remorqué de 230 à 250 tonnes, étaient tracés à des vitesses qui n'excédaient généralement pas 65 kilomètres à l'heure. Actuellement, des trains de même tonnage circulent à des vitesses de 80 et même 90 kilomètres. Aux vitesses de 70 et 75 kilomètres, les charges remorquées atteignent fréquemment 300 tonnes.

Enfin, en ce qui concerne les lignes accidentées, on peut remarquer que non seulement les trains ont été notablement accélérés sur les parties les plus faciles de leurs parcours, mais encore que les charges remorquées sur les rampes ont pu être accrues, à vitesse égale, dans une proportion qui, dans certains cas, n'a pas été inférieure à 70 p. c.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Des résultats aussi importants supposent à la fois un accroissement notable de la puissance des chaudières, une meilleure utilisation de la vapeur produite et une amélioration de la stabilité des moteurs. Un coup d'œil jeté sur les tableaux synoptiques que nous avons dressés, d'une part, pour les machines construites depuis 1889 et, d'autre part, pour les machines antérieures à cette date, permettra de se rendre compte aisément dans quelle mesure et par quels moyens ces progrès ont pu être réalisés.

§ 225. — La puissance d'une chaudière résulte à la fois de la *quantité* et de la *qualité* de la vapeur qu'elle est susceptible de produire en un temps donné.

La *quantité* de vapeur produite étant principalement fonction de la surface de la grille, il était logique que cette surface fût généralement augmentée, toutes choses égales d'ailleurs, dans une notable proportion. Telle est, en effet, à ce point de vue, la différence la plus caractéristique que présentent les chaudières les plus modernes comparées à celles construites antérieurement.

Mais l'augmentation des dimensions de la grille devait avoir une répercussion inévitable sur le mode de construction des boîtes à feu. C'est elle qui a motivé l'abandon des fermes de ciel de foyer et leur remplacement par des tirants verticaux, le choix de métaux plus résistants ou plus flexibles pour la confection des entretoises, enfin, dans une certaine mesure, l'emploi des jette-feu, des voûtes ou des bouilleurs.

Les observations faites autrefois par certaines administrations qui avaient été conduites bien avant 1889 à renoncer aux tubulures de grande longueur, avaient déjà permis de conclure que des tubes relativement courts sont avantageux au point de vue de l'intensité de la vaporisation. Les expériences entreprises par M. Henry à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerrannée ont nettement confirmé ces conclusions. Aussi bien les tubes de plus de 4.50 mètres de long, quoique plus favorables à l'économie, sont-ils aujourd'hui à peu près abandonnés.

Mais la perte ainsi consentie de prime abord sur l'utilisation du combustible a été récupérée en grande partie par l'emploi de plus en plus répandu des tubes à ailettes, qui ont permis de réaliser non seulement une grande surface de chauffe avec une chaudière relativement courte, mais encore des sections de passage d'air plus grandes et, par suite, plus favorables à une combustion intense.

Enfin, le diamètre des chaudières, généralement placées à une plus grande hauteur au-dessus des rails, a pu être augmenté dans une certaine mesure, et le nombre des tubes a pu être ainsi sensiblement accru.

§ 226. — La *qualité* de la vapeur fournie par une chaudière résulte à la fois de la *pression* sous laquelle elle est produite et de son degré de *siccité*.

En 1889, les chaudières timbrées à plus de 12 kilogrammes étaient encore des exceptions. Aujourd'hui, les pressions effectives de 14 et 15 kilogrammes sont devenues courantes. Certaines chaudières ont même été timbrées à 16 kilogrammes.

Des pressions aussi élevées eussent entraîné une augmentation notable du poids

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des chaudières, nonobstant le raccourcissement des tubes, si les progrès réalisés par la sidérurgie n'avaient permis de substituer l'acier au fer pour la construction des corps cylindriques et des enveloppes de foyer. En 1889, l'emploi de ce dernier métal pouvait encore être considéré comme la règle, bien que cette règle comportât déjà de nombreuses exceptions. Aujourd'hui, l'emploi de l'acier doux (du fer homogène, fer fondu ou *Flusseisen*) est devenu général.

Cette substitution, combinée avec l'élévation du timbre, a eu pour conséquence un emploi plus fréquent des assemblages à couvre-joints et des lignes de rivure à double et même à triple rangée de rivets.

§ 227. — Le *degré de siccité* de la vapeur ne semble pas avoir préoccupé au même degré les constructeurs. La majeure partie, en effet, des chaudières actuelles ont été traitées à ce point de vue comme celles d'autrefois.

Toutes, sans aucune exception, comportent, un réservoir faisant saillie sur le corps cylindrique et dans lequel vient déboucher, à une certaine hauteur au-dessus du niveau de l'eau, le tuyau de prise de vapeur. Dans la plupart des cas, ce réservoir n'est autre que le dôme classique. Quelques chaudières ont reçu deux dômes réunis par un tuyau de communication. Une seule a été pourvue d'un réservoir d'une forme spéciale et de très grande capacité.

Il convient de rappeler aussi les tuyaux collecteurs et les diaphragmes en usage à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, ainsi que les détendeurs de vapeur appliqués à certaines chaudières de la Compagnie d'Orléans.

Quant aux accessoires de la chaudière, il nous suffira de signaler la faveur croissante dont paraissent jouir les soupapes de sûreté à charge directe et les injecteurs d'alimentation à cônes convergents multiples permettant un contact plus intime de l'eau et de la vapeur, et, par suite, une condensation plus complète et plus rapide de cette dernière.

§ 228. — La grande extension prise par les applications de la disposition compound est, au point de vue du mécanisme des moteurs à grande vitesse, l'événement le plus important de ces dix dernières années.

La plupart des administrations qui ont été conduites à porter le timbre de leurs chaudières à 13 kilogrammes et au delà l'ont successivement adoptée. Celles qui, pour des motifs divers, sont restées fidèles à la simple expansion, semblent néanmoins d'accord pour reconnaître que la disposition compound est un moyen très économique, sinon le plus économique, d'utiliser la détente de la vapeur, lorsque celle-ci a été produite sous une pression élevée. Toutes choses égales d'ailleurs, elle permet soit de produire un travail déterminé avec une moindre dépense de combustible, soit, avec une même dépense de combustible, de développer un travail plus considérable.

La supériorité économique des locomotives compound ne paraît être cependant universellement admise que tant qu'il s'agit de réaliser des vitesses angulaires n'excédant pas notablement deux cents tours à la minute. L'Administration des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chemins de fer de l'État français nous signale, en effet, qu'elle a procédé à des essais comparatifs d'où il résulte qu'aux vitesses supérieures la simple expansion reprend l'avantage et que, même par des trains s'arrêtant en moyenne tous les 25 kilomètres, cet avantage peut devenir assez sensible pour compenser l'infériorité qui résulte pour elle de démarrages plus onéreux.

§ 229. — On a parfois reproché aux machines compound de ne pas avoir aux très grandes vitesses une aussi grande liberté d'allure, de ne pas « courir » aussi aisément que les machines à simple expansion. Ce reproche est basé sur cette observation, faite à diverses reprises, que la vitesse maximum que peut atteindre, en palier, une machine compound, n'augmente pas dans la même proportion que celle d'une machine ordinaire lorsqu'on réduit progressivement l'importance de la charge remorquée. En d'autres termes, si on désigne par V la vitesse maximum compatible avec un tonnage remorqué T, la valeur absolue de la dérivée

$$-\frac{dV}{dT}$$

est plus faible pour les machines compound que pour celles à simple expansion, lorsque V est très grand.

Il semble, par suite, qu'au fur et à mesure qu'on demande à la machine compound une vitesse plus grande, les résistances intérieures augmentent dans une proportion suffisante pour absorber la majeure partie du bénéfice pouvant résulter d'une moindre charge. C'est ainsi qu'on a même pu être amené à conclure qu'il existe pour le mécanisme d'une machine compound une vitesse angulaire déterminée qui ne saurait être dépassée, quelle que soit la réduction que l'on fasse subir à la charge maximum compatible avec cette vitesse angulaire. Celle-ci correspondrait en palier, avec des roues de 2.13 mètres de diamètre et avec la disposition à quatre cylindres la plus usitée en France, à la vitesse de marche, d'ailleurs très élevée, de 105 à 110 kilomètres à l'heure.

§ 230. — Ainsi formulée, cette conclusion n'est cependant pas absolument exacte. L'expérience journalière montre, en effet, que les machines compound réalisent aussi aisément que d'autres, sur des pentes prolongées de 4 à 5 millimètres par mètre, et avec des charges d'ailleurs importantes, des vitesses effectives de 120 et même de 125 kilomètres à l'heure. Or, l'effet d'une pente ne diffère pas, au point de vue du maximum de vitesse à atteindre, de celui d'une réduction, parfois importante, il est vrai, de l'effort de traction développé.

D'autre part, s'il est vrai que pour la machine compound la valeur absolue de l'expression :

$$-\frac{dT}{dV}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est effectivement plus faible à grande vitesse que pour les machines ordinaires, réciproquement celle de la fonction inverse :

$$-\frac{dV}{dT}$$

est plus grande pour les compound, ce qui veut dire qu'à une augmentation donnée de la charge qu'on leur impose correspond un déchet relativement moindre sur la vitesse qu'elles peuvent soutenir en remorquant cette charge. En particulier, sur les rampes, qui se traduisent nécessairement par une augmentation de l'effort de traction à développer, les machines compound soutiennent, journellement, avec des charges importantes, des vitesses relativement élevées qu'on n'avait pu réaliser antérieurement sur les mêmes parcours avec des machines non-compound.

Or, il est à considérer qu'une machine à grande vitesse vaut moins par la vitesse maximum qu'elle sera capable d'atteindre sur un palier avec une charge réduite, que par son aptitude à réaliser sur de longs parcours, toujours plus ou moins accidentés, des vitesses moyennes élevées, tout en remorquant une charge suffisante pour les besoins de la pratique. Cette aptitude, les machines compound la possèdent incontestablement, puisque ce sont ces machines qui ont permis d'introduire dans les horaires les plus rapides des itinéraires précédemment analysés.

§ 231. — D'après les expériences dynamométriques faites récemment aux chemins de fer de l'État français [1], cette aptitude appartiendrait cependant, au même degré, aux moteurs non-compound. Ces expériences ont porté, d'une part, sur des machines non-compound de la série n° 2751, précédemment décrites, d'autre part, sur des machines compound de la série n° 2701 dont nous avons également fait connaître les dimensions principales. Bien que timbrées les premières à 14 kilogrammes, les secondes à 15 kilogrammes, leurs chaudières peuvent être considérées comme à peu près identiques.

§ 232. — Les conclusions qui paraissent se dégager de l'ensemble des observations faites peuvent se résumer comme suit :

A toutes les vitesses pratiquement réalisables, depuis 0 jusqu'à 120 kilomètres à l'heure, l'effort de traction maximum susceptible d'être développé, à un instant donné, par la machine à simple expansion est supérieur à celui que peut développer la machine compound.

Aux vitesses modérées, les machines à simple expansion ne peuvent soutenir longtemps l'effort maximum dont elles sont capables, en raison de la grande quantité de vapeur que nécessite cet effort et que la chaudière est impuissante à produire. Il en résulte que les machines compound, par suite d'une meilleure utilisation de la

[1] Nous devons à l'obligeance de M. Desdouits, ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer de l'État, d'avoir pu prendre connaissance d'une série de diagrammes qui résument ces expériences et qui figureront dans une note destinée, croyons-nous, à être publiée prochainement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vapeur qui leur est fournie, sont effectivement plus puissantes à ces vitesses que celles à simple expansion.

Cet avantage des machines compound va en s'atténuant au fur et à mesure que la vitesse augmente. Aux très grandes vitesses, le mécanisme de ces machines devient moins apte à transformer en travail utile toute l'énergie que lui apporte la vapeur, et cela au point qu'à une admission plus grande aux cylindres de haute pression ne correspond plus, lorsqu'une certaine vitesse est atteinte, un travail effectif plus considérable.

Si aux grandes vitesses considérées la machine ordinaire ne développe pas un effort supérieur à celui constaté aux expériences, cela tient exclusivement à l'insuffisance de sa chaudière. Une chaudière plus puissante ne permettrait, au contraire, aucun accroissement de l'effort développé par la machine compound, la quantité supplémentaire de vapeur qui serait fournie à son mécanisme n'étant plus susceptible d'être employée utilement.

§ 233. — Il est évident que ces conclusions, qu'il nous a paru très intéressant de rapporter, ne s'appliquent rigoureusement qu'aux machines soumises à l'essai et qu'il serait encore prématuré de les généraliser. On ne peut donc que souhaiter que des expériences semblables soient entreprises sur d'autres machines de types différents, en vue de préciser les limites, s'il en existe, au delà desquelles la disposition compound cesse d'être plus avantageuse que la disposition ordinaire.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que les critiques dont la disposition compound est encore l'objet visent exclusivement son application aux très grandes vitesses et que les avantages que présente cette disposition dans ses applications aux moteurs des trains express lourdement chargés ne semblent pas contestés. En ce qui concerne les moteurs des trains express circulant sur des lignes accidentées, l'accord peut être considéré comme établi, tous les moteurs à six roues accouplées construits postérieurement à 1889 et dont nous avons eu à nous occuper ayant été établis en compound.

§ 234. — Si maintenant, laissant de côté le principe même de la double expansion, nous la considérons dans ses applications, nous constatons une préférence marquée pour la disposition à quatre cylindres actionnant deux essieux moteurs différents. Les avantages de cette disposition sont connus. Nous rappellerons qu'elle se prête à un placement plus facile des cylindres, à une plus grande régularité du moment moteur, à un meilleur équilibre des masses en mouvement, enfin qu'elle offre des facilités spéciales pour le démarrage et permet d'imposer une moindre fatigue au mécanisme.

Les partisans de la disposition à deux cylindres invoquent en sa faveur une complication moindre, une dépense moindre de premier établissement, des frais d'entretien et de graissage moins élevés, la possibilité de n'employer que des essieux droits. Ces avantages sont à peine atténués par l'emploi de quatre cylindres disposés en tandem, disposition qui offre, en outre, plus de facilités pour le démarrage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Plus anciennes que les machines à quatre cylindres, les machines à deux cylindres semblent cependant avoir bénéficié, dans une certaine mesure, de l'expérience acquise par l'emploi des machines à quatre cylindres et à changements de marche indépendants. C'est ainsi que l'on peut signaler une tendance à augmenter le rapport des volumes des cylindres de ces machines, ainsi que l'écart résultant pour les degrés d'admission H. P. et B. P. de la liaison des mécanismes distributeurs.

On peut constater aussi un emploi moins fréquent des appareils de démarrage automatiques à valves, fort répandus il y a une dizaine d'années. Enfin, bien qu'aucune des machines dont nous avons eu à nous occuper ne comporte la possibilité de supprimer temporairement le fonctionnement en compound, il semble que d'une manière générale cette facilité donnée au mécanicien n'inspire plus les mêmes appréhensions qu'autrefois.

§ 235. — Il nous suffira de rappeler, en ce qui concerne le mécanisme distributeur, que le dispositif de Walschaert est très en faveur, et que les tiroirs les plus employés sont toujours ceux de la forme dite à coquille. Un assez grand nombre d'entre eux sont pourvus du canal de Trick. Il est plus rare qu'ils soient équilibrés. Une application nouvelle des tiroirs cylindriques, qui n'étaient employés jusqu'ici que par l'État français, vient d'être faite par l'État néerlandais.

§ 236. — L'emploi de compositions en métal blanc soit pour la confection, soit pour le doublage partiel ou total des coussinets de bielle et de boîtes d'essieux, est loin d'être récente. Mais leur application aux pièces frottantes des locomotives s'est plus particulièrement répandue au cours de ces dix dernières années. Elle a eu pour conséquence une réduction du coefficient de frottement, un ralentissement de l'usure des coussinets, enfin une diminution du nombre des chauffages. Il n'est cependant pas bien établi qu'elle n'ait pas occasionné aussi une usure un peu plus rapide des fusées.

Plusieurs administrations, notamment l'État français, le Nord français et la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée se sont également préoccupées d'atténuer la résistance opposée par l'air au mouvement des trains, en adoptant des formes spéciales pour l'avant de la machine, pour les parties faisant saillie sur le corps cylindrique de la chaudière, enfin pour l'arrière du tender.

§ 237. — Les progrès réalisés au point de vue de la stabilité des machines à grande vitesse résultent principalement de l'allongement des empattements, de la suppression des masses en porte-à-faux et de l'emploi, aujourd'hui général, des avant-trains mobiles.

Il semble également que la surélévation du centre de gravité des machines soit de nature à réduire le moment de renversement des rails et, par suite, à diminuer la fatigue de la voie et à augmenter, plus spécialement à l'entrée en courbe, la stabilité des moteurs.

Nous ajouterons que le type de machine à grande vitesse le plus répandu semble

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avoir atteint le maximum de puissance compatible avec le poids que peuvent supporter quatre essieux. Lorsque cette puissance maximum aura été reconnue insuffisante, l'emploi d'un cinquième essieu s'imposera, comme il s'est déjà imposé à l'État néerlandais, au Nord autrichien et au Nord français. La disposition adoptée par ces trois administrations pour leurs moteurs les plus récents est donc appelée, vraisemblablement, à se généraliser.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE.

Note complémentaire sur des essais de traction faits à la Compagnie de l'Est avec la locomotive n° 1760 de la Compagnie du Midi,

Par M. L. SALOMON,
INGÉNIEUR EN CHEF DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DES CHEMINS DE FER DE L'EST.

SOMMAIRE :

I. Trains de banlieue remorqués par la machine n° 1760 de la Compagnie du Midi. — II. Trains de marchandises directs remorqués par la machine n° 1760. — III. Comparaison des courbes dynamométriques obtenues avec les locomotives n°s 1760, 1003 et 0,570 par train (2) n° 101. — IV. Démarrages.

I. — Trains de banlieue remorqués par la machine n° 1760 de la Compagnie du Midi.

Pendant la période du 6 au 10 février 1897, la machine n° 1760 a remorqué dix des trains du roulement des machines de banlieue du dépôt de La Villette; ces dix trains ont été choisis parmi les plus difficiles.

Le tableau ci-après indique, pour chacun de ces trains, la charge, les principales conditions de la marche et la consommation d'eau.

La consommation de combustible n'a pu être relevée que pour l'ensemble de ces dix trains. Elle s'est élevée à 15.037 kilogrammes par kilomètre de train, et à 0.0804 kilogramme par tonne kilométrique.

Tous ces trains ont été remorqués avec facilité et dans de bonnes conditions. Les démarrages ont tous eu lieu en compound, sans difficulté et sans patinage important.

Les mêmes conditions de marche ont été employées, à peu de chose près, au cours de la remorque de chacun de ces trains, c'est-à-dire que le régulateur a toujours été entièrement ouvert, l'admission de vapeur a varié de 35 à 60 p. c. dans les cylindres à haute pression et de 55 à 70 p. c. dans les cylindres à basse pression, l'échappement a été serré d'un tiers en moyenne de la course des valves, l'eau de la chaudière a eu pour niveau moyen les deux tiers de la hauteur du tube et la pression n'a pas été inférieure à 13.5 kilogrammes.

Il aurait été possible de regagner dans la marche :

17 à 18	minutes	au train n°	323, de Paris à Château-Thierry;
14	—	—	350, de Château-Thierry à Paris;
5 à 6	—	—	343, de Paris à Meaux;
5	—	—	358, de Meaux à Paris;
14 à 15	—	—	455, de Paris à Verneuil;
4 à 5	—	—	466, de Verneuil à Paris.

Après chacun de ces trains, la quantité d'escarbilles accumulées dans la boite à fumée était faible et ces escarbilles étaient très fines. Au train n° 350 du 10 février 1897 (un des plus difficiles), les escarbilles ne s'élevaient, à l'arrivée à Paris, qu'à 10 centimètres de hauteur.

En résumé, la machine n° 1760 s'est bien comportée pendant la remorque de ces trains de banlieue, qui ont été faits dans des conditions un peu meilleures qu'avec les machines de banlieue de la série n° 600, comme facilité des démarrages, bonne tenue du feu, quantité minime des escarbilles entraînées dans la boite à fumée, faible dépense d'eau, abondance de la production de vapeur et temps pouvant être regagné.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Essais de la locomotive 1760 par trains de banlieue.

DATES.	NUMÉROS DES TRAINS.	ÉTAPE.	PARCOURS EN KILOMÈTRES.	NOMBRE DE VÉHICULES.	CHARGE EN TONNES.	DURÉE DU PARCOURS (déduction faite des arrêts) prescrite.	DURÉE DU PARCOURS (déduction faite des arrêts) réelle et talent segments courts.	NOMBRE DES ARRÊTS.	DURÉE DE L'ENSEMBLE DES ARRÊTS.	RETARD au départ.	RETARD à l'arrivée.	TEMPS gagné.	TEMPS perdu.	CONSOMMATION D'EAU totale.	CONSOMMATION D'EAU par kilomètre.	ÉTAT DU TEMPS.
6 février.	455	Paris à Verneuil . .	52	14	154	1h 17′	1h 12′	11	16′	...	...	5′	...	5m3650	103k6	Pluvieux — grand vent.
6 —	466	Verneuil à Paris . . .	52	21	200	1 13′	1 10′	11	17′	2′	1′	4′	1′	6 550	126	— —
7 —	323	Paris à Château-Thierry.	94	16	184	2 03′	2 00′	15	22′	1′	...	3′	...	8 850	94	Couvert — vent NO assez fort.
7 —	350	Château-Thierry à Paris.	94	17	193	2 03′	2 02′	15	23′	...	...	1′	...	9 550	102	Couvert — vent N assez fort.
8 —	343	Paris à Meaux . . .	44	18	198	1 02′	1 02′	9	18′	...	...	...	...	4 200	96	Beau — faible vent NO.
8 —	358	Meaux à Paris . . .	44	18	191	1 03′	1 01′	9	12′	...	...	2′	...	4 500	102	— —
9 —	455	Paris à Verneuil . . .	52	14	154	1 17′	1 16′	11	16′	...	1′	1′	...	5 350	103	Couvert — vent O.
9 —	466	Verneuil à Paris . . .	52	21	207	1 13′	1 11′	11	17′	1′	...	2′	...	5 550	107	Pluvieux — vent O.
10 —	323	Paris à Château-Thierry.	94	16	184	2 05′	2 03′	15	22′	...	...	...	...	9 350	99	Pluvieux — calme.
10 —	350	Château-Thierry à Paris.	94	17	193	2 03′	1 46′	15	23′	...	...	17′	...	9 650	103	Couvert — faible vent O.
		Totaux. . .	672	...	...	...	...	...	...	...	...	33′	...	69m3200	...	
		Moyenne. . .	...	...	187	...	...	...	...	...	...	...	...	...	103k6	

Consommation moyenne d'eau par tonne kilométrique : 0.55 kilogramme.

Consommation de combustible.

CHARGE MOYENNE.	PARCOURS TOTAL.	CONSOMMATION DE COMBUSTIBLE. Briquettes.	Menus.	Total.	MOYENNES par kilomètre.	par tonne kilométrique.
Tonnes. 187	Kilomètres. 672	Kilogrammes. 3.560	Kilogrammes. 6.545	Kilogrammes. 10.105	Kilogrammes. 15.037	Kilogrammes. 0.0804

Vaporisation moyenne par kilogramme de combustible : 6.85 kilogrammes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II. — Trains de marchandises directs remorqués par la machine 1760.

Les deux trains de marchandises directs nos (2) 101 et (2) 102 ont été remorqués, entre Paris et Reims, par la machine 1760, notre wagon dynamomètre étant intercalé entre le tender et le train.

Les conditions dans lesquelles ont été effectuées ces deux essais (nos XV et XVI) et les résultats relevés sont indiqués sur la figure 175 et dans le tableau ci-dessous :

		Train n° (2) 101.	Train n° (2) 102.
RENSEIGNEMENTS DIVERS.	Poids de la locomotive à vide	48,950 kilog.	48,950 kilog.
	Poids adhérent en ordre de marche	32,670 —	32,670 —
	Poids de la locomotive et du tender en ordre de marche à charge complète.	90,000 —	90,000 —
	Numéros d'ordre des essais	XV.	XVI.
	Dates des essais	12 février 1897.	13 février 1897.
	Trajet	Pantin-Bobigny à Reims	Reims à Noisy-le-Sec.
	Tonnage moyen du train (non compris la locomotive et le tender) P	594,450 kilog.	660,300 kilog.
	Valeur de $\frac{M+P}{P}$ (M poids de la locomotive et du tender à demi-charge soit 90,000 — 10,400 = 79,600 kilogrammes)	1,134	1,121
	Nombre de véhicules du train	71	64 à 67
	Etat du temps	Couvert.	Couvert.
	Vent { Vitesse	Léger.	Calme.
	Vent { Direction	Est.	...
	Température moyenne	+ 6° à + 9°.	+ 8° à + 10°.
MARCHE DU TRAIN.	Parcours en kilomètres	150.7 kilom.	148.2 kilom.
	Temps total { prescrit	6 h. 14 m.	5 h. 13 m.
	Temps total { réel	6 h. 18 m.	5 h. 23 m. 45 s.
	Durée de stationnement { prescrite	1 h. 35 m.	42 m
	Durée de stationnement { réelle	1 h. 22 m. 2 s.	55 m. 15 s.
	Temps perdu pour ralentissements exceptionnels	11 m. 21 s.	8 m. 59 s.
	Temps de marche { prescrit	4 h. 39 m	4 h. 31 m.
	Temps de marche { réel	4 h. 44 m. 37 s.	4 h. 19 m. 31 s.
	Temps de marche { Temps { gagné	...	11 m. 29 s.
	Temps de marche { Temps { perdu	5 m. 37 s.	...
	Vitesse moyenne de marche { prescrite	32.62 kilom.	32.81 kilom.
	Vitesse moyenne de marche { réelle	31.98 —	34.26 —
	Vitesse commerciale { prescrite	24.34 —	28.41 —
	Vitesse commerciale { réelle	24.08 —	27.47 —
EFFORTS ET TRAVAUX.	Effort moyen sur la barre d'attelage du tender	2,739 kilog.	1,940 kilog.
	Travail moyen { sur la barre d'attelage { rapporté au temps de marche	324.4 chevaux.	252.0 chevaux.
	Travail moyen { sur la barre d'attelage { — — total	244.2 —	194.4 —
	Travail moyen { à la jante des roues motrices { rapporté au temps de marche	367.8 —	282.4 —
	Travail moyen { à la jante des roues motrices { — — total	276.9 —	221.2 —
CONSOMMATION TOTALE DE COMBUSTIBLE (allumage compris).	Nature du combustible	Briquettes. | Menus.	Briquettes. | Menus.
	Analyse { Proportion p. c. de cendres	4.50 | 5.00	5.50 | 5.00
	Analyse { — — de matières volatiles	17.20 | 18.50	16.50 | 18.00
	Analyse { Aspect du coke	Bien pris. | Bien pris.	Bien pris. | Bien pris.
	Consommation { Allumage	485 kilog. | 120 kilog.	485 kilog. | 100 kilog.
	Consommation { en route	753 — | 1,445 —	492 — | 1,540 —
	Consommation { totale	2,803 kilog.	2,617 kilog.
	Consommation par kilomètre	18.48 —	17.66 —
	Consommation par tonne kilométrique de train	0.031 —	0.026 —
	Consommation par heure et par cheval { sur la barre d'attelage	1.822 —	2.457 —
	Consommation par heure et par cheval { à la jante des roues motrices	1.607 —	2.193 —
	Boîte à fumée { vidée aux stations de	Reims.	Noisy-le-Sec.
	Boîte à fumée { hauteur des escarbilles	250 millim.	220 millim.
COMBUSTIBLE CONSOMMÉ en cours de route.	Consommation totale en route	2,198 kilog.	2,032 kilog.
	Consommation par kilomètre	14.49 —	13.71 —
	Consommation par heure { rapportée au temps de marche	463.4 —	480.8 —
	Consommation par heure { — — total	348.9 —	376.6 —
	Consommation par heure et par mètre carré de surface de grille { rapportée au temps de marche	188.4 —	195.4 —
	Consommation par heure et par mètre carré de surface de grille { — — total	141.8 —	153.1 —
	Consommation par heure et par cheval { sur la barre d'attelage	1.43 —	1.91 —
	Consommation par heure et par cheval { à la jante des roues motrices	1.26 —	1.70 —
EAU VAPORISÉE en cours de route.	Consommation totale en route	19,304 —	17,801 —
	Eau vaporisée par kilogramme de combustible	8.783 —	8.760 —
	Consommation par kilomètre	127.3 —	120.1 —
	Consommation par heure { de marche	4,070 —	4,212 —
	Consommation par heure { totale	3,034 —	3,299 —
	Consommation par heure et par mètre carré de surface de chauffe { rapportée au temps de marche	23.25 —	24.07 —
	Consommation par heure et par mètre carré de surface de chauffe { — — total	17.51 —	18.85 —
	Consommation par heure et par cheval { sur la barre d'attelage	12.55 —	16.71 —
	Consommation par heure et par cheval { à la jante des roues motrices	11.06 —	14.92 —
	Température de l'eau du tender	de 8° à 12°.	de 8° à 10°.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 175.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les remarques accessoires faites pendant ces deux trajets sont les suivantes :

Train nº (2) 101 du 12 février 1897.

Les démarrages furent assez lents et ils ont tous eu lieu en compound. Le train est arrivé à l'heure prescrite à toutes les stations du parcours et la remorque a été assez facile en général. Cependant, vers le sommet de la rampe, entre Oulchy et Fère-en-Tardenois, au kilomètre 106, il fut jugé prudent de marcher en échappement direct, pour ne pas perdre de temps. Quelques patinages de peu de durée se sont produits dans plusieurs rampes en courbe, mais ils ont été combattus avec succès par la sablière. Par mesure de précaution, la sablière a été ouverte pendant toute la montée de la rampe qui précède Fère-en-Tardenois.

Le régulateur a été constamment ouvert en grand ; l'admission a varié de 40 à 65 p. c. dans les cylindres à haute pression et de 55 à 70 p. c. dans les cylindres à basse pression ; l'échappement a été serré d'environ un tiers de la course des valves.

La boîte à fumée, qui n'a pas été vidée en cours de route, contenait 25 centimètres de hauteur d'escarbilles, d'un diamètre moyen de 6 millimètres.

Train nº (2) 102 du 13 février 1897.

La remorque du train a été facile sur tout le parcours, pendant lequel trente-neuf minutes ont été regagnées, dont cinq dans la rampe précédant Fère-en-Tardenois. Cette rampe a été gravie facilement, en faisant un usage constant de la sablière et avec des admissions de 60 à 68 p. c. pour les cylindres à haute pression et 68 à 72 p. c. pour les cylindres à basse pression. La machine qui fonctionnait en compound n'a donc pas donné toute sa puissance pour ce cas.

Tous les démarrages ont eu lieu en compound sans difficulté, et la lenteur qui se manifestait au train nº (2) 101 de la veille n'a pas eu lieu parce qu'on admettait de la vapeur directement de la chaudière dans les grands cylindres, au moyen du régulateur spécial pour les grands cylindres, pour obtenir une pression de 4 à 5 kilogrammes dans le réservoir intermédiaire, ce qui enlevait plus facilement le train. Les machines nº 3000 ne montent pas aussi facilement la rampe et ne regagnent pas autant de temps ; en outre, elles consomment un peu plus d'eau et, par suite, plus de combustible.

Le régulateur a été entièrement ouvert pendant tout le parcours ; l'admission de vapeur a varié de 40 à 68 p. c. pour les cylindres à haute pression et de 55 à 72 p. c. pour les cylindres à basse pression ; l'échappement a été serré d'un tiers de la course des valves de Reims à Meaux et de la moitié de Meaux à Noisy-le-Sec.

La boîte à fumée n'a pas été vidée en cours de route ; elle contenait 22 centimètres de hauteur d'escarbilles de 6 millimètres de diamètre moyen.

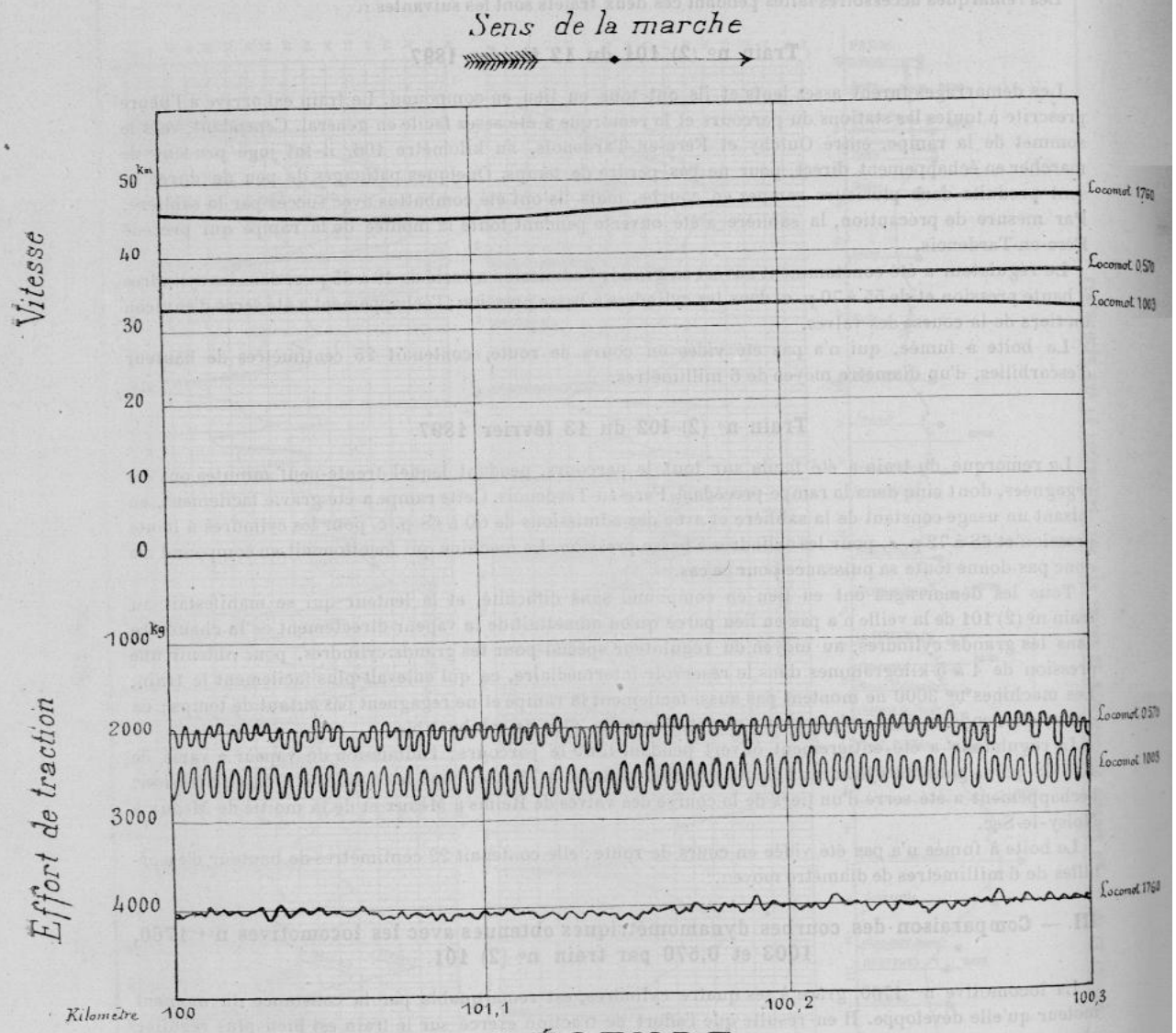
III. — Comparaison des courbes dynamométriques obtenues avec les locomotives nºs 1760, 1003 et 0,570 par train nº (2) 101.

La locomotive nº 1760, grâce à ses quatre cylindres, est remarquable par la constance du moment moteur qu'elle développe. Il en résulte que l'effort de traction exercé sur le train est bien plus régulier avec cette locomotive qu'avec nos types à deux cylindres : c'est ce que montre la figure 176, qui reproduit, à titre d'exemple, les courbes dynamométriques obtenues dans le wagon dynamomètre, sur le même parcours, du kilomètre 100 au kilomètre 100.3 de la ligne de Paris à Reims (entre les gares de Oulchy-Brény et Fère-en-Tardenois, section en rampe de 6 millimètres), avec des charges peu différentes, lors de la remorque du train nº (2) 101, par la locomotive nº 1760 d'une part et par les locomotives nºs 1003 et 0.570 d'autre part.

IV. — Démarrages.

Depuis la publication de ma note dans la *Revue des chemins de fer*, il a été possible de dépouiller les bandes obtenues dans le wagon dynamomètre, au point de vue des démarrages.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



LÉGENDE

Locomotive 0.570.	Train (2) 101 du 19 juin 1895.	Poids du train, 518,100 kilogrammes.
— 1003.	— du 29 juillet 1896.	— 577,300 —
— 1760.	— du 12 février 1897.	— 594,450 —

ÉCHELLES.

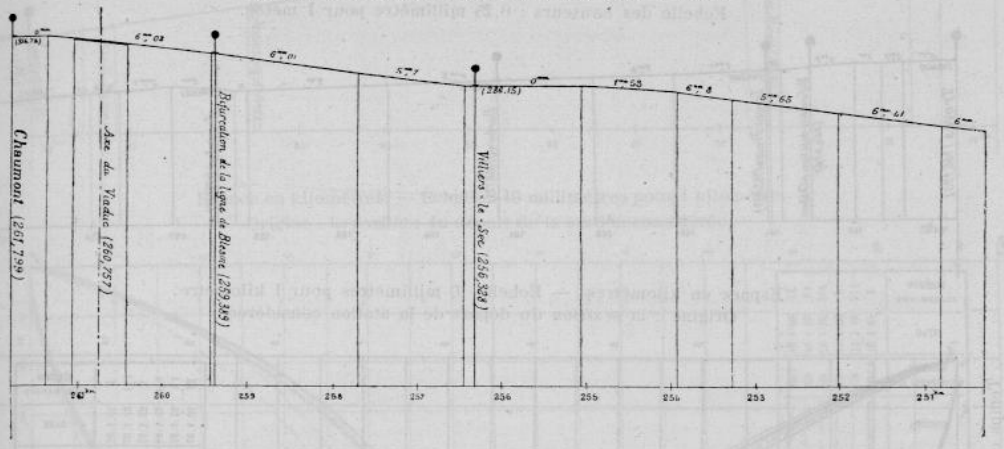
Effort de traction.	12 millimètres pour 1,000 kilogrammes.
Vitesse en kilomètres à l'heure	1 millimètre pour 1 kilomètre à l'heure.
Espace parcouru	388 millimètres pour 1 kilomètre.

Fig. 176.

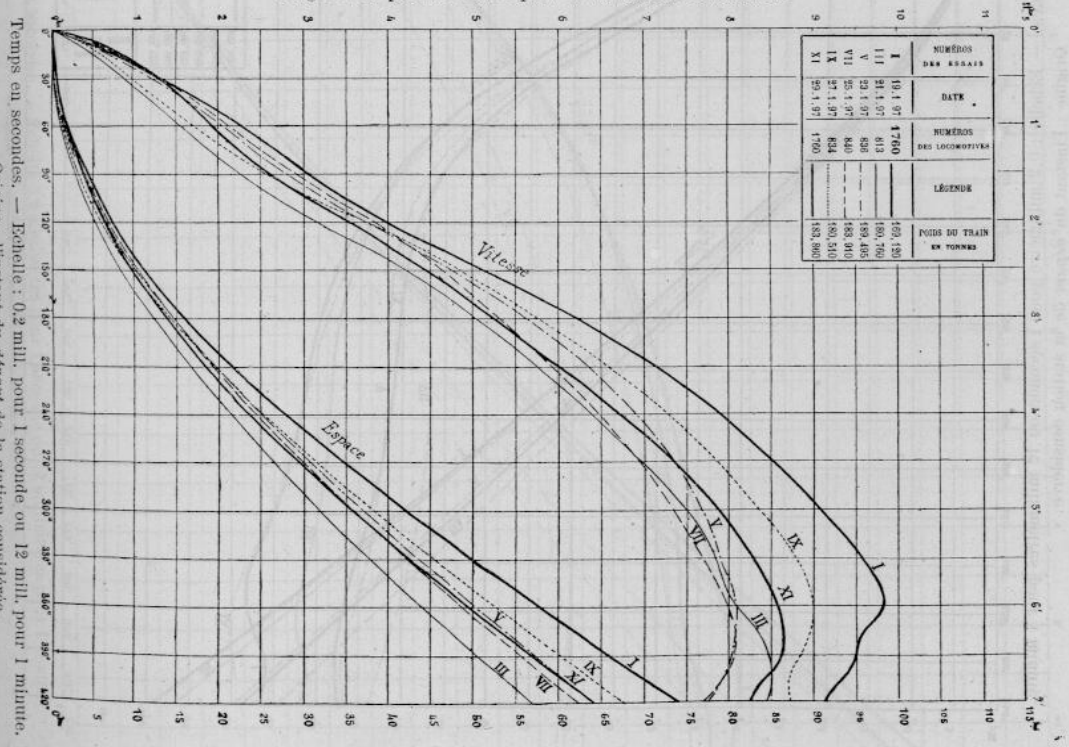
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Profil en long.

Echelle des hauteurs : 0.25 millimètre pour 1 mètre.



Espace en kilomètres. — Echelle : 10 millimètres pour 1 kilomètre.
Origine : la *position* du départ de la station considérée.



Temps en secondes. — Echelle : 0,2 mill. pour 1 seconde ou 12 mill. pour 1 minute.
Origine : l'instant du *départ* de la station considérée.

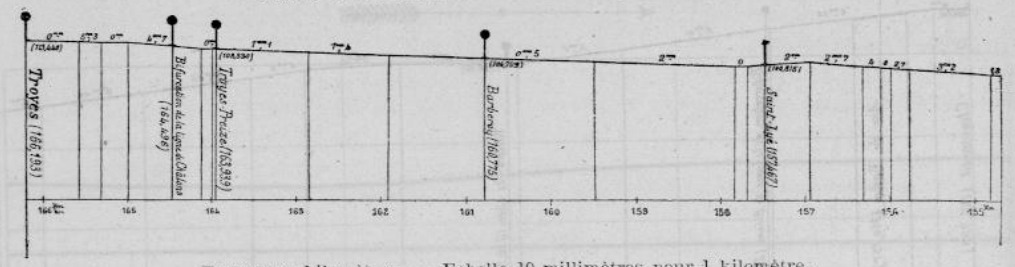
Vitesse en kilomètres à l'heure. — Echelle : 1 millimètre pour 1 kilomètre.

Fig. 177. — Comparaison des démarrages de la locomotive 1760 (Midi) et des locomotives 800 (Est) aux essais par trains nº (40) 30. Démarrages de Chaumont.

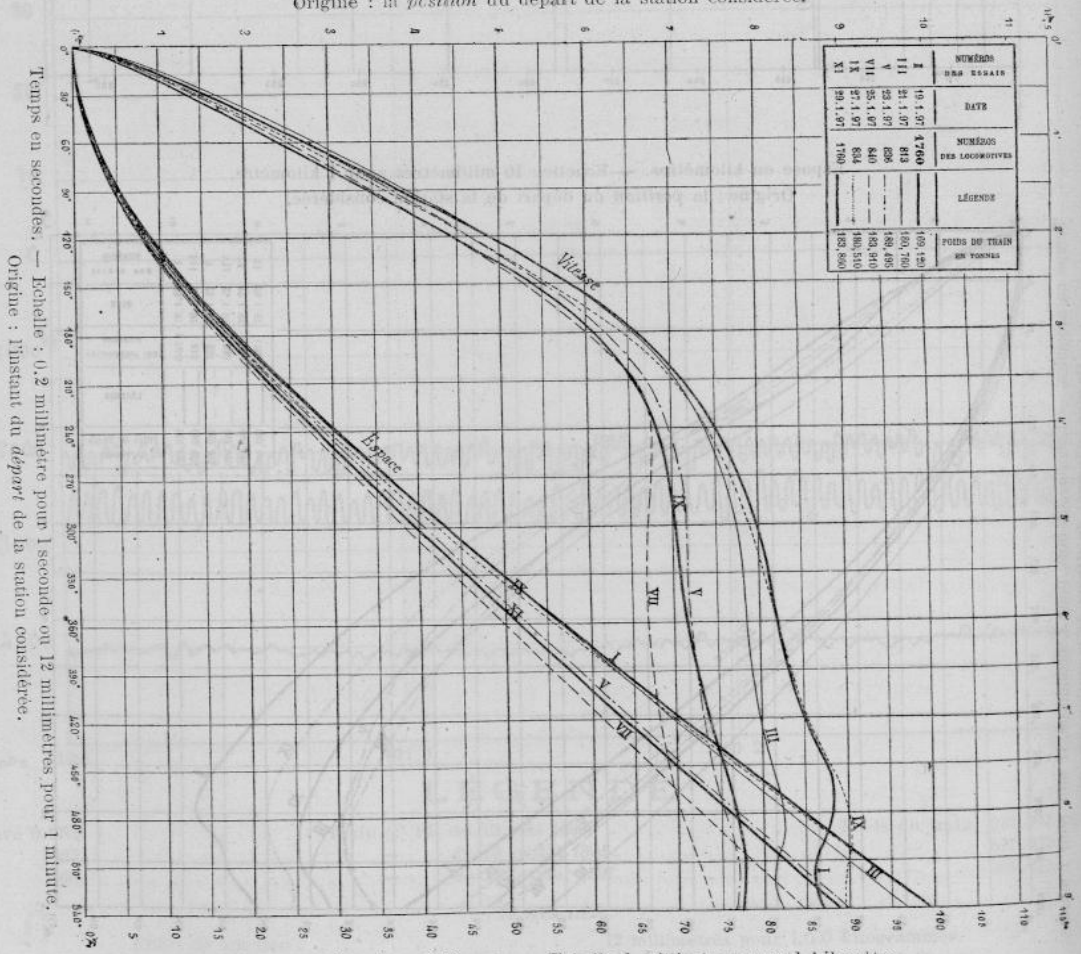
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Profil en long.

Echelle des hauteurs : 0.25 millimètre pour 1 mètre.



Espace en kilomètres. — Echelle 10 millimètres pour 1 kilomètre.
Origine : la *position* du départ de la station considérée.



Temps en secondes. — Echelle : 0,2 millimètre pour 1 seconde ou 12 millimètres pour 1 minute.
Origine : l'instant du *départ* de la station considérée.

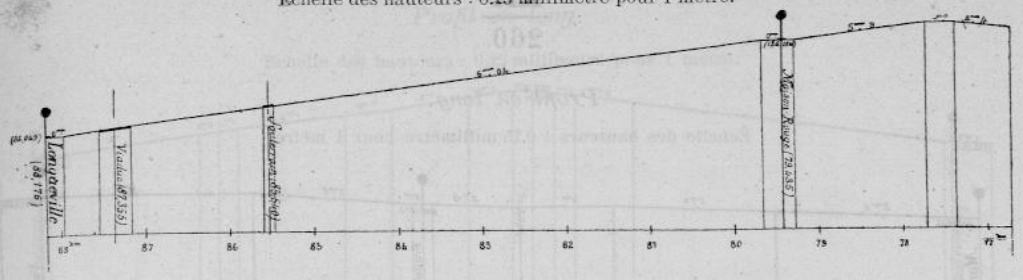
Vitesse en kilomètres à l'heure. — Echelle 1 millimètre pour 1 kilomètre.

Fig. 178. — Comparaison des démarrages de la locomotive 1760 (Midi) et des locomotives 800 (Est) aux essais par trains n° (40) 30. Démarrages de Troyes.

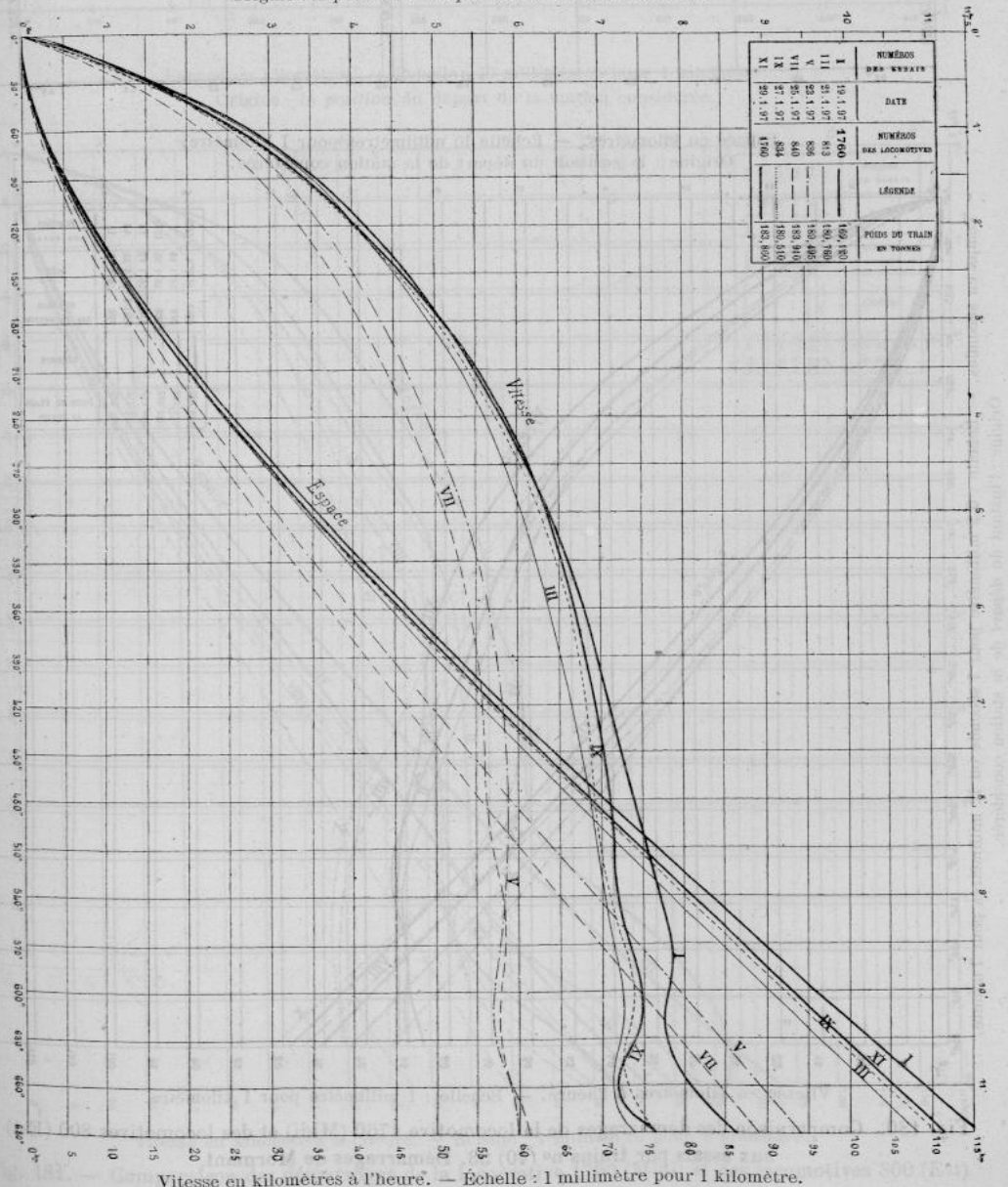
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Profil en long.

Échelle des hauteurs : 0.25 millimètre pour 1 mètre.



Espace en kilomètres. — Échelle : 10 millimètres pour 1 kilomètre.
Origine : la *position* du départ de la station considérée.



Temps en secondes. — Échelle 0.2 millimètre pour 1 seconde ou 12 millimètres pour 1 minute.
Origine : l'instant du *départ* de la station considérée.

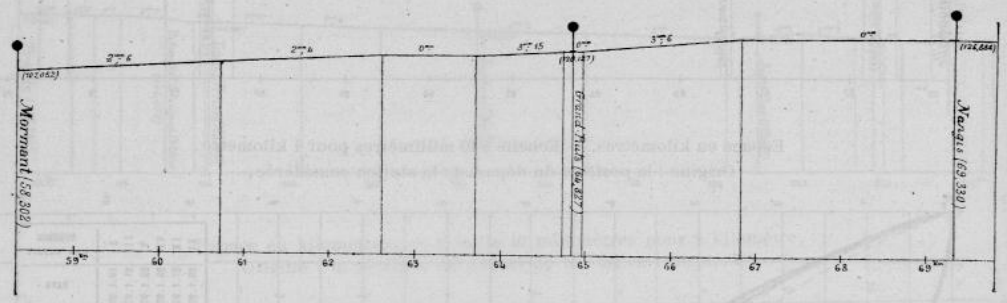
Vitesse en kilomètres à l'heure. — Échelle : 1 millimètre pour 1 kilomètre.

Fig. 179. — Comparaison des démarrages de la locomotive 1760 (Midi) et des locomotives 800 (Est) aux essais par trains nº (40) 30. Démarrages de Longueville.

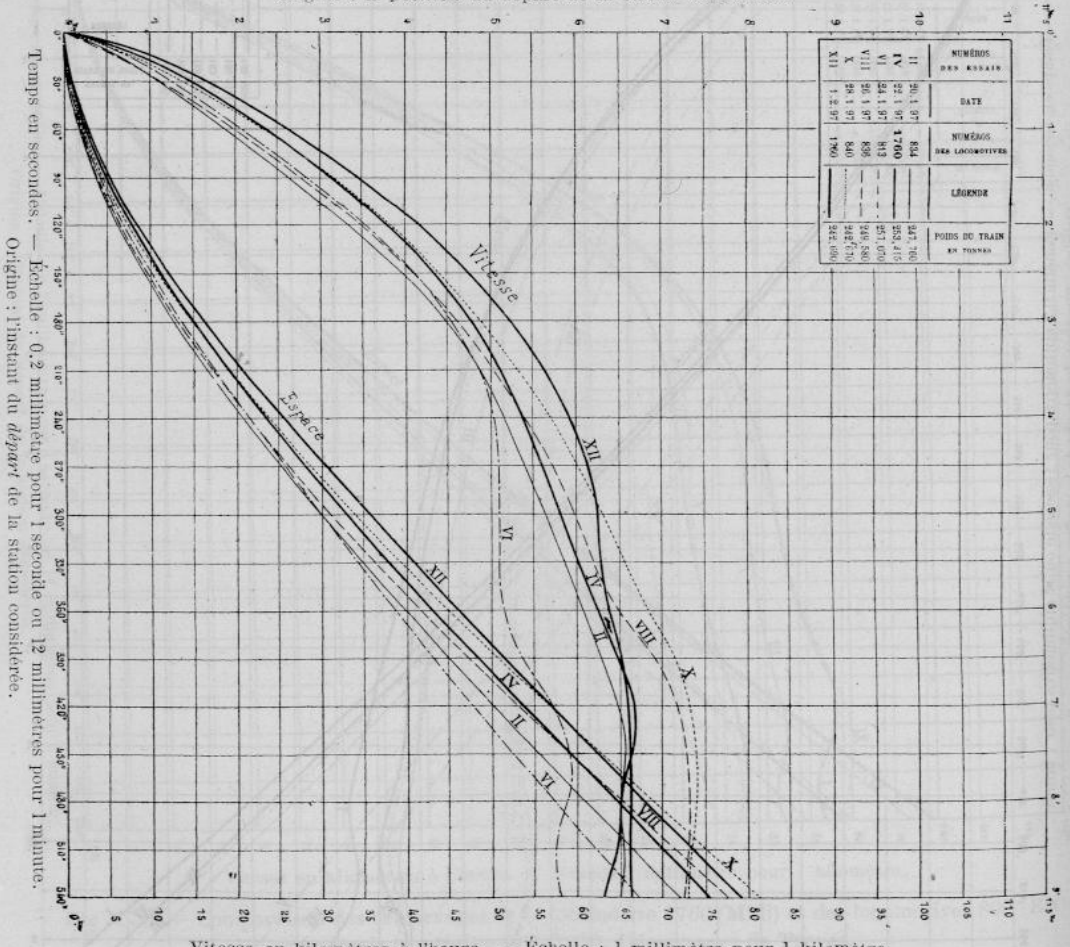
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Profil en long.

Échelle des hauteurs : 0.25 millimètre pour 1 mètre.



Espace en kilomètres. — Échelle 10 millimètres pour 1 kilomètre.
Origine : la *position* du départ de la station considérée.



Temps en secondes. — Échelle : 0.2 millimètre pour 1 seconde ou 12 millimètres pour 1 minute.
Origine : l'instant du *départ* de la station considérée.

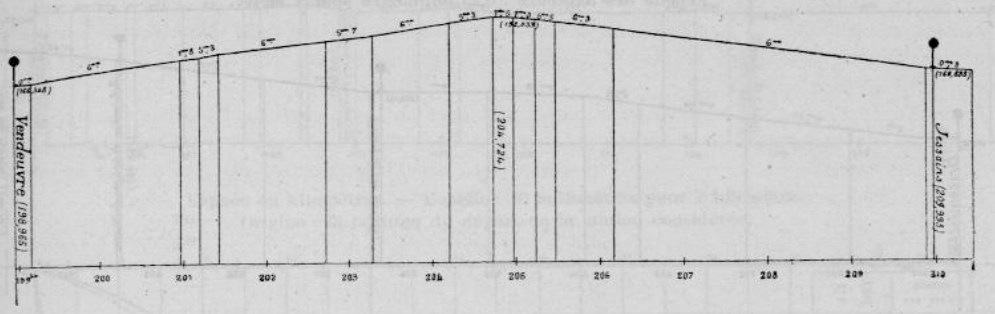
Vitesse en kilomètres à l'heure. — Échelle : 1 millimètre pour 1 kilomètre.

Fig. 180. Comparaison des démarrages de la locomotive 1760 (Midi) et des locomotives 800 (Est) aux essais par trains nº (40) 33. Démarrages de Mormant.

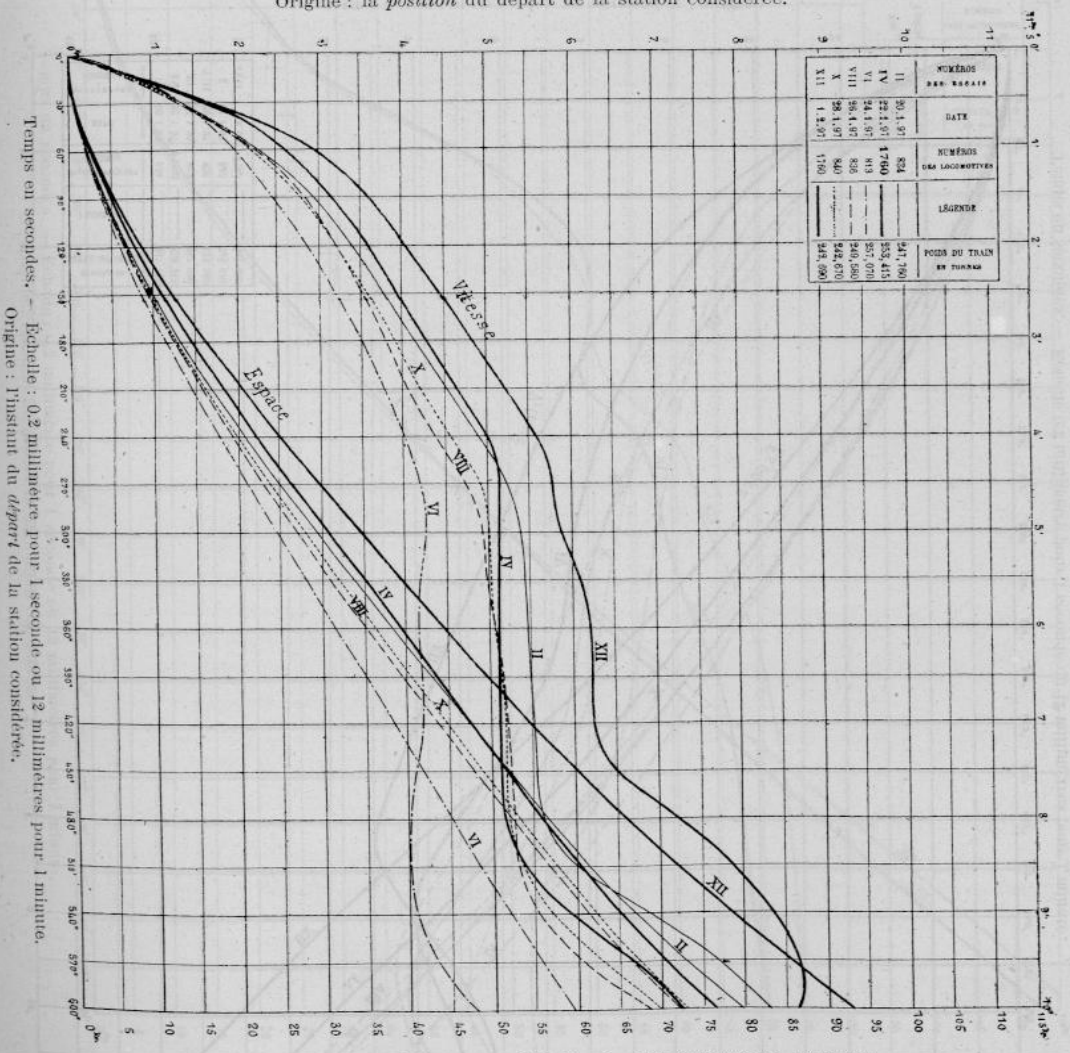
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Profil en long.

Échelle des hauteurs : 0.25 millimètre pour 1 mètre.



Espace en kilomètres. — Échelle : 10 millimètres pour 1 kilomètre.
Origine : la *position* du départ de la station considérée.



Temps en secondes. — Échelle : 0.2 millimètre pour 1 seconde ou 12 millimètres pour 1 minute.
Origine : l'instant du *départ* de la station considérée.

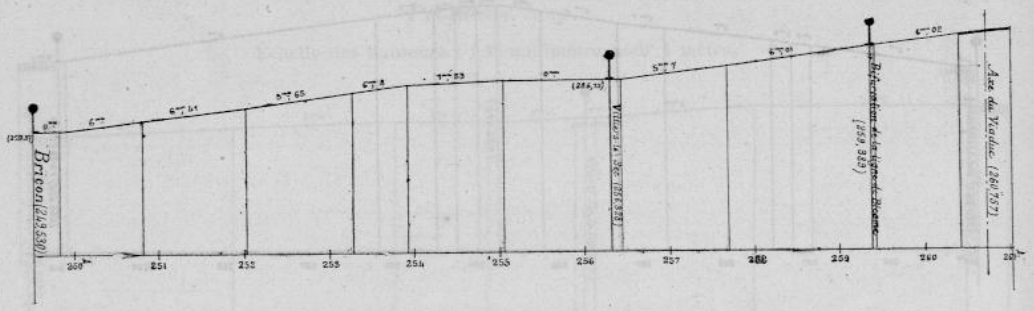
Vitesse en kilomètres à l'heure. — Échelle : 1 millimètre pour 1 kilomètre.

Fig. 181. — Comparaison des démarrages de la locomotive 1760 (Midi) et des locomotives 800 (Est) aux essais par trains nº (40) 33. Démarrages de Vendeuvre.

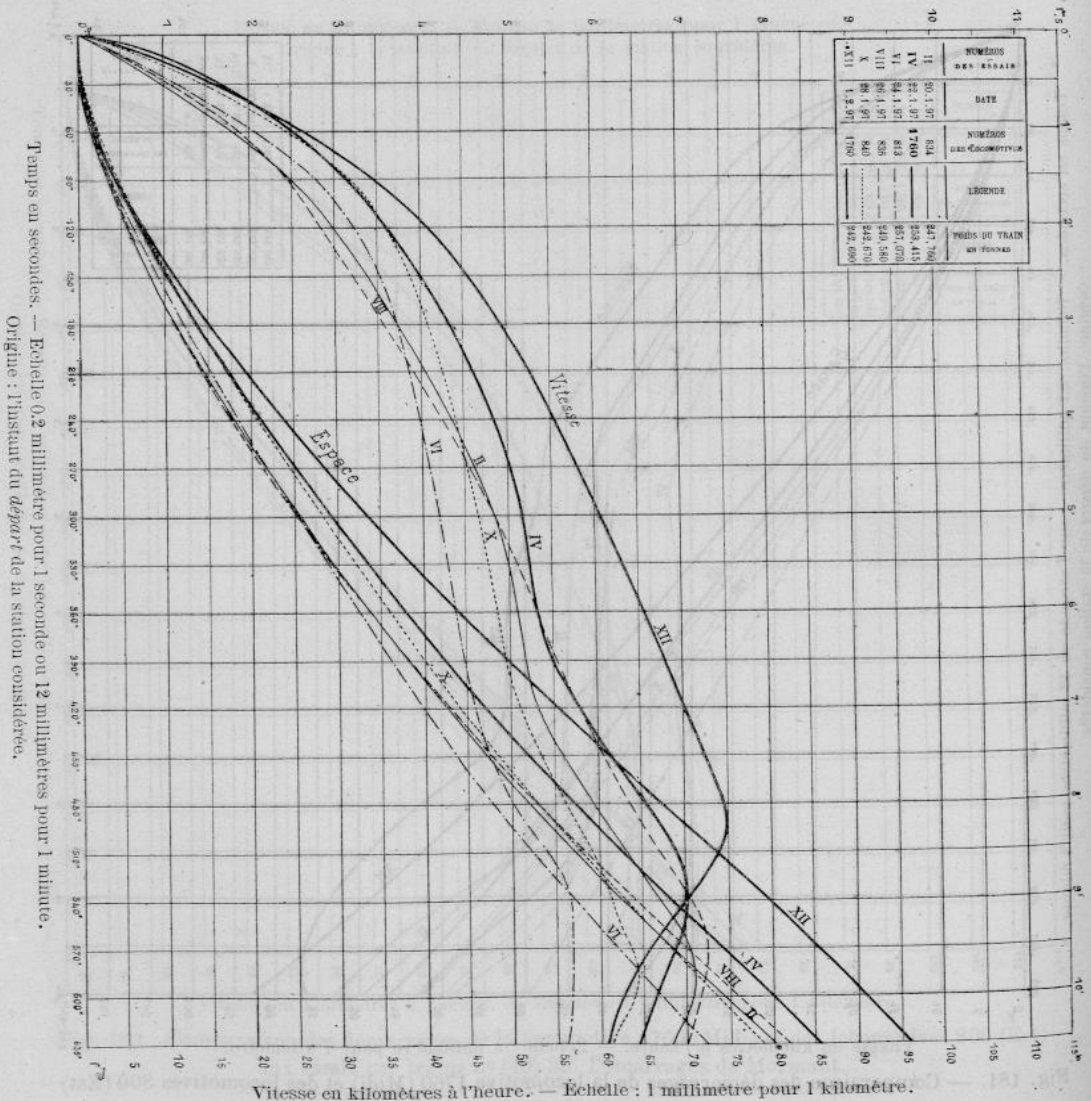
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Profil en long.

Échelle des hauteurs : 0.25 millimètre pour 1 mètre.



Espace en kilomètres. — Échelle : 10 millimètres pour 1 kilomètre.
Origine : la *position* du départ de la station considérée.



Temps en secondes. — Echelle 0,2 millimètre pour 1 seconde ou 12 millimètres pour 1 minute.
Origine : l'instant du *départ* de la station considérée.

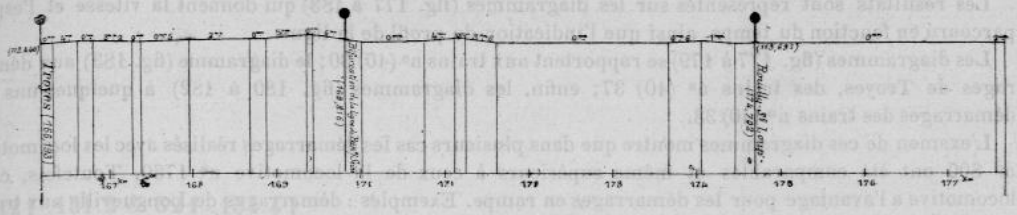
Vitesse en kilomètres à l'heure. — Échelle : 1 millimètre pour 1 kilomètre.

Fig. 182. — Comparaison des démarrages de la locomotive 1760 (Midi) et des locomotives 800 (Est) aux essais par trains nº (40) 33. Démarrages de Bricon.

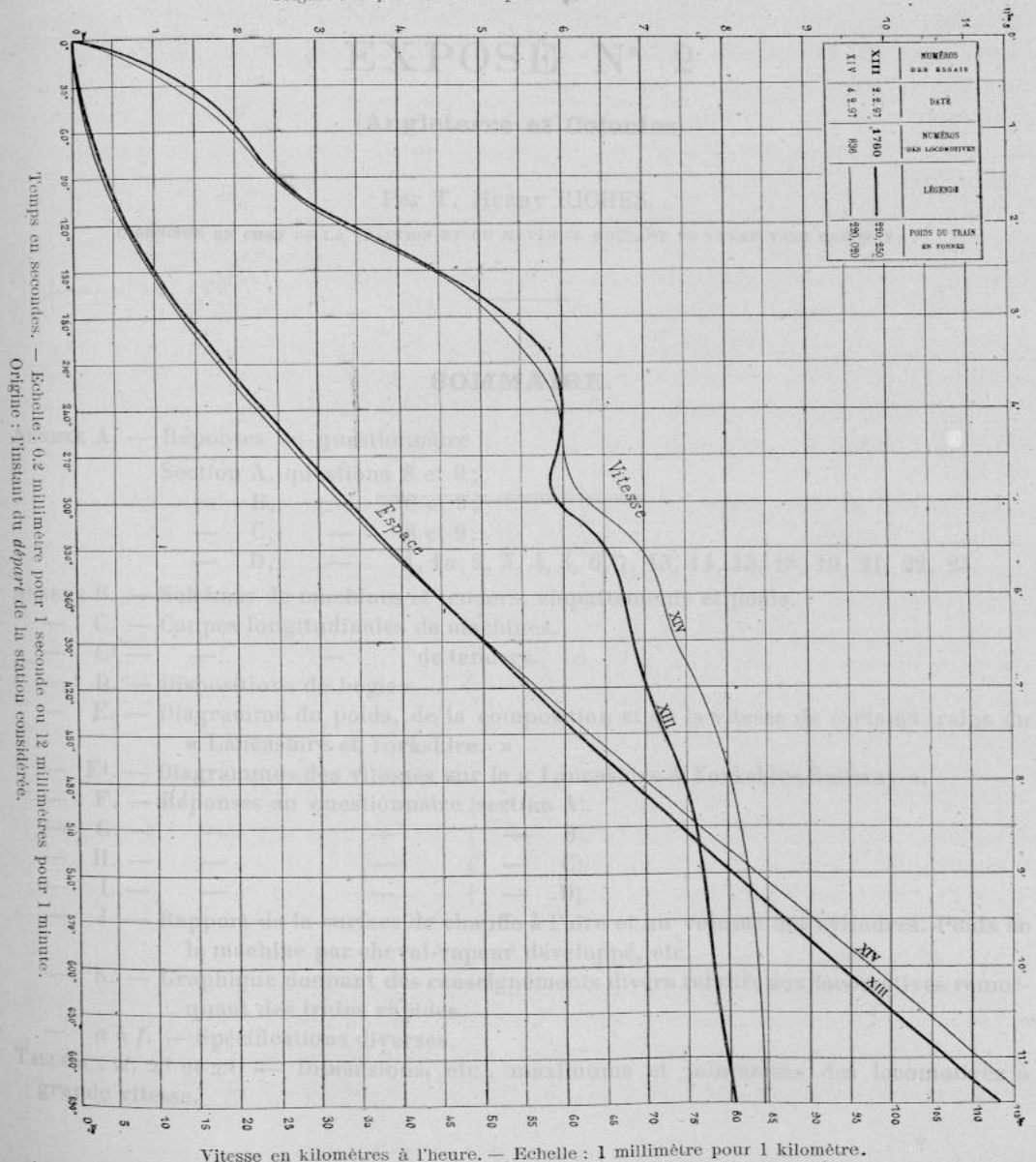
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Profil en long.

Echelle des hauteurs : 0.25 millimètre pour 1 mètre.



Espace en kilomètres. — Echelle : 10 millimètres pour 1 kilomètre.
Origine : la *position* du départ de la station considérée.



Vitesse en kilomètres à l'heure. — Echelle : 1 millimètre pour 1 kilomètre.

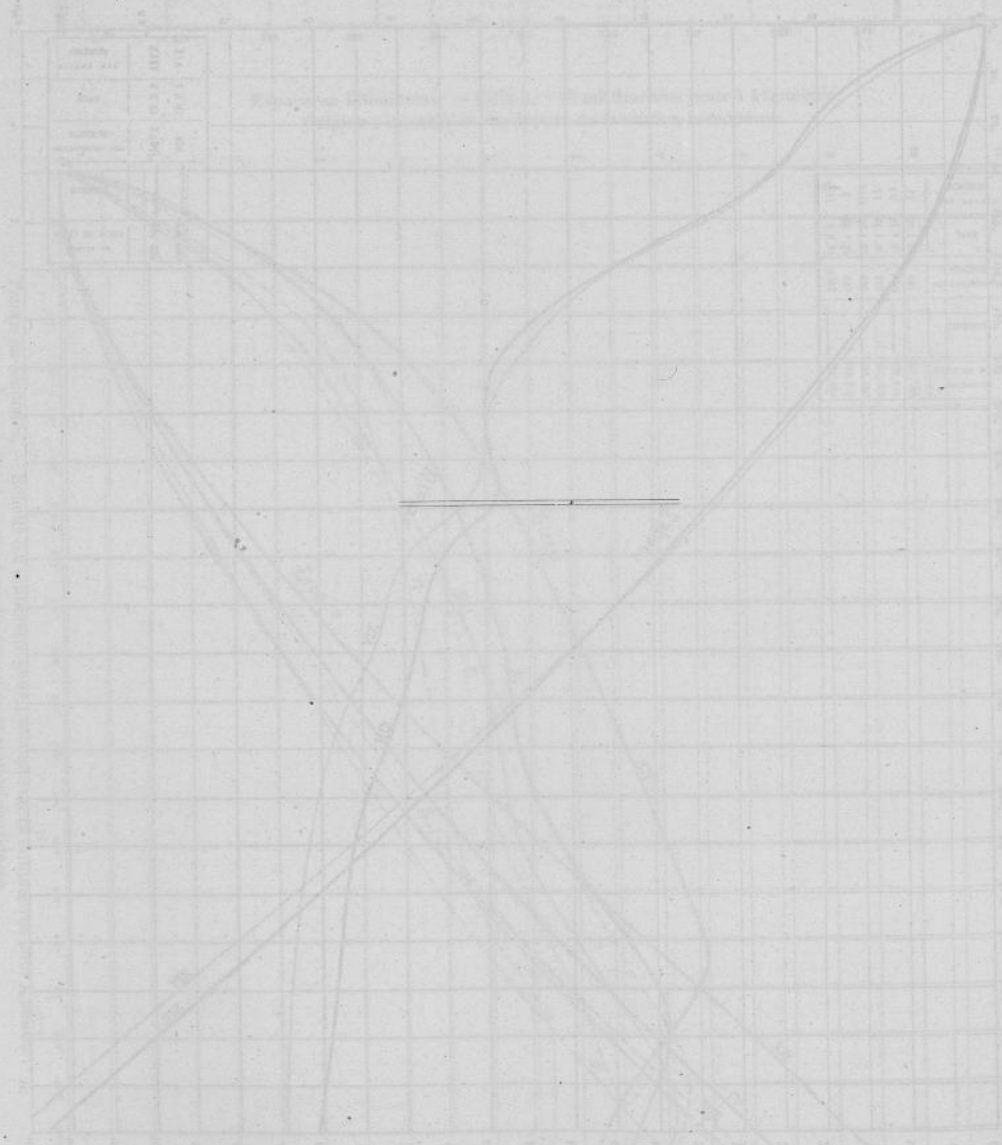
Fig. 183. — Comparaison des démarrages de la locomotive 1760 (Midi) et de la locomotive 836 (Est) aux essais par trains nº (40) 37. Démarrages de Troyes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les résultats sont représentés sur les diagrammes (fig. 177 à 183) qui donnent la vitesse et l'espace parcouru en fonction du temps, ainsi que l'indication du profil de la ligne.

Les diagrammes (fig. 177 à 179) se rapportent aux trains nº (40) 30; le diagramme (fig. 183) aux démarrages de Troyes, des trains nº (40) 37; enfin, les diagrammes (fig. 180 à 182) à quelques-uns des démarrages des trains nº (40) 33.

L'examen de ces diagrammes montre que dans plusieurs cas les démarrages réalisés avec les locomotives nº 800 ont été comparables et même supérieurs à ceux de la locomotive nº 1760. Toutefois, cette locomotive a l'avantage pour les démarrages en rampe. Exemples : démarrages de Longueville aux trains nº (40) 30, démarrages de Bricon aux trains nº (40) 33.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621 .131.2 & 621 .134.4]

EXPOSÉ N° 2

(Angleterre et Colonies)

Par T. HURRY RICHES,

INGÉNIEUR EN CHEF DE LA TRACTION ET DU MATÉRIEL ROULANT DU « TAFF VALE RAILWAY ».

SOMMAIRE.

ANNEXE A. — Réponses au questionnaire :
Section A, questions 8 et 9;
— B, — 8 et 9;
— C, — 8 et 9;
— D, — 1, 1*a*, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23.

ANNEXE B. — Schémas de machines et tenders, empattements et poids.
— C. — Coupes longitudinales de machines.
— C¹ — — — de tenders.
— D. — Dispositions de bogies.
— E. — Diagramme du poids, de la composition et de la vitesse de certains trains du « Lancashire et Yorkshire. »
— E¹. — Diagrammes des vitesses sur le « Lancashire & Yorkshire Railway ».
— F. — Réponses au questionnaire (section A).
— G. — — — (— B).
— H. — — — (— C).
— I. — — — (— D).
— J. — Rapport de la surface de chauffe à l'aire et au volume des cylindres. Poids de la machine par cheval-vapeur développé, etc.
— K. — Graphique donnant des renseignements divers relatifs aux locomotives remorquant des trains rapides.
— *a* à *f*. — Spécifications diverses.

TABLEAUX x, x^1 et x^2. — Dimensions, etc., maximums et minimums des locomotives à grande vitesse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

INTRODUCTION.

En se chargeant d'écrire l'exposé de la question XII, pour la Grande-Bretagne et ses colonies, le rapporteur espérait pouvoir traiter la matière d'une façon plus complète qu'il ne lui a été possible de le faire dans le délai accordé, beaucoup de compagnies auxquelles le questionnaire a été adressé n'ayant pas donné de réponses aussi détaillées qu'il l'aurait désiré. Les renseignements qui ont servi à établir le rapport sont groupés dans une série d'annexes qui font connaître immédiatement les données concernant les chemins de fer cités et permettent de comparer la pratique des différentes compagnies. Des schémas et des coupes représentent les machines employées, avec les particularités qu'elles peuvent avoir. Enfin, un tableau, également annexé à ce rapport, indique les vitesses maximums obtenues, mais pour certains chemins de fer seulement, ce renseignement n'ayant pas été fourni dans chaque cas.

On verra par ces documents que les *vitesses réglementaires* dépassant 56 milles (90 kilomètres) à l'heure sont très rares sur les chemins de fer britanniques; sur beaucoup d'entre eux, une allure beaucoup plus rapide est réalisée dans certaines parties du trajet, mais la vitesse moyenne entre deux stations n'atteint pas 56 milles à l'heure. Il est à noter aussi que sur les lignes dont les trains ont les tracés les plus tendus, on emploie avec beaucoup de succès, pour assurer ce service, des machines ayant des roues relativement petites, mais un poids adhérent considérable et de grandes chaudières, avec une surface de chauffe et aussi une surface de grille copieuses.

Il résulte des faits relatés dans les annexes jointes à ce rapport que pour des trains de voyageurs lourds parcourant des lignes tant soit peu accidentées, la machine à quatre roues couplées, avec bogie à quatre roues à l'avant, est le type le plus généralement adopté. Quand, au contraire, il s'agit de charges modérées à remorquer sur une ligne à profil facile, la locomotive à roues motrices indépendantes a encore des partisans, et il est certain que, dans ces conditions, le service fait par ces machines justifie la préférence dont elles continuent à jouir auprès de certaines compagnies. D'une manière générale, toutefois, le rapporteur recommande l'emploi du type à quatre roues couplées qui, d'ailleurs, ne le cède guère à aucun autre, pourvu qu'il soit bien étudié au point de vue de la chaudière, des cylindres et du poids adhérent. En effet, les excellents résultats obtenus avec de nombreux modèles différents de ce type de machines prouvent que, du moment que tous les organes sont combinés avec soin, des roues d'un diamètre moyen peuvent être employées avec plein succès sous les locomotives appelées à remorquer des trains lourds et rapides.

Une grande puissance de vaporisation de la chaudière est généralement considérée aujourd'hui comme une des conditions les plus importantes, car pour soutenir des vitesses élevées avec de lourdes charges sur une ligne accidentée et dans de longues rampes, une production abondante et régulière de vapeur à haute pression est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

indispensable. Si le mécanicien est forcé de gravir lentement une rampe, il faut généralement qu'il descende les pentes d'une allure rapide pour réaliser une bonne vitesse moyenne. Par contre, s'il peut maintenir sa vitesse dans les montées, il pourra faire la même moyenne sans accélération excessive dans les pentes. Le public exige toujours des vitesses de plus en plus élevées, et en présence de cette demande, la question de la puissance de vaporisation prend une importance capitale : la preuve en est fournie par les chiffres donnés dans les annexes.

On se préoccupe davantage, depuis quelque temps, des dimensions qu'il convient de donner aux roues; la réduction du diamètre paraît aujourd'hui plus en faveur qu'il y a quelques années.

Les annexes jointes à ce rapport contiennent des renseignements tellement détaillés sur les machines des différents chemins de fer que ceux qui désireront discuter les mérites de l'une ou l'autre de ces locomotives trouveront à s'y documenter abondamment. Aussi le rapporteur croit-il devoir s'abstenir de signaler spécialement tel type particulier de machine ou la pratique de tel ingénieur ou de telle compagnie de chemin de fer.

Les hautes pressions se sont généralisées; l'avenir seul nous dira à quelle limite on s'arrêtera.

Afin d'augmenter la puissance de vaporisation, quelques compagnies anglaises emploient des chaudières du type Belpaire, mais ces chaudières ne sont pas encore en service depuis un temps assez long pour qu'on puisse formuler un jugement exact sur leurs avantages. A la connaissance personnelle de l'auteur, elles sont satisfaisantes au point de vue de la production de vapeur.

Pour résumer brièvement les principales caractéristiques des locomotives dont il est question ici, le rapporteur a jugé utile d'établir les tableaux x, x^1 et x^2, sur lesquels il appelle l'attention. Ces tableaux indiquent les valeurs maximums et minimums pour chaque élément de la question et mettent en évidence les différences considérables qui existent dans beaucoup de détails principaux de chacun des types particuliers de machines faisant l'objet des trois tableaux.

On verra, par l'examen de ces tableaux, combien, sur différents chemins de fer, des machines que l'on peut dire conçues sur le même principe varient par les détails; beaucoup de ces machines font d'ailleurs un excellent service. D'autre part, on ne manquera pas de reconnaître que, dans bien des cas, les principales dimensions des machines de même type de plusieurs chemins de fer présentent des différences tellement faibles que l'on est tout naturellement amené à se demander pourquoi, à l'exemple des Américains, nous ne construisons pas toutes ces machines d'une façon exactement identique.

Aucune des machines faisant l'objet de ce rapport n'offre de particularités nécessitant une mention spéciale. Mais on remarquera dans les dessins certains détails dignes d'être notés.

Des progrès considérables ont incontestablement été réalisés dans ces dernières années en ce qui concerne la puissance des locomotives. Néanmoins, en présence de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'augmentation continuelle des vitesses et du poids des trains exigée par le public, le rapporteur est d'avis que, tout au moins en ce qui concerne la traction des trains express, une révolution ne tardera pas à s'opérer tant en Angleterre qu'à l'étranger : il est probable que l'électricité y jouera un rôle important. Ce n'est guère qu'on puisse transformer les chemins de fer actuels en lignes électriques, mais peut-être la locomotive pourra-t-elle, tout en produisant le courant nécessaire pour sa propre propulsion, alimenter en même temps des moteurs placés sur les voitures ; de la sorte, le poids de celles-ci serait utilisé pour la traction, la machine pourrait être portée par plusieurs bogies, constituant une base d'appui parfaitement flexible, et la puissance de traction développée par un certain nombre d'essieux du train pourrait dépasser sensiblement celle qu'il est possible d'obtenir maintenant avec l'adhérence des quelques roues que l'on peut placer sous une locomotive d'un des types actuels.

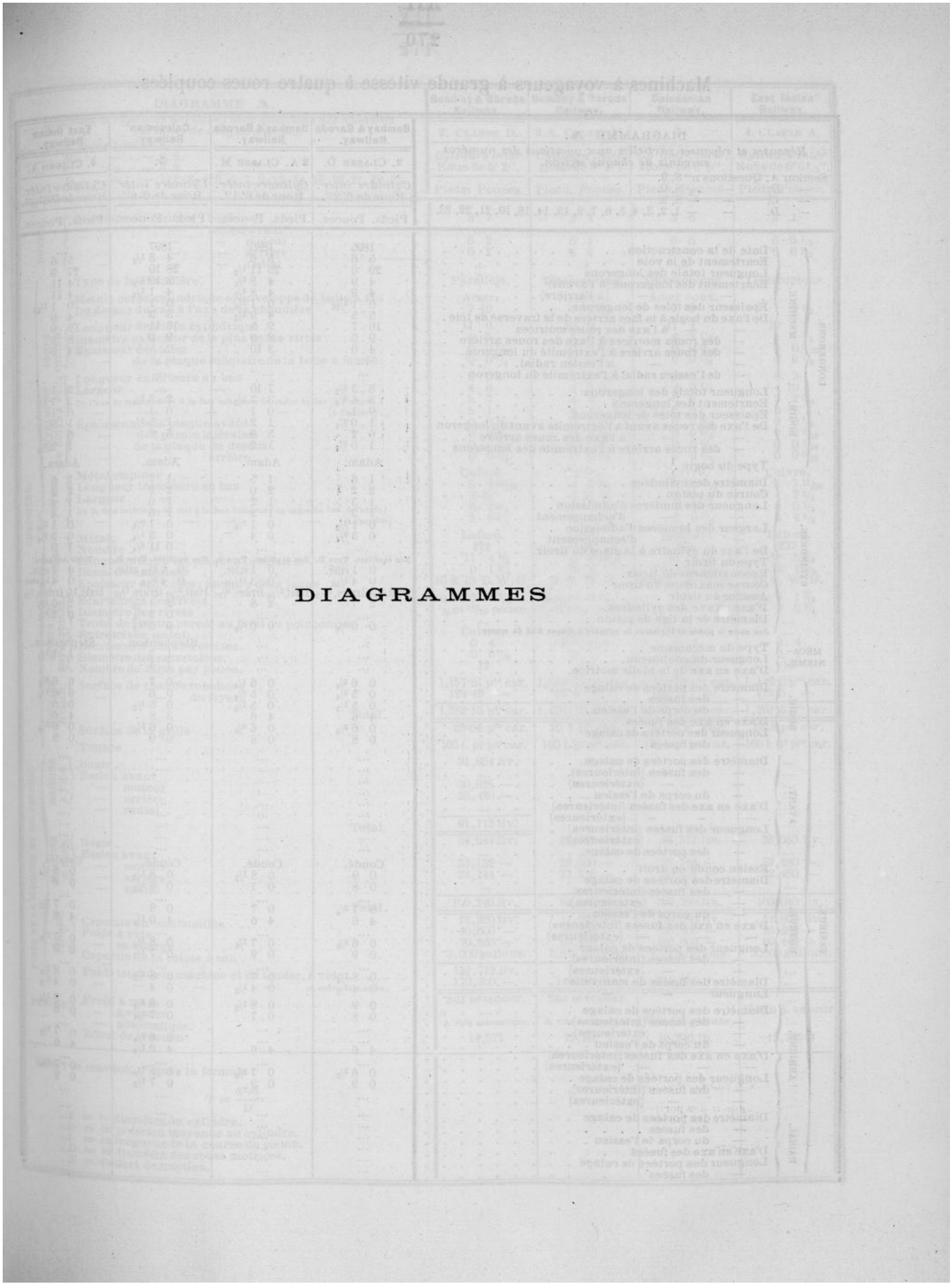
Le rapporteur s'est dispensé de comparer le travail respectif des machines décrites, ainsi que les résultats théoriques et pratiques, cette étude ayant été faite d'une façon complète par M. Aspinall dans son rapport présenté au dernier Congrès.

En ce qui concerne les locomotives express de l'avenir, tout le monde sait que le « Lancashire & Yorkshire », le « Great Northern » et le « North Eastern » ont récemment construit, chacun de son côté, des machines à dix roues pour le service des trains rapides : celles du « North Eastern » ont six roues couplées, de 6 pieds (1.829 mètre) de diamètre, avec bogie à quatre roues à l'avant; celles du « Lancashire & Yorkshire » et du « Great Northern » ont quatre roues couplées, un bogie à quatre roues à l'avant et une paire de petites roues porteuses à l'arrière. Le diamètre des roues motrices est de 6 pieds 7 $^1/_2$ pouces (2.019 mètres) pour les machines du « Great Northern » et de 7 pieds 3 pouces (2.210 mètres) pour celles du « Lancashire & Yorkskire ». Toutes ces nouvelles locomotives sont très puissantes et ont sans doute une bonne stabilité. Le rapporteur emploie depuis de longues années des machines semblables, mais à plus petites roues, pour la remorque des trains de voyageurs lourds sur les lignes accidentées du « Taff Vale Railway » et peut les recommander comme étant d'un type très utile pour un service dur.

* * *

L'auteur exprime ses remerciements aux nombreux fonctionnaires des chemins de fer qui ont répondu avec tant d'empressement à ses questions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



DIAGRAMMES

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse à quatre roues couplées.

DIAGRAMME **A.**

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions nos 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9.
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Bombay & Baroda Railway.	Bombay & Baroda Railway.	Caledonian Railway.	East Indian Railway.
		2. CLASSE D.	2 A. CLASSE M.	3.	4. CLASSE A.
		Cylindre intér. Roue de 6′ 2″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 1″.	*Cylindre intér* Roue de 6′ 6″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 6 1/2″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
LONGERONS. MACHINE.	Date de la construction	1895	1880	1897	...
	Ecartement de la voie	5 6	5 6	4 8 1/2	5 6
	Longueur totale des longerons	29 0	25 11 1/2	28 10	27 9
	Ecartement des longerons (à l'avant)	4 9	4 8 1/2	3 10 1/2	4 11
	— — (à l'arrière)	4 9	4 8 1/2	4 1 1/2	4 11
	Épaisseur des tôles de longerons	0 1 1/16	0 1 1/8	0 1	0 1 1/16
	De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	5 5	4 9 1/2	5 3	4 9
	— — à l'axe des roues motrices	10 7	9 5	10 11	9 9
	— des roues motrices à l'axe des roues arrière	9 0	8 0	9 0	8 9
	— des roues arrière à l'extrémité du longeron	4 0	3 10	...	4 6
	— — à l'essieu radial	...	...	...	...
	— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...	...	...
BOGIE.	Longueur totale des longerons	8 3 1/2	7 10	...	9 1 3/4
	Ecartement des longerons	3 6 3/4	3 7 1/2	2 8 1/4	3 7 1/2
	Epaisseur des tôles de longerons	0 1	0 1	0 1	0 1
	De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	1 0 3/4	1 2	1 5 1/8	1 9
	— — à l'axe des roues arrière	6 2	5 6	6 6	6 0
	— des roues arrière à l'extrémité des longerons	1 0 3/4	1 2	...	1 2 3/4
	Type du bogie	Adam.	Adam.	Adam.	Adam.
CYLINDRES.	Diamètre des cylindres	1 6	1 5	1 7	1 6
	Course du piston	2 2	2 0	2 2	2 2
	Longueur des lumières d'admission	1 3	1 2	1 6	1 4
	— — d'échappement	1 3	1 2	1 6	1 4
	Largeur des lumières d'admission	0 1 1/2	0 1 3/8	0 1 5/8	0 1 3/8
	— — d'échappement	0 3 3/4	0 4	0 3 1/4	0 3 1/4
	De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	...	...	0 11 3/4	1 0
	Type du tiroir	Non équilibré. Type D.	Non équilibré. Type D.	Non équilibré. Type D.	Tiroir ordinaire.
	Recouvrement du tiroir	0 1 extér.	0 1 extér.	0 1 3/32 extér.	0 1 extér.
	Course maximum du tiroir	0 4 1/16	0 3 11/16	0 4 3/16	0 4 1/8 simp.
	Avance du tiroir	Avant, 5/32 Arrière, 3/32	Avant, 3/16 Arrière, 3/16	Avant, 3/16 Arrière, 1/16	Avant, 1/8 Arrière, 1/8
	D'axe en axe des cylindres	2 7	2 8	2 4 1/2	2 6 1/2
	Diamètre de la tige de piston	...	...	0 3 1/4	0 2 3/4
	Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	0 0 3/8	0 0 3/8	0 0 3/8	...
MÉCANISME.	Type du mécanisme	...	...	Stephenson.	Stephenson.
	Longueur du coulisseau	...	...	1 3	1 1 1/2
	D'axe en axe de la bielle motrice	...	...	7 1	...
ESSIEUX. BOGIE.	Diamètre des portées de calage	0 6 3/4	0 6 1/4	0 7	0 6 3/4
	— des fusées	0 5 3/4	0 5 3/4	0 6	0 6 1/2
	— du corps de l'essieu	0 5 1/2	0 5 1/2	0 5 1/2	0 6
	D'axe en axe des fusées	4 6	4 6	3 8	4 6
	Longueur des portées de calage	0 6 3/8	0 6 3/8	0 6 1/8	0 6 3/8
	— des fusées	0 8	0 8	0 9	0 8
AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées (intérieures)	...	...	...	...
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	...	...	...
	— — — (extérieures)	...	...	...	...
	Longueur des fusées (intérieures)	...	...	...	...
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	— des portées de calage	...	...	...	...
MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Coudé.	Coudé.	Coudé.
	Diamètre des portées de calage	0 9	0 8 1/2	0 8 1/2	0 8 1/4
	— des fusées (intérieures)	0 8	0 7	0 8 1/2	0 8
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	0 7 3/4	0 7	0 8	0 7 1/2
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 6	4 6	4 0 1/4	4 6
	— — — (extérieures)	...	...	...	...
	Longueur des portées de calage	0 6 5/8	0 7 1/8	0 8 1/8	0 7 1/8
	— des fusées (intérieures)	0 9	0 9	0 7 1/2	0 9
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	Diamètre des fusées de manivelle	0 8 1/4	0 7	0 8 1/2	0 8 1/4
	Longueur — —	0 4 1/2	0 4 1/2	0 4	0 4 1/2
ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 9	0 8 1/2	0 8 1/2	0 8 1/4
	— des fusées (intérieures)	0 8	0 7	0 7 3/4	0 8
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...	0 6 3/4	0 7 1/2
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 6	4 6	4 0 1/4	4 6
	— — — (extérieures)	...	...	...	...
	Longueur des portées de calage	0 6 5/8	0 7 1/8	0 8 1/8	0 7 1/8
	— des fusées (intérieures)	0 9	0 9	0 7 1/2	0 9
	— — (extérieures)	...	...	...	...
RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...	...	...
	D'axe en axe des fusées	...	...	...	...
	Longueur des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées	...	...	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A.* Questions nos 8, 9.
— *B.* — — 8, 9.
— *C.* — — 8, 9.
— *D.* — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

	Bombay & Baroda Railway.	Bombay & Baroda Railway.	Caledonian Railway.	East Indian Railway.
	2. Classe D.	2 A. Classe M.	3.	4. Classe A.
	Cylindre intér. Roue de 6′ 2″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 1″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 6″.	*Cylindre intér* Roue de 6′ 6 1/2″.
	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
ROUES. Diamètre au contact : bogie	3 7	3 7	3 6	3 1
— — essieu avant	...	...	...	...
— — — moteur	6 2	6 1	6 6	6 6 1/2
— — — arrière	6 2	6 1	6 6	6 6 1/2
— — — radial	...	...	...	...
CHAUDIÈRE. Type de la chaudière	Parallèle.	Télescopique.	Télescopique.	Télescopique.
Métal : corps cylindrique et enveloppe de boite à feu	Acier.	Acier.	Acier doux.	...
Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 10	7 0 1/2	7 9	7 9 1/2
CORPS CYLIND. Longueur du corps cylindrique	11 0	10 0	11 1	10 1
Diamètre extérieur de la plus petite virole	4 5	4 5 1/8	4 8 1/8	4 7 3/4
Épaisseur des tôles	0 0 1/2	0 0 9/16	0 0 9/16	0 0 9/16
— de la plaque tubulaire de la boite à fumée	0 0 3/4	0 0 7/8	0 0 7/8	0 0 7/8
ENVELOPPE DE BOITE A FEU. Longueur extérieure au bas	6 6	4 10 1/2	6 5	6 3
Largeur — —	4 6	4 7 1/2	4 0 1/2	4 10
De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	5 7	4 4	5 6	5 2 3/4
— — — — (à l'arrière)	5 1	4 4	5 0	3 7
Épaisseur de la plaque avant	0 0 9/16	0 0 5/8	0 0 5/8	0 0 5/8
— des parois latérales	0 0 1/2	0 0 5/8	0 0 5/8	0 0 9/16
— de la plaque du dessus	0 0 1/2	0 0 5/8	0 0 5/8	0 0 9/16
— — arrière	0 0 1/2	0 0 5/8	0 0 5/8	0 0 9/16
FOYER. Métal employé	Cuivre.	Cuivre.	Cuivre.	Cuivre.
Longueur intérieure en bas	5 9 15/16	4 2 1/8	5 10 9/16	5 7 11/16
Largeur — —	3 10	3 11 1/8	3 6 1/8	4 2 3/4
De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	6 3 1/4	5 0 1/2	6 6 1/2	6 0 1/4
— — — — — (à l'arrière)	5 9 1/4	5 0 1/2	6 0 1/2	4 4 1/2
TUBES. Métal	Laiton.	Acier.	Tombac.	Laiton.
Nombre	222	186	265	237
Longueur entre les plaques tubulaires	11 4 5/8	10 3 13/16	11 4 1/2	10 5 5/8
Diamètre extérieur	0 1 3/4	0 2	1 3/4 et 1 13/16	0 1 3/4
Épaisseur des tubes ; numéro de la jauge	10 & 13 B.W.G.	10 B. W. G.	10 & 11 B.W.G.	11 B. W. G.
RIVETS ET ENTRETOISES. Écartement des rivets	Quinc. 0 1 7/8	Quinc. 0 1 7/8	...	Quinc. 0 1 3/4
Diamètre des rivets	7/8 et 13/16 pouce.	7/8 et 13/16 pouce.	...	0 0 3/4
Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...	...	...
Entretoises, métal	Cuivre.	Cuivre.	Bronze.	...
Écartement des entretoises	0 4	3 3/4 et 4	0 4	0 4
Diamètre des entretoises	0 0 7/8	0 1	0 1	0 1
Nombre de filets par pouce	12	11	12	12
SURFACE de chauffe. Surface de chauffe tubulaire	1,157·61 pds car.	1,004·75 pds car.	1,381·22 pds car.	1,146·0 pds car.
— — du foyer	124·49 —	87·0 —	118·78 —	115·5 —
Total	1,282·10 pds car.	1,091·75 pds car.	1,500·00 pds car.	1,261·5 pds car.
Surface de la grille	23·04 pds car.	16·4 pds car.	20 63 pds car.	25·8 pds car.
Timbre	160 l. pr pce car.	160 l. pr pce car.	175 l. pr pce car.	160 l. pr pce car.
POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER. MACHINE A VIDE. Bogie	31,864 liv.	...	...	...
Essieu avant	...	...	...	...
— moteur	30,828 —	...	...	...
— arrière	28,420 —	...	...	...
— radial	...	...	...	...
Total	91,112 liv.	...	...	...
MACHINE en charge. Bogie	34,944 liv.	28,672 liv.	36,512 liv.	38,080 liv.
Essieu avant	...	...	...	...
— moteur	33,152 —	28,560 —	37,744 —	32,480 —
— arrière	32,144 —	27,216 —	35,504 —	32,480 —
— radial	...	...	...	...
Total	100,240 liv.	84,448 liv.	109,760 liv.	103,040 liv.
TENDER. Capacité en combustible	12,320 liv.	11,200 liv.	10,080 liv.	12,800 liv.
Poids à vide	40,600 —	30,296 —	50,400 —	26,880 —
— en charge	70,560 —	65,436 —	100,800 —	69,440 —
Capacité de la caisse à eau	3,000 gallons.	1,800 gallons.	4,125 gallons.	3,000 gallons.
Poids total de la machine et du tender, à vide	131,712 liv.	...	...	...
— — — — en ordre de marche	170,800 —	149,884 liv.	210,560 liv.	...
FREINS. Frein à main	Sur le tender.	Sur le tender.	...	...
— à vapeur	...	...	...	Frein à vapeur
— automatique	A vide automatique.	A vide automatique.	Westinghouse.	...
Effort de traction	14,571	12,161·7	16,846 lb.	13,735·9

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 p l}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse à quatre roues couplées.

DIAGRAMME **A**.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions n°s 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Glasgow & South W. Railway.	Great Eastern Railway.	Great Northern Railway.	Great Northern Railway.
		5.	6.	8.	8 A.
		Cylindre intér. Roue de 6′ 9 1/2″.	*Cylindre intér.* Roue de 7′ 0″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 7 1/2″.	*Cylindre extér.* Roue de 6′ 7 1/2″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
LONGERONS. MACHINE.	Date de la construction	1892	...	...	...
	Ecartement de la voie	4 8 1/2	4 8 1/2	...	...
	Longueur totale des longerons	37 3 1/4	25 9	...	...
	Ecartement des longerons (à l'avant)	3 10	4 1 1/2	...	...
	— — (à l'arrière)	3 11 1/2 (Milieu).			
	Epaisseur des tôles de longerons	4 1	4 1 1/2	...	...
	De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	0 1	0 1	...	...
	— à l'axe des roues motrices	4 8	...	...	...
	— des roues motrices à l'axe des roues arrière	10 2	...	9 9	15 0
	— des roues arrière à l'extrémité du longeron	8 9	8 9	9 0	8 0
	— — à l'essieu radial	3 8 1/4	4 3	...	...
	— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...	...	...
BOGIE.	Longueur totale des longerons	...	...	...	...
	Ecartement des longerons	8 6	...	...	...
	Epaisseur des tôles de longerons	2 9 1/2	...	...	...
	De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	0 0 7/8	...	...	...
	— — à l'axe des roues arrière	1 6	...	...	...
	— des roues arrière à l'extrémité des longerons	5 6	...	6 3	6 3
	Type du bogie	1 6	...	...	...
		Swing link.	...	...	...
CYLINDRES.	Diamètre des cylindres	1 6 1/4	1 6	1 5 1/2	1 7
	Course du piston	2 2	2 0	2 2	2 2
	Longueur des lumières d'admission	1 1 1/2	1 3	...	...
	— — d'échappement	1 1 1/2	1 3	...	...
	Largeur des lumières d'admission	0 1 1/2	0 1 1/2	...	...
	— — d'échappement	0 5	0 3 1/4	...	...
	De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	Tiroirs au-dessus.	Tiroirs au-dessous.	...	...
	Type du tiroir	Tiroir équilibré.	Tiroir D ordinaire.	...	...
	Recouvrement du tiroir	0 1 extér.	0 0 7/8 extr.	...	...
	Course maximum du tiroir	0 4 3/8	0 4 3/4	...	...
	Avance du tiroir	Avant, 3/32. Arrière, 1/16	Avant, 3/16. Arrière, 3/16	...	...
	D'axe en axe des cylindres	2 2	2 0	...	...
	Diamètre de la tige de piston	...	0 3	...	...
	Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	...	...	...	...
MÉCANISME.	Type du mécanisme	Stephenson.	Stephenson.	...	...
	Longueur du coulisseau	...	...	...	...
	D'axe en axe de la bielle motrice	6 4 1/2	5 11	...	...
ESSIEUX. BOGIE.	Diamètre des portées de calage	0 7	...	...	...
	— des fusées	0 5 1/2	...	...	...
	— du corps de l'essieu	0 6	...	...	...
	D'axe en axe des fusées	3 8 3/4	...	...	...
	Longueur des portées de calage	0 6 7/8	...	...	...
	— des fusées	0 9	...	...	...
AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	0 8 1/2	...	...
	— des fusées (intérieures)	...	0 8 3/4	...	...
	— — (extérieures)	...	0 6	...	...
	— du corps de l'essieu	...	0 6 1/2	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	3 11	...	...
	— — — (extérieures)	...	6 10	...	...
	Longueur des fusées (intérieures)	...	0 6	...	...
	— — (extérieures)	...	0 9	...	...
	— des portées de calage	...	0 9	...	...
MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Coudé.	Coudé.	Droit.
	Diamètre des portées de calage	0 8 1/2	0 9	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 7 1/2	0 7 1/2	...	...
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	0 7 1/2	0 7	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 10 1/2	3 10	...	...
	— — — (extérieures)	...	...	...	...
	Longueur des portées de calage	0 6 7/8	0 8 1/8	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 8	0 9	...	...
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	Diamètre des fusées de manivelle	0 8	0 8	...	...
	Longueur — —	0 4	0 4 1/2	...	...
ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 8 1/2	0 9	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 7 1/2	0 7 1/2	...	...
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	0 7 1/2	0 7	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 10 1/2	3 10	...	...
	— — — (extérieures)	...	...	...	...
	Longueur des portées de calage	0 6 7/8	0 8 1/8	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 8	0 9	...	...
	— — (extérieures)	...	...	...	...
RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...	...	...
	D'axe en axe des fusées	...	...	...	...
	Longueur des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées	...	...	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section A. Questions nos 8, 9.
— B. — — 8, 9.
— C. — — 8, 9.
— D. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Glasgow & South W. Railway.	Great Eastern Railway.	Great Northern Railway.	Great Northern Railway.
		5.	6.	8.	8 A.
		Cylindre intér. Roue de 6′ 9 1/2″.	*Cylindre intér.* Roue de 7′ 0″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 7 1/2″.	*Cylindre extér.* Roue de 6′ 7 1/2″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
ROUES.	Diamètre au contact : bogie	3 7 1/2	...	3 7 1/2	3 7 1/2
	— — essieu avant	...	4 0	...	6 7 1/2
	— — — moteur	6 9 1/2	7 0	6 7 1/2	6 7 1/2
	— — — arrière.	6 9 1/2	7 0	6 7 1/2	3 7 1/2
	— — — radial	...	...	...	...
CHAUDIÈRE.	Type de la chaudière.	Télescopique.	Parallèle.	...	Télescopique.
	Métal : corps cylindrique et enveloppe de boîte à feu	...	Acier.	...	...
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 6	7 6	...	7 11
CORPS CYLIND.	Longueur du corps cylindrique	10 6	10 0	...	14 8 5/8
	Diamètre extérieur de la plus petite virole.	4 2	4 4	...	...
	Epaisseur des tôles	0 0 1/2	0 0 1/2	...	...
	— de la plaque tubulaire de la boîte à fumée	0 0 7/8	0 0 5/8	...	...
ENVELOPPE DE BOITE A FEU.	Longueur extérieure au bas	6 2	6 0	...	8 0
	Largeur — —	4 0	4 0 1/2	...	...
	De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	5 2	4 10	...	...
	— — — — (à l'arrière).	4 7 1/2	4 4	...	...
	Epaisseur de la plaque avant	0 0 9/16	0 0 9/16	...	...
	— des parois latérales.	0 0 1/2	0 0 1/2	...	...
	— de la plaque du dessus.	0 0 1/2	0 0 1/2	...	...
	— — arrière	0 0 9/16	0 0 9/16	...	...
FOYER.	Métal employé.	Cuivre.	Cuivre.	...	...
	Longueur intérieure en bas	5 6 3/4	5 3 7/8	...	...
	Largeur — —	3 4	3 4 1/2	...	...
	De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	...	5 7 1/2	...	...
	— — — — (à l'arrière).	...	5 1 1/2	...	...
TUBES.	Métal.	Laiton.	Acier doux.	...	...
	Nombre	238	254	283	191
	Longueur entre les plaques tubulaires	10 9 11/16	10 4	...	...
	Diamètre extérieur	0 1 5/8	0 1 5/8	0 1 3/4	0 2
	Epaisseur des tubes ; numéro de la jauge	11 & 12 B.W.G.	13	...	...
RIVETS ET ENTRETOISES.	Ecartement des rivets	...	...	...	...
	Diamètre des rivets	...	0 0 13/16	...	...
	Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...	...	...
	Entretoises, métal.	Bronze.	Bronze.	...	...
	Ecartement des entretoises.	0 3 3/4	0 4	...	...
	Diamètre des entretoises	0 1	0 1	...	...
	Nombre de filets par pouce.	11	12	...	...
SURFACE de chauffe.	Surface de chauffe tubulaire	1,094·0 pds car.	1,116·18 pds car.	1,129·9 pds car.	1,302·0 pds car.
	— — du foyer	111·0 —	100·90 —	119·9 —	140·0 —
	Total.	1,205·0 pds car.	1,217·08 pds car.	1,249·8 pds car.	1,442·0 pds car.
	Surface de la grille	18 pds car.	18·0 pds car.	20·8 pds car.	26·79 pds car.
	Timbre	165 liv. par pce c.	160 liv. par pce c.	170 liv. par pce c.	175 liv. par pce c.
POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER. MACHINE A VIDE.	Bogie.	...	...	...	...
	Essieu avant	...	29,176 liv.	...	...
	— moteur	...	29,652 —	...	...
	— arrière	...	28,392 —	...	...
	— radial	...	...	...	...
	Total.	...	87,220 liv.	...	...
MACHINE en charge.	Bogie.	31,808 liv.	...	36,736 liv.	33,600 liv.
	Essieu avant	...	32,312 liv.	...	33,600 —
	— moteur	36,960 —	31,472 —	38,080 —	35,840 —
	— arrière	32,144 —	30,324 —	31,136 —	26,880 —
	— radial	...	...	...	...
	Total.	100,912 liv.	94,108 liv.	105,952 liv.	129,920 liv.
TENDER.	Capacité en combustible.	7,840 liv.	7,840 liv.	...	11,200 liv.
	Poids à vide	45,696 —	35,840 —	...	...
	— en charge	85,008 —	68,600 —	...	91,616 —
	Capacité de la caisse à eau	3,200 gallons.	2,640 gallons.	...	3,670 gallons.
	Poids total de la machine et du tender, à vide	...	...	...	...
	— — — — en ordre de marche	...	...	...	...
FREINS.	Frein à main	Sur le tender.	A main.	...	...
	— à vapeur	...	...	...	...
	— automatique	A vide automatique.	Westinghouse.	A vide automatique.	A vide automatique.
	Effort de traction.	14,025	11,849	13,621	15,257

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 pl}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse à quatre roues couplées.

DIAGRAMME **A**.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions nos 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9.
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Great N. Railway (Irlande). 9. *Cylindre intér.* Roue de 6′ 7″.	Great N. (Ecosse). 10. *Cylindre intér.* Roue de 6′ 1″.	Great S. & W. Railway (Irlande). 11. *Cylindre intér.* Roue de 6′ 7 1/2″.	Great Western Railway. 12. *Cylindre intér.* Roue de 6′ 8″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
LONGERONS. MACHINE.	Date de la construction	1895	1896	...	...
	Ecartement de la voie	5 3	4 8 1/2	5 3	4 8 1/2
	Longueur totale des longerons	25 11 1/2	27 9	...	30 6
	Ecartement des longerons (à l'avant)	4 5	3 10	...	3 6
	— — (à l'arrière)	4 8	3 11 1/2 (Au milieu.) 4 2	...	4 1
	Epaisseur des tôles de longerons	0 1	0 1	...	0 0 3/4
	De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	4 4 1/2	4 10 1/2	...	6 3
	— — à l'axe des roues motrices	9 6	10 3 1/2	9 6 3/8	10 9
	— des roues motrices à l'axe des roues arrière	8 3	8 9	8 3	9 0
	— des roues arrière à l'extrémité du longeron	3 10	3 10	...	4 6
	— — à l'essieu radial	...	...	...	...
	— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...	...	...
BOGIE.	Longueur totale des longerons	8 3	8 6	...	11 6
	Ecartement des longerons	4 8	2 9 1/2	...	5 10
	Epaisseur des tôles de longerons	0 1	0 0 7/8	...	...
	De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	1 9 3/4	1 6	...	2 3
	— — à l'axe des roues arrière	5 3	5 6	5 3	7 0
	— des roues arrière à l'extrémité des longerons	1 2 1/4	1 6	...	2 3
	Type du bogie	Swing Link.	Swing Link.	Swing Link.	G. W. R.
CYLINDRES.	Diamètre des cylindres	1 6 1/2	1 6	1 6	1 6
	Course du piston	2 0	2 2	2 0	2 2
	Longueur des lumières d'admission	1 2 1/2	1 3 1/2	1 1	1 4
	— — d'échappement	1 2 1/2	1 3 1/2	1 1	1 4
	Largeur des lumières d'admission	0 1 1/2	0 1 3/8	0 1 3/8	0 1 3/4
	— — d'échappement	0 3 1/4	0 3 1/2	0 3 1/2	0 3
	De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	1 0 3/8	0 11 1/4	...	...
	Type du tiroir	Tiroir D ordinaire.	Tiroir ordinaire.	Tiroir D ordinaire.	...
	Recouvrement du tiroir	0 1 ext.	0 1 ext.	...	...
	Course maximum du tiroir	0 3 3/4	0 4 1/8	...	...
	Avance du tiroir	Avant, 1/8. Arrière, 1/8	Avant, 5/32. Arrière, 3/32	Avant, 1/16. Arrière, 1/16	...
	D'axe en axe des cylindres	2 7	2 4	...	2 3
	Diamètre de la tige de piston	0 3 1/4	0 2 7/8	...	...
	Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	...	...	...	...
MÉCANISME.	Type du mécanisme	Stephenson.	Stephenson.	Stephenson.	Stephenson.
	Longueur du coulisseau	1 2	1 2	...	...
	D'axe en axe de la bielle motrice	5 8	6 6	...	...
ESSIEUX. BOGIE.	Diamètre des portées de calage	0 6 1/4	0 6 1/4	...	...
	— des fusées	0 5	0 5 1/2	...	...
	— du corps de l'essieu	0 4 3/4	0 5 1/2	...	...
	D'axe en axe des fusées	4 2 3/4	3 8 3/4	...	6 6
	Longueur des portées de calage	0 6 1/4	0 6 3/8	...	...
	— des fusées	0 9	0 9	...	...
AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées (intérieures)	...	...	...	...
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	...	...	...
	— — — (extérieures)	...	...	...	...
	Longueur des fusées (intérieures)	...	...	...	...
	— — (extérieures)	...	...	...	...
	— des portées de calage	...	...	...	...
MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Coudé.	Coudé.	Coudé.
	Diamètre des portées de calage	0 8 1/2	0 8 1/2	0 8 1/2	...
	— des fusées (intérieures)	0 7 1/4	0 7 1/2	0 7	0 7 1/2
	— — (extérieures)	...	...	...	0 7 1/2
	— du corps de l'essieu	0 7 1/4	0 7 1/4	0 7	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 4 1/2	3 11 1/2	4 4 1/4	4 0
	— — — (extérieures)	...	...	...	6 5
	Longueur des portées de calage	0 6 1/2	0 7 1/8	0 7	...
	— des fusées (intérieures)	0 9	0 7 1/2	0 8 1/2	0 7
	— — (extérieures)	...	...	...	0 8
	Diamètre des fusées de manivelle	0 7 3/4	0 7 3/4	0 7	0 8
	Longueur — —	0 4 1/2	0 4	0 4 1/2	...
ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 8 1/2	0 8 1/2	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 7 1/4	0 7 1/2	...	0 7 1/2
	— — (extérieures)	...	...	...	0 7 1/2
	— du corps de l'essieu	0 7	0 7 1/4	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 4 1/2	3 11 1/2	...	4 0
	— — — (extérieures)	...	...	...	6 5
	Longueur des portées de calage	0 6 1/2	0 7 1/8	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 9	0 7 1/2	...	0 7
	— — (extérieures)	...	...	...	0 8
RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...	...	...
	D'axe en axe des fusées	...	...	...	...
	Longueur des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées	...	...	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section A. Questions nos 8, 9.
— B. — — 8, 9.
— C. — — 8, 9.
— D. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Great N. Railway (Irlande).	Great N. (Écosse).	Great S. & W. Railway (Irlande).	Great Western Railway.
		9.	10.	11.	12.
		Cylindre intér. Roue de 6′ 7″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 1″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 7 1/2″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 8″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces	Pieds. Pouces.
CHAUDIÈRE. — ROUES.	Diamètre au contact : bogie	3 1 1/2	3 9 1/2	3 0	4 1 1/2
	— essieu avant	...	...	...	...
	— — — moteur	6 7	6 1	6 7 1/2	6 8 1/2
	— — — arrière	6 7	6 1	6 7 1/2	6 8 1/2
	— — — radial	...	...	...	...
	Type de la chaudière	Télescopique.	Télescopique.	Télescopique.	...
CORPS CYLIND.	Métal : Corps cylindrique et enveloppe de boite à feu	...	...	...	...
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 2 1/2	7 4	7 3 1/2	7 7 1/4
	Longueur du corps cylindrique	10 2	10 6	9 9 1/4	11 0
	Diamètre extérieur de la plus petite virole	4 4 1/16	4 4	4 3	4 4
	Epaisseur des tôles	0 0 17/32	0 0 1/2	0 0 1/2	...
	— de la plaque tubulaire de la boite à fumée	0 0 13/16	0 0 7/8	...	...
ENVELOPPE DE BOITE A FEU.	Longueur extérieure au bas	5 5	6 0	...	6 4
	Largeur — —	4 7	4 1	...	4 0
	De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	5 1 1/2	5 2	...	...
	— — — — (à l'arrière)	5 1 1/2	4 8	...	...
	Epaisseur de la plaque avant	0 0 9/16	0 0 5/8	0 0 1/2	...
	— des parois latérales	0 0 9/16	0 0 1/2	0 0 1/2	...
	— de la plaque du dessus	0 0 9/16	0 0 1/2	0 0 1/2	...
	— — arrière	0 0 17/32	0 0 9/16	0 0 1/2	...
FOYER.	Métal employé	Cuivre.	Cuivre.	...	...
	Longueur intérieure en bas	4 8 11/16	5 3 11/16	...	...
	Largeur — —	3 10 1/8	3 5	...	...
	De la face inférieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	5 10 1/4	5 11 1/2	...	...
	— — — — — (à l'arrière)	5 10 1/4	5 5 1/2	...	...
TUBES.	Métal	Laiton (étiré).	Laiton (étiré).	Laiton.	...
	Nombre	214	220	204	112
	Longueur entre les plaques tubulaires	10 5 5/16	10 10 1/8	...	...
	Diamètre extérieur	0 1 3/4	0 1 3/4	0 1 3/4	0 2 1/2
	Epaisseur des tubes; numéro de la jauge	10 & 11 B. W. G.	...	9 & 11 B. W. G.	...
RIVETS ET ENTRETOISES.	Ecartement des rivets	...	...	0 1 7/8	...
	Diamètre des rivets	...	...	0 0 13/16	...
	Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...	...	...
	Entretoises, métal	...	...	Cuivre et bronze.	...
	Ecartement des entretoises	0 3 7/8	[3 3/8 et 4	0 4	...
	Diamètre des entretoises	0 0 7/8	0 1	0 0 7/8	...
	Nombre de filets par pouce	12	12	10	...
SURFACE de chauffe.	Surface de chauffe tubulaire	1,013·0 pds car.	1,093·5 pds car.	938·0 pds car.	830·01 pds car.
	— — du foyer	109·0 —	113·5 —	112·4 —	121·28 —
	Total	1,122·0 pds car.	1,207·0 pds car	1,050·4 pds car.	961·29 pds car.
	Surface de la grille	18·5 pds car.	18·0 pds car.	18·8 pds car.	18·32 pds car.
	Timbre	160 l. pr pce car.	165 l. pr pce car.	150 l. pr pce car.	180 l. pr pce car.
POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER. — MACHINE A VIDE.	Bogie	...	...	...	...
	Essieu avant	...	...	...	...
	— moteur	...	...	...	...
	— arrière	...	...	...	...
	— radial	...	...	...	...
	Total	...	...	...	...
MACHINE en charge.	Bogie	29,680 liv.	32,144 liv.	...	44,352 liv.
	Essieu avant	...	...	...	...
	— moteur	33,040 liv.	33,376 liv.	...	38,192 liv.
	— arrière	31,360 —	32,816 —	...	34,272 —
	— radial	...	...	...	...
	Total	94,080 liv.	98,336 liv.	...	116,816 liv.
TENDER.	Capacité en combustible	7,840 liv.	11,200 liv.	6,720 liv.	...
	Poids à vide	29,792 —	40,432 —	...	...
	— en charge	61,376 —	81,760 —	...	72,800 liv.
	Capacité de la caisse à eau	2,500 gallons.	3,000 gallons.	2,730 gallons.	3,000 gallons.
	Poids total de la machine et du tender, à vide	...	...	...	...
	— — — — en ordre de marche	...	...	...	...
FREINS.	Frein à main	Sur le tender.	Sur le tender.	...	...
	— à vapeur	...	...	...	...
	— automatique	A vide automatique.	Westinghouse (ainsi que sur le tender)	...	...
	Effort de traction	13,308	15,232	11,737	15,163

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 pl}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse à quatre roues couplées.

DIAGRAMME **A**.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions nos 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9.
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

			Great Western Railway.	Lancashire &YorskhireRailw.	London Brighton & S. C.	London Brighton & S. C.
			12 A.	13	14	14 A.
			Cylindre intér. Roue de 5′ 6″.	*Cylindre intér.* Roue de 7′ 3″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 6″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 9″.
			Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
LONGERONS.	MACHINE.	Date de la construction	...	...	...	...
		Ecartement de la voie	4 8 1/2	4 8 1/2	4 8 1/2	4 8 1/2
		Longueur totale des longerons	29 3	27 11	35 9	28 8
		Ecartement des longerons (à l'avant)	3 6	4 2	4 1 1/2	4 1 1/2
		— — (à l'arrière)	4 1	4 2	4 1 1/2	4 1 1/2
		Epaisseur des tôles de longerons	0 0 3/4	0 1	...	0 1
		De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	6 0	4 10 1/2	...	5 9
		— — à l'axe des roues motrices	10 6	10 2 1/2	...	10 2
		— des roues motrices à l'axe des roues arrière	8 6	8 7	8 0	8 9
		— des roues arrière à l'extrémité du longeron	4 3	4 3	4 4	4 0
		— — à l'essieu radial	...	...	...	...
		— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...	...	...
	BOGIE.	Longueur totale des longerons	...	8 5	...	9 1
		Ecartement des longerons	5 10	4 0 1/4	...	2 8 1/2
		Epaisseur des tôles de longerons	...	0 0 7/8	...	0 1
		De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	...	1 5 1/2	...	...
		— — à l'axe des roues arrière	6 6	5 6	...	6 0
		— des roues arrière à l'extrémité des longerons	...	1 5 1/2	...	...
		Type du bogie	G. W. R.	Swing Link.	...	Adam.
CYLINDRES.		Diamètre des cylindres	1 6	1 6	1 6 1/4	1 6
		Course du piston	2 2	2 2	2 2	2 2
		Longueur des lumières d'admission	1 2	1 1 1/2	1 4	1 3 1/2
		— — d'échappement	1 2	1 1 1/2	1 4	1 3 1/2
		Largeur des lumières d'admission	0 1 3/4	0 1 5/8	0 1 3/8	0 1 3/8
		— — d'échappement	0 3	0 3 1/2	0 2	0 3 1/2
		De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	...	Tir. au-dessus 1 0 7/8	...	...
		Type du tiroir	...	Richardson équilibré.	Tiroir ordinaire D.	Tiroir ordinaire D.
		Recouvrement du tiroir	...	0 1 extér.	0 0 7/8 ext.	0 1 extér.
		Course maximum du tiroir	...	0 5	0 3 3/4	0 3 3/4
		Avance du tiroir	...	3/16 (Constant.)	Avant 1/8. Arr. 1/8	Avant 1/8. Arr. 1/8
		D'axe en axe des cylindres	2 3	1 11	2 1	2 4
		Diamètre de la tige de piston	0 3 1/4	0 3	...	0 2 3/4
		Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	...	...	...	...
MÉCANISME.		Type du mécanisme	Stephenson.	Joy.	Stephenson.	Stephenson.
		Longueur du coulisseau	...	...	...	...
		D'axe en axe de la bielle motrice	6 9	6 2	...	6 6
ESSIEUX.	BOGIE.	Diamètre des portées de calage	0 6 1/2	0 6 1/4	...	0 6 1/4
		— des fusées	0 4 1/2	0 5 1/2	...	0 6
		— du corps de l'essieu	0 5 3/4	0 5 1/4	...	0 5 1/2
		D'axe en axe des fusées	6 6	3 7	...	3 7
		Longueur des portées de calage	...	0 6 1/8	...	0 6 9/16
		— des fusées	0 9	0 9 1/2	...	0 9
	AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
		— des fusées (intérieures)	...	...	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	0 7	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	...	...	...
		— — — (extérieures)	...	...	...	...
		Longueur des fusées (intérieures)	...	...	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...	...
		— des portées de calage	...	...	...	...
	MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Coudé.	Coudé.	Coudé.
		Diamètre des portées de calage	0 9	0 8 5/8	0 8 1/4	0 8 1/4
		— des fusées (intérieures)	0 7 1/2	0 7 1/2	...	0 8
		— — (extérieures)	0 7 1/2	...	...	...
		— du corps de l'essieu	0 7 1/2	0 7	...	0 7 1/2
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 0	3 9 1/2	3 11 1/4	3 11 3/4
		— — — (extérieures)	6 5	...	...	...
		Longueur des portées de calage	...	0 7 1/8	0 7 1/16	0 7 1/16
		— des fusées (intérieures)	0 7	0 9	0 8 1/8	0 7 1/4
		— — (extérieures)	0 8	...	...	...
		Diamètre des fusées de manivelle	0 8	0 7 1/2	0 8 1/4	0 8 1/2
		Longueur — —	0 5	0 4 1/2	0 4	0 4
	ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	...	0 8 5/8	0 7 1/2	0 8 1/4
		— des fusées (intérieures)	...	0 7 1/2	...	0 8
		— — (extérieures)	...	...	...	...
		— du corps de l'essieu	0 7	0 6 1/2	...	0 7
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	3 9 1/2	...	3 11 3/4
		— — — (extérieures)	6 5	...	...	...
		Longueur des portées de calage	...	0 7 1/8	0 7 1/16	0 7 1/16
		— des fusées (intérieures)	...	0 9	...	0 8
		— — (extérieures)	...	...	...	...
	RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
		— des fusées	...	...	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	...	...
		D'axe en axe des fusées	...	...	...	...
		Longueur des portées de calage	...	...	...	...
		— des fusées	...	...	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque question.

Section A. Questions nos 8, 9.
— B. — — 8, 9.
— C. — — 8, 9.
— D. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Great Western Railway.	Lancashire & Yorkshire Railw.	London Brighton & S. C.	London Brighton & S. C.
		12 A.	13	14	14 A.
		Cylindre intér. Roue de 5' 6".	*Cylindre intér.* Roue de 7' 3".	*Cylindre intér.* Roue de 6' 6".	*Cylindre intér.* Roue de 6' 9".
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
ROUES.	Diamètre au contact : bogie	3 7 1/2	3 0 3/8	...	3 6
	— — essieu avant	...	...	6 6	...
	— — — moteur	5 7 1/2	7 3	6 6	6 9
	— — — arrière	5 7 1/2	7 3	4 0	6 9
	— — — radial	...	...	...	...
CHAUDIÈRE.	Type de la chaudière.	Télescopique.	Télescopique.	Télescopique.	Télescopique.
	Métal : Corps cylindrique et enveloppe de boite à feu	...	...	...	Fer.
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 1 3/4	7 9	7 5	7 11
CORPS CYLIND.	Longueur du corps cylindrique	11 0	10 7 3/8	10 2	10 7 1/4
	Diamètre extérieur de la plus petite virole	4 4 1/8	4 2	4 4	4 5 3/4
	Epaisseur des tôles	0 0 7/16	0 0 1/2	...	...
	— de la plaque tubulaire de la boite à fumée.	0 0 5/8	0 0 7/8	...	0 0 3/4
ENVELOPPE DE BOITE A FEU.	Longueur extérieure au bas	5 10	6 0	6 2 1/4	6 8 1/4
	Largeur —	4 0	4 1	...	4 1
	De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	5 4 1/2	5 1 5/8	5 6	4 11 1/2
	— — — — (à l'arrière)	5 4 1/2	5 1 5/8	4 3	3 6 1/2
	Epaisseur de la plaque avant	...	0 0 5/8	0 0 5/8	0 0 5/8
	— des parois latérales	...	0 0 1/2	0 0 1/2	0 0 9/16
	— de la plaque du dessus	...	0 0 1/2	...	...
	— — arrière	...	0 0 1/2	0 0 5/8	0 0 5/8
FOYER.	Métal employé	...	Cuivre.	...	Cuivre.
	Longueur intérieure en bas	...	5 4 5/8	...	...
	Largeur —	3 4 1/8	3 6	...	3 5
	De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	6 0 1/2	5 9 7/8	...	5 11 1/2
	— — — — (à l'arrière)	6 0 1/2	5 9 7/8	...	4 6 1/2
TUBES.	Métal	...	Cuivre.	Laiton.	Laiton.
	Nombre	249	220	333	299
	Longueur entre les plaques tubulaires	11 3 1/4	11 0	10 5 3/4	10 8 1/2
	Diamètre extérieur	0 1 3/4	0 1 3/4	0 1 1/2	0 1 5/8
	Epaisseur des tubes : numéro de la jauge	...	10 et 12	12 et 13	12 et 13
RIVETS ET ENTRETOISES.	Ecartement des rivets	...	...	...	...
	Diamètre des rivets	...	...	...	...
	Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...	...	...
	Entretoises, métal.	...	Cuivre.	Cuivre.	Cuivre.
	Ecartement des entretoises.	...	0 4	0 3 3/4	0 3 3/4
	Diamètre des entretoises	...	0 1	0 0 7/8	0 0 15/16
	Nombre de filets par pouce	...	11	12	12
SURFACE de chauffe.	Surface de chauffe tubulaire	1,285.58 pds car.	1,108.73 pds car.	1,372.9 pds car.	1,354.47 pds car.
	— — du foyer.	112.60 —	107.68 —	112.4 —	110.35 —
	Total.	1,398.18 pds car.	1,216.41 pds car.	1,485.3 pds car.	1,464.82 pds car.
	Surface de la grille	19 pieds car.	18.75 pieds car.	20.3 pieds car.	20.6 pieds car.
	Timbre	165 liv. par pce c.	160 liv. par pce c.	150 liv. par pce c.	170 liv. par pce c.
MACHINE A VIDE.	Bogie	...	...	...	...
	Essieu avant	...	...	...	...
	— moteur	...	...	...	...
	— arrière	...	...	...	...
	— radial	...	...	...	...
	Total.	...	...	...	...
MACHINE en charge.	Bogie	39,200 liv.	30,912 liv.	...	...
	Essieu avant	...	...	...	...
	— moteur	34,384 —	36,960 —	...	...
	— arrière	29,456 —	32,480 —	...	...
	— radial	...	...	...	...
	Total.	103,040 liv.	100,352 liv.	...	...
TENDER.	Capacité en combustible	...	6,720 liv.	8,960 liv.	8,960 liv.
	Poids à vide	...	33,432 —	...	...
	— en charge	53,760 liv.	58,520 —	...	...
	Capacité de la caisse à eau.	2,000 gallons.	1,800 gallons.	2,240 gallons.	2,600 gallons.
	Poids total de la machine et du tender à vide	...	...	...	...
	— — — — en ordre de marche	...	...	...	...
FREINS.	Frein à main	...	Sur le tender.	Sur le tender.	Sur le tender.
	— à vapeur	...	...	...	...
	— automatique	...	A vide automatique.	Westinghouse.	Westinghouse.
	Effort de traction.	16,848	12,394	13,322	14,144

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 pl}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse à quatre roues couplées.

DIAGRAMME **A**.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions n°s 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9.
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

			London & South W. Railw.	London, Tilbury & S. Railway.	Madras Railw. C^{o} (Indes).	North Eastern Railway.
			16.	17.	18.	20. CLASSE M. 1.
			Cylindre intér. Roue de 6′ 7″.	*Cylindre extér.* Roue de 6′ 6″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 0″.	*Cylindre intér.* Roue de 7′ 1 1/4″
			Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
LONGERONS.	MACHINE.	Date de la construction	1898	...	1895	1892
		Ecartement de la voie	4 8 1/2	4 8 1/2	5 6	4 8 1/2
		Longueur totale des longerons	29 4	35 6	20 0 1/2	30 5
		Ecartement des longerons (à l'avant)	3 11 1/2	4 0	4 11 1/2	...
		— — (à l'arrière)	4 1 1/2	3 11	4 11 1/2	4 0
		Epaisseur des tôles de longerons	0 1	0 1 1/8	0 1	0 1
		De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	5 3	5 5 1/4	5 3 1/2	5 9
		— — à l'axe des roues motrices	10 1	10 6 1/2	9 11	11 0
		— des roues motrices à l'axe des roues arrière	10 1	8 9	8 4	9 3
		— des roues arrière à l'extrémité du longeron	4 0	10 5 1/4	4 6	4 5
		— — à l'essieu radial	...	8 0	...	...
		— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	2 5 1/4	...	...
	BOGIE.	Longueur totale des longerons	...	9 5	7 7 1/2	8 11 1/2
		Ecartement des longerons	2 8 1/2	2 8 3/4	3 7 1/4	2 8
		Epaisseur des tôles de longerons	...	0 0 3/4	0 0 3/4	0 0 3/4
		De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	...	1 2 1/2	0 11 1/4	1 2 3/4
		— — à l'axe des roues arrière	6 6	7 0	5 9	6 6
		— des roues arrière à l'extrémité des longerons	...	1 2 1/2	0 11 1/4	1 2 3/4
		Type du bogie	Adam.	Adam.	Swing Link.	Adam.
CYLINDRES.		Diamètre des cylindres	1 6 1/2	1 6	1 6	1 7
		Course du piston	2 2	2 2	2 2	2 2
		Longueur des lumières d'admission	1 4	1 2 1/2	1 3	1 2
		— — d'échappement	1 4	1 2 1/2	1 3	1 2
		Largeur des lumières d'admission	0 1 5/8	0 1 1/2	0 1 1/4	0 2
		— — d'échappement	0 3 1/4	0 3	0 2 3/4	0 3 3/4
		De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	...	...	...	...
		Type du tiroir	Tiroir D. ordinaire.	Tiroir D. ordinaire.	Tiroir D. ordinaire.	Tiroir D. ordinaire.
		Recouvrement du tiroir	0 1 extér.	0 1 extér.	...	0 1 1/8 extér.
		Course maximum du tiroir	...	0 4 1/2	...	0 4 1/2
		Avance du tiroir	Avant, 1/8. Arrière, 1/8.	Avant, 5/32. Arrière, 3/32	...	Avant, 1/8 Arrière, 1/8.
		D'axe en axe des cylindres	2 3	6 3	2 7	2 0
		Diamètre de la tige de piston	0 3	...	0 2 3/4	...
		Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	...	...	...	...
MÉCANISME.		Type du mécanisme	Stephenson.	Stephenson.	Stephenson.	...
		Longueur du coulisseau	1 0	...	1 2	...
		D'axe en axe de la bielle motrice	6 6	...	6 2	...
ESSIEUX.	BOGIE.	Diamètre des portees de calage	0 7	...	...	0 7 1/2
		— des fusées	0 6	0 6	0 5 1/2	0 6
		— du corps de l'essieu	0 5 1/2	0 5 1/2	0 5 3/8	0 5 3/4
		D'axe en axe des fusées	3 8	3 8	4 5 1/2	3 7
		Longueur des portées de calage	0 6 1/8	...	...	0 7 1/4
		— des fusées	0 9	0 9	0 9	0 9
	AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
		— des fusées (intérieures)	...	...	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	...	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	...	...	...
		— — — (extérieures)	...	...	...	...
		Longueur des fusées (intérieures)	...	...	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...	...
		— des portées de calage	...	...	...	...
	MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Droit.	Coudé.	Coudé.
		Diamètre des portées de calage	0 8 1/4	0 9	0 8 1/2	0 9
		— des fusées (intérieures)	0 8	0 8	0 7 1/2	0 8
		— — (extérieures)	...	...	...	...
		— du corps de l'essieu	0 7 1/2	0 7 1/2	0 7	0 7 3/4
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 11 1/4	3 9 3/4	4 7	3 10
		— — — (extérieures)	...	...	...	...
		Longueur des portées de calage	0 8 1/8	0 7 3/4	...	0 7 9/16
		— des fusées (intérieures)	0 7 1/2	0 9	0 9	0 9
		— — (extérieures)	...	...	...	...
		Diamètre des fusées de manivelle	0 8	0 5 1/4	0 7 1/2	0 8 1/4
		Longueur — —	0 4	0 5	0 4	0 5
	ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 8 1/4	0 9	0 8 1/2	0 9
		— des fusées (intérieures)	0 8	0 8	0 7 1/2	0 8
		— — (extérieures)	...	...	...	...
		— du corps de l'essieu	0 7	0 7 1/2	0 7	0 7 3/4
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 11 1/4	3 9 3/4	4 7	3 10
		— — — (extérieures)	...	...	...	...
		Longueur des portées de calage	0 8 1/8	0 7 3/4	...	0 7 9/16
		— des fusées (intérieures)	0 7 1/2	0 9	0 9	0 9
		— — (extérieures)	...	...	...	...
	RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
		— des fusées	...	...	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	...	...
		D'axe en axe des fusées	...	3 5 1/4	...	...
		Longueur des portées de calage	...	...	...	...
		— des fusées	...	0 10	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section A. Questions nos 8, 9.
— B. — — 8, 9.
— C. — — 8, 9.
— D. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		London & South W. Railw.	London, Tilbury & S. Railway.	Madras Railw. Cº (Indes).	North Eastern Railway.
		16	17	18	20. Classe M. 1.
		Cylindre intér. Roue de 6′ 7″.	*Cylindre extér.* Roue de 6′ 6″.	*Cylindre intér.* Roue de 6′ 0″.	*Cylindre intér.* Roue de 7′ 1 1/4″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
ROUES.	Diamètre au contact : bogie	3 7	3 6	3 0	3 7 1/4
	— — essieu avant	...	...	...	...
	— — — moteur	6 7	6 6	6 0	7 1 1/4
	— — — arrière	6 7	6 6	6 0	7 1 1/4
	— — — radial	...	3 6	...	...
CHAUDIÈRE.	Type de la chaudière	Télescopique.	Parallèle.	Télescopique.	Parallèle.
	Métal : Corps cylindrique et enveloppe de boîte à feu	...	...	...	...
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 9	7 6	7 6	7 11
CORPS CYLIND.	Longueur du corps cylindrique	10 6	10 6	10 6	11 6
	Diamètre extérieur de la plus petite virole	4 5 1/8	4 2	4 4	4 4
	Epaisseur des tôles	0 0 9/16	0 0 9/16	0 0 1/2	0 0 9/16
	— de la plaque tubulaire de la boîte à fumée	0 0 3/4	0 0 13/16	0 0 7/8	0 0 3/4
ENVELOPPE DE BOITE A FEU.	Longueur extérieure au bas	7 4	6 9	5 6	6 9
	Largeur — —	4 0 1/2	3 10 5/8	4 7	3 11
	De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	5 9	5 0 1/2	4 10	5 8
	— — — — (à l'arrière)	5 3	4 8 1/2	3 10	4 8
	Epaisseur de la plaque avant	0 0 5/8	0 0 5/8	0 0 5/8	0 0 5/8
	— des parois latérales	0 0 5/8	0 0 9/16	0 0 1/2	0 0 5/8
	— de la plaque du dessus	0 0 5/8	0 0 5/8	0 0 1/2	0 0 5/8
	— — arrière	0 0 5/8	0 0 9/16	0 0 1/2	0 0 5/8
FOYER.	Métal employé	Acier.	Acier.	...	Cuivre.
	Longueur intérieure en bas	6 9 5/8	6 1 1/16	4 10 3/4	6 0 1/2
	Largeur — —	3 6 1/8	3 2 3/4	4 0	3 2 3/4
	De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	6 8	5 9 7/8	...	6 5 1/2
	— — — — — (à l'arrière)	6 2	5 5 7/8	...	5 5 1/2
TUBES.	Métal	Cuivre affiné et tombac.	Laiton (étiré).	...	Cuivre affiné.
	Nombre	280	199	218	225
	Longueur entre les plaques tubulaires	10 9 1/2	10 10 3/8	10 10 5/8	10 10 1/8
	Diamètre extérieur	0 1 3/4	0 1 5/8	0 1 3/4	0 1 3/4
	Epaisseur des tubes ; numéro de la jauge	11 et 13	11 et 13	11 et 13	13 et 12 W. G.
RIVETS ET ENTRETOISES.	Ecartement des rivets	0 1 7/8	...	...	0 2 (environ)
	Diamètre des rivets	0 0 13/16	...	...	0 0 7/8
	Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...	...	...
	Entretoises, métal	Cuivre.	Cuivre.	Cuivre.	...
	Ecartement des entretoises	0 4	0 4	...	0 4
	Diamètre des entretoises	0 1	0 1	0 0 7/8	0 1
	Nombre de filets par pouce	12	11	...	11
SURFACE de chauffe.	Surface de chauffe tubulaire	1,187·0 pds car.	920·0 pds car.	1,037 pds car.	1,220·0 pds car.
	— — du foyer	148·0 —	107·0 —	104 —	121·0 —
	Total	...	1,027·0 pds car.	1,191 pds car.	1,341·0 pds car.
	Surface de la grille	24 pds car.	19·57 pds car.	20 pds car.	19·6 pds car.
	Timbre	175 l. pr pce car.	170 l. pr pce car.	140 l. pr pce car.	175 l. pr pce car.
POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER. MACHINE A VIDE.	Bogie	...	...	27,888 liv.	...
	Essieu avant	...	...	...	...
	— moteur	...	...	31,584 liv.	...
	— arrière	...	...	27,104 —	...
	— radial	...	...	...	...
	Total	...	...	86,576 liv.	...
MACHINE en charge.	Bogie	33,600 liv.	38,416 liv.	30,464 liv.	38.080 liv.
	Essieu avant	...	...	...	...
	— moteur	40,320 liv.	39,760 liv.	32,928 liv.	40,768 liv.
	— arrière	38,976 —	38,976 —	30,912 —	34,720 —
	— radial	...	24,304 —	...	...
	Total	112,896 liv.	141,456 liv.	94,304 liv.	113,568 liv.
TENDER.	Capacité en combustible	8,960 liv.	5,040 liv.	...	11,200 liv.
	Poids à vide	44,800 —	...	...	...
	— en charge	91,168 —	...	...	92,064 liv.
	Capacité de la caisse à eau	3,500 gallons.	1,500 gallons.	...	3,940 gallons.
	Poids total de la machine et du tender, à vide	...	...	...	...
	— — — en ordre de marche	...	...	...	...
FREINS.	Frein à main	...	...	...	Sur le tender.
	— à vapeur	...	...	...	...
	— automatique	A vide automatique.	Westinghouse.	...	Westinghouse.
	Effort de traction	15,769	14,687·9	14,976·0	15,413

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 p l}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse à quatre roues couplées.

DIAGRAMME A. *Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.* Section A. Questions nos 8, 9. — B. — — 8, 9. — C. — — 8, 9. — D. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.			North Eastern Railway. 20 A. *Cylindre intérieur.* Roue de 7′ 1 1/4″. Pieds. Pouces.	South Australian Railway Company 21 *Cylindre intérieur.* Roue de 6′ 6″. Pieds. Pouces.
LONGERONS.	MACHINE.	Date de la construction	1896	1895
		Ecartement de la voie	4 8 1/2	5 3
		Longueur totale des longerons	30 5	...
		Ecartement des longerons (à l'avant	3 9 1/2	...
		— — (à l'arrière)	4 0	...
		Épaisseur des tôles de longerons	0 1	...
		De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	5 9	...
		— — à l'axe des roues motrices	11 0	10 3
		— des roues motrices à l'axe des roues arrière	9 3	8 3
		— des roues arrière à l'extrémité du longeron	4 5	...
		— — à l'essieu radial	...	...
		— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...
	BOGIE.	Longueur totale des longerons	8 11 1/2	...
		Ecartement des longerons	2 8	...
		Epaisseur des tôles de longerons	0 0 3/4	...
		De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	1 2 3/4	...
		— — à l'axe des roues arrière	6 6	5 3
		— des roues arrière à l'extrémité des longerons	1 2 3/4	...
		Type du bogie	Adam.	...
CYLINDERS.		Diamètre des cylindres	1 7 1/2	1 6
		Course du piston	2 2	2 0
		Longueur des lumières d'admission	1 3	1 2
		— — d'échappement	1 3	1 2
		Largeur des lumières d'admission	0 2	0 1 1/2
		— — d'échappement	0 4	0 3 1/2
		De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	1 3 3/4	...
		Type du tiroir	Tiroir D ordinaire.	Tiroir D ordinaire.
		Recouvrement du tiroir	0 1 1/8 extérieur.	...
		Course maximum du tiroir	0 4 1/2	0 4 1/4
		Avance du tiroir	Avant, 1/8. Arrière, 1/8.	Avant, 3/16. Arrière, 5/32.
		D'axe en axe des cylindres	2 0	...
		Diamètre de la tige de piston	0 3 1/4	...
		Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	...	0 0 3/8
MÉCANISME.		Type du mécanisme	Stephenson.	...
		Longueur du coulisseau	...	...
		D'axe en axe de la bielle motrice	...	...
ESSIEUX.	BOGIE.	Diamètre des portées de calage	0 7 1/2	...
		— des fusées	0 6	0 5
		— du corps de l'essieu	0 5 3/4	...
		D'axe en axe des fusées	3 7	...
		Longueur des portées de calage	0 7 1/4	4 2 1/2
		— des fusées	0 9	...
	AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	...
		— des fusées (intérieures)	...	...
		— — (extérieures)	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	...
		— — — (extérieures)	...	...
		Longueur des fusées (intérieures)	...	...
		— — (extérieures)	...	...
		— des portées de calage	...	...
	MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Coudé.
		Diamètre des portées de calage	0 9	0 8
		— des fusées (intérieures)	0 8	0 7
		— — (extérieures)	...	...
		— du corps de l'essieu	0 7 3/4	0 6 3/4
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 10	4 4
		— — — (extérieures)	...	...
		Longueur des portées de calage	0 7 9/16	0 6 5/8
		— des fusées (intérieures)	0 9	0 9
		— — (extérieures)	...	...
		Diamètre des fusées de manivelle	0 8 1/4	0 7 1/2
		Longueur — —	0 5	0 4 1/4
	ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 9	...
		— des fusées (intérieures)	0 8	...
		— — (extérieures)	...	...
		— du corps de l'essieu	0 7 3/4	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 10	...
		— — — (extérieures)	...	...
		Longueur des portées de calage	0 7 9/16	...
		— des fusées (intérieures)	0 9	...
		— — (extérieures)	...	...
	RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...
		— des fusées	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...
		D'axe en axe des fusées	...	...
		Longueur des portées de calage	...	...
		— des fusées	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME **A.**

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A.* Questions Nos 8, 9.
— *B.* — — 8, 9.
— *C.* — — 8, 9.
— *D.* — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		North Eastern Railway.	South Australian Railway Company.
		20 A.	21.
		Cylindre intérieur. Roue de 7′ 1 1/4″.	*Cylindre intérieur.* Roue de 6′ 6″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
ROUES.	Diamètre au contact : bogie	3 7 1/4	2 11
	— — essieu avant	...	...
	— — — moteur.	7 1 1/4	6 6
	— — — arrière.	7 1 1/4	6 6
	— — — radial	...	...
CHAUDIÈRE.	Type de la chaudière	Parallèle.	Télescopique.
	Métal : Corps cylindrique et enveloppe de boîte à feu	...	Acier.
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 11	...
CORPS CYLIND.	Longueur du corps cylindrique	11 6	...
	Diamètre extérieur de la plus petite virole.	4 4	4 1 3/8
	Epaisseur des tôles	0 0 9/16	0 0 7/16
	— de la plaque tubulaire de la boîte à fumée	0 0 3/4	...
ENVELOPPE DE BOITE A FEU.	Longueur extérieure au bas	6 9	...
	Largeur — —	3 11	...
	De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	5 8	...
	— — — (à l'arrière)	5 0 1/2	...
	Epaisseur de la plaque avant	0 0 5/8	0 0 1/2
	— des parois latérales.	0 0 5/8	0 0 7/16
	— de la plaque du dessus	0 0 5/8	0 0 7/16
	— — arrière.	0 0 5/8	0 0 7/16
FOYER.	Métal employé	Cuivre.	Cuivre.
	Longueur intérieure en bas	6 0 1/2	...
	Largeur — —	3 2 3/4	...
	De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	6 4 1/2	...
	— — — — — (à l'arrière)	5 9	...
TUBES.	Métal.	Cuivre affiné.	Tombac breveté.
	Nombre	201	201
	Longueur entre les plaques tubulaires	10 10 1/8	11 4 5/8
	Diamètre extérieur	0 1 3/4	0 1 7/8
	Epaisseur des tubes ; numéro de la jauge	13 et 12 W. G.	11 et 13
RIVETS ET ENTRETOISES.	Ecartement des rivets	0 2 (environ	Quinconce.
	Diamètre des rivets	0 0 7/8	...
	Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...
	Entretoises, métal.	...	Cuivre.
	Ecartement des entretoises.	0 4	0 4
	Diamètre des entretoises	0 1	0 0 7/8
	Nombre de filets par pouce.	11	11
SURFACE de chauffe.	Surface de chauffe tubulaire	1,089 pieds carrés.	1,123.14 pieds carrés.
	— — du foyer	123 — —	107.52 — —
	Total.	1,212 pieds carrés.	1,230.66 pieds carrés.
	Surface de la grille	19.6 pieds carrés.	17.37 pieds carrés.
	Timbre	175 livres par pouce carré.	145 livres par pouce carré.
MACHINE A VIDE.	Bogie	...	...
	Essieu avant	...	...
	— moteur	...	...
	— arrière	...	...
	— radial	...	...
	Total.	...	...
MACHINE en charge.	Bogie	36,512 livres.	27,776 livres.
	Essieu avant	...	...
	— moteur	41,664 —	29,344 —
	— arrière	32,592 —	29,008 —
	— radial	...	...
	Total.	110,768 livres.	86,128 livres.
TENDER.	Capacité en combustible.	11,200 livres.	11,627 livres.
	Poids à vide.	...	25,984 —
	— en charge	88,480 —	54,320 —
	Capacité de la caisse à eau	3,940 gallons.	2,040 gallons.
	Poids total de la machine et du tender, à vide.	...	...
	— — — en ordre de marche	...	140,448 livres.
FREINS.	Frein à main	Sur le tender.	Sur le tender.
	— à vapeur.	...	...
	— automatique	Westinghouse.	Frein à air automatique W sur la locomotive.
	Effort de traction	16,235.8	11,564.3 livres.

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 p l}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse du « South Eastern & Chatham & Dover Railway Company » (Angleterre).

DIAGRAMME **A**.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions n°s 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9.
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		South Eastern section.	Chatham section.
		22.	22 A.
		Cylindre de 19″ × 26″ Roue de 7′ 0″.	*Cylindre de* 18″ × 26″. Roue de 6′ 6″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
LONGERONS. MACHINE.	Date de la construction	1898	1891
	Ecartement de la voie	4 8 1/2	4 8 1/2
	Longueur totale des longerons	...	...
	Ecartement des longerons (à l'avant)	...	...
	— — (à l'arrière)	...	...
	Epaisseur des tôles de longerons	...	...
	De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	10 0 1/4	9 0
	— — à l'axe des roues motrices	8 6	8 6
	— des roues motrices à l'axe des roues arrière	...	...
	— des roues arrière à l'extrémité du longeron	...	...
	— — à l'essieu radial	...	...
	— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...
BOGIE.	Longueur totale des longerons	...	...
	Ecartement des longerons	...	...
	Epaisseur des tôles de longerons	...	...
	De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	...	...
	— — à l'axe des roues arrière	5 4	5 9
	— des roues arrière à l'extrémité des longerons	...	...
	Type du bogie	En même temps pivotant et rayonnant.	En même temps pivotant et rayonnant.
CYLINDRES.	Diamètre des cylindres	1 7	1 6
	Course du piston	2 2	2 2
	Longueur des lumières d'admission	1 4	1 3
	— — d'échappement	1 4	1 3
	Largeur des lumières d'admission	0 1 1/2	0 1 1/2
	— d'échappement	0 3 1/2	0 3 1/2
	De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	...	...
	Type du tiroir	Tiroir D.	Tiroir D.
	Recouvrement du tiroir	0 1	0 1
	Course maximum du tiroir	En av. G. 4 5/16 En arr. G. 3 15/16.	En av. G. 3 15/16 En arr. G. 3 3/4
	Avance du tiroir	F.G. Avant 9/32. Arrière, 3/32.	1/8 arrière. 1/8 avant.
		B.C. » 9/32. » 3/32.	
	D'axe en axe des cylindres	...	...
	Diamètre de la tige de piston	...	...
	Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	0 0 3/8	0 0 5/16
MÉCANISME.	Type du mécanisme	...	...
	Longueur du coulisseau	...	...
	D'axe en axe de la bielle motrice	...	...
ESSIEUX. BOGIE.	Diamètre des portées de calage	...	...
	— des fusées	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...
	D'axe en axe des fusées	...	...
	Longueur des portées de calage	...	...
	— des fusées	...	...
AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	...
	— des fusées (intérieures)	...	...
	— — (extérieures)	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	...
	— — — (extérieures)	...	...
	Longueur des fusées (intérieures)	...	...
	— — (extérieures)	...	...
	— des portées de calage	...	...
MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Coudé.
	Diamètre des portées de calage	0 8 1/4	0 9
	— des fusées (intérieures)	0 7 1/4	0 7 1/2
	— — (extérieures)	...	...
	— du corps de l'essieu	0 7	0 7
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 0	4 0
	— — — (extérieures)	...	...
	Longueur des portées de calage	0 7 1/2	0 7
	— des fusées (intérieures)	0 8	0 7 1/2
	— — (extérieures)	...	...
	Diamètre des fusées de manivelle	0 7 1/2	0 7 3/4
	Longueur — —	0 4	0 4
ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 8 1/4	0 9
	— des fusées (intérieures)	0 7 1/4	0 7 1/2
	— — (extérieures)	...	...
	— du corps de l'essieu	0 7	0 7
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 0	4 0
	— — — (extérieures)	...	...
	Longueur des portées de calage	0 7 1/2	0 7 1/2
	— des fusées (intérieures)	0 8	0 7 1/2
	— — (extérieures)	...	...
RADIAL	Diamètre des portées de calage	...	...
	— des fusées	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...
	D'axe en axe des fusées	...	...
	Longueur des portées de calage	...	...
	— des fusées	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section A. Questions nos 8, 9.
— B. — — 8, 9.
— C. — — 8, 9.
— D. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		South Eastern section.	Chatham section.
		22.	22 A.
		Cylindre 19″ × 26″. Roue de 7′ 0″.	*Cylindre* 18″ × 26″. Roue de 6′ 6″.
		Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
ROUES.	Diamètre au contact : bogie	...	...
	— — essieu avant	...	...
	— — — moteur	7 0	6 6
	— — — arrière	7 0	6 6
	— — — radial	...	...
CHAUDIÈRE.	Type de la chaudière	Multitubulaire (sans dôme).	Multitubulaire.
	Métal : corps cylindrique et enveloppe de boîte à feu	Acier doux.	Acier doux.
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	...	...
CORPS CYLIND.	Longueur du corps cylindrique	10 4 1/2	10 5
	Diamètre extérieur de la plus petite virole	4 7	4 2 1/8
	Epaisseur des tôles	0 0 9/16	0 0 7/16
	— de la plaque tubulaire de la boîte à fumée	...	...
ENVELOPPE DE BOITE A FEU.	Longueur extérieure au bas	...	...
	Largeur — —	...	...
	De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	...	...
	— — — — (à l'arrière)	...	...
	Epaisseur de la plaque avant	0 0 9/16	0 0 1/2
	— des parois latérales	...	...
	— de la plaque du dessus	...	...
	— — arrière	0 0 9/16	0 0 1/2
FOYER.	Métal employé	Cuivre.	Cuivre.
	Longueur intérieure en bas	...	...
	Largeur — —	...	...
	De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	...	...
	— — — — — (à l'arrière)	...	...
TUBES.	Métal	Laiton.	Cuivre.
	Nombre	215	203
	Longueur entre les plaques tubulaires	10 8 1/16	10 9 3/16
	Diamètre extérieur	0 1 5/8	0 1 3/4
	Epaisseur des tubes ; numéro de la jauge	11 & 13	10 & 12
RIVETS ET ENTRETOISES.	Ecartement des rivets	0 2	0 1 7/8
	Diamètre des rivets	0 0 7/8	0 0 15/16
	Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...
	Entretoises, métal	Cuivre.	Cuivre.
	Ecartement des entretoises	Environ 4	Environ 3 1/2 & 4
	Diamètre des entretoises	0 1	1 & 7/8
	Nombre de filets par pouce	11	11
SURFACE de chauffe.	Surface de chauffe tubulaire	976·0 pieds carrés.	1,000 pieds carrés.
	— — du foyer	111·15 — —	110 — —
	Total.	1,087·15 pieds carrés.	1,110 pieds carrés.
	Surface de la grille	16·76 pieds carrés.	17 pieds carrés.
	Timbre	170 livres par pouce carré.	150 livres par pouce carré.
POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER. MACHINE A VIDE.	Bogie	...	...
	Essieu avant	...	...
	— moteur	...	...
	— arrière	...	...
	— radial	...	...
	Total.	...	...
MACHINE en charge.	Bogie	33,600 liv.	30,352 liv.
	Essieu avant	...	...
	— moteur	36,736 —	35,140 —
	— arrière	32,816 —	29,596 —
	— radial	...	...
	Total.	103,152 liv.	95,088 liv.
TENDER.	Capacité en combustible	189 pieds cubes.	213 pieds cubes.
	Poids à vide	40,320 liv.	40,320 liv.
	— en charge	76,384 —	76,524 —
	Capacité de la caisse à eau	3,000 gallons.	2,600 gallons.
	Poids total de la machine et du tender, à vide	...	...
	— — — — en ordre de marche	179,536 liv.	171,612 liv.
FREINS.	Frein à main	...	...
	— à vapeur	...	...
	— automatique	A vide automatique.	Westinghouse (automatique).
	Effort de traction	15,196 liv.	12,960 liv.

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 pl}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse à roues libres.

DIAGRAMME **A**.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions nos 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9.
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Great Eastern Railway. 6 A. *Cylindre intér.* Roue de 7′ 0″. Pieds. Pouces.	Great Eastern Railway. 6 B. *Cylindre intér.* Roue de 7′ 0″. Pieds. Pouces.	Great Northern Railway. 3 B. *Cylindre extér.* Roue de 8′ 1 1/2″. Pieds. Pouces.	Great Northern Railway 3 C. *Cylindre intér.* Roue de 7′ 6″. Pieds. Pouces.
LONGERONS. MACHINE.	Date de la construction	...	...	...	...
	Ecartement de la voie	4 8 1/2	4 8 1/2	...	...
	Longueur totale des longerons	25 9	30 10	...	...
	Ecartement des longerons (à l'avant)	4 1 1/2	4 1 1/2	...	...
	— — (à l'arrière)	4 1 1/2	4 1 1/2	...	...
	Epaisseur des tôles de longerons	0 1	0 1	...	...
	De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	...	...	5 8	...
	— — à l'axe des roues motrices	...	...	10 9	10 8
	— des roues motrices à l'axe des roues arrière	8 9	9 0	9 0	8 5
	— des roues arrière à l'extrémité du longeron	4 3	5 4	...	...
	— — à l'essieu radial	...	...	...	...
	— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...	...	...
BOGIE.	Longueur totale des longerons	...	...	9 6 1/2	...
	Ecartement des longerons	...	2 7 1/2	...	...
	Epaisseur des tôles de longerons	...	0 1	...	...
	De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	...	2 9	1 6 1/4	...
	— — à l'axe des roues arrière	...	6 6	6 6	...
	— des roues arrière à l'extrémité des longerons	...	...	...	...
	Type du bogie	...	Adam.	...	...
CYLINDRES.	Diamètre des cylindres	1 6	1 6	1 7 1/2	1 6 1/2
	Course du piston	2 0	2 2	2 4	2 2
	Longueur des lumières d'admission	1 3	1 3	...	...
	— — d'échappement	1 3	1 3	...	...
	Largeur des lumières d'admission	0 1 1/2	0 1 1/2	...	...
	— — d'échappement	0 3 1/4	0 3 1/4	...	...
	De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	Tiroirs au-dessous.	Tiroirs au-dessous.	...	...
	Type du tiroir	Tiroir ordinaire D.	Tiroir ordinaire D.	...	...
	Recouvrement du tiroir	0 0 7/8 ext.	0 0 7/8 ext.	...	...
	Course maximum du tiroir	0 4 3/4	0 4 3/4	...	...
	Avance du tiroir	Avant, 3/16. Arrière, 3/16	Avant, 3/16. Arrière, 3/16	...	...
	D'axe en axe des cylindres	2 0	2 0	...	...
	Diamètre de la tige de piston	0 3	0 3	...	...
	Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	...	...	...	...
MÉCANISME.	Type du mécanisme	Stephenson.	Stephenson.	...	...
	Longueur du coulisseau	...	...	...	...
	D'axe en axe de la bielle motrice	5 11	6 9 3/4	...	...
ESSIEUX. BOGIE.	Diamètre des portées de calage	...	0 8	...	...
	— des fusées	...	0 6 1/2	...	...
	— du corps de l'essieu	...	0 6	...	...
	D'axe en axe des fusées	...	3 8	...	...
	Longueur des portées de calage	...	0 6 7/8	...	...
	— des fusées	...	0 11	...	...
AVANT.	Diamètre des portées de calage	0 8 1/2	...	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 8 3/4	...	...	...
	— — (extérieures)	0 6	...	...	...
	— du corps de l'essieu	0 6 1/2	...	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 11	...	...	...
	— — — (extérieures)	6 10	...	...	...
	Longueur des fusées (intérieures)	0 6	...	...	...
	— — (extérieures)	0 9	...	...	...
	— des portées de calage	0 9	...	...	...
MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Coudé.	Droit.	Coudé.
	Diamètre des portées de calage	0 9	0 9	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 7 1/2	0 7 3/4	...	...
	— — (extérieures)	...	0 7	...	...
	— du corps de l'essieu	0 7	0 7 1/4	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 10	3 10	...	...
	— — — (extérieures)	...	6 10 1/2	...	...
	Longueur des portées de calage	0 8 1/8	0 9 1/4	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 9	0 9	...	...
	— — (extérieures)	...	0 9	...	...
	Diamètre des fusées de manivelle	0 8	0 8	...	...
	Longueur — —	0 4 1/2	0 4 1/2	...	...
ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 9	0 8 1/2	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 7 1/2	0 8 3/4	...	...
	— — (extérieures)	...	0 6	...	...
	— du corps de l'essieu	0 7	0 6 1/2	...	...
	D'axe en axe des fusées (intérieures)	3 10	3 11	...	...
	— — — (extérieures)	...	6 10	...	...
	Longueur des portées de calage	0 6 7/8	0 9	...	...
	— des fusées (intérieures)	0 9	0 6	...	...
	— — (extérieures)	...	0 9	...	...
RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées	...	...	...	...
	— du corps de l'essieu	...	...	...	...
	D'axe en axe des fusées	...	...	...	...
	Longueur des portées de calage	...	...	...	...
	— des fusées	...	...	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section A. Questions nos 8, 9.
— B. — — 8, 9.
— C. — — 8, 9.
— D. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

	Great Eastern Railway.	Great Eastern Railway.	Great Northern Railway.	Great Northern Railway.
	6 A.	6 B.	3 B.	3 C.
	Cylindre intér. Roue de 7′ 0″.	*Cylindre intér.* Roue de 7′ 0″.	*Cylindre extér.* Roue de 8′ 1½″.	*Cylindre intér.* Roue de 7′ 6″.
	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.	Pieds. Pouces.
CHAUDIÈRE. — ROUES. — Diamètre au contact : bogie	...	3 9	3 11 1/2	...
— — essieu avant	4 0	...	...	4 0
— — — moteur.	7 0	7 0	8 1 1/2	7 6
— — — arrière.	4 0	4 0	4 7 1/2	4 0
— — — radial	...	...	...	...
Type de la chaudière.	Parallèle.	Télescopique.	Télescopique.	Télescopique.
Métal : Corps cylindrique et enveloppe de boîte à feu	Acier.	...	...	...
Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 6	7 9	7 6	7 6
CORPS CYLIND. — Longueur du corps cylindrique	10 0	11 0	11 1	11 5
Diamètre extérieur de la plus petite virole	4 4	4 3	...	4 0
Epaisseur des tôles	0 0 1/2	...	...	...
— de la plaque tubulaire de la boîte à fumée.	0 0 5/8	0 0 5/8	...	...
ENVELOPPE DE BOITE A FEU. — Longueur extérieure au bas	6 0	7 0	6 10	6 2
Largeur — —	4 0 1/2	4 0 1/2	...	...
De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	4 10	4 11	...	...
— — — — (à l'arrière)	4 4	4 5	...	...
Epaisseur de la plaque avant	0 0 9/16	0 0 9/16	...	...
— des parois latérales.	0 0 1/2	0 0 9/16	...	...
— de la plaque du dessus.	0 0 1/2	0 0 9/16	...	...
— — arrière.	0 0 9/16	0 0 9/16	...	...
FOYER. — Métal employé.	Cuivre.	Cuivre.	...	...
Longueur intérieure en bas.	5 3 7/8	6 3 7/8	...	...
Largeur — —	3 4 1/2	3 4 3/8	...	...
De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant).	5 7 1/2	5 7 1/2	...	...
— — — — — (à l'arrière)	5 7 1/2	5 1 1/2	...	...
TUBES. — Métal.	Acier doux.	Acier doux.	...	...
Nombre	254	227	173	186
Longueur entre les plaques tubulaires	10 4	11 4	...	...
Diamètre extérieur	0 1 5/8	0 1 3/4	0 1 3/4	0 1 3/4
Epaisseur des tubes ; numéro de la jauge	13	13	...	...
RIVETS ET ENTRETOISES. — Ecartement des rivets	...	...	...	...
Diamètre des rivets	0 0 13/16	...	...	...
Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...	...	...
Entretoises, métal.	...	...	...	...
Ecartement des entretoises.	...	0 4	...	...
Diamètre des entretoises	...	0 1	...	...
Nombre de filets par pouce.	...	...	...	...
SURFACE de chauffe. — Surface de chauffe tubulaire	1,116·18 pds car.	1,178·5 pds car.	909·98 pds car.	1,00 1·0 pds car.
— — du foyer.	100·90 —	114·23 —	121·72 —	108·7 —
Total.	1,217·08 pds car.	1,292·73 pds car.	1,031·70 pds car.	1,109·7 pds car.
Surface de la grille	18·0 pds car.	21·3 pds car.	20 pds car.	18·4 pds car.
Timbre	160 l. pr pce car.	160 l. pr pce car.	170 l. pr pce car.	170 l. pr pce car.
POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER. — MACHINE A VIDE. — Bogie.	...	32,256 liv.	...	...
Essieu avant	28,084 liv.	...	...	...
— moteur.	30,968 —	40,320 —	...	...
— arrière.	22,316 —	28,000 —	...	...
— radial	...	...	...	...
Total.	81,368 liv.	100,576 liv.	...	...
MACHINE en charge. — Bogie.	...	34,272 liv.	44,128 liv.	...
Essieu avant	30,072 liv.	...	...	27,328 liv.
— moteur.	36,176 —	42,560 —	40,320 —	38,976 —
— arrière.	23,408 —	31,808 —	25,312 —	24,752 —
— radial	...	...	...	...
Total.	89,656 liv.	108,640 liv.	109,760 liv.	91,056 liv.
TENDER. — Capacité en combustible	7,840 liv.	Liquide 715 gall.	...	...
Poids à vide.	35,840 —	43,092 liv.	...	...
— en charge	68,600 —	80,304 —	93,464 liv.	90·244 liv.
Capacité de la caisse à eau.	2,640 gallons.	2,790 gallons.	...	...
Poids total de la machine et du tender, à vide	...	...	...	...
— — — — en ordre de marche	...	...	...	...
FREINS. — Frein à main	A main.	A main.	...	...
— à vapeur.	...	Sur le tender.	...	...
— automatique	Westinghouse.	Westinghouse.	A vide automatique.	A vide automatique.
Effort de traction	...	...	14,851	13,446

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 p l}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à voyageurs à grande vitesse à roues libres.

DIAGRAMME A. *Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.* Section A. Questions nos 8, 9. — B. — — 8, 9 — C. — — 8, 9. — D. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.			Great Western Railway. 12 B. *Cylindre intérieur.* Roue de 7' 8". Pieds. Pouces.	Midland Railway Company (Angleterre). 19 A. *Cylindre intérieur.* Roue de 7' 9". Pieds. Pouces.
LONGERONS.	MACHINE.	Date de la construction	...	1896
		Ecartement de la voie	4 8 1/2	4 8 1/2
		Longueur totale des longerons	30 9	28 7 1/2
		Ecartement des longerons (à l'avant)	3 6	...
		— — (à l'arrière)	4 1	4 1 1/2
		Épaisseur des tôles de longerons	0 0 7/8	...
		De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	6 6	5 6
		— — à l'axe des roues motrices	11 0	10 2 1/2
		— des roues motrices à l'axe des roues arrière	9 0	8 9
		— des roues arrière à l'extrémité du longeron	4 3	4 2
		— — à l'essieu radial	...	...
		— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...
	BOGIE.	Longueur totale des longerons	11 6	...
		Ecartement des longerons	5 10	2 7 3/4
		Epaisseur des tôles de longerons	0 1	...
		De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	2 3	...
		— — à l'axe des roues arrière	7 0	6 0
		— des roues arrière à l'extrémité des longerons	2 3	...
		Type du bogie	G. W. R.	Adam.
CYLINDRES.		Diamètre des cylindres	1 7	1 7 1/2
		Course du piston	2 0	2 2
		Longueur des lumières d'admission	1 2	...
		— — d'échappement	1 2	...
		Largeur des lumières d'admission	0 2	...
		— — d'échappement	0 3 1/4	...
		De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	...	...
		Type du tiroir	Équilibré.	Piston.
		Recouvrement du tiroir	0 1 1/8 extérieur.	...
		Course maximum du tiroir	0 4 1/2	...
		Avance du tiroir	Avant, 1/4 Arrière, 1/8	...
		D'axe en axe des cylindres	2 3	2 3
		Diamètre de la tige de piston	0 3 1/2	...
		Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	...	...
MÉCANISME.		Type du mécanisme	Stephenson.	Stephenson.
		Longueur du coulisseau	...	...
		D'axe en axe de la bielle motrice	6 1	...
ESSIEUX.	BOGIE.	Diamètre des portées de calage	0 6 1/2	0 6 1/2
		— des fusées	0 4 1/2	0 5 3/4
		— du corps de l'essieu	0 5 3/4	0 5 1/2
		D'axe en axe des fusées	6 6	...
		Longueur des portées de calage	...	...
		— des fusées	0 9	...
	AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	...
		— des fusées (intérieures)	...	...
		— — (extérieures)	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	...
		— — — (extérieures)	...	...
		Longueur des fusées (intérieures)	...	...
		— — (extérieures)	...	...
		— des portées de calage	...	...
	MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	Coudé.
		Diamètre des portées de calage	0 10	0 9 1/2
		— des fusées (intérieures)	0 8 1/2	0 8 1/2
		— — (extérieures)	0 7	0 6 3/4
		— du corps de l'essieu	0 7 1/2	0 8
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 0	3 11 1/4
		— — — (extérieures)	6 6	6 5 3/4
		Longueur des portées de calage	0 7	0 6 7/8
		— des fusées (intérieures)	0 7	0 7 3/4
		— — (extérieures)	0 9	0 9
		Diamètre des fusées de manivelle	0 8 1/2	0 8 1/2
		Longueur — —	0 5	0 4 1/2
	ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 7	0 7 1/2
		— des fusées (intérieures)	...	...
		— — (extérieures)	0 5	0 5 1/2
		— du corps de l'essieu	0 6 1/4	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	...	...
		— — — (extérieures)	...	6 8 1/2
		Longueur des portées de calage	...	0 9 1/4
		— des fusées (intérieures)	...	...
		— — (extérieures)	0 10	0 9
	RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...
		— des fusées	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...
		D'axe en axe des fusées	...	...
		Longueur des portées de calage	...	...
		— des fusées	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section A. Question nos 8, 9.
— B. — — 8, 9.
— C. — — 8, 9.
— D. — — 1, 2, 3, 4, 5. 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Great Western Railway. 12 B. *Cylindre intérieur.* Roue de 7′ 8″. Pieds. Pouces.	Midland Railway Company (Angleterre). 19 A. *Cylindre intérieur.* Roue de 7′ 9″. Pieds. Pouces.
ROUES.	Diamètre au contact : bogie	4 1 1/2	3 9 1/2
	— — essieu avant	...	...
	— — — moteur	7 9	7 9
	— — — arrière	4 7 1/2	4 4
	— — — radial	...	...
CHAUDIÈRE.	Type de la chaudière.	Télescopique.	Télescopique.
	Métal : Corps cylindrique et enveloppe de boîte à feu	...	...
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 7 1/4	7 10
CORPS CYLIND.	Longueur du corps cylindrique	11 6	10 6
	Diamètre extérieur de la plus petite virole.	4 2 1/8	4 1
	Epaisseur des tôles	0 0 7/16	...
	— de la plaque tubulaire de la boîte à fumée	0 0 5/8	0 0 11/16
ENVELOPPE DE BOITE A FEU.	Longueur extérieure au bas	6 4	7 0
	Largeur — —	4 0	4 0 1/2
	De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	...	...
	— — — — (à l'arrière)	...	4 7 1/2
	Epaisseur de la plaque avant	...	0 0 5/8
	— des parois latérales.	...	0 0 1/2
	— de la plaque du dessus.	...	0 0 1/2
	— — arrière.	...	0 0 1/2
FOYER.	Métal employé.	...	...
	Longueur intérieure en bas.	...	6 3 7/8
	Largeur — —	3 4 1/8	3 4 1/2
	De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant).	6 2	...
	— — — — — (à l'arrière)	6 2	...
TUBES.	Métal.	...	...
	Nombre	266	236
	Longueur entre les plaques tubulaires	11 9 1/4	...
	Diamètre extérieur	0 1 3/4	0 1 5/8
	Epaisseur des tubes ; numéro de la jauge	12	...
RIVETS ET ENTRETOISES.	Ecartement des rivets	...	...
	Diamètre des rivets	...	...
	Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	...	...
	Entretoises, métal	...	...
	Ecartement des entretoises.	...	...
	Diamètre des entretoises	...	...
	Nombre de filets par pouce.	...	...
SURFACE de chauffe.	Surface de chauffe tubulaire	1,434·27 pds car.	1,105 pds car.
	— — du foyer	127·06 —	128 —
	Total.	1,561·33 pds car.	1,233 pds car.
	Surface de la grille	20·8 pds car.	21·3 pds car.
	Timbre	160 l. pr pce car.	...
POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER. MACHINE A VIDE.	Bogie.	...	...
	Essieu avant	...	...
	— moteur	...	...
	— arrière	...	...
	— radial	...	...
	Total.	...	...
MACHINE en charge.	Bogie.	40,320 liv.	...
	Essieu avant	...	...
	— moteur	40,320 —	...
	— arrière	29,120 —	...
	— radial	...	...
	Total.	109,760 liv.	...
TENDER.	Capacité en combustible	8,960 liv.	...
	Poids à vide	...	...
	— en charge	72,800 —	...
	Capacité de la caisse à eau.	3,000 gallons.	...
	Poids total de la machine et du tender, à vide	...	...
	— — — — en ordre de marche	...	...
FREINS.	Frein à main	A main.	...
	— à vapeur.	A vapeur.	...
	— automatique	...	...
	Effort de traction	11,924	14,457·6

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 p l}{D},$$

d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines compound à voyageurs à grande vitesse.

DIAGRAMME **A**.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions nos 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9.
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

			Belfast & North Counties Railway Co (Irlande).	London & North Western Railway Co (Angleterre).	London & North West. Railway Co (Angleterre)
			1.	15 A.	15 C.
			2 cylindres compound. 6′ 0″ couplés.	4 cylindres compound. 7′ 1″ couplés.	3 cylindres compound. Couplés.
			Pieds. Pouces. H. P. | B. P.	Pieds. Pouces. H. P. | B. P.	Pieds. Pouces. H. P. | B. P.
LONGERONS.	MACHINE.	Date de la construction	1890	1897	1891
		Ecartement de la voie	5 3	4 8 1/2	4 8 1/2
		Longueur totale des longerons	25 4 1/4	...	...
		Ecartement des longerons (à l'avant)	4 8	...	...
		— — (à l'arrière)	4 8	...	...
		Epaisseur des tôles de longerons	0 1	...	...
		De l'axe du bogie à la face arrière de la traverse de tête	5 6	...	...
		— — à l'axe des roues motrices	9 9 1/2	...	...
		— des roues motrices à l'axe des roues arrière	7 0	...	...
		— des roues arrière à l'extrémité du longeron	3 10 1/4	...	...
		— — à l'essieu radial	..	...	..
		— de l'essieu radial à l'extrémité du longeron	...	...	...
	BOGIE.	Longueur totale des longerons	9 5	...	...
		Ecartement des longerons	4 8	...	...
		Epaisseur des tôles de longerons	0 1	...	...
		De l'axe des roues avant à l'extrémité avant du longeron	1 5 1/2	...	...
		— — à l'axe des roues arrière	6 6	...	...
		— des roues arrière à l'extrémité des longerons	1 5 1/2	...	...
		Type du bogie	Swing Link.	...	...
CYLINDRES.		Diamètre des cylindres	1 4 | 1 11 1/4	1 3 | 1 7 1/2	1 3 | 2 6
		Course du piston	2 0	2 0	2 0
		Longueur des lumières d'admission	1 1 | 1 5 1/2	...	...
		— — d'échappement	1 1 | 1 5 1/2	...	...
		Largeur des lumières d'admission	0 1 3/8 | 0 1 3/4	...	...
		— — d'échappement	0 2 3/4 | 0 3 1/2	...	...
		De l'axe du cylindre à la glace du tiroir	...	...	...
		Type du tiroir	Ordinaire | Allan.	...	...
		Recouvrement du tiroir	0 1 | 0 0 7/8	...	...
		Course maximum du tiroir	0 4 3/32 | 0 4 1/8	...	...
		Avance du tiroir	0 0 1/16 | 0 0 3/16	...	...
		D'axe en axe des cylindres	2 6	...	...
		Diamètre de la tige de piston	0 3	...	...
		Jeu entre le piston et le plateau de cylindre à chaque fond de course	...	...	...
MÉCANISME.		Type du mécanisme	Walschaert.	...	...
		Longueur du coulisseau	1 2	...	...
		D'axe en axe de la bielle motrice	...	...	...
ESSIEUX.	BOGIE.	Diamètre des portées de calage	0 6 1/4	...	...
		— des fusées	0 5	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	...
		D'axe en axe des fusées	4 2 3/4	...	...
		Longueur des portées de calage	...	...	...
		— des fusées	0 9	...	...
	AVANT.	Diamètre des portées de calage	...	...	...
		— des fusées (intérieures)	...	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	..	...	...
		— — — (extérieures)	..	...	...
		Longueur des fusées (intérieures)	...	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...
		— des portées de calage	...	...	...
	MOTEUR.	Essieu coudé ou droit	Coudé.	...	...
		Diamètre des portées de calage	0 8	...	...
		— des fusées (intérieures)	0 6 3/4	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 3 7/8	...	...
		— — — (extérieures)	...	...	..
		Longueur des portées de calage	0 6 3/8	...	...
		— des fusées (intérieures)	0 8	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...
		Diamètre des fusées de manivelle	0 7 1/4	...	...
		Longueur — —	0 4	...	...
	ARRIÈRE.	Diamètre des portées de calage	0 8	...	...
		— des fusées (intérieures)	0 6 3/4	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	...
		D'axe en axe des fusées (intérieures)	4 3 7/8	...	...
		— — — (extérieures)	...	...	...
		Longueur des portées de calage	0 6 3/8	...	...
		— des fusées (intérieures)	0 8	...	...
		— — (extérieures)	...	...	...
	RADIAL.	Diamètre des portées de calage	...	...	...
		— des fusées	...	...	...
		— du corps de l'essieu	...	...	...
		D'axe en axe des fusées	...	...	...
		Longueur des portées de calage	...	...	...
		— des fusées	...	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME A.

Réponses et réponses partielles aux questions des numéros suivants de chaque section.

Section *A*. Questions nos 8, 9.
— *B*. — — 8, 9.
— *C*. — — 8, 9.
— *D*. — — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 23.

		Belfast & North Counties Railway Co (Irlande).	London & North Western Railway Co (Angleterre).	London & North West. Railway Co (Irlande).
		1.	15 A.	15 C.
		2 cylindres compound. 6′ 0″ couplés.	*Cylindres compound.* 7′ 1″ couplés.	*Cylindres compound* Couplés.
		Pieds. Pouces. H. P. | B. P.	Pieds. Pouces. H. P. | B. P.	Pieds. Pouces. H. P. | B. P.
ROUES.	Diamètre au contact : bogie	3 0	...	4 1 1/2 rayonnant.
	— — essieu avant	...	...	7 1 —
	— — — moteur.	6 0	7 1	7 1 —
	— — — arrière.	6 0	7 1	4 1 1/2 —
	— — — radial	...	3 9	...
CHAUDIÈRE. CORPS CYLIND.	Type de la chaudière.	Télescopique.	...	...
	Métal : corps cylindrique et enveloppe de boite à feu	Acier.	...	...
	Du dessus du rail à l'axe de la chaudière	7 7	...	...
	Longueur du corps cylindrique	10 0	...	...
	Diamètre extérieur de la plus petite virole	4 1	...	...
	Epaisseur des tôles	0 0 1/2	...	...
	— de la plaque tubulaire de la boite à fumée.	0 0 3/4	...	...
ENVELOPPE DE BOITE A FEU.	Longueur extérieure au bas	4 4	...	...
	Largeur — —	4 5 1/2	...	...
	De l'axe de la chaudière à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	4 10	...	...
	— — — — (à l'arrière)	4 10	...	...
	Epaisseur de la plaque avant	0 0 1/2	...	...
	— des parois latérales.	0 0 1/2	...	...
	— de la plaque du dessus	0 0 1/2	...	...
	— — arrière	0 0 1/2	...	...
FOYER.	Métal employé	Cuivre.	...	...
	Longueur intérieure en bas	3 8 7/8	...	...
	Largeur — —	3 10 3/8	...	...
	De la face intérieure du ciel à la face inférieure du cadre du bas (à l'avant)	5 7	...	...
	— — — — — (à l'arrière)	5 7	...	...
TUBES.	Métal.	Laiton étiré.	...	...
	Nombre	152	225	...
	Longueur entre les plaques tubulaires	10 3 9/16	...	...
	Diamètre extérieur	0 1 7/8	0 1 7/8	...
	Epaisseur des tubes ; numéro de la jauge	10 et 12, B. W. G.	...	...
RIVETS ET ENTRETOISES.	Ecartement des rivets	0 2	...	...
	Diamètre des rivets	0 0 3/4	...	...
	Trous de rivets, percés au foret ou poinçonnés	Forés.	...	...
	Entretoises, métal.	...	...	...
	Ecartement des entretoises.	0 3 7/8	...	...
	Diamètre des entretoises.	0 0 15/16	...	...
	Nombre de filets par pouce.	11	...	...
SURFACE de chauffe.	Surface de chauffe tubulaire	767·8 pieds car.	1,241·3 pieds car.	...
	— — du foyer.	82·0 —	159·1 —	...
	Total.	849·8 pieds car.	1,400·4 pieds car.	...
	Surface de la grille	14·4 pieds car.	20·5 pieds car.	...
	Timbre	170 liv. p^r p^{ce} car.	175 liv. p^r p^{ce} car.	...
POIDS DE LA MACHINE ET DU TENDER. MACHINE A VIDE.	Bogie	...	...	...
	Essieu avant	...	...	...
	— moteur.	...	...	...
	— arrière.	...	...	...
	— radial	...	...	...
	Total.	...	...	...
MACHINE en charge.	Bogie	...	...	...
	Essieu avant	30,800 liv.	44,352 liv.	...
	— moteur.	...	...	...
	— arrière.	29,120 liv.	38,976 liv.	...
	— radial	26,680 —	37,408 —	...
	Total.	...	...	...
		86,600 liv.	120,736 liv.	116,704 liv.
TENDER.	Capacité en combustible	74,659 liv.	...	...
	Poids à vide.	...	...	...
	— en charge	57,120 liv.	...	...
	Capacité de la caisse à eau	2,090 gallons.	...	...
	Poids total de la machine et du tender, à vide	...	...	...
	— — — — en ordre de marche.	...	...	...
FREINS.	Frein à main	Sur le tender.	...	...
	— à vapeur	Locomotive et tender.	...	...
	— automatique.	...	...	...
	Effort de traction	...	...	...

Effort de traction, d'après la formule :

$$T = \frac{d^2 p l}{D},$$

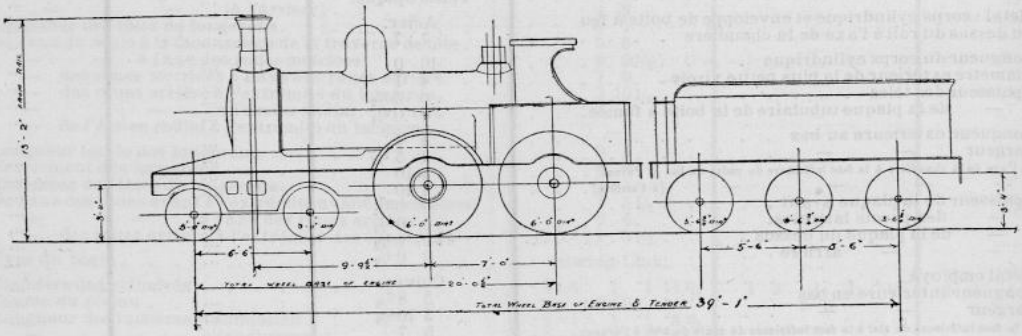
d = le diamètre du cylindre.
p = la pression moyenne au cylindre.
l = la longueur de la course du piston.
D = le diamètre des roues motrices.
T = l'effort de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMMES B.

170 livres par pouce carré.

B — 1.

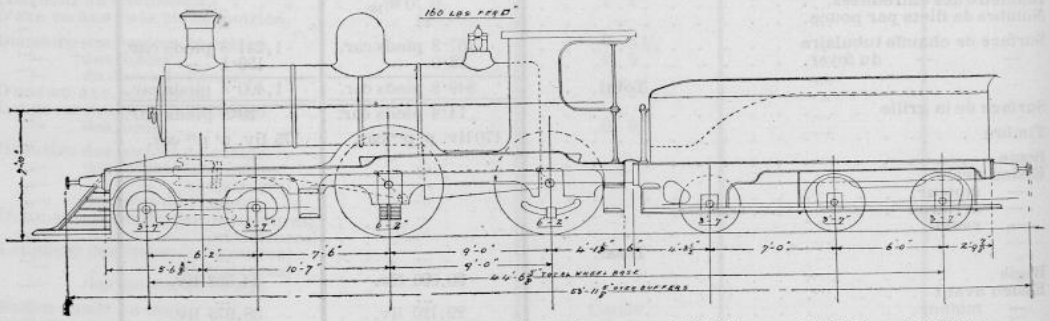


En ordre de marche . .	30,800 liv.	29,120 liv.	26,680 liv.	57,120 liv.
A vide.	...	...	...	...

Total en ordre de marche. . . . Locom., 86,600 liv. Tender, 57,120 liv. Locom. et tender, 143,720 liv.
— à vide . . . . . — ... — — ... — — ...

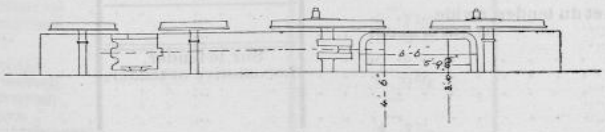
Belfast & Northern Counties Railway Company (Irlande).

B. — 2.



En ordre de marche .	34,944 liv.	33,152 liv.	32,144 liv.	23,296 liv.	23,856 liv.	23,408 liv.
A vide	31,864 —	30,828 —	28,420 —	15,624 —	12,712 —	12,264 —

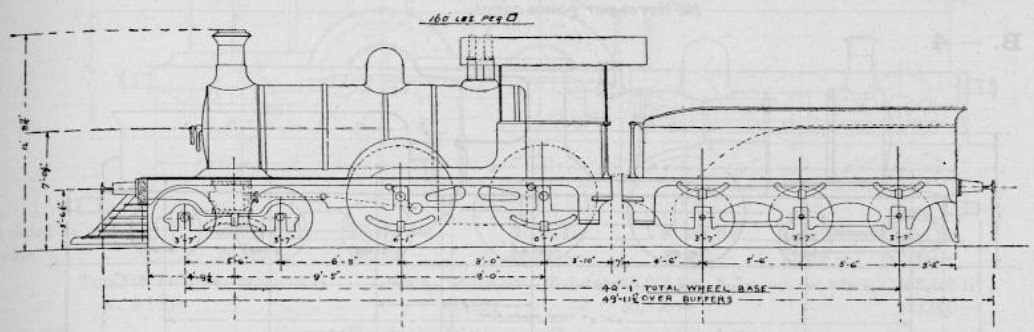
Total en ordre de marche . . . Locom., 100,240 liv. Tender, 70,560 liv. Locom. et tender, 170,560 liv
— à vide . . . . . — 91,112 — — 40,600 — — 131,712 —



Bombay & Baroda Railway Company (Inde).

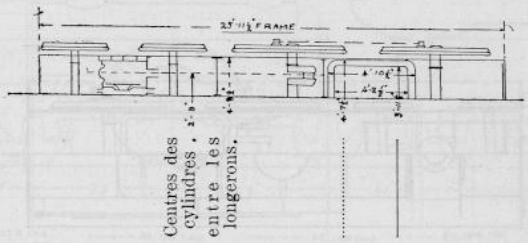
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — 2a.



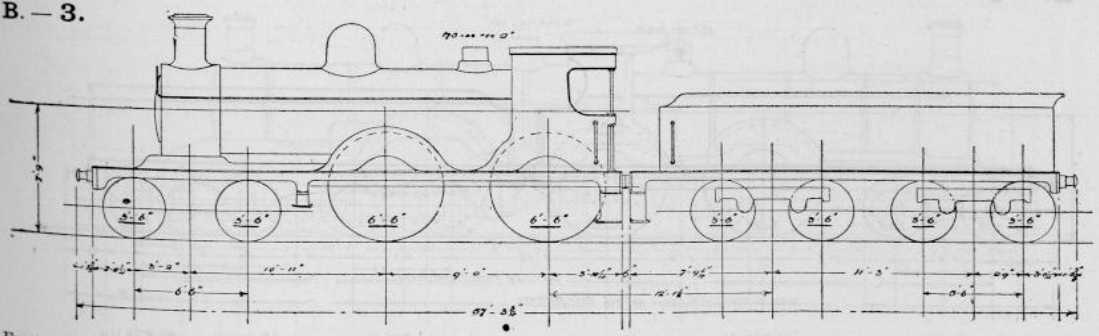
En ordre de marche. 28,678 liv. 28,560 liv. 27,216 liv. 21,479 liv. 24,808 liv. 19,152 liv.

Total en ordre de marche . . . . Locom., 84,448 liv. Tender, 65,436 liv. Locom. et tender, 149,884 liv.



Bombay & Baroda Railway Company (Inde).

B. — 3.



En ordre de marche, 36,512 liv. 37,744 liv. 35,504 liv. 50,820 liv 49,980 liv.

A vide . . . .

Total en ordre de marche . . . . Locom., 109,760 liv. Tender, 100,800 liv. Locom. et tender, 210,560 liv

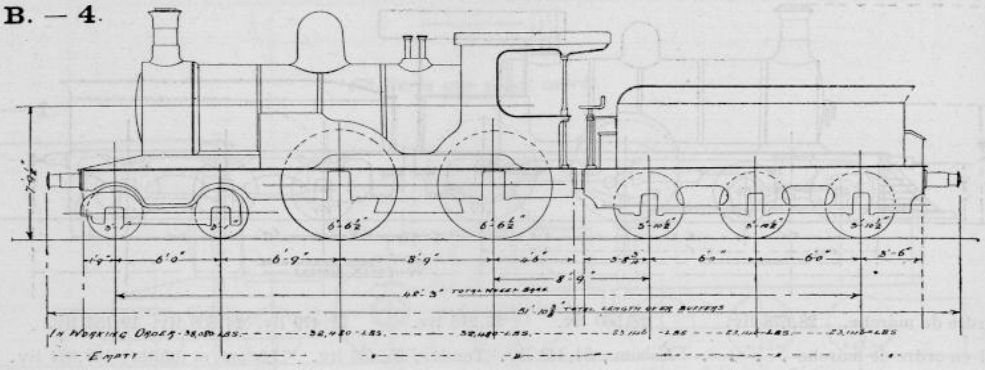
— à vide . . . . . — ... — — 50,400 — — ... —

Caledonian Railway Company (Écosse).

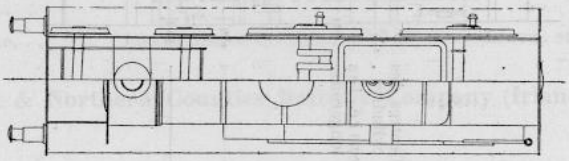
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

160 livres par pouce carré.

B. — 4.

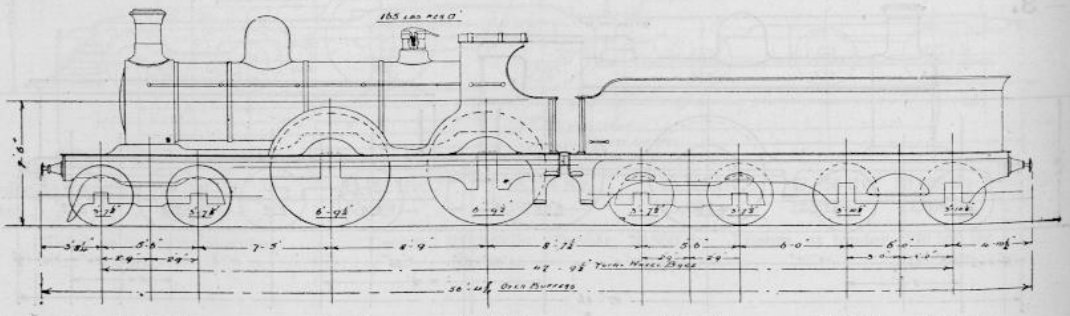


Total en ordre de marche . . . . . Locom., 103,040 liv. Tender, 69,440 liv. Locom. et tender, 172,480 liv.
— à vide . . . . . — ... — — ... — — ... —



East Indian Railway Company.

B. — 5.



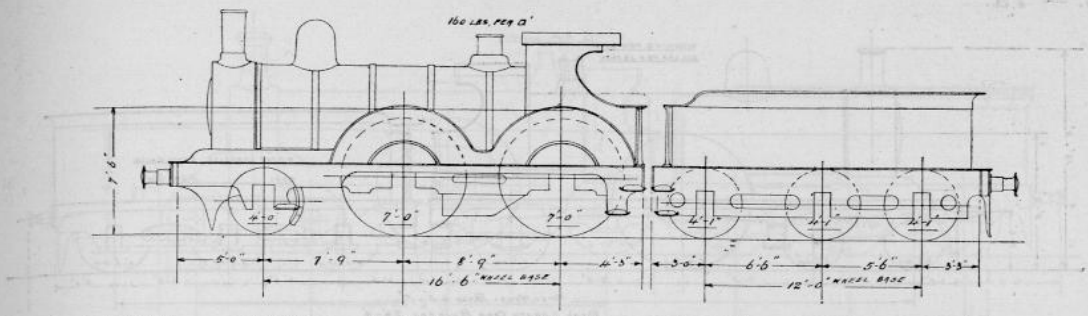
En ordre de marche .	31,808 liv.	36,960 liv.	32,144 liv.	44,800 liv.	19,936 liv.	20,272 liv.
vide	...	... —	... —	... —	... —	... —

Total en ordre de marche . . Locom., 100,912 liv. Tender, 85,008 liv. Locom. et tender, 185,920 liv.
— à vide . . . . . — ... — — ... — — ... —

Glasgow & South Western Railway Company (Écosse).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — 6.

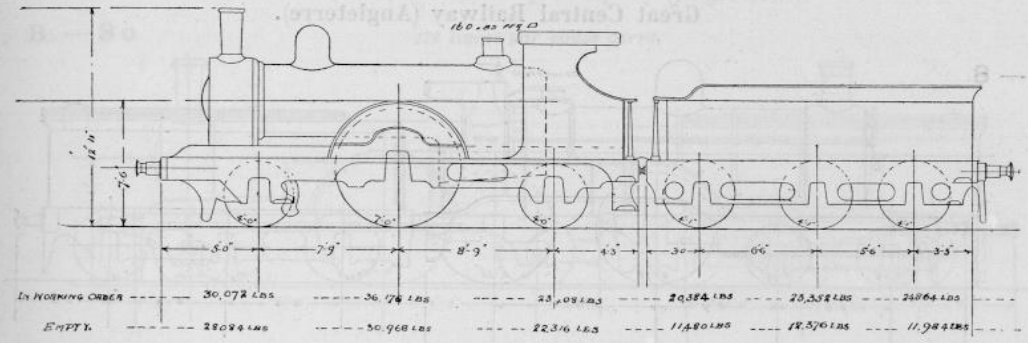


En ordre de marche . .	32,312 liv.	31,472 liv.	30,324 liv.	20,384 liv.	23,352 liv.	24,864 liv.
A vide	29,176 —	29,652 —	28,392 —	11,480 —	12,376 —	11,984 —

Total en ordre de marche . . Locom., 94,108 liv. Tender, 68,600 liv. Locom. et tender, 162,708 liv.
— à vide . . . . . — 87,220 — — 35,840 — — 123,060 —

Great Eastern Railway Company (Angleterre).

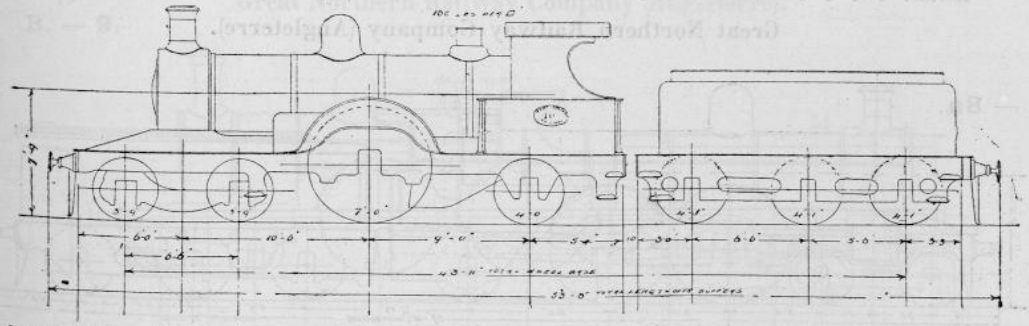
B. — 6a.



Total en ordre de marche . . Locom., 89,656 liv. Tender, 68,600 liv. Locom. et tender 158,256 liv.
— à vide. . . . . — 81,368 — — 35,840 — — 117,208 —

Great Eastern Railway Company (Angleterre).

B. — 6b.



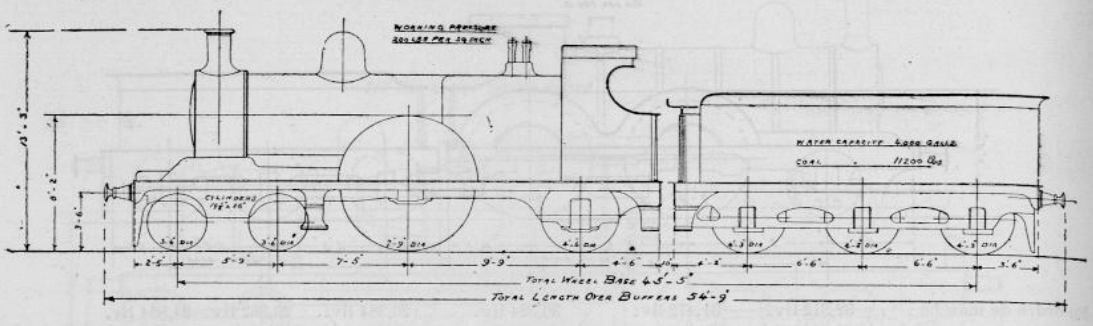
En ordre de marche.	34,272 liv.	42,560 liv.	31,808 liv.	24,976 liv.	26,880 liv.	28,448 liv.
A vide	32,256 —	40,320 —	28,000 —	14,616 —	14,616 —	13,860 —

Total en ordre de marche. . . . . Locom., 108,640 liv. Tender, 80,304 liv. Locom. et tender 188,944 liv.
— à vide . . . . . — 100,576 — — 43,092 — — 142,668 —

Great Eastern Railway Company (Angleterre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — 7a.



Poids à charge. 18,368 liv. 18,144 liv. 41,104 liv. 28,224 liv. 31,248 liv. 30,016 liv. 33,376 liv.

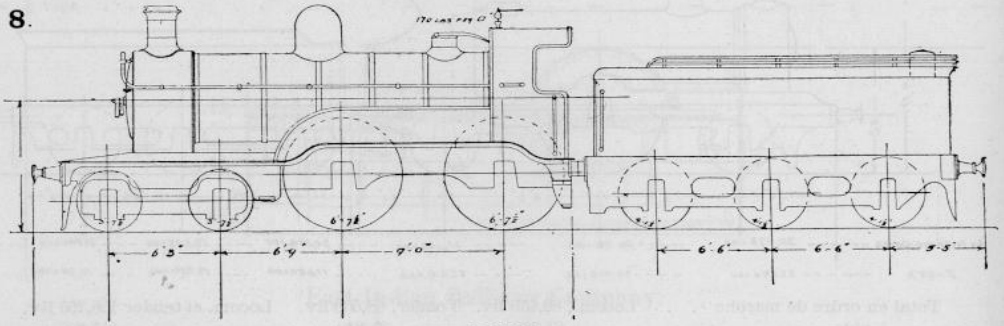
36,512 liv.

Poids total . . . . Locom. 105,840 liv. Tender. . 94,640 liv. Locom. et tender . 200,480 liv.
Surface de chauffe . Tubes . 1,062 pieds car. Boite à feu 132 pieds car. Total . . . . . 1,194 pieds car.

Surface de grille, 24.8 pieds carrés.

Great Central Railway (Angleterre).

B. — 8.

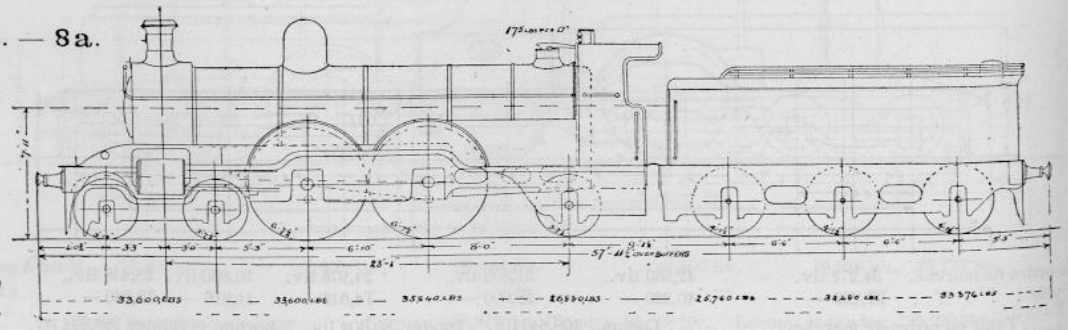


En ordre de marche. 36,736 liv. 38,080 liv. 31,136 liv.
A vide . . . . — ... — ... —

Total en ordre de marche . . . . Locom., 105,952 liv. Tender, ... liv. Locom. et tender, ... liv.
A vide. . . . . — ... — — ... — — — ... —

Great Northern Railway Company (Angleterre).

B. — 8a.



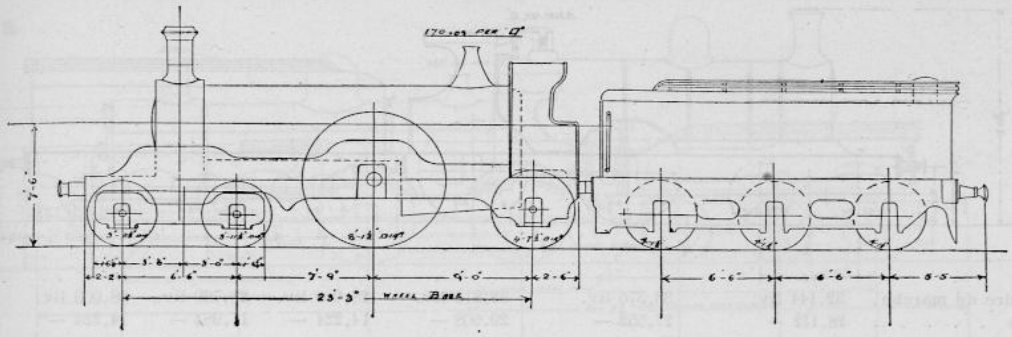
En ordre de marche .
A vide . .

Total en ordre de marche. . . . Locom., 129,920 liv. Tender, 91,616 liv. Locom. et tender, 221,536 liv.
— à vide . . . . . — ... — — ... — — — ... —

Great Northern Railway Company (Angleterre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — 8 b.



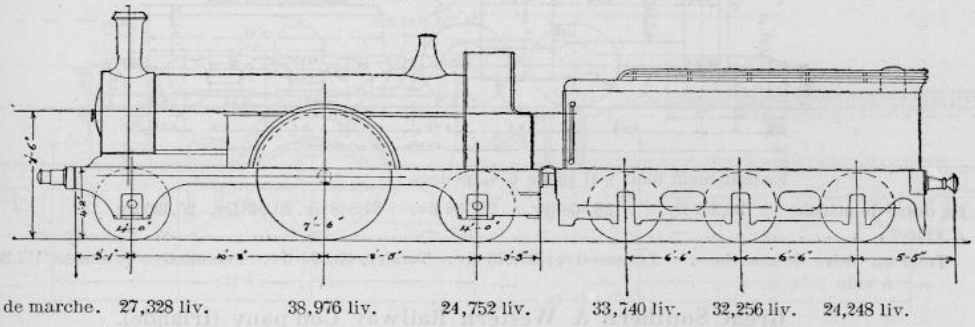
En ordre de marche.	44,128 liv.	40,320 liv.	25,312 liv.
A vide	...	...	...

Total en ordre de marche . . . Locom , 100,760 liv. Tender, 93,464 liv. Locom. et tender, 203,224 liv.
— à vide . . . . . — ... — — ... — — ... —

Great Northern Railway Company (Angleterre).

B. — 8 c

170 livres par pouce carré.

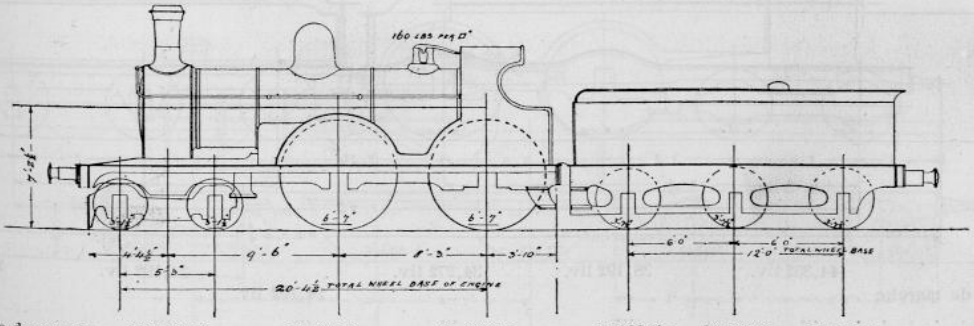


En ordre de marche.	27,328 liv.	38,976 liv.	24,752 liv.	33,740 liv.	32,256 liv.	24,248 liv.
A vide	... —	... —	... —	... —	... —	... —

Total en ordre de marche . . . Locom., 91,056 liv. Tender, 90,244 liv. Locom. et tender, 181,300 liv.
— à vide . . . . . — ... — — ... — ... ... —

Great Northern Railway Company (Angleterre).

B. — 9.



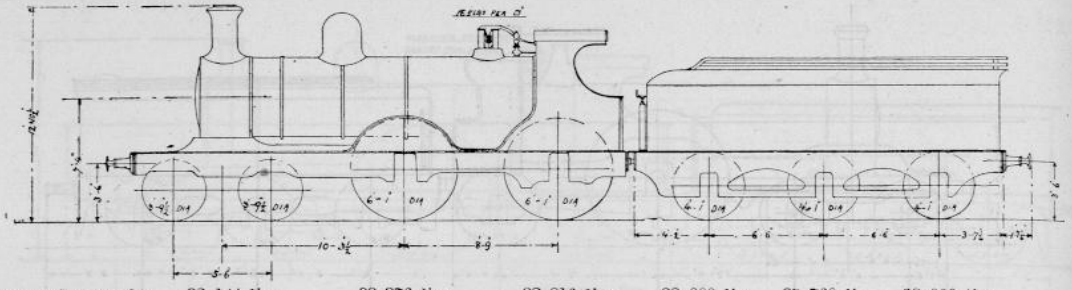
En ordre de marche .	29,680 liv.	33,040 liv.	31,360 liv.	18,032 liv.	20,720 liv.	21,504 liv.
A vide	...	...	...	10,584 —	9,968 —	10,360 —

Total en ordre de marche . . . Locom., 94,080 liv. Tender, 60,256 liv. Locom. et tender, 154,336 liv.
— à vide . . . . . — ... — — 30,912 — — ... —

Great Northern Railway Company (Irlande).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — 10.

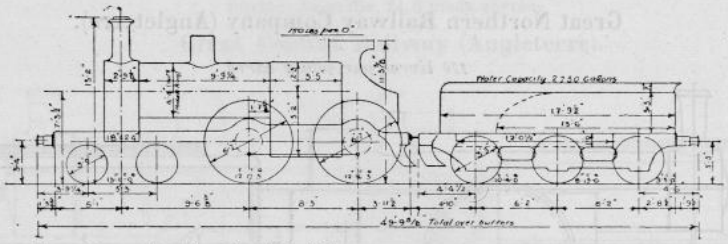


En ordre de marche.	32,144 liv.	33,376 liv.	32,816 liv.	28,000 liv.	25,760 liv.	28,000 liv.
A vide	28,112 —	27,552 —	29,008 —	14,224 —	11,984 —	14,224 —

Total en ordre de marche. . . Locom., 98,336 liv. Tender, 81,760 liv. Locom. et tender, 180,096 liv.
— à vide . . . . . — 84,672 — — 40,432 — — — 125,104 —

Great Northern Railway Company (Écosse).

B. — 11.



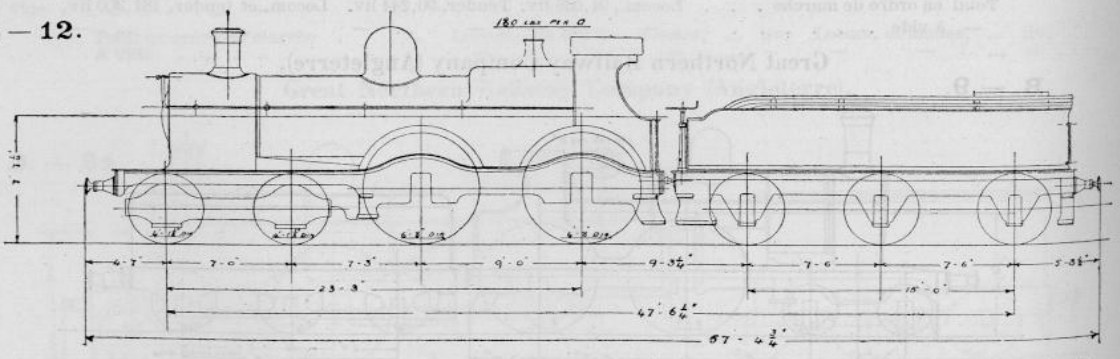
Empattement total : 41 pieds 6 3/8 pouces.

En ordre de marche .	30,352 liv.	28,868 liv.	28,756 liv.	22,848 liv.	20,048 liv.	20,496 liv.
A vide	... —	... —	... —	... —	...	... —

Total en ordre de marche . Locomotive, 87,976 liv. Tender, 63,392 liv. Locomotive et tender, 151,368 liv.
— à vide . . . . . — ... — — ... — — — ... —

Great Southern & Western Railway Company (Irlande).

B. — 12.



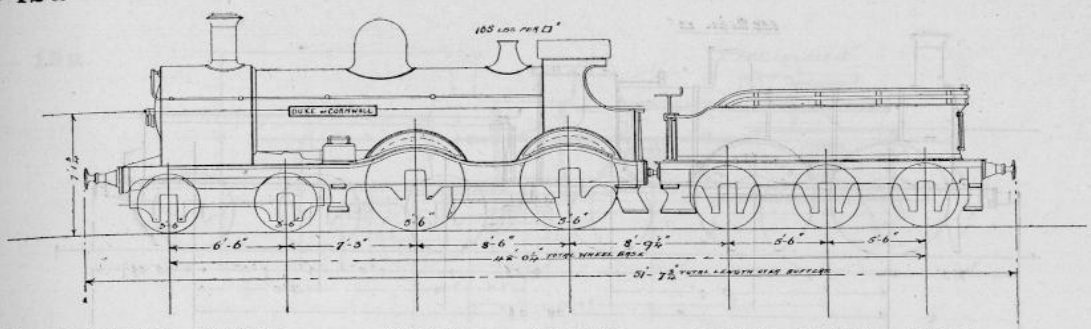
	44,352 liv.	38,192 liv.	34,272 liv.		24,192 liv.	24,416 liv.
En ordre de marche .	...	...	...	24,192 liv.	...	...
A vide	...	...	...	...	...	...

Total en ordre de marche. . . Locom., 116,816 liv. Tender, 72,800 liv. Locom. et tender, 189,616 liv.
— à vide. . . . . — ... — — ... — — ... —

Great Western Railway Company (Angleterre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B — 12 a.

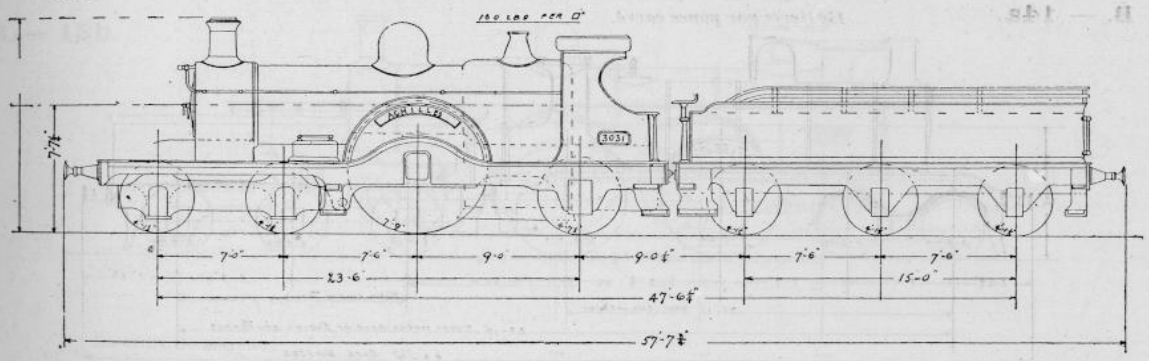


En ordre de marche	39,200 liv.	34,384 liv.	29,456 liv.	17,920 liv.	17,920 liv.	17,920 liv.
A vide.	... —	... —	... —	... —	... —	... —

Total en ordre de marche . . . Locom., 103,040 liv. Tender, 53,760 liv. Locom. et tender, 156,800 liv.
— à vide. . . . . — ... — — ... — — — ... —

Great Western Railway Company (Angleterre).

B. — 12 b.

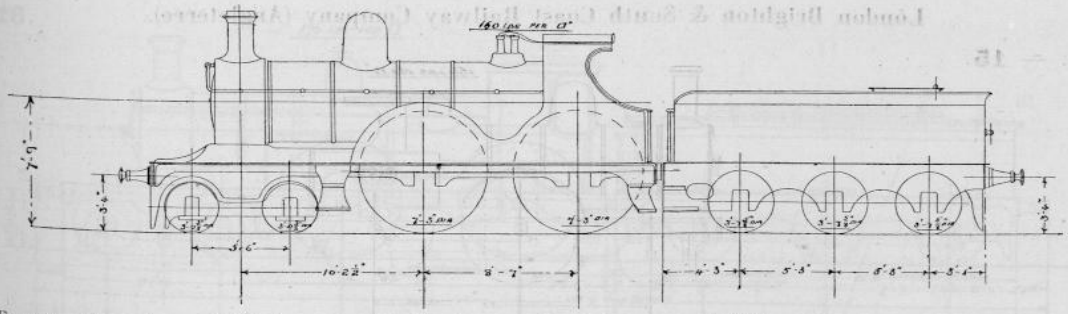


En ordre de marche.	40,320 liv.	40,320 liv.	29,120 liv.	24,192 liv.	24,192 liv.	24,416 liv.

Total en ordre de marche. . . Locom., 109,760 liv. Tender, 72,800 liv. Locom. et tender, 182,560 liv.

Great Western Railway Company (Angleterre).

B. — 13.



En ordre de marche.	30,912 liv.	36,960 liv.	32,480 liv.	20,160 liv.	20,160 liv.	18,200 liv.
A vide	28,896 —	33,488 —	30,408 —	10,976 —	10,752 —	11,704 —

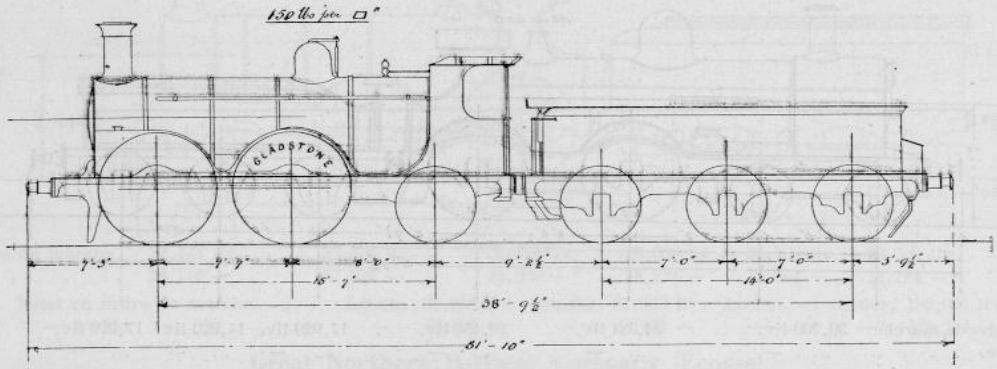
Total en ordre de marche . . Locom., 100,352 liv. Tender, 58,520 liv. Locom. et tender, 158,872 liv.
— à vide . . . . . — 92,792 — — 33,432 — — — 126,224 —

Lancashire & Yorkshire Railway Company (Angleterre).

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

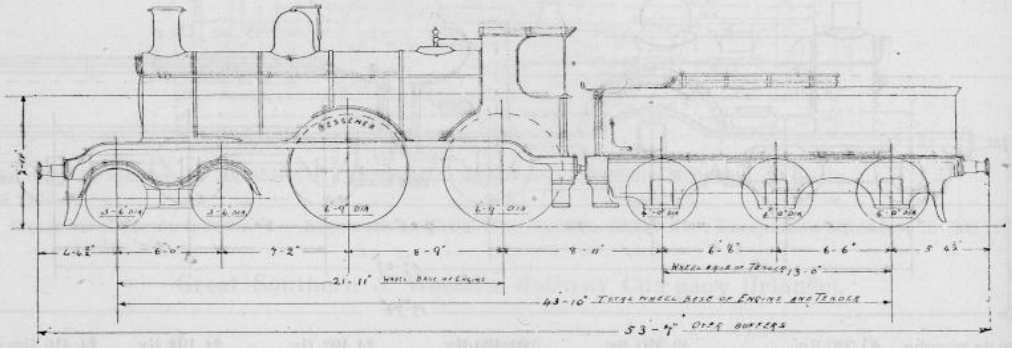
B. — 14.



En ordre de marche 30,912 liv. 32,480 liv. 23,296 liv.
Total en ordre de marche . . . Locom., 86,688 liv. Tender, 65,744 liv. Locom. et tender, 152,432 liv.

London Brighton & South Coast Railway (Angleterre).

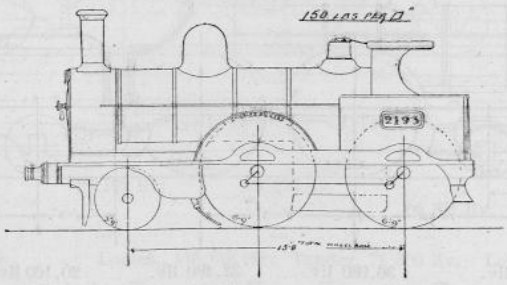
B. — 14a. *150 livres par pouce carré.*



En ordre de marche	31,808 liv.	35,840 liv.	32,480 liv.	25,312 liv.	25,312 liv.	25,312 liv.
A vide.	... —	... —	... —	13,664 —	13,664 —	13,664 —
Total en ordre de marche			Locom., 100,128 liv.	Tender, 75,936 liv.	Locom. et tender, 176,064 liv.	
— à vide			— ... —	— 40,992 —	— ... —	

London Brighton & South Coast Railway Company (Angleterre).

B. — 15.

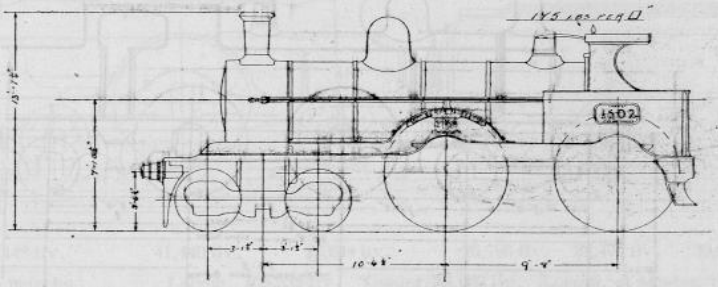


En ordre de marche . . 32,960 liv. 25,760 liv. 24,640 liv.
Total en ordre de marche . . . . Locom., 73,360 liv. Tender, ... Locom. et tender, ...

London & North Western Railway Company (Angleterre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B — 15a.

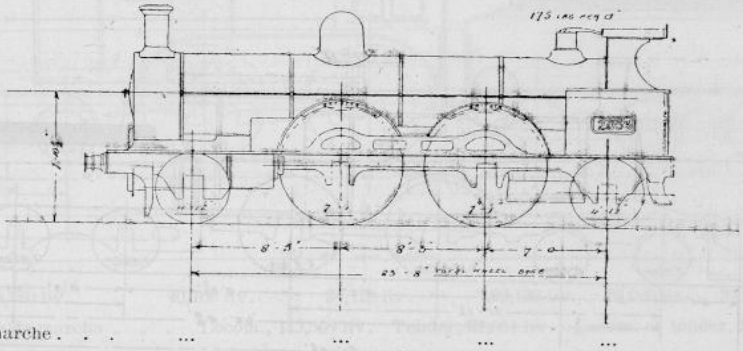


En ordre de marche . . .	44,352 liv.	38,976 liv.	37,408 liv.
A vide	... —	... —	... —

Total en ordre de marche . . . Locom., 120,736 liv. Tender, ... Locom. et tender, ...
— à vide . . . . . — ... — — ... — ...

London & North Western Railway Company (Angleterre).

B — 15b.

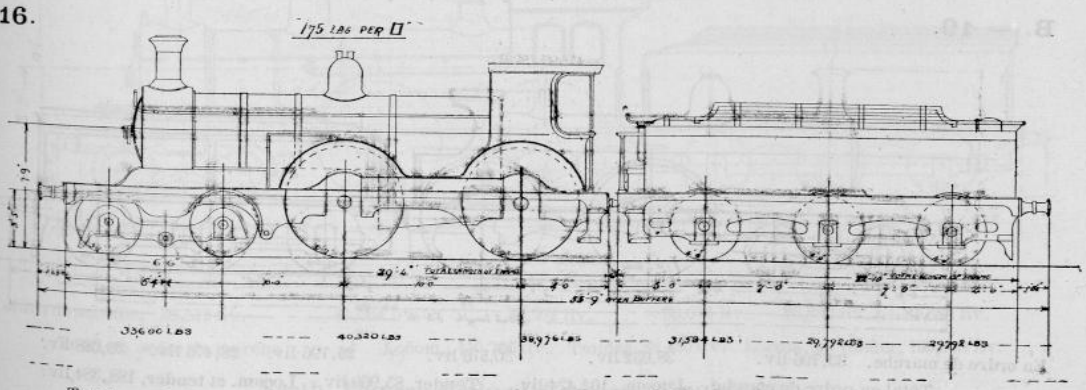


En ordre de marche . . .	...	...	...	...
A vide	...	...	...	...

Total en ordre de marche : Locom., 116,704 liv. Tender, ... Locom. et tender, ...
— à vide . . . . . — ... — — ... — ...

London & North Western Railway Company (Angleterre).

B.— 16.



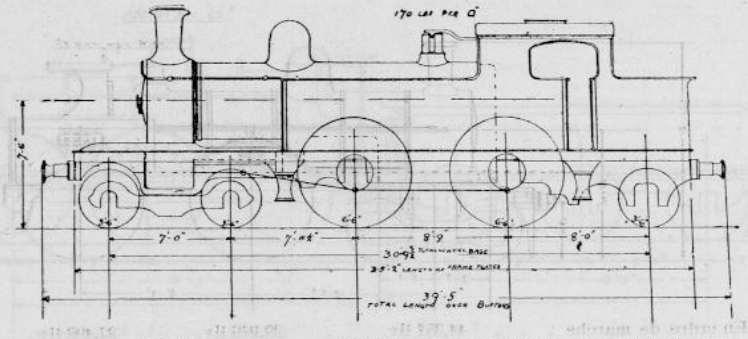
En ordre de marche . .
A vide . .

Total en ordre de marche . . . Locom., 112,896 liv. Tender, 91,168 liv. Locom. et tender, 204,064 liv.
— à vide. . . . . — ... — ... —

London & South Western Railway Company (Angleterre).

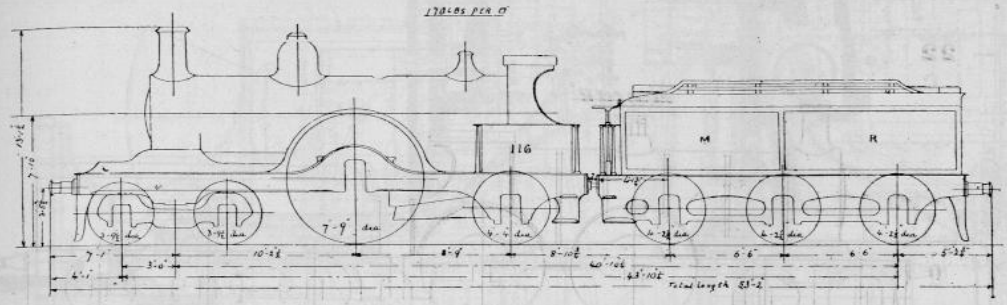
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — 17.



En ordre de marche. - - -

B — 19a.

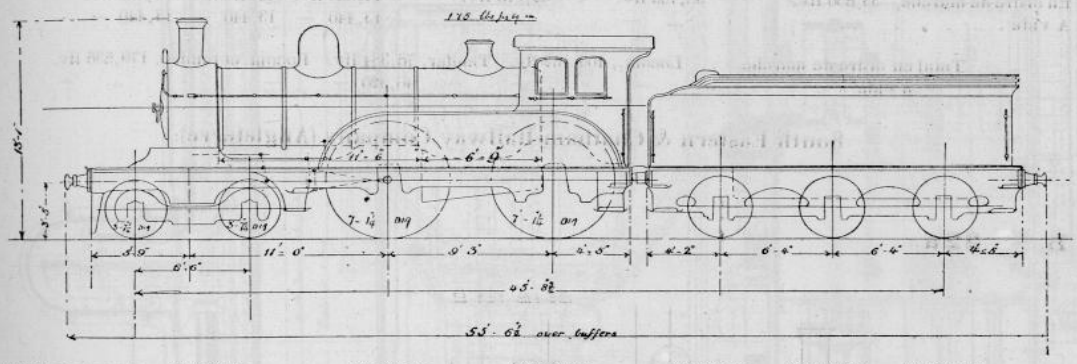


En ordre de marche, 35,448 liv. 41,440 liv. 28,644 liv. 26,796 liv. 28,476 liv. 30,688 liv.

Total en ordre de marche . . . Locom., 105,532 liv. Tender, 85,960 liv. Locom. et tender, 191,492 liv.

Midland Railway Company (Angleterre).

B. — 20.

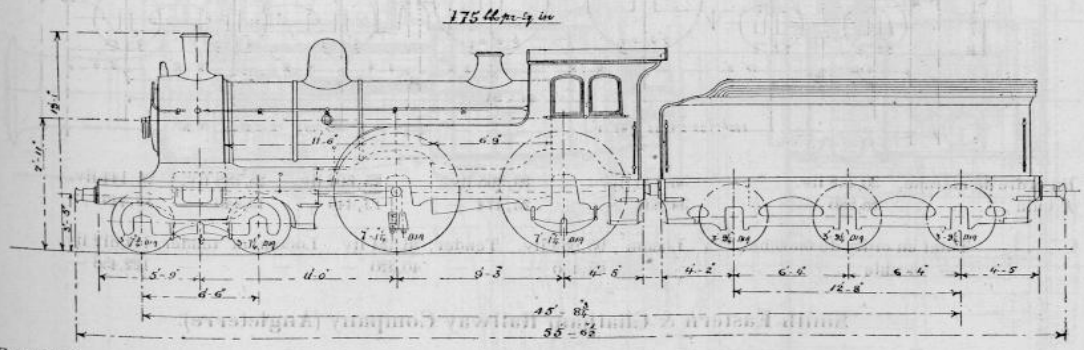


En ordre de marche, 38,080 liv. 40,768 liv. 34,720 liv. 29,120 liv. 28,000 liv. 34,944 liv.

Total en ordre de marche . . . Locom., 113,568 liv. Tender, 92,064 liv. Locom. et tender, 205,632 liv.

North Eastern Railway Company (Angleterre).

B. — 20a.



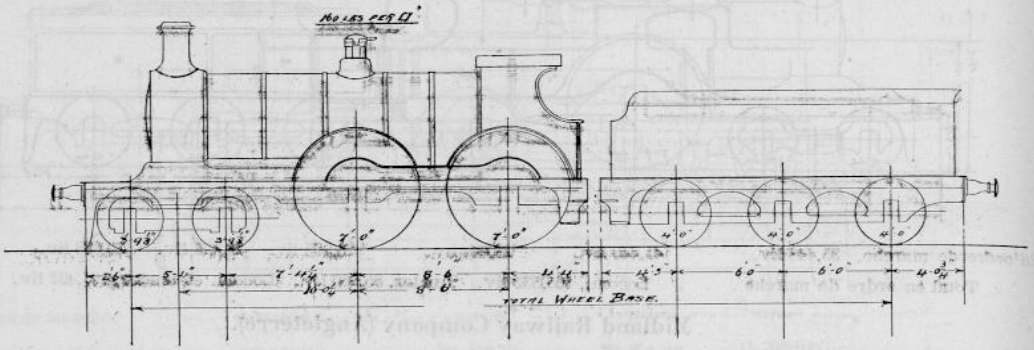
En ordre de marche, 36,512 liv. 41,664 liv. 32,592 liv. 30,016 liv. 26,880 liv. 31,584 liv.

Total en ordre de marche . . Locom., 110,768 liv. Tender, 88,480 liv. Locom. et tender, 199,248 liv.

North Eastern Railway Company (Angleterre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — 22

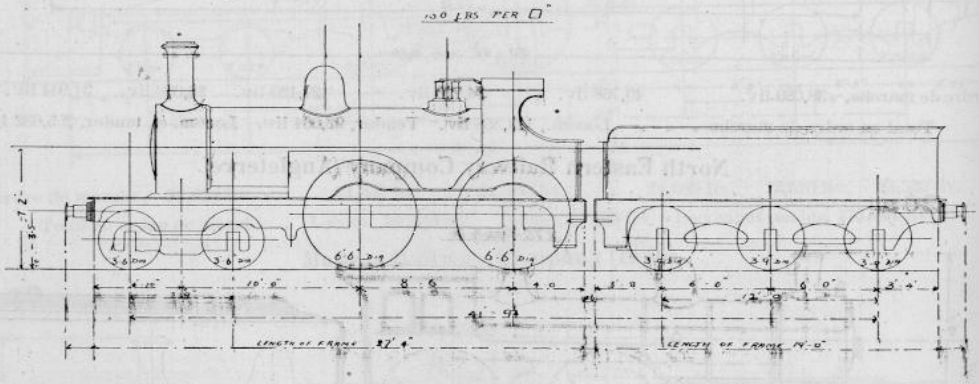


En ordre de marche,	33,600 liv.	36,736 liv.	32,816 liv.	24,080 liv.	24,416 liv.	27,888 liv.
A vide	... —	... —	... —	13,440 —	13,440 —	13,440 —

Total en ordre de marche. .	Locom.,	103,152 liv.	Tender,	76,384 liv.	Locom. et tender,	179,536 liv.
— à vide	—	... —	—	40,320 —	—	... —

South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre).

B. — 22a.



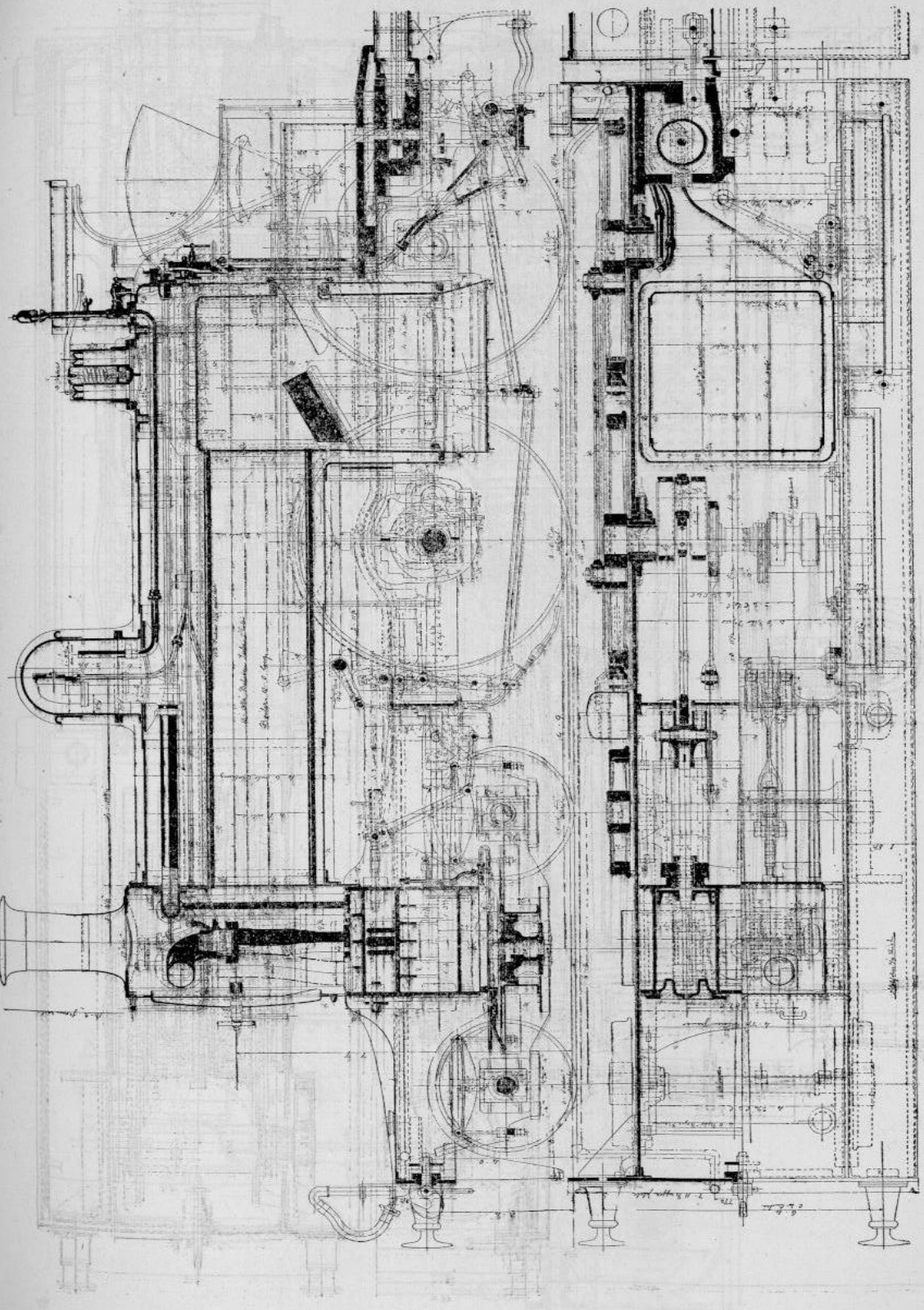
En ordre de marche,	30,352 liv.	35,140 liv.	29,596 liv.	25,592 liv.	25,788 liv.	25,144 liv.
A vide	26,880 —	34,832 —	25,424 —	13,440 —	13,440 —	13,440 —

Total en ordre de marche . .	Locom.,	95,088 liv.	Tender,	76,524 liv.	Locom. et tender,	171,612 liv.
— à vide	—	87,136 —	—	40,320 —	—	122,456 —

South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

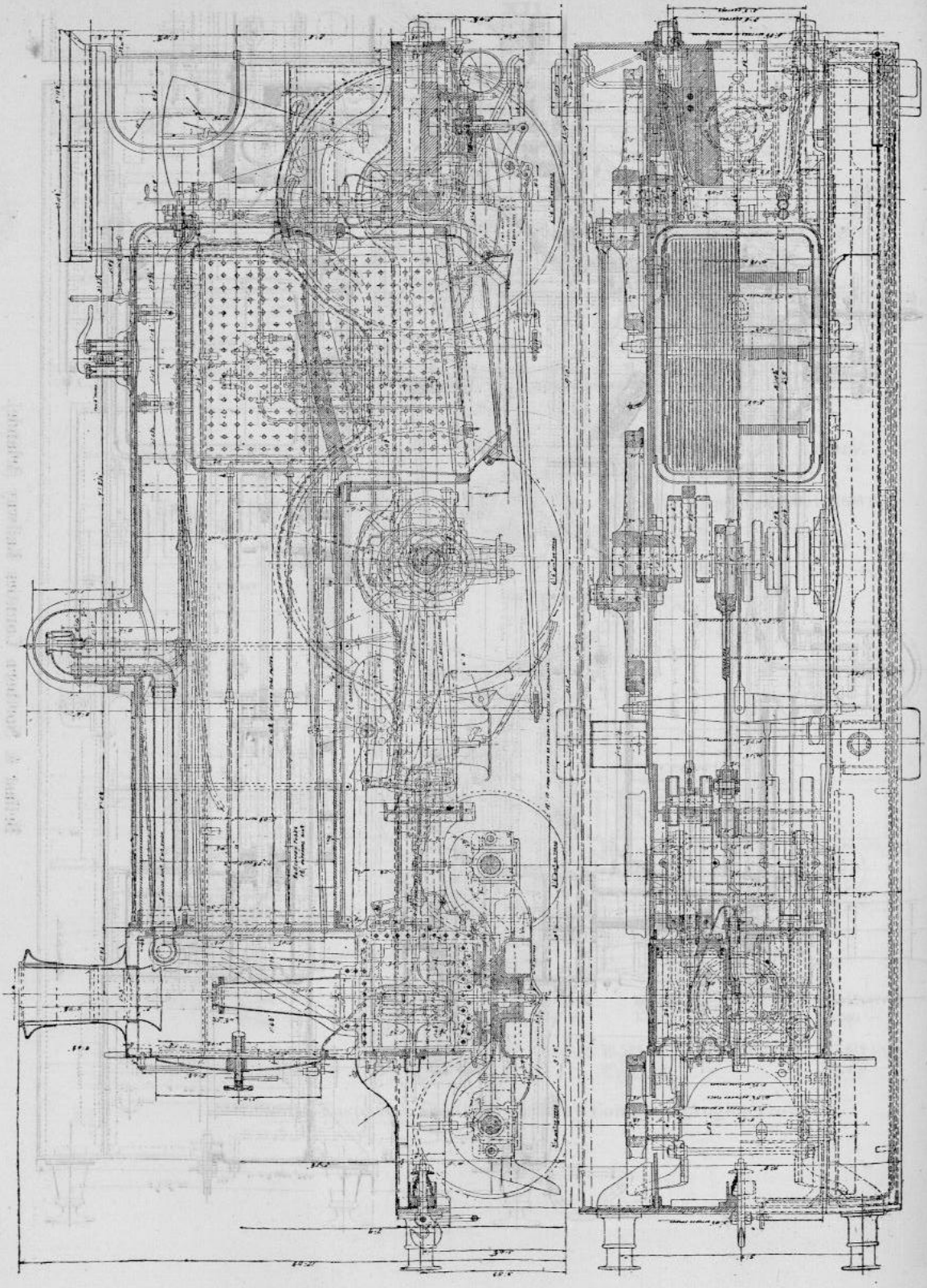
DIAGRAMMES C.



C — 1

Belfast & Northern Counties Railway (Irlande).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

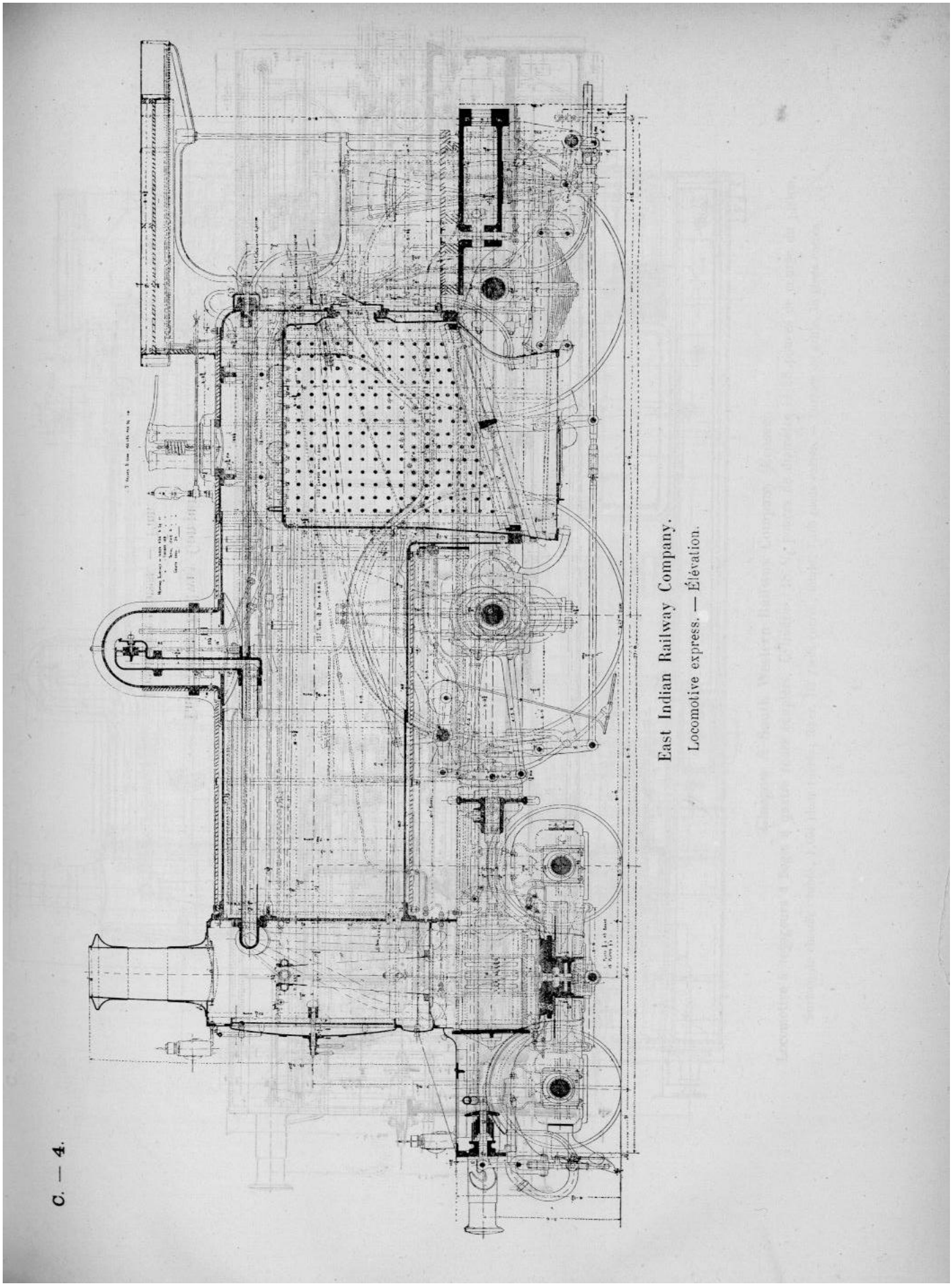


C. — 3.

Caledonian Railway Company (Écosse).

Disposition générale de la locomotive à bogie à voyageurs de 19 × 26 pouces × 6 pieds 6 pouces.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

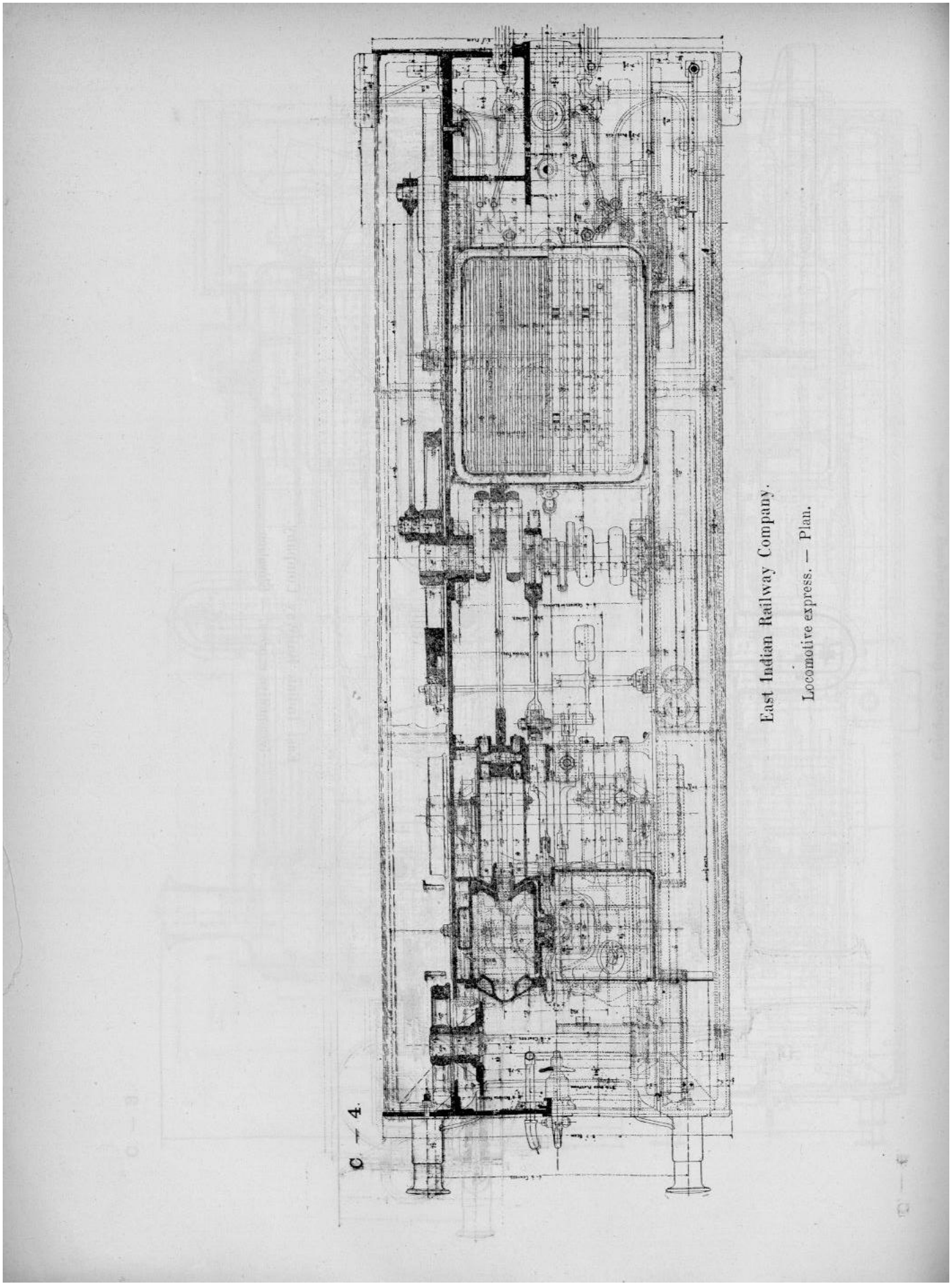


East Indian Railway Company.

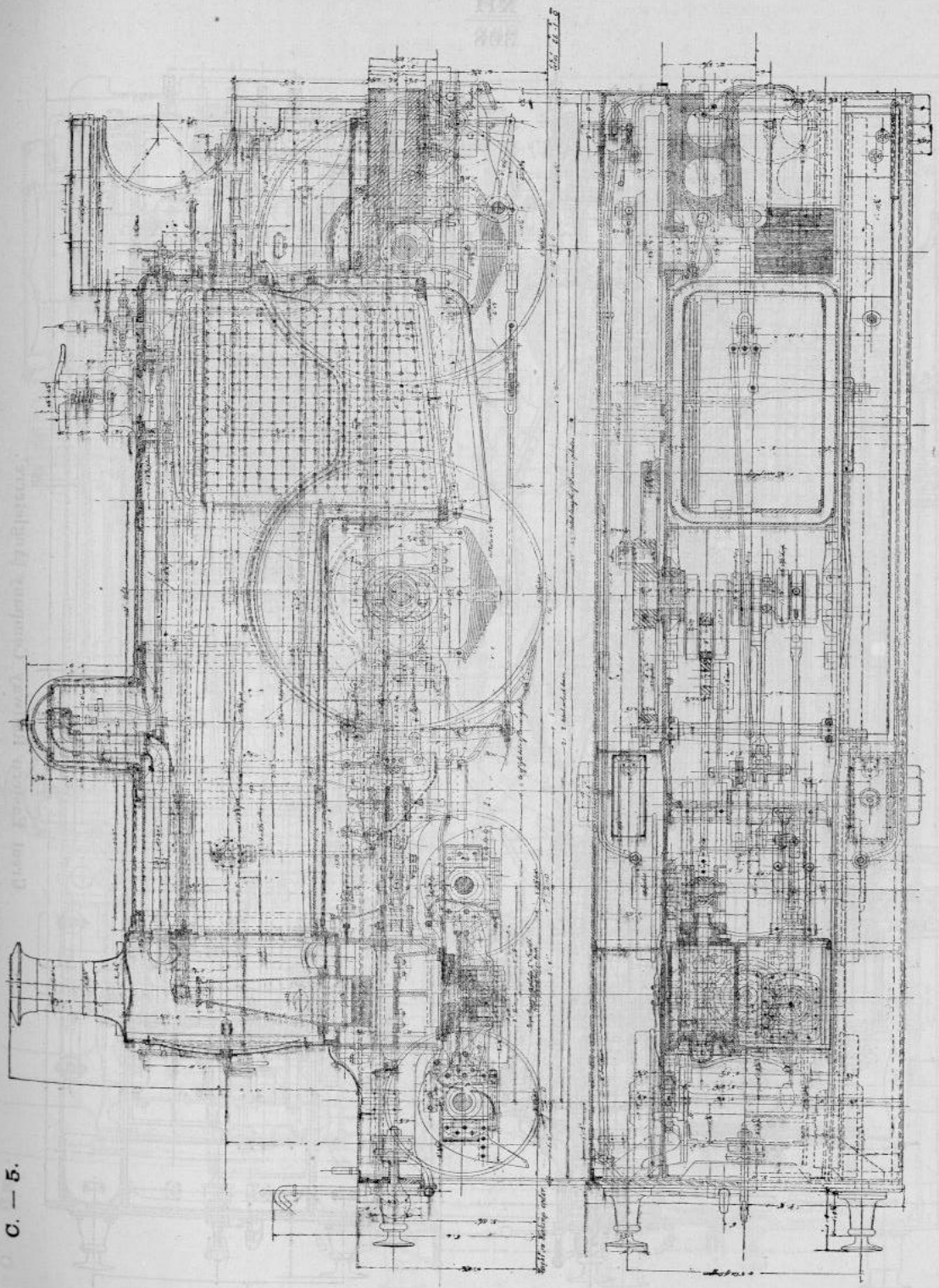
Locomotive express. — Élévation.

C. — 4.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



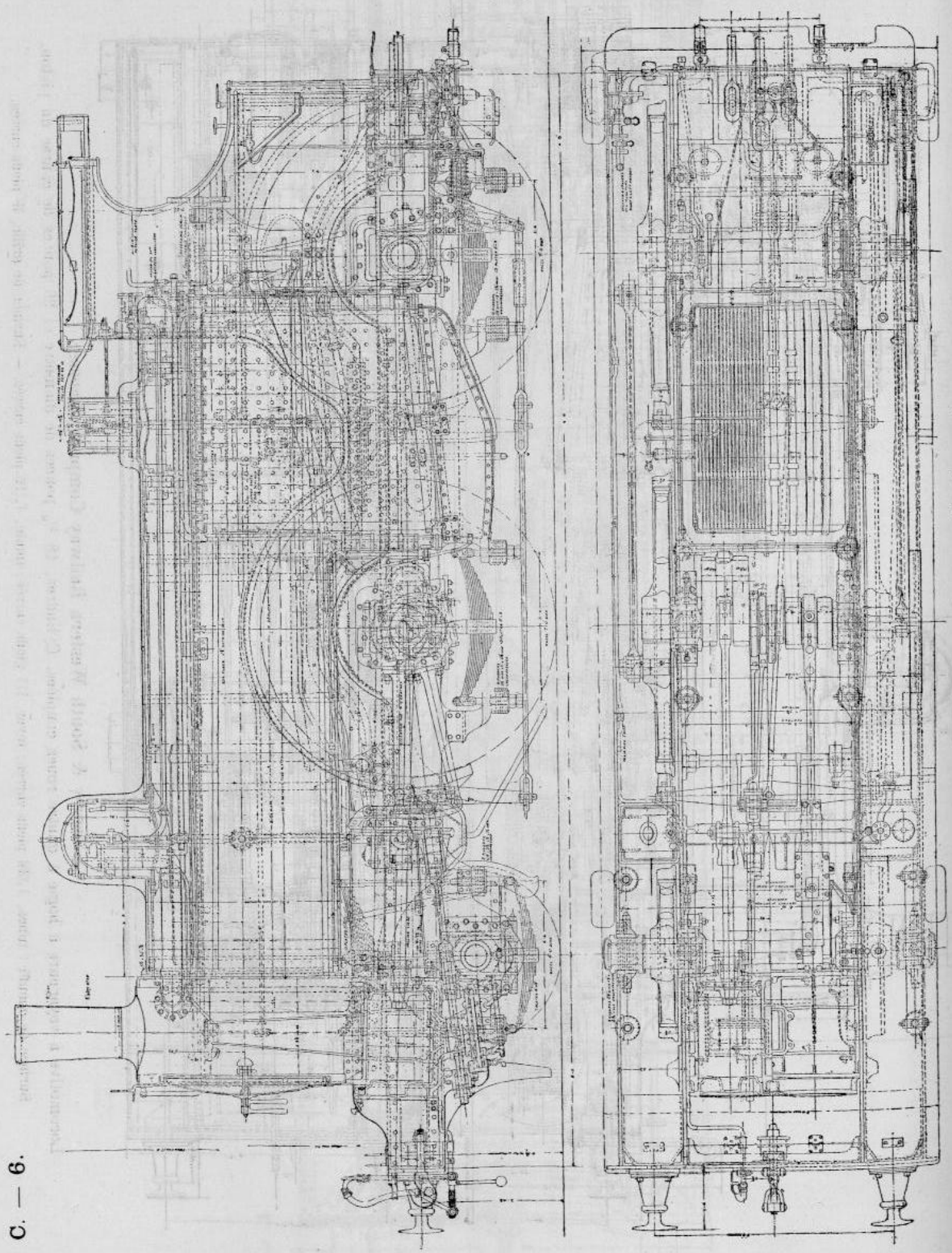
Glasgow & South Western Railway Company (Ecosse).

Locomotive à voyageurs à bogie à quatre roues couplées. Cylindres, 18 1/4 pouces de diamètre et 26 pouces de course du piston.

Surface de chauffe : tubes, 1,604 pieds carrés; foyer, 111 pieds carrés; totale, 1,715 pieds carrés. — Surface de grille, 18 pieds carrés.

C. — 5.

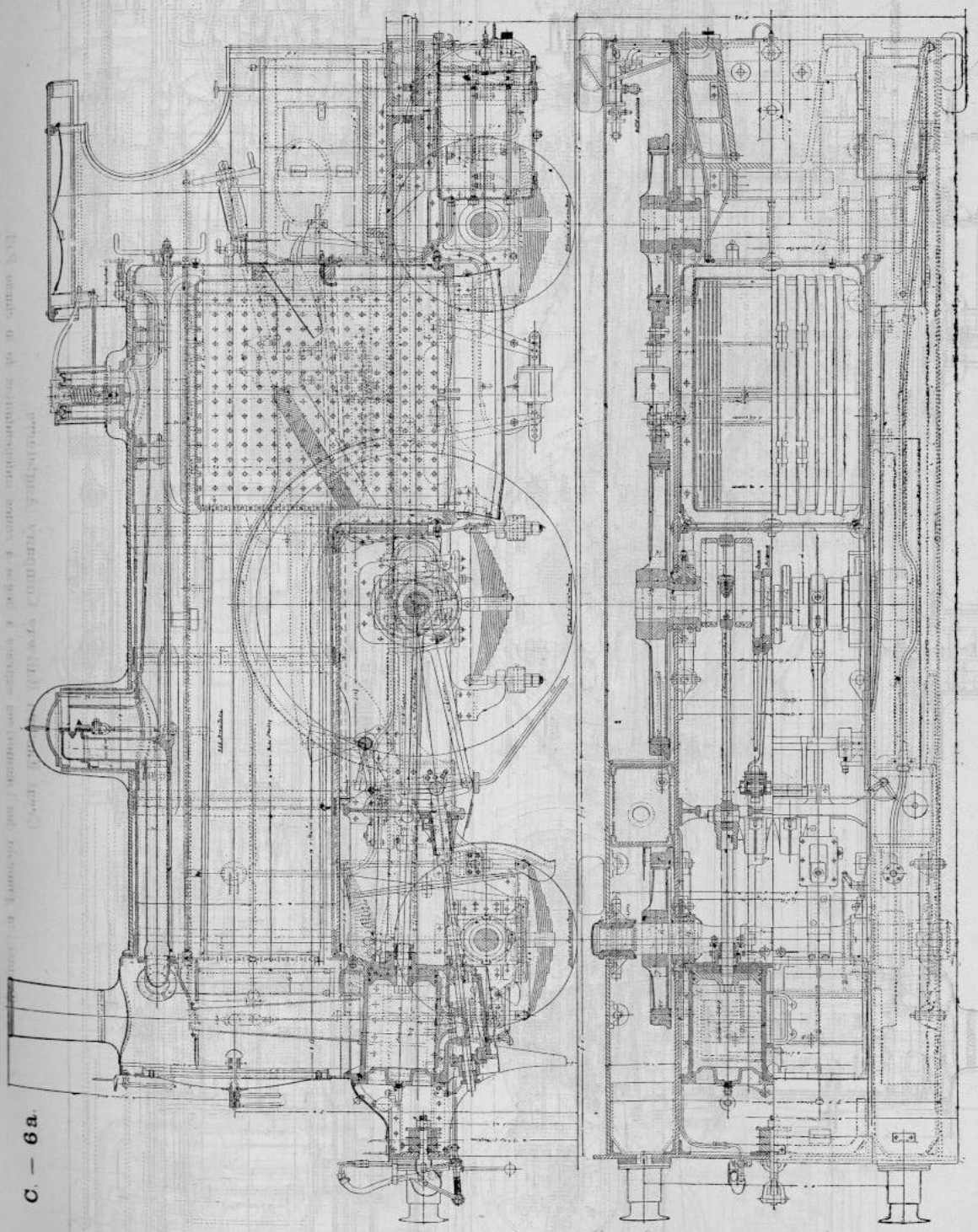
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



C. — 6.

Great Eastern Railway Company (Angleterre).
Disposition générale de la locomotive express à quatre roues couplées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



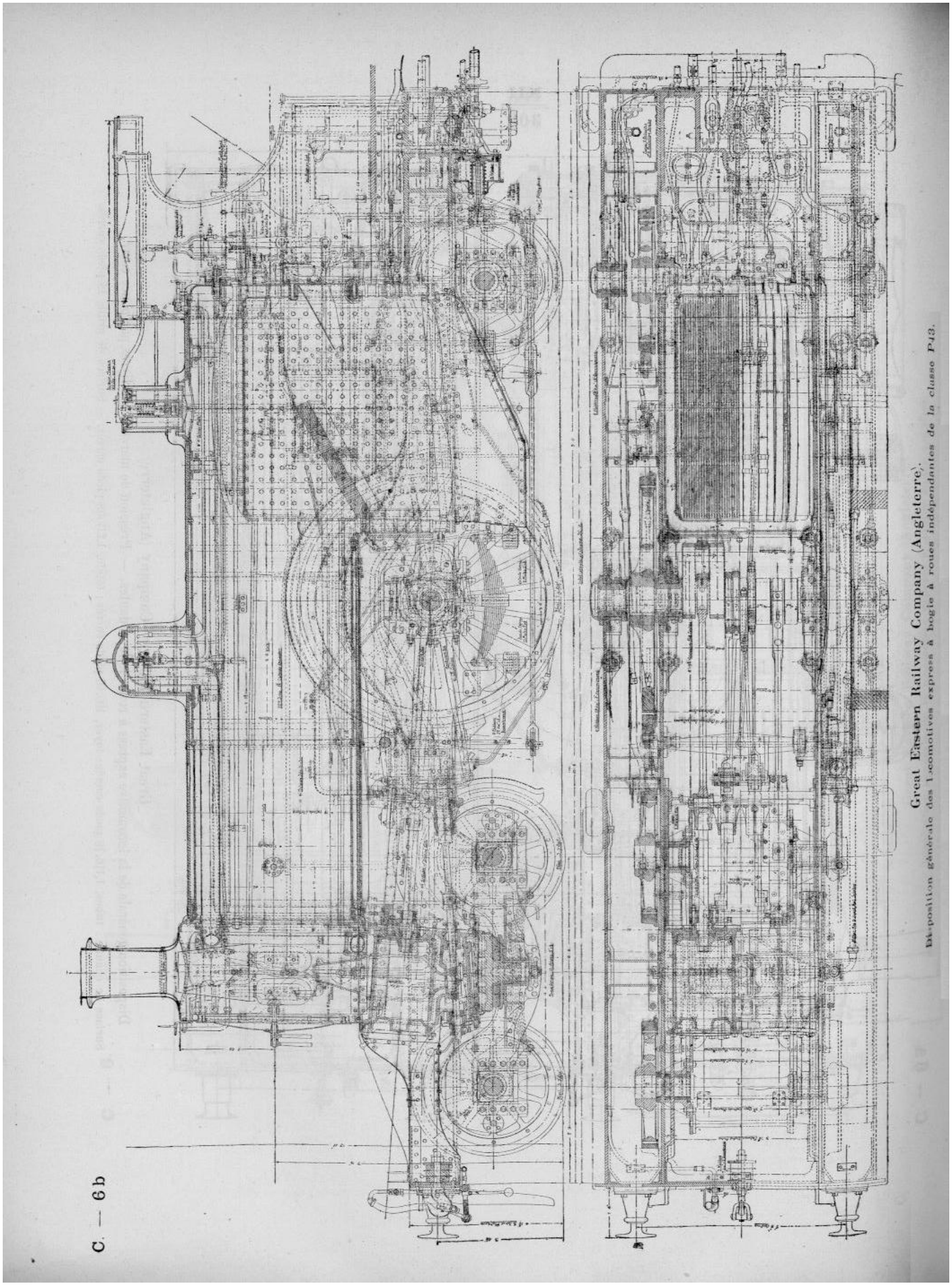
C. — 6 a.

Great Eastern Railway Company (Angleterre).

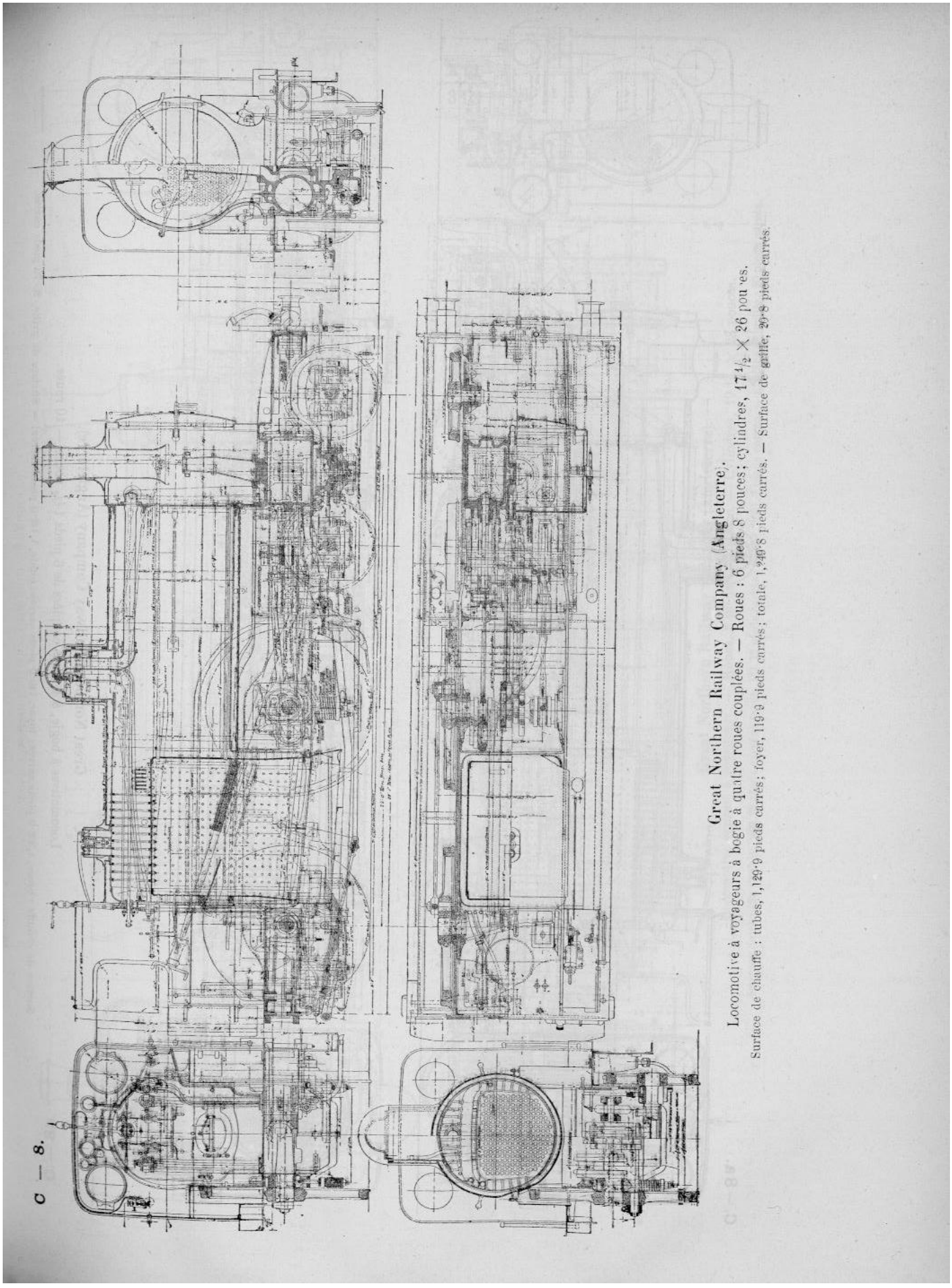
Disposition générale de la locomotive express à roues indépendantes. — Pression de marche, 160 livres par pouce carré.

Surface de chauffe : tubes, 1,116.18 pieds carrés; foyer, 100.90 pieds carrés ; totale, 1,217.08 pieds carrés. — Surface de grille, 18 pieds carrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



C — 8.

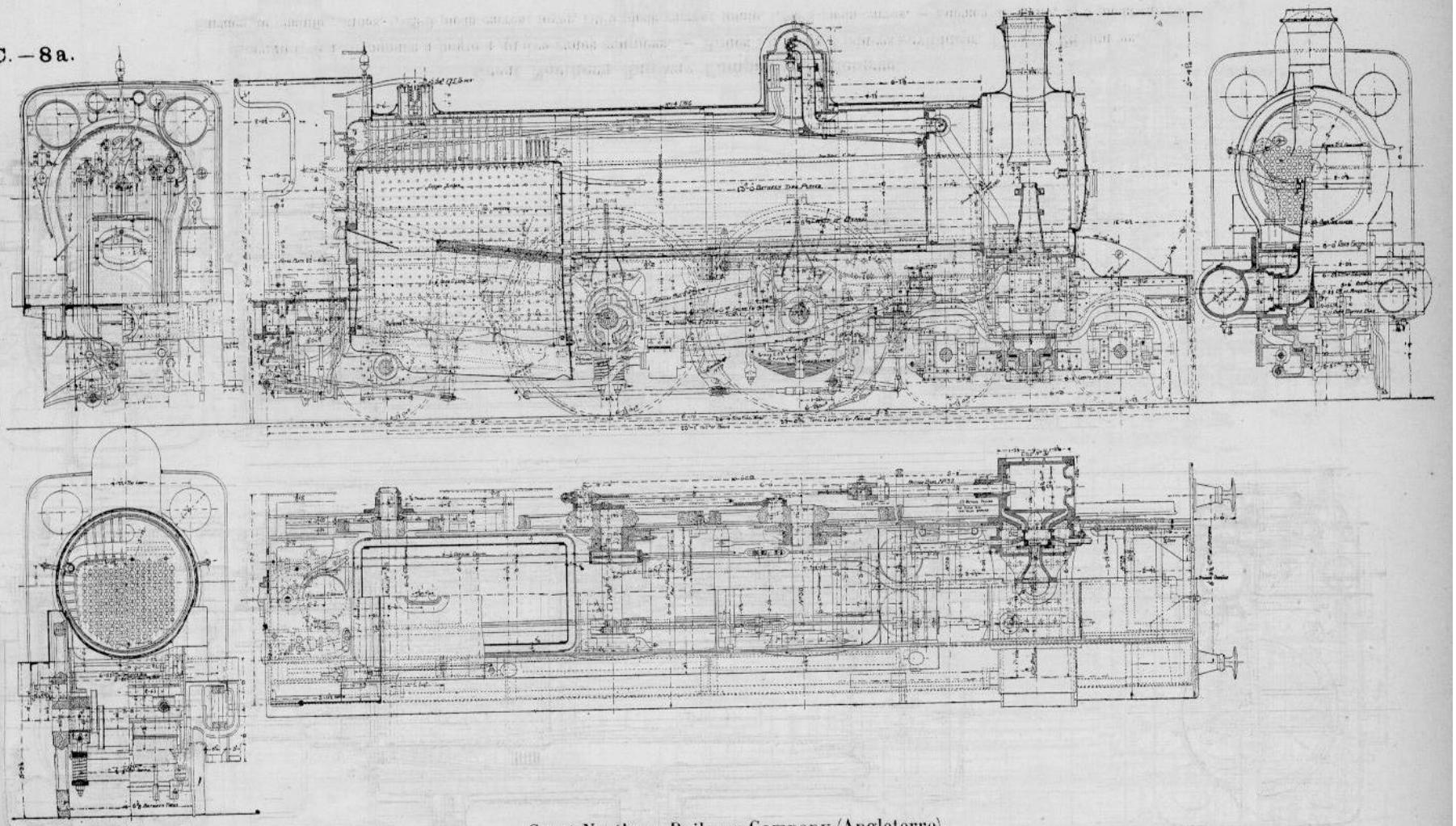
Great Northern Railway Company (Angleterre).

Locomotive à voyageurs à bogie à quatre roues couplées. — Roues : 6 pieds 8 pouces; cylindres, 17 1/2 × 26 pouces.

Surface de chauffe : tubes, 1,129·9 pieds carrés; foyer, 119·9 pieds carrés; totale, 1,249·8 pieds carrés. — Surface de grille, 20·8 pieds carrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C. — 8a.



Great Northern Railway Company (Angleterre).

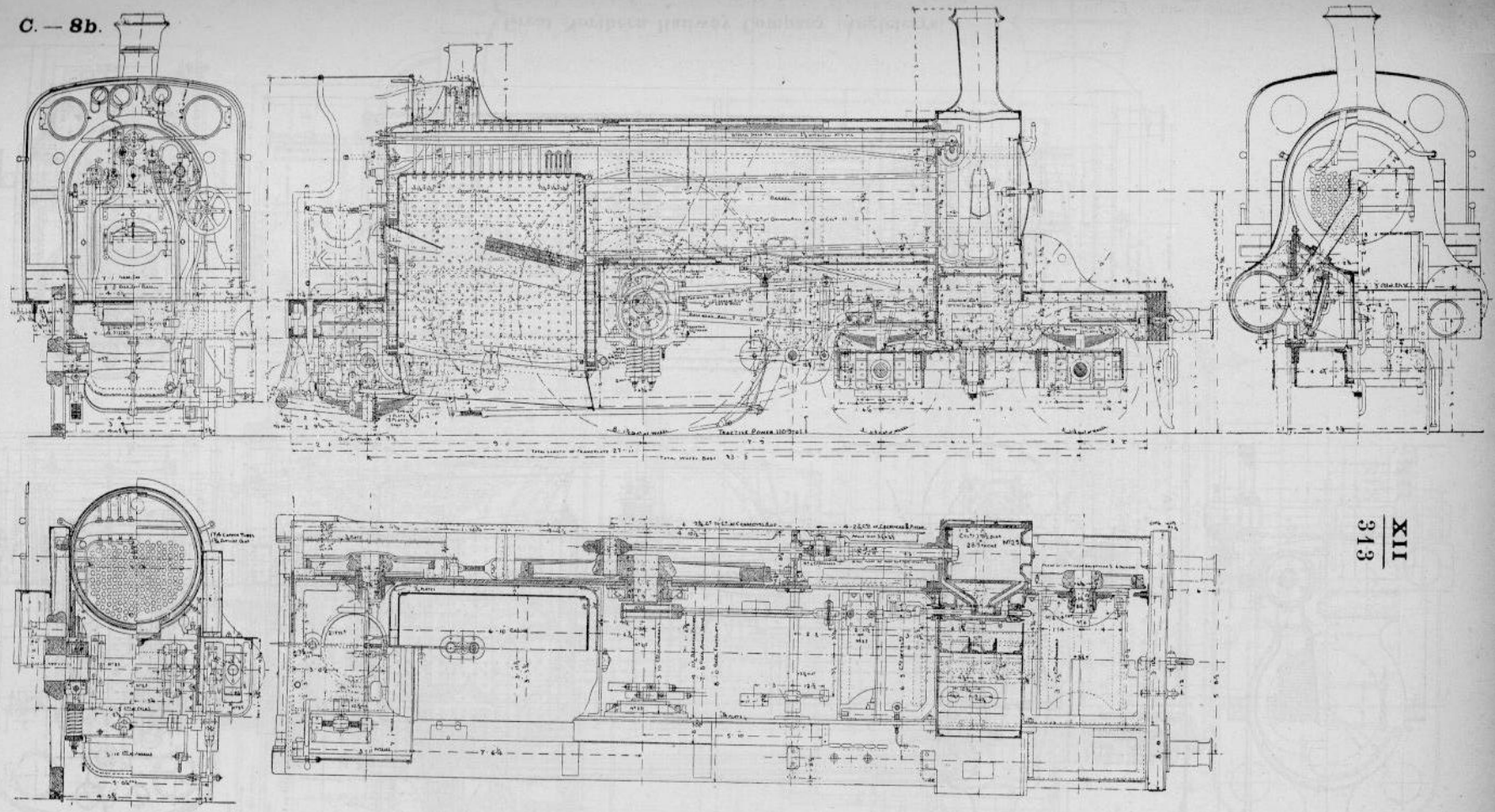
Locomotives à bogie, à 4 roues couplées de 6 pieds 1 1/2 pouce — 10 roues.

Surface de chauffe : tubes, 1,302·0 pieds carrés; foyer, 140·0 pieds carrés; totale, 1,442·0 pieds carrés. — Surface de grille, 26·79 pieds carrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C. — 8b.

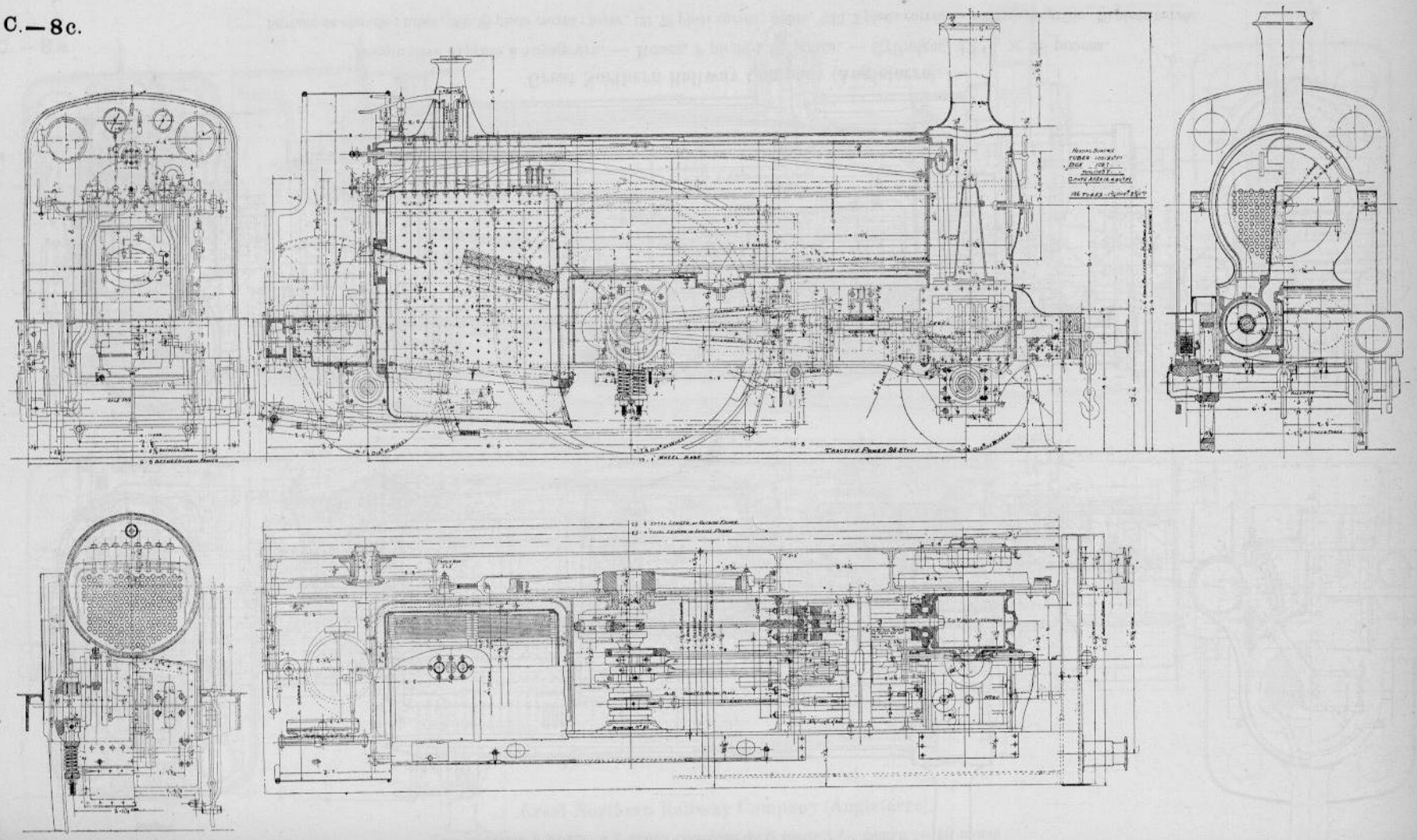


Great Northern Railway Company (Angleterre).

Locomotive express à voyageurs. — Roues, 8 pieds 1 $^1/_2$ pouce. — Cylindres, 19 $^1/_2$ × 28 pouces.

Surface de chauffe : tubes, 909.98 pieds carrés ; foyer, 121.72 pieds carrés ; totale, 1031.7 pieds carrés. — Surface de grille, 20 pieds carrés.

C. — 8 c.



Great Northern Railway Company (Angleterre)

Locomotive express à voyageurs à roues motrices de 7 pieds 6 pouces. — Cylindres, 18 1/2 pouces de diamètre; course du piston, 26 pouces.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

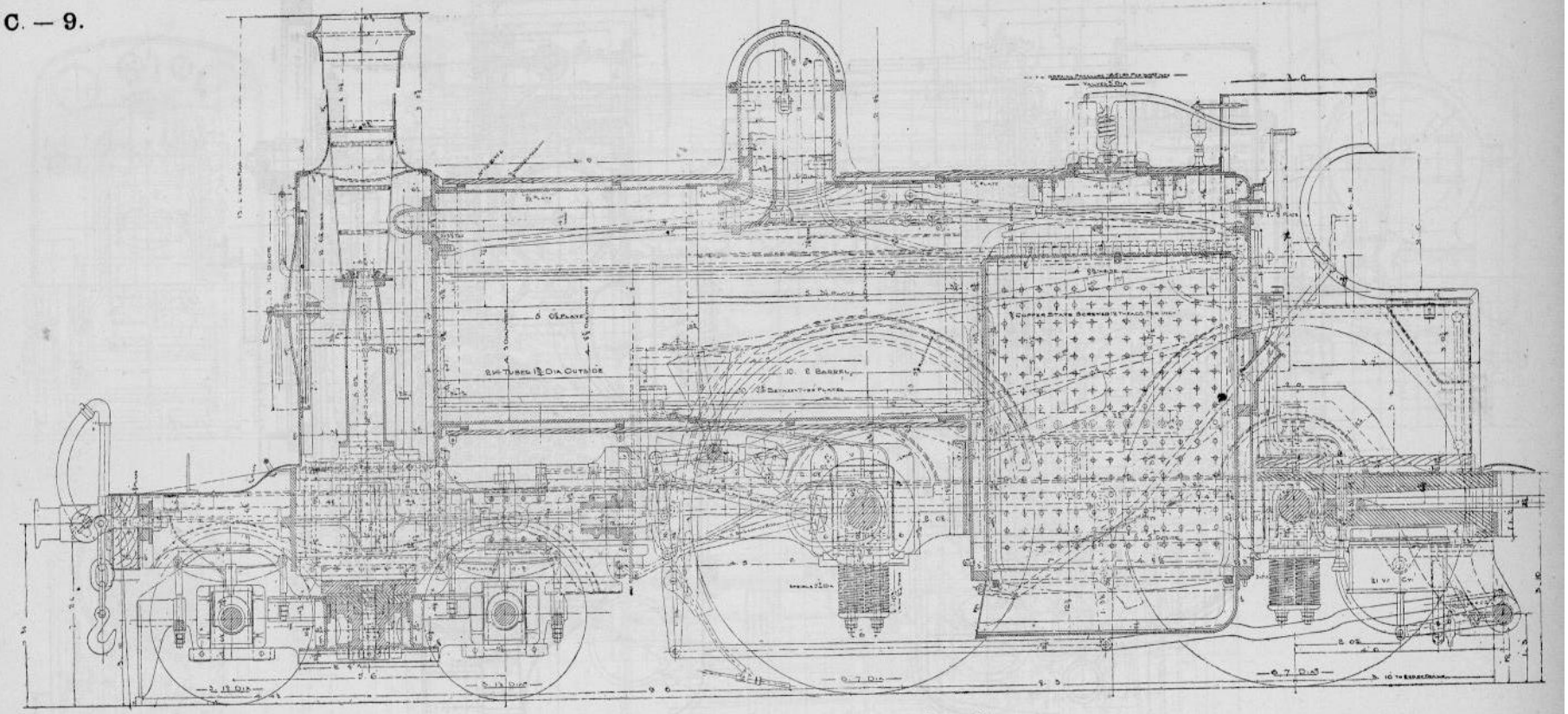
Great Northern Railway Company (Irlande).

Sections transversales. — Locomotive à voyageurs à bogie, à quatre roues couplées. — Cylindres, 18 1/2 × 24 pouces; roues, 6 pieds 7 pouces.

C. — 9.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

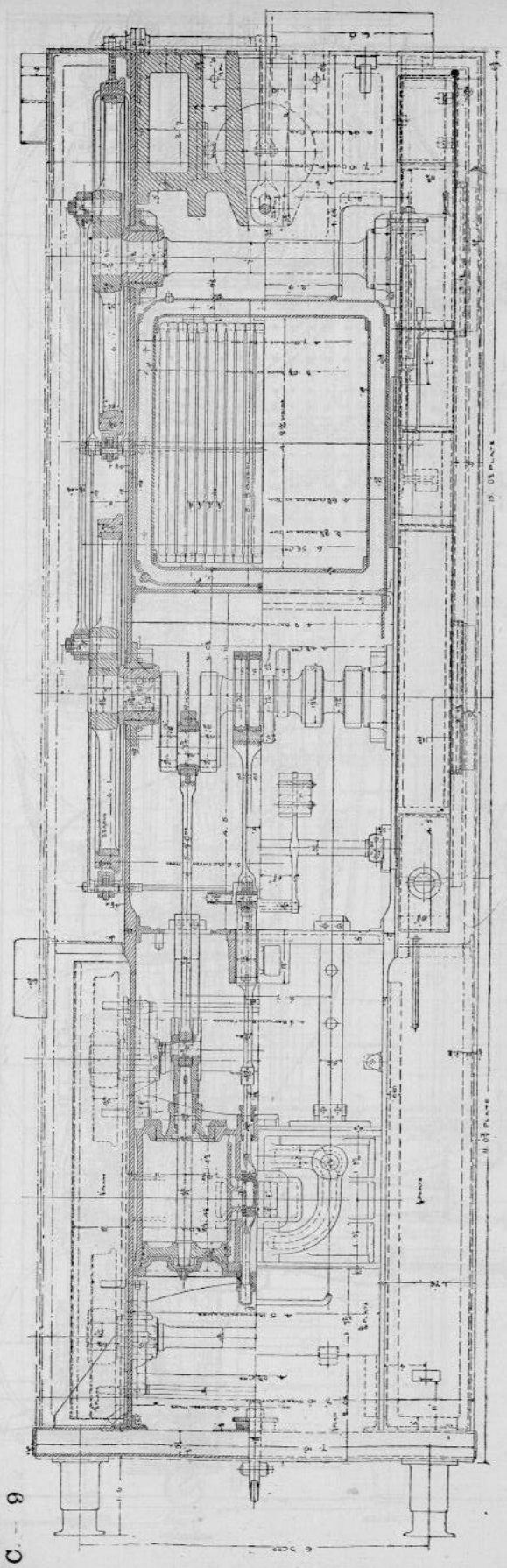
C. — 9.



Great Northern Railway Company (Irlande).

Coupe longitudinale. — Locomotive à voyageurs à bogie, à quatre roues couplées. — Cylindres, 18 $^1/_2$ × 24 pouces; roues, 6 pieds 7 pouces.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



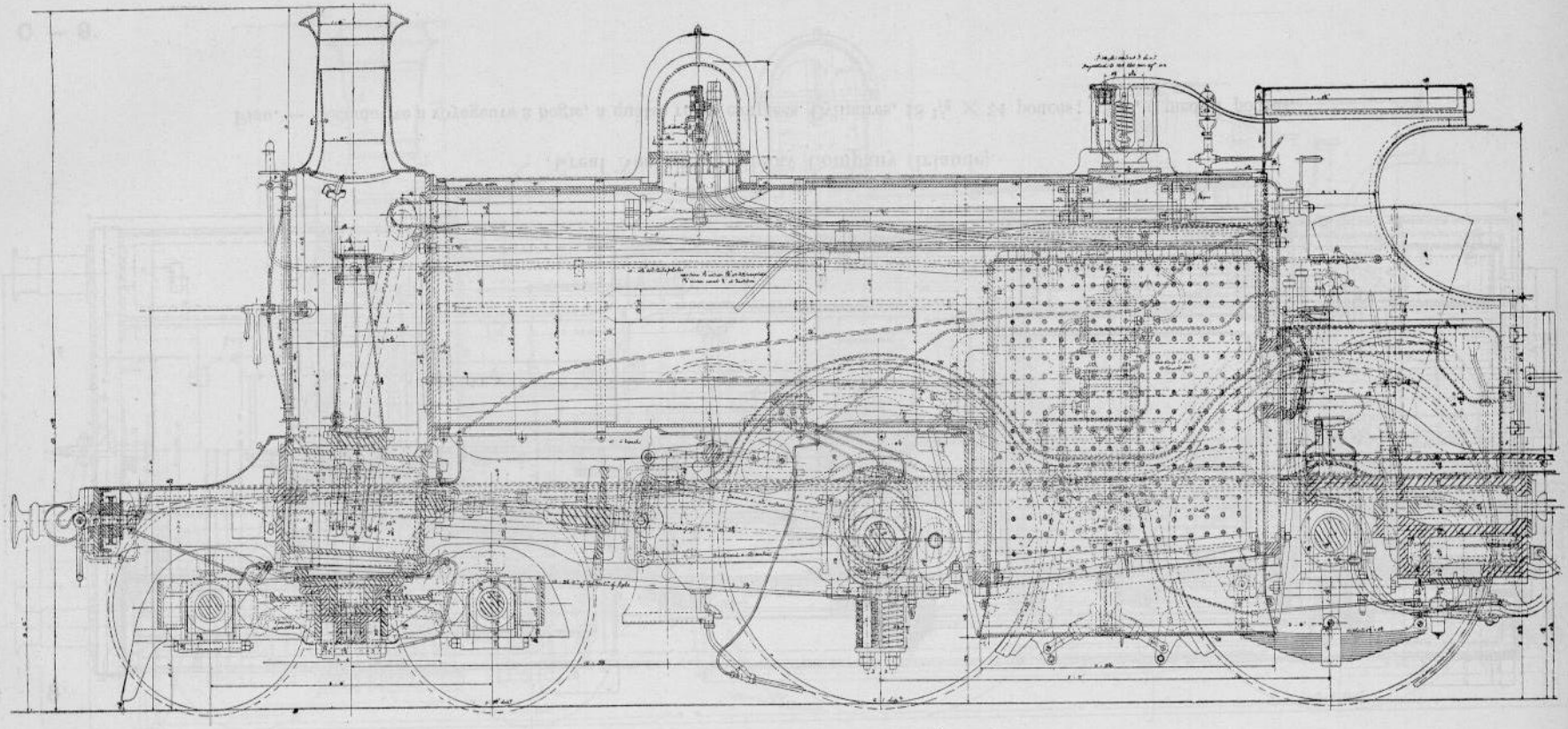
Great Northern Railway Company (Irlande).

Plan. — Locomotive à voyageurs à bogie, à quatre roues couplées. Cylindres, 18 1/2 × 24 pouces ; roues, 6 pieds 7 pouces.

C — 9

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C. — 10.

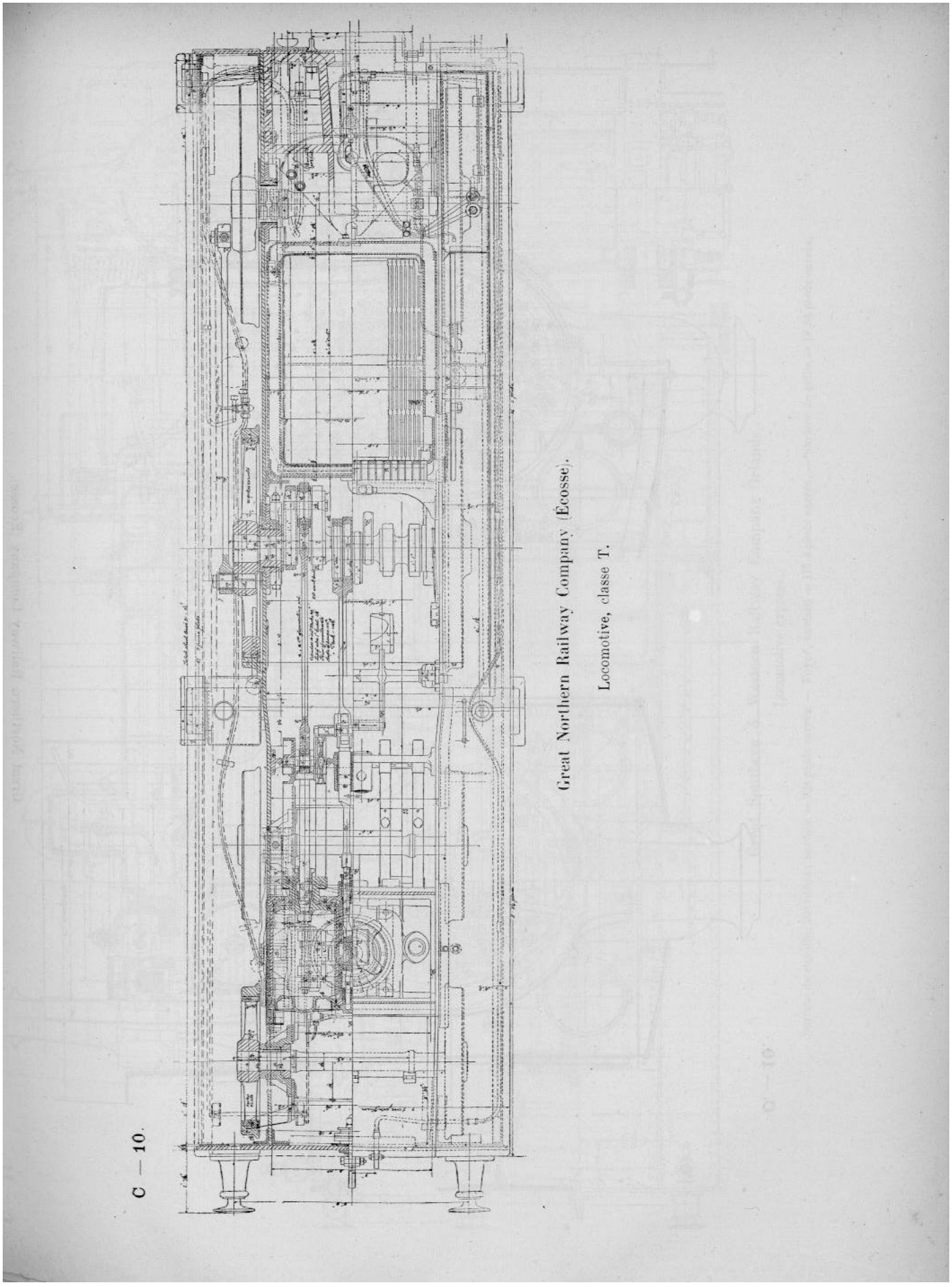


Great Northern Railway Company (Écosse).

Locomotive, classe T.

Surface de chauffe : tubes, 1,093.5 pieds carrés ; foyer, 113.5 pieds carrés ; totale, 1,207.0 pieds carrés. — Surface de grille, 18.0 pieds carrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

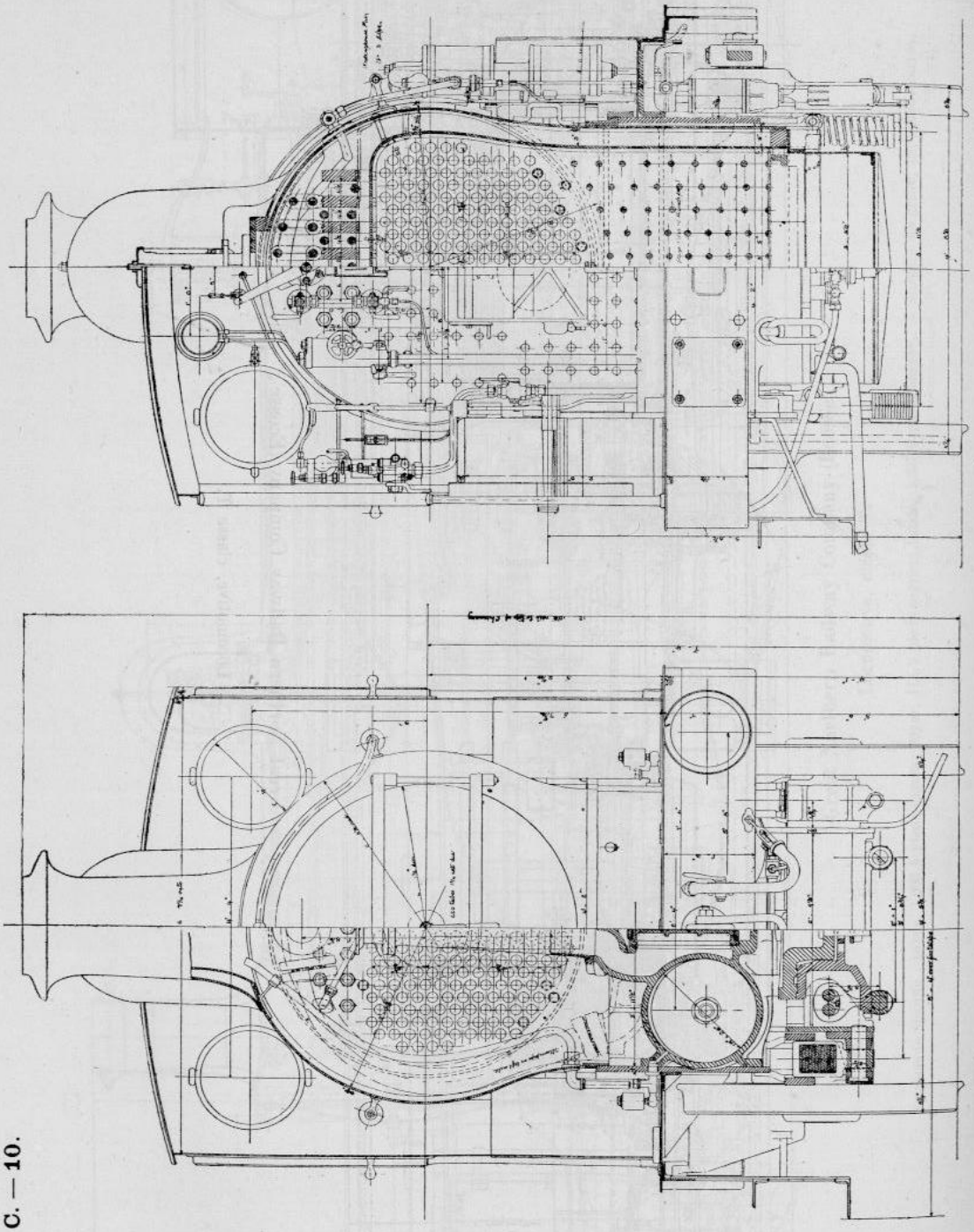


C — 10.

Great Northern Railway Company (Écosse).

Locomotive, classe T.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

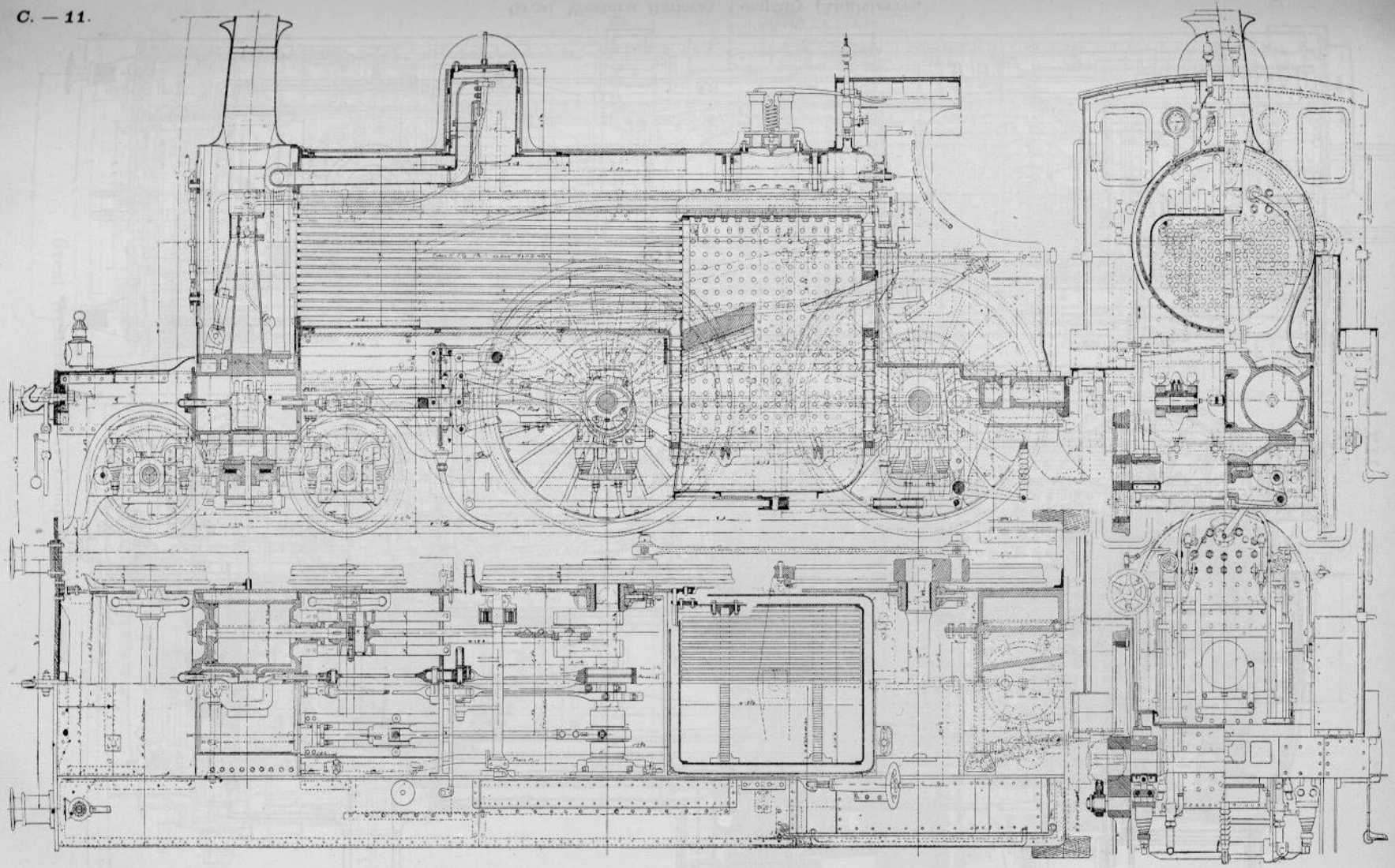


Great Northern Railway Company (Écosse).

Locomotive, classe T.

C. — 10.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



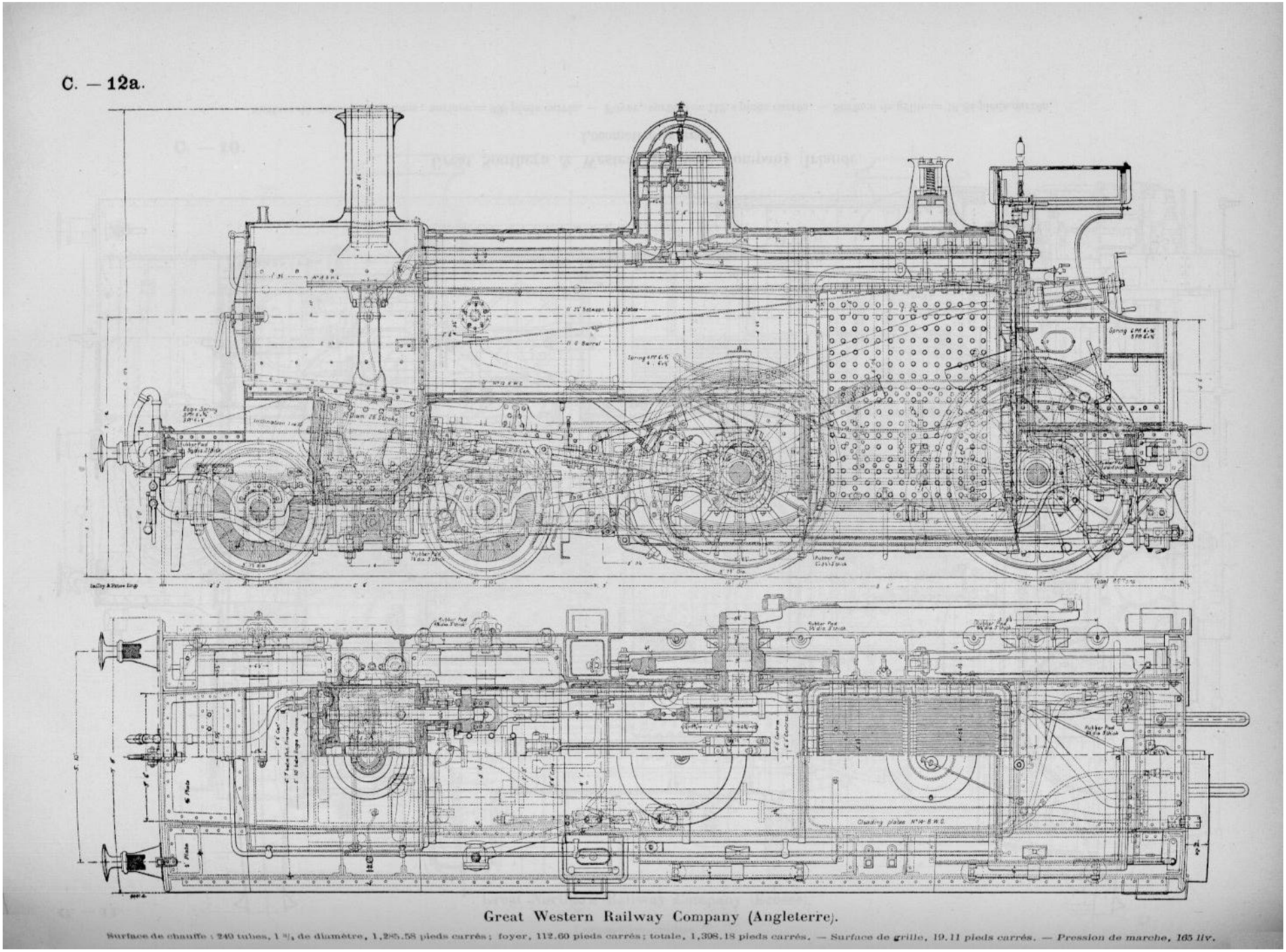
Great Southern & Western Railway Company (Irlande).

Locomotive express.

Surface de chauffe : 204 tubes ; surface = 938 pieds carrés. — Foyer, surface = 112.4 pieds carrés. — Surface de grille = 18.84 pieds carrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C. — 12a.

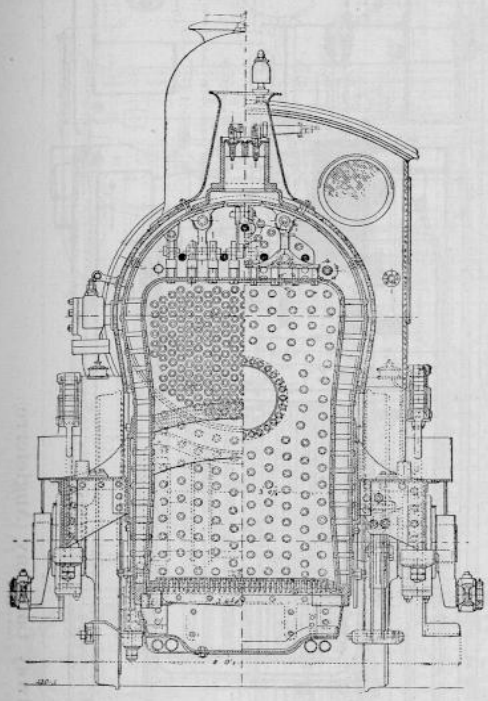


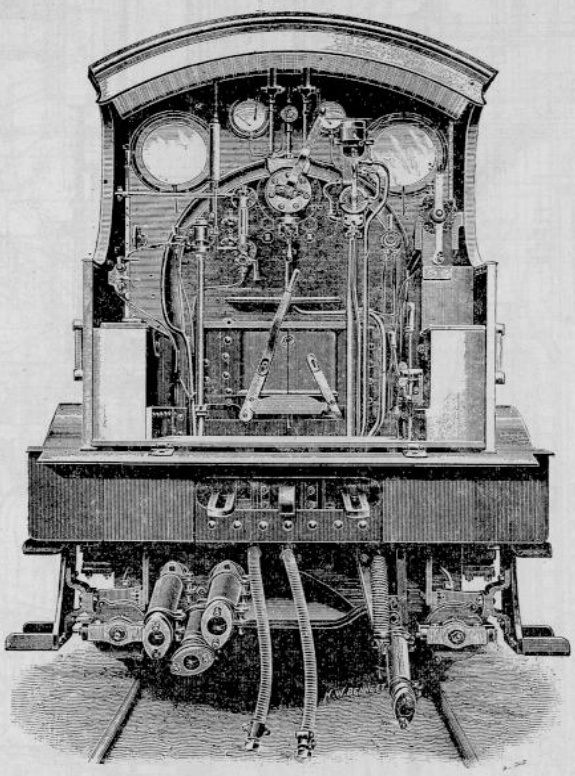
Great Western Railway Company (Angleterre).

Surface de chauffe : 240 tubes, 1 3/4 de diamètre, 1,285.58 pieds carrés ; foyer, 112.60 pieds carrés ; totale, 1,398.18 pieds carrés. — Surface de grille, 19.11 pieds carrés. — *Pression de marche, 165 liv.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

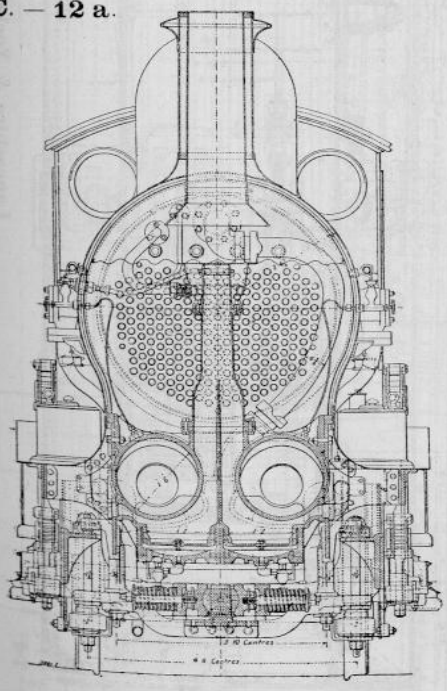
C. — 12 a.

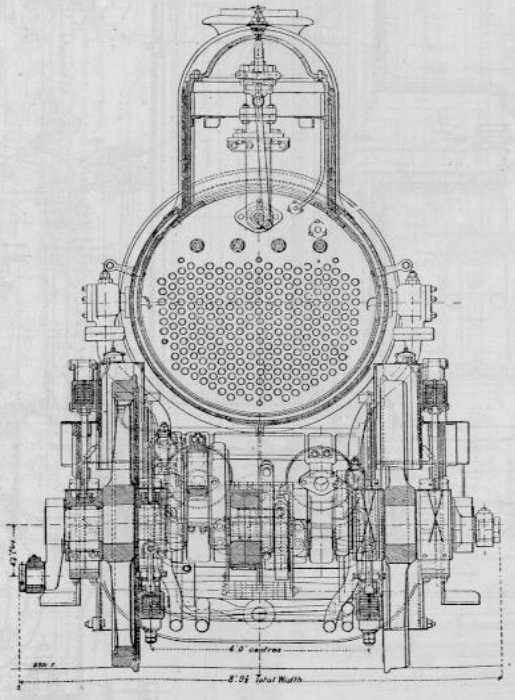




Great Western Railway Company (Angleterre).

C. — 12 a.

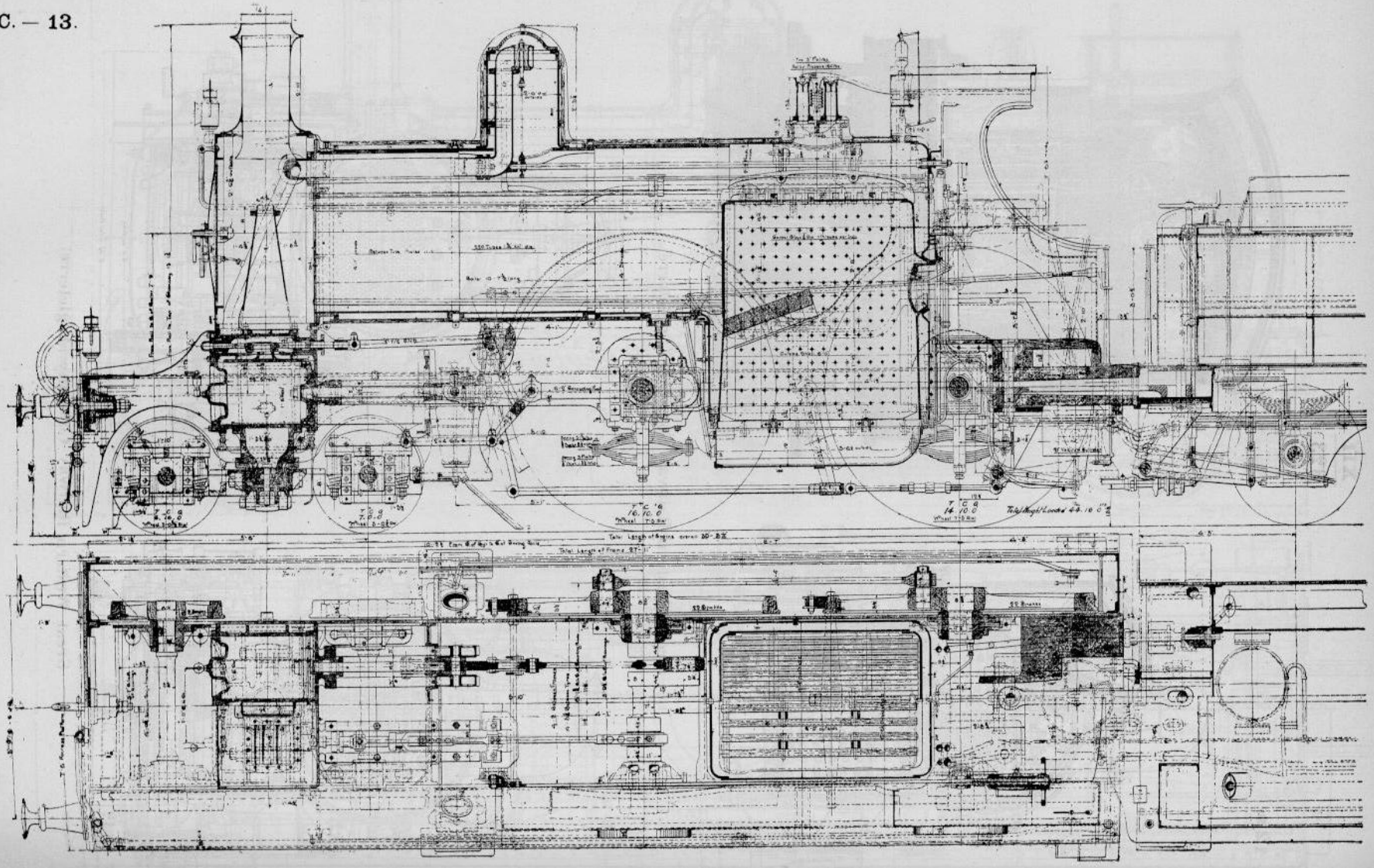




Great Western Railway Company (Angleterre)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

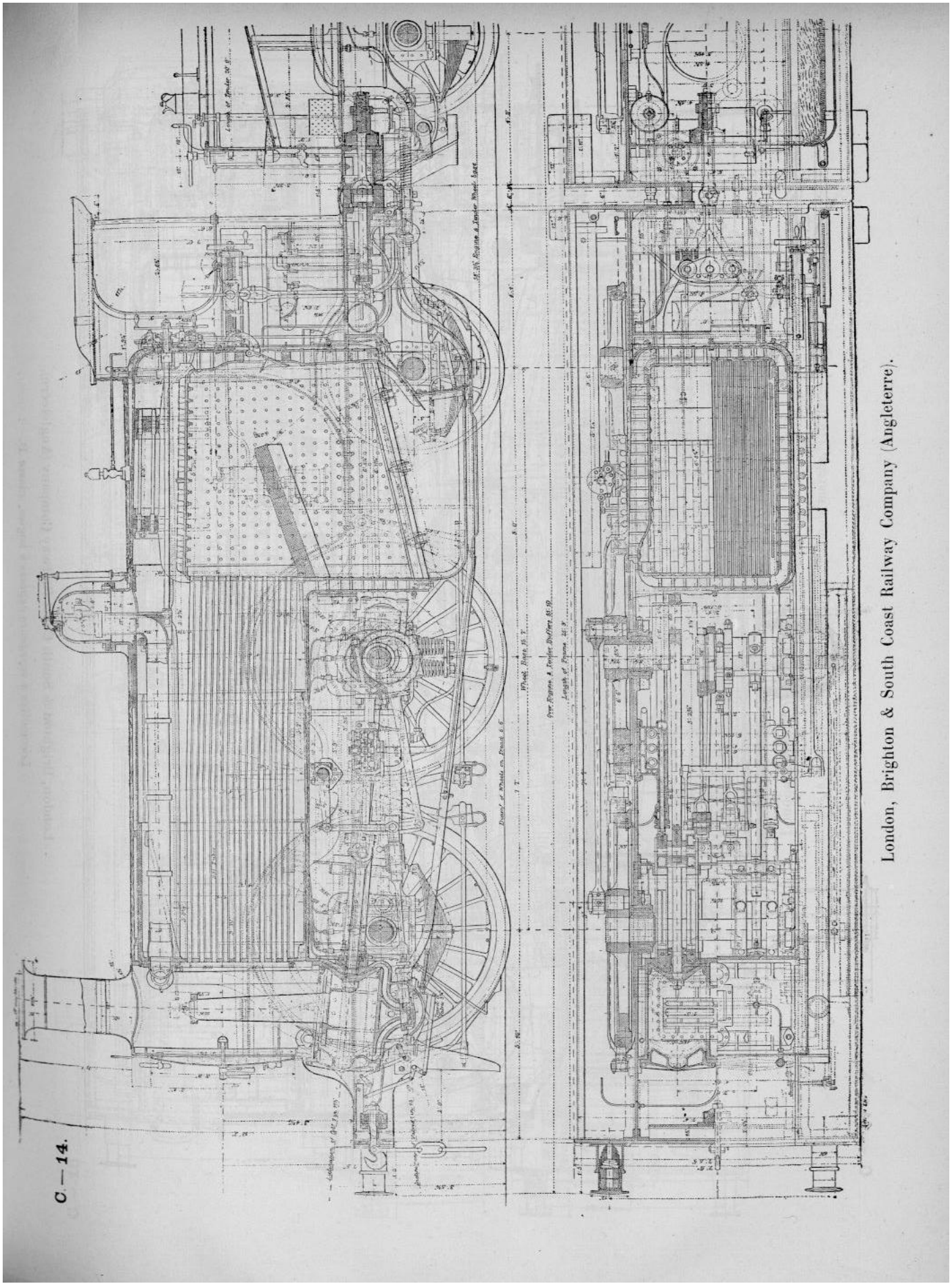
C. — 13.



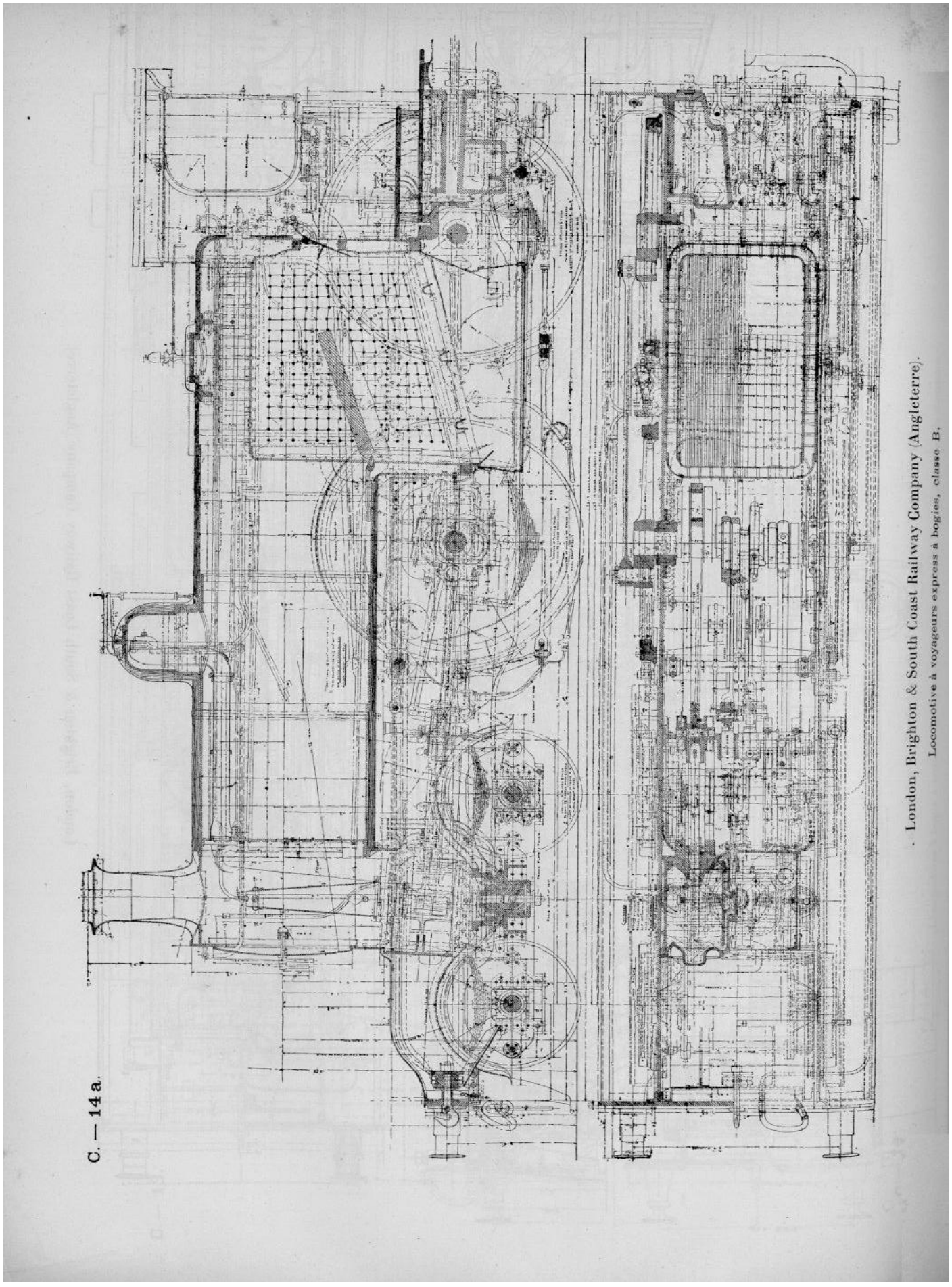
Lancashire & Yorkshire Railway Company (Angleterre).

Locomotives à bogie à voyageurs, à quatre roues couplées de 7 pieds 3 pouces de diamètre.

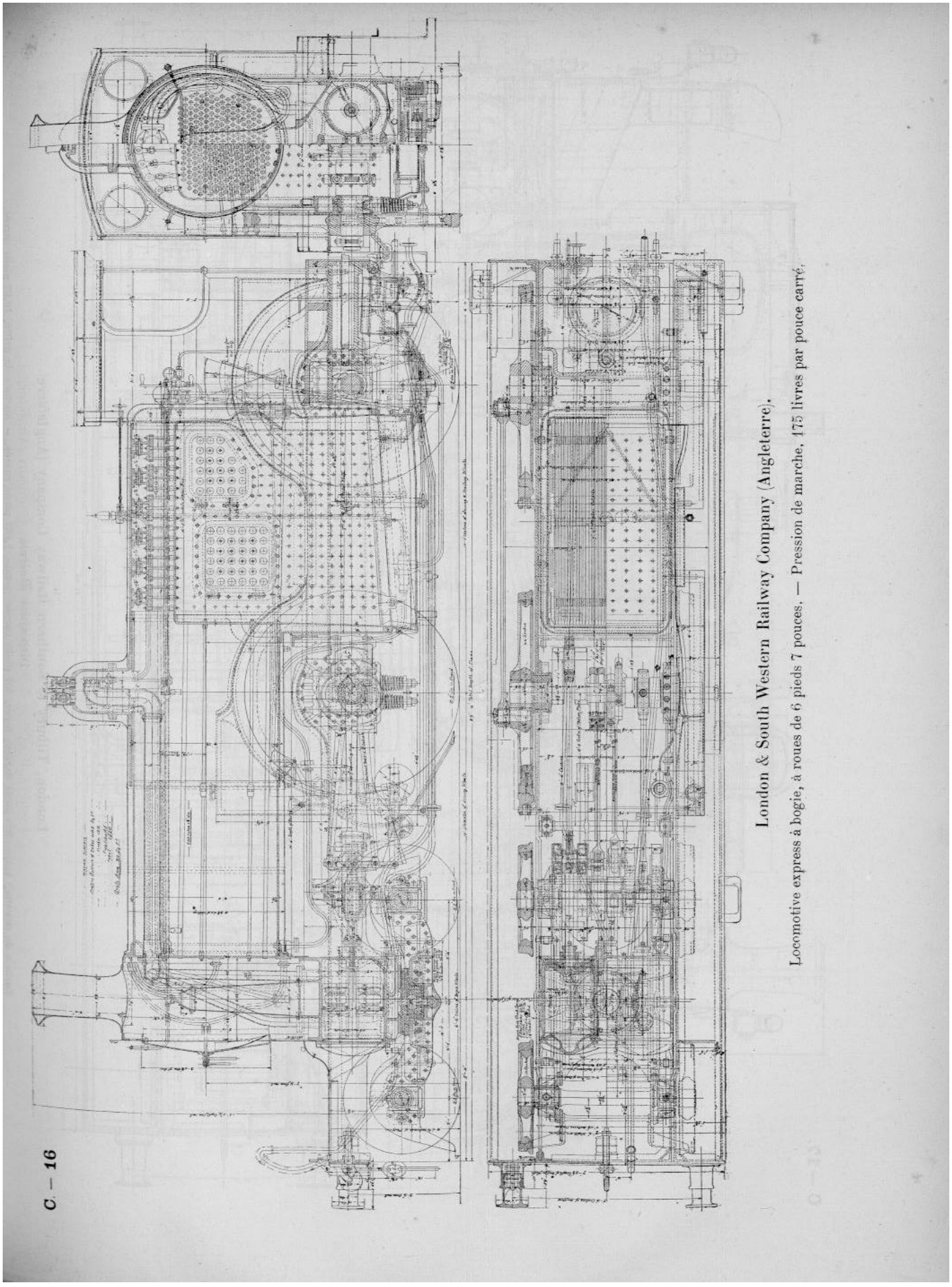
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



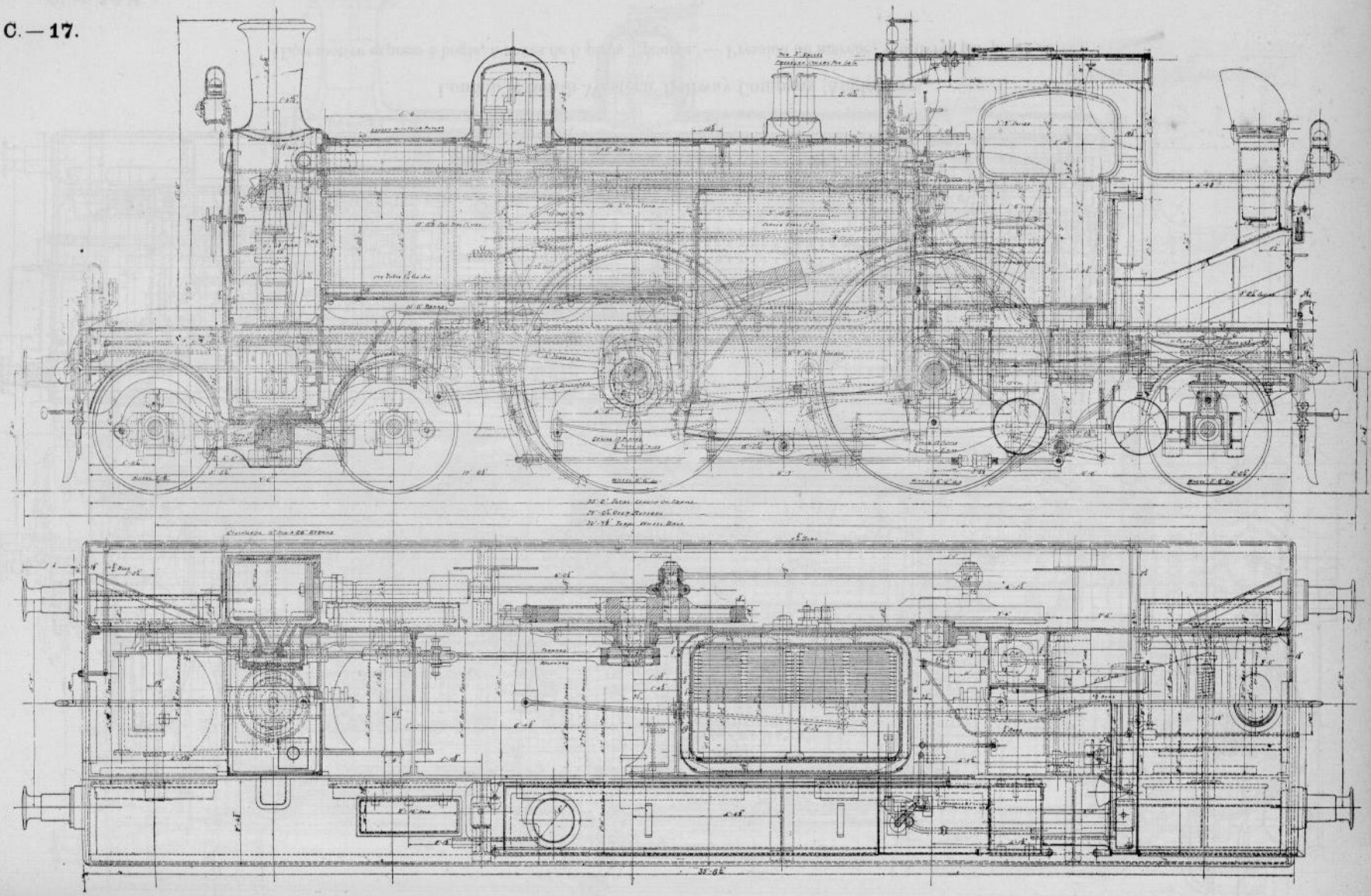
C. — 16

London & South Western Railway Company (Angleterre).

Locomotive express à bogie, à roues de 6 pieds 7 pouces. — Pression de marche, 175 livres par pouce carré.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C. — 17.



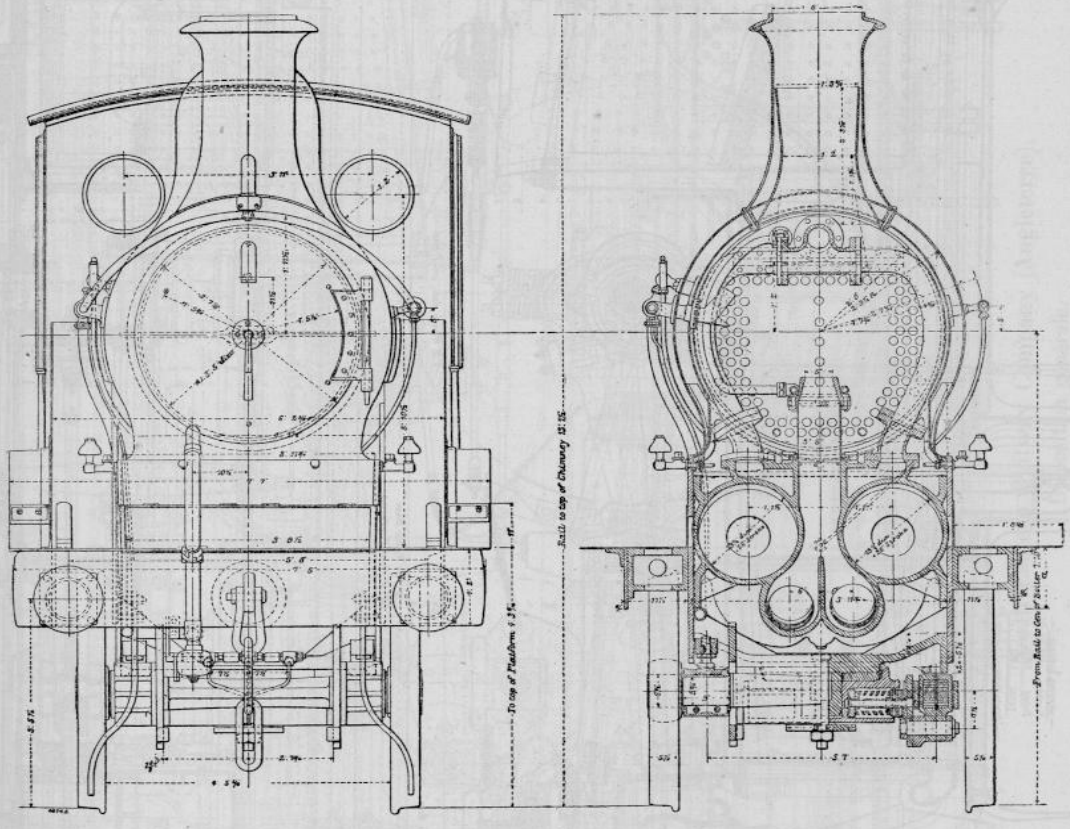
London, Tilbury & Southern Railway Company (Angleterre).

Disposition générale.

Surface de chauffe : tubes, 920 pieds carrés ; foyer, 107 pieds carrés ; totale, 1,027 pieds carrés. — Surface de grille, 19.57 pieds carrés.

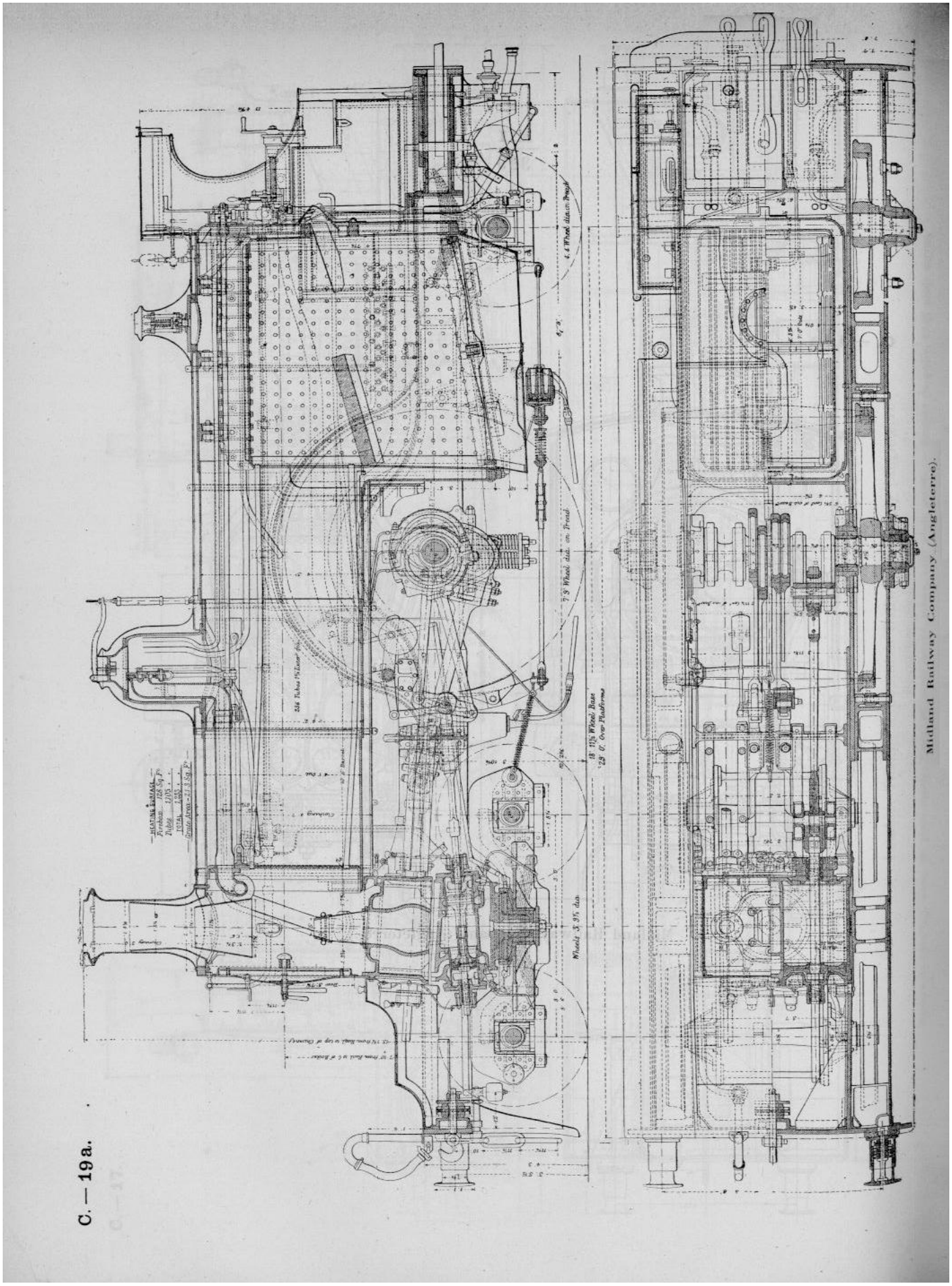
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C. — 19 a.

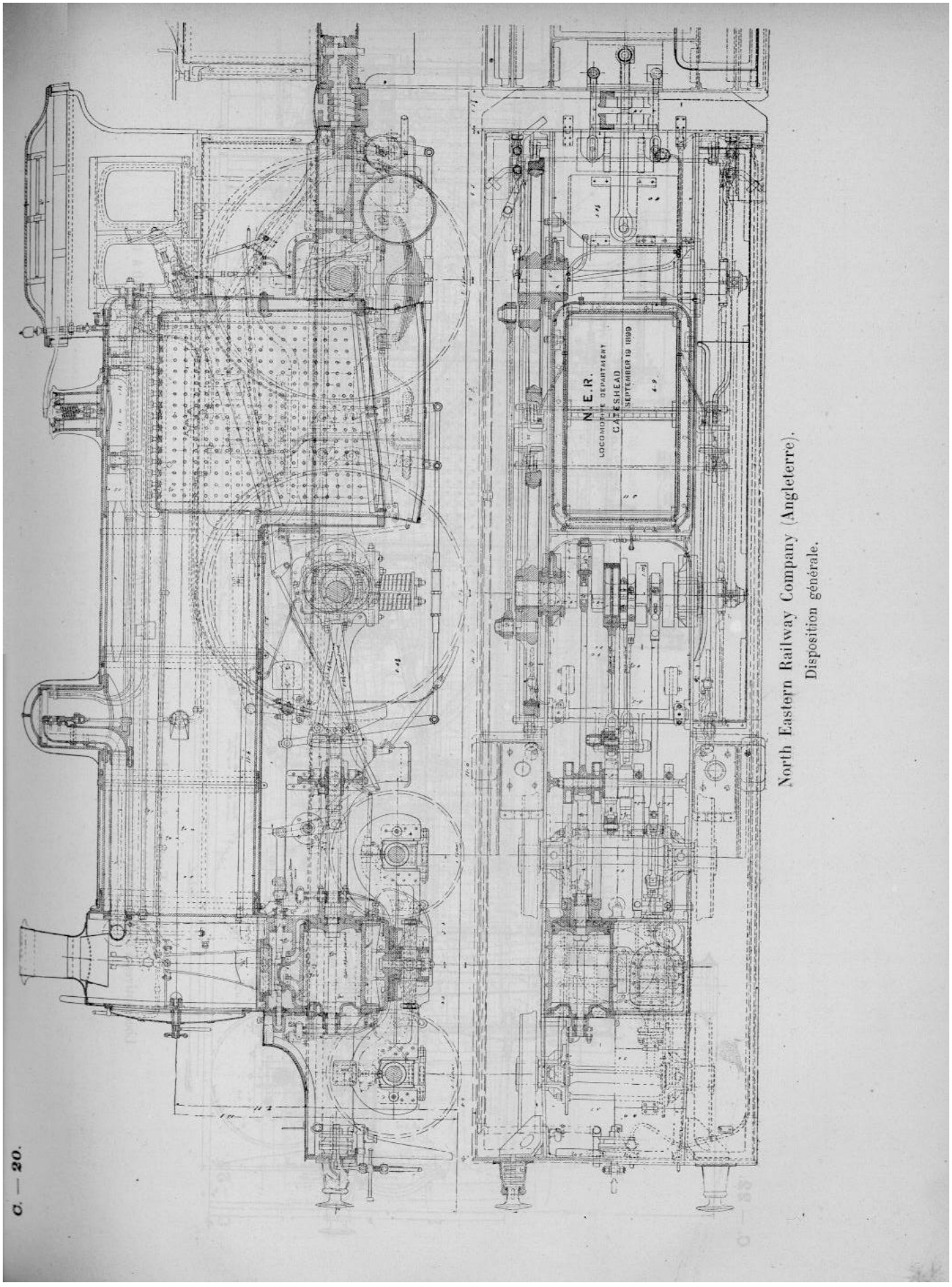


Midland Railway Company (Angleterre .

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

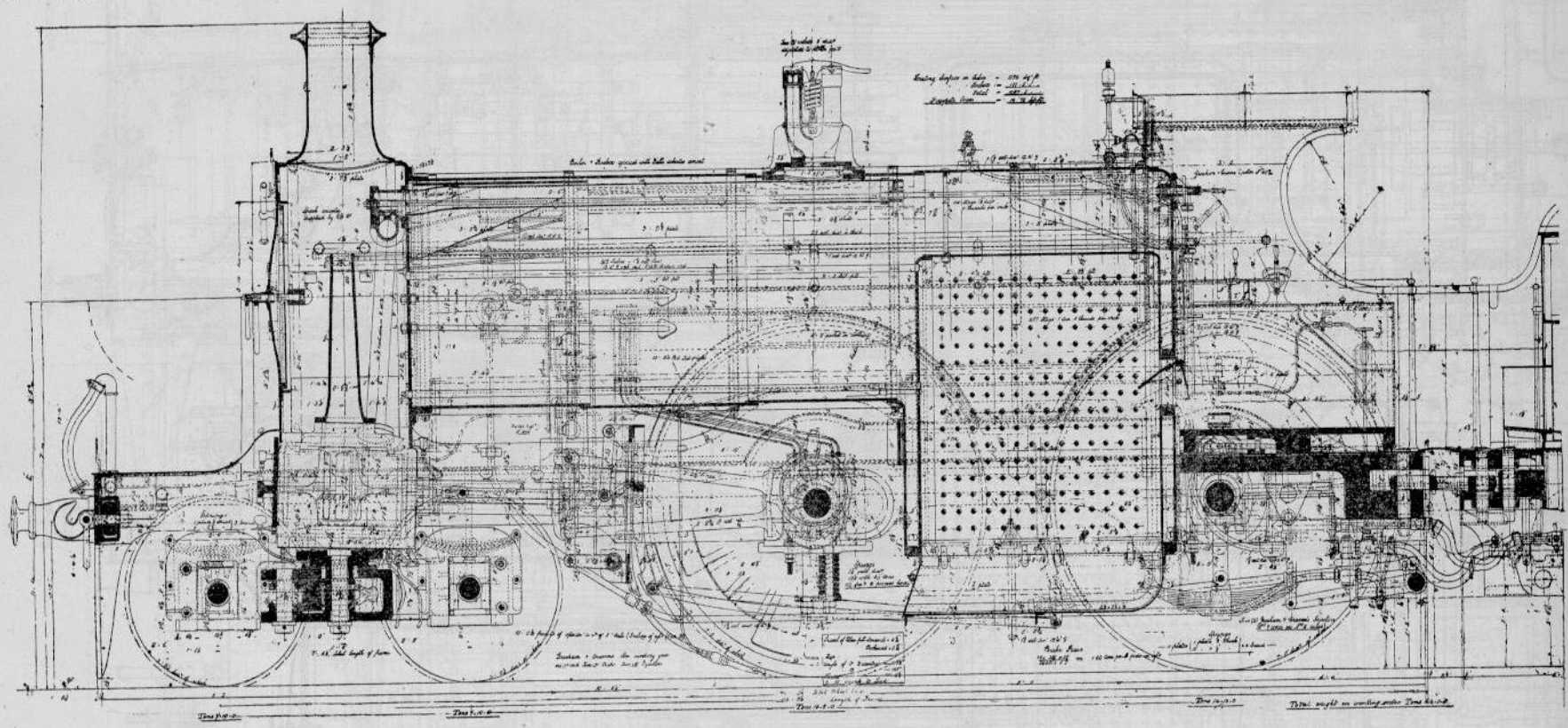


North Eastern Railway Company (Angleterre).
Disposition générale.

C. — 20.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C. — 22.

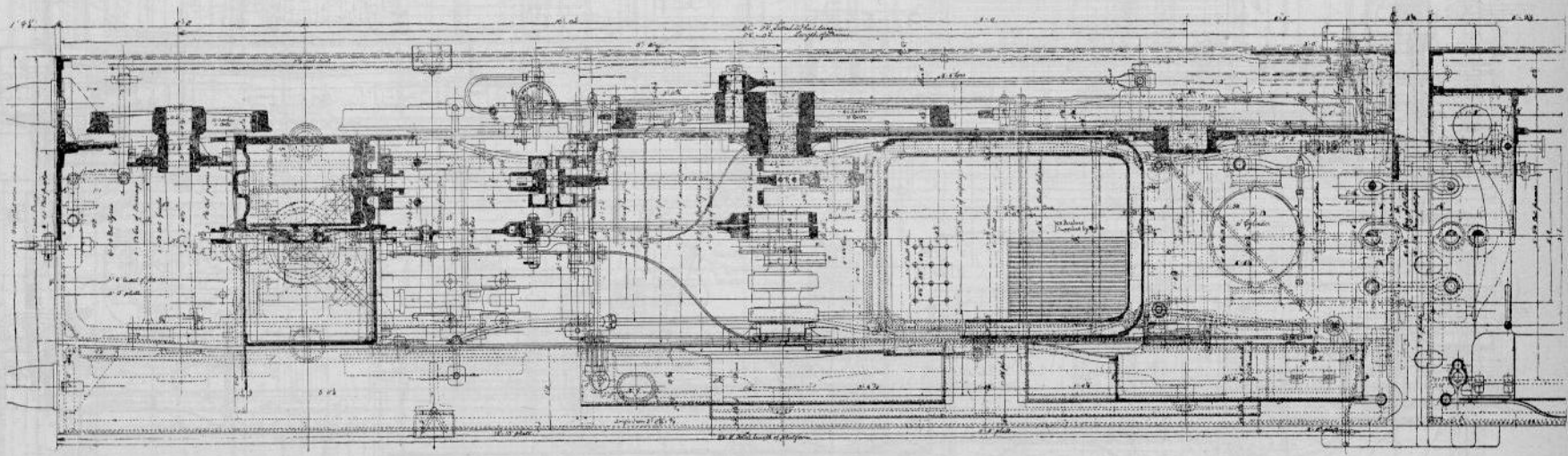


South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre) (réseau du South Eastern).

Locomotives à bogie à quatre roues couplées. — Cylindres, diamètre, 19 pouces ; course du piston, 26 pouces. Nos 440 à 459.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

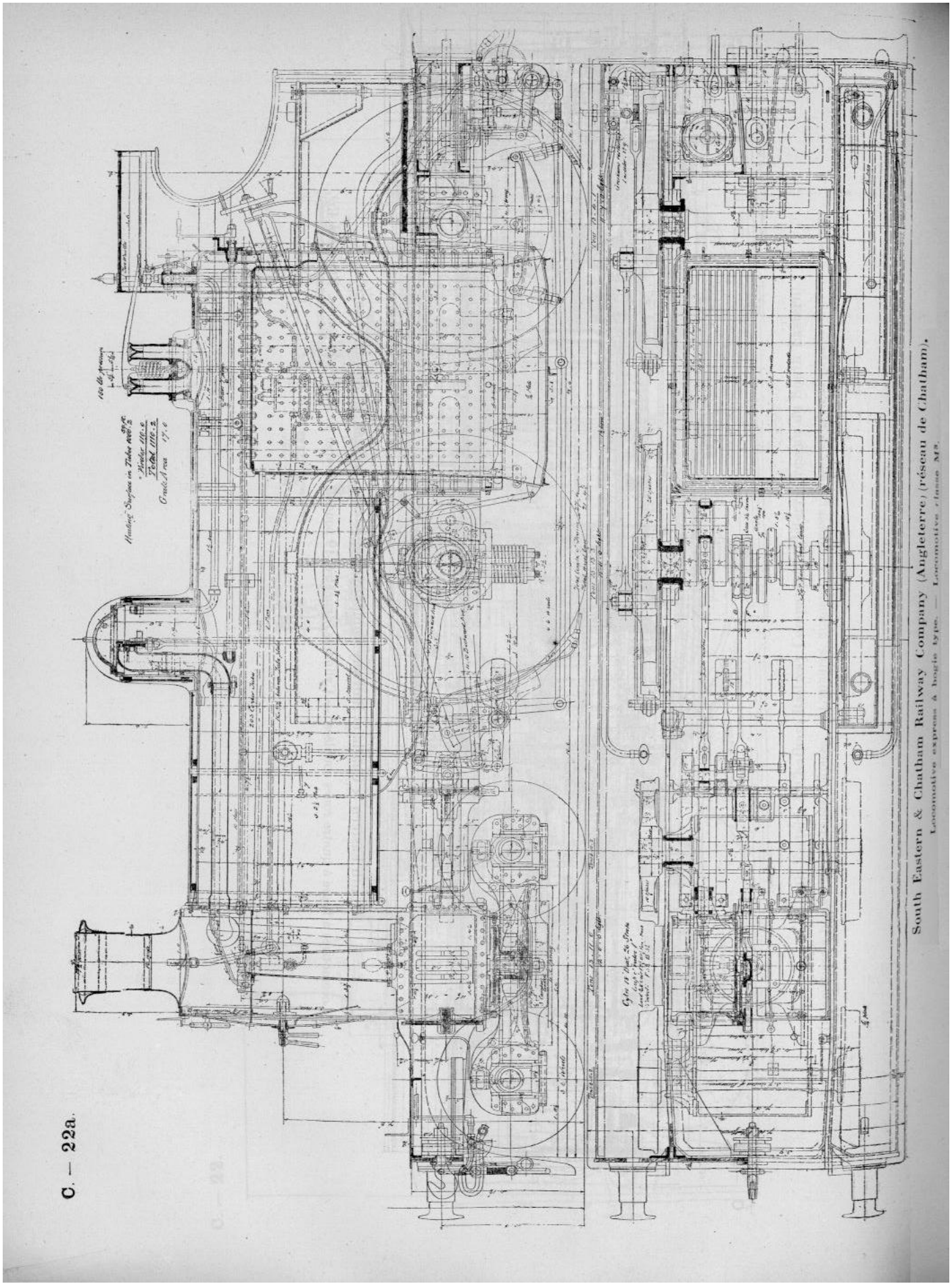
C. — 22.



South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre) (réseau du South Eastern).

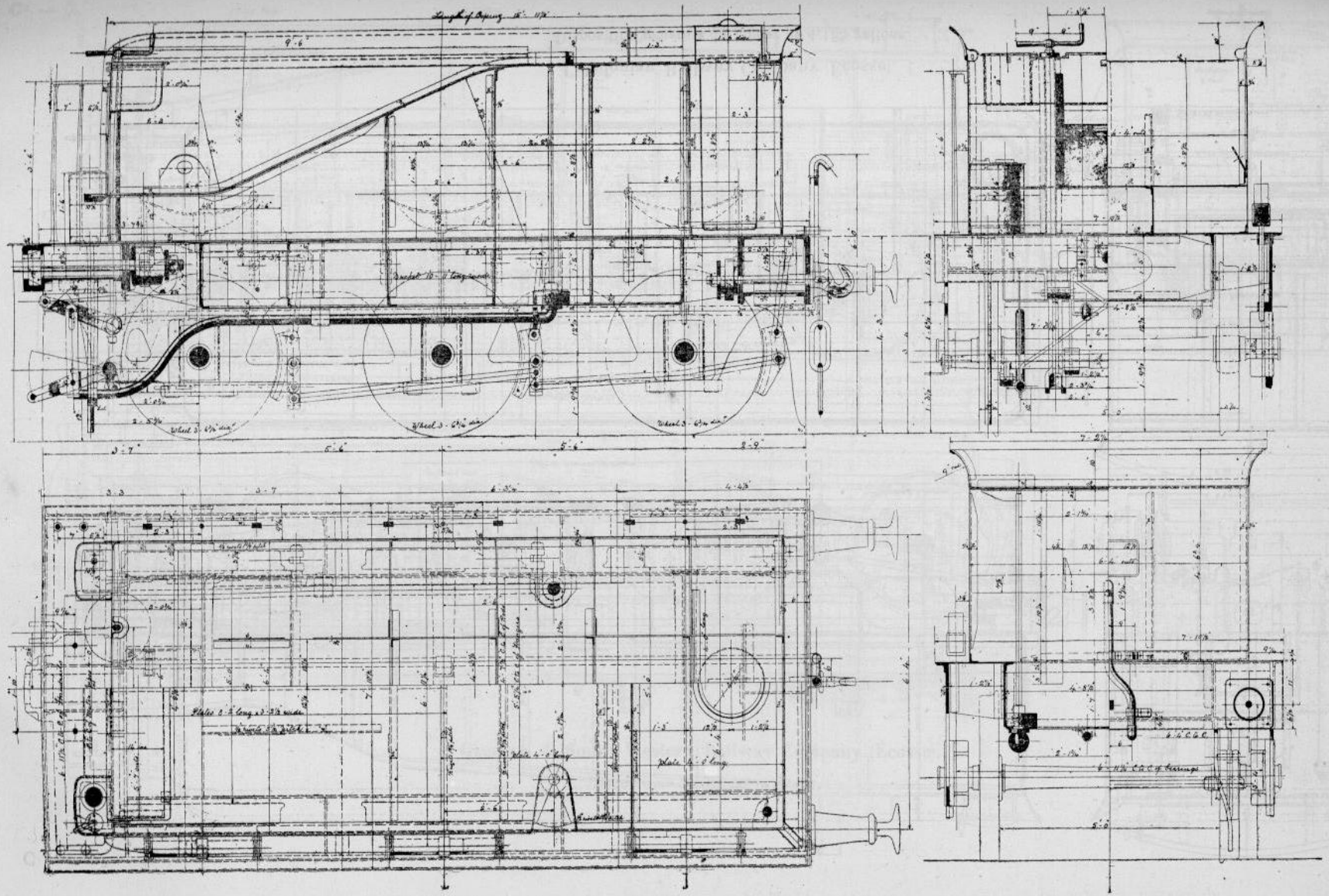
Locomotives à bogie à quatre roues couplées. — Cylindres, diamètre, 19 pouces ; course du piston, 26 pouces. N°s 440 à 459.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

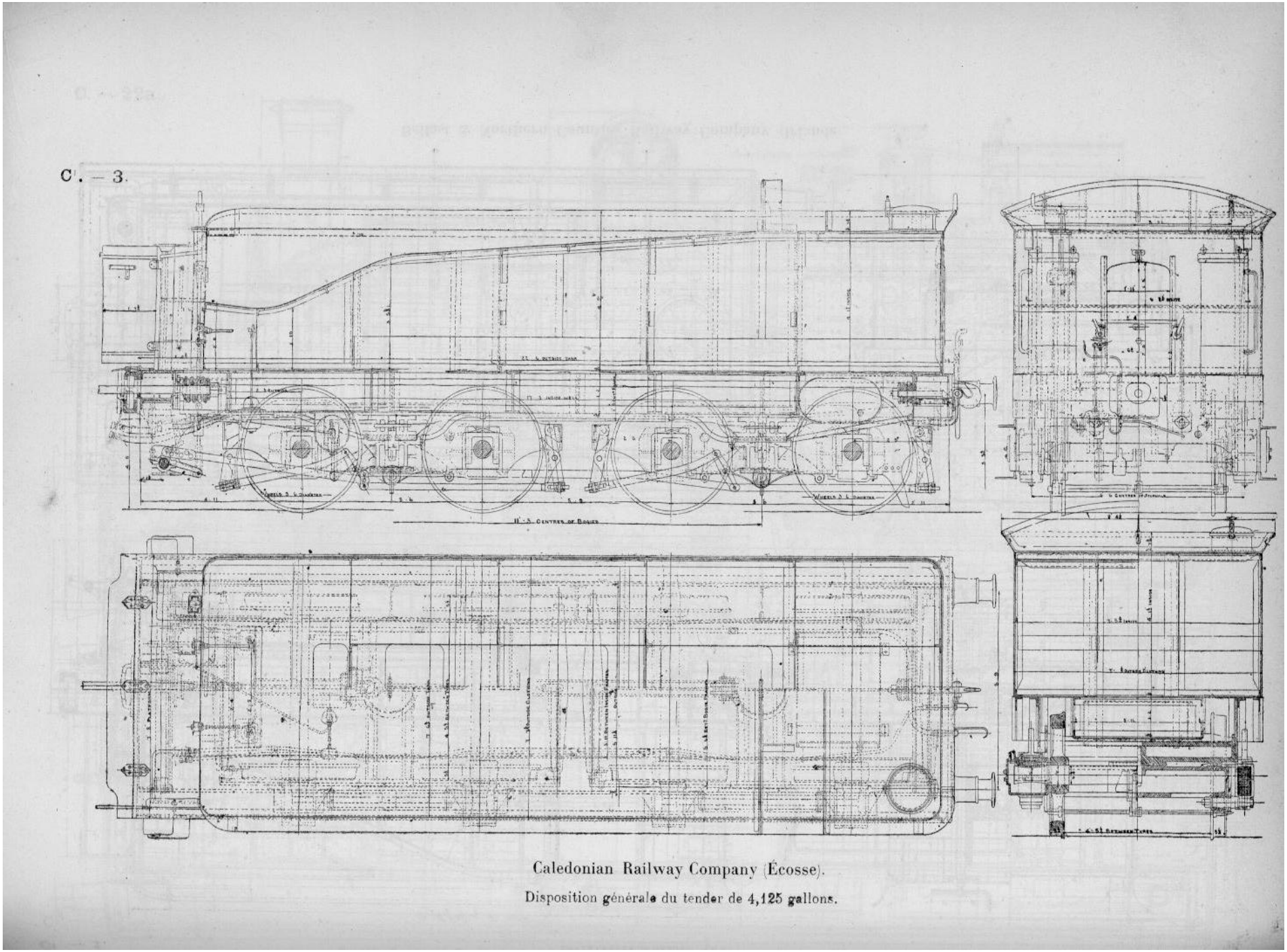
DIAGRAMMES C¹.



Belfast & Northern Counties Railway Company (Irlande).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'. — 3.

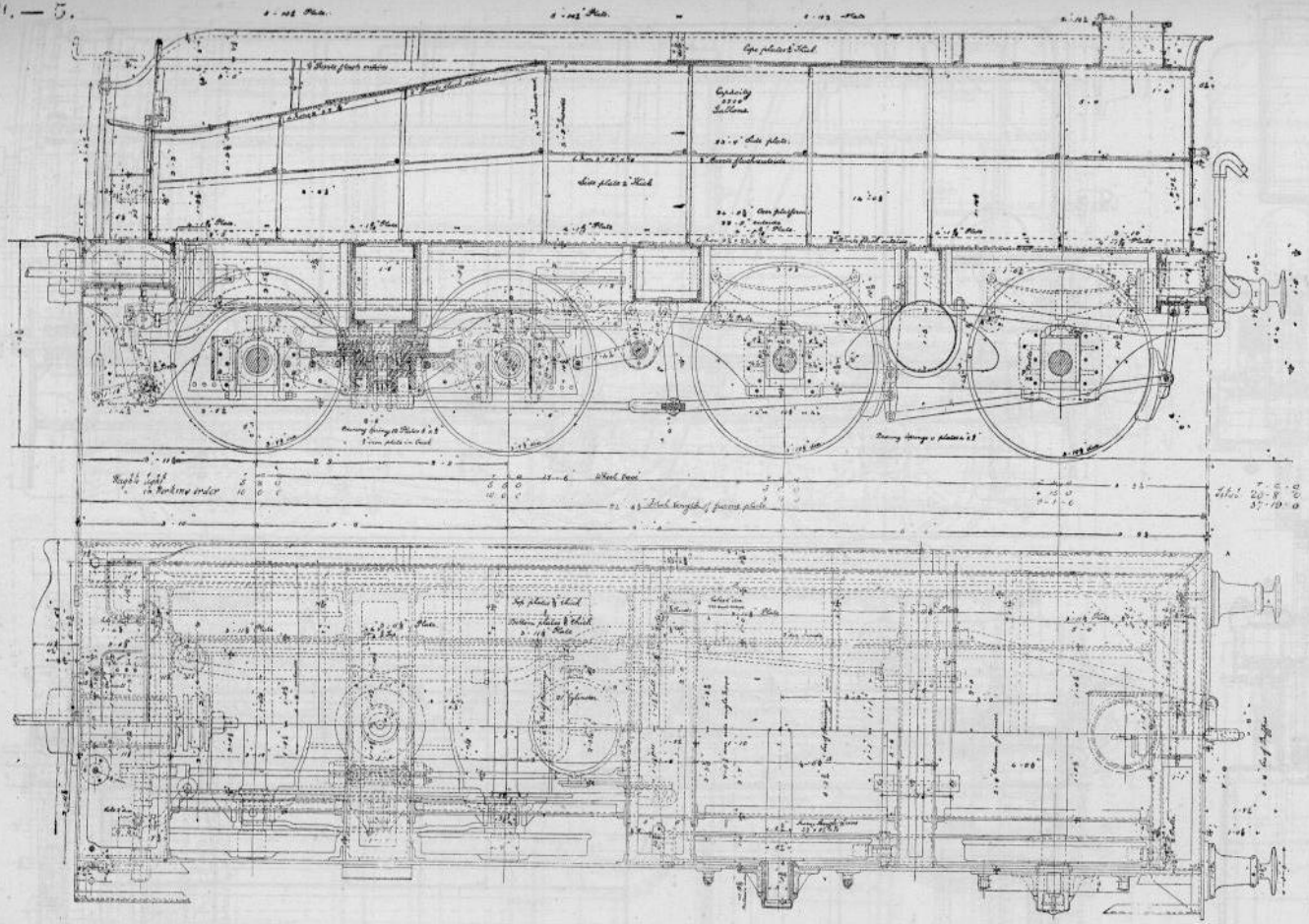


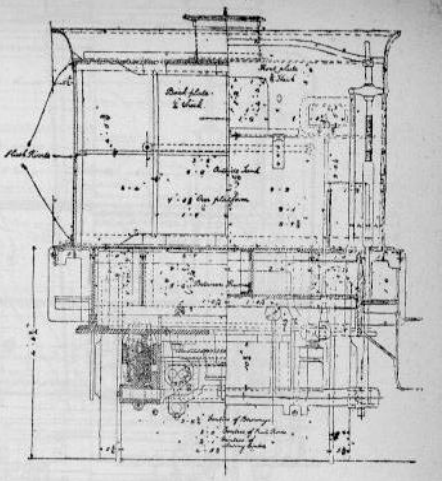
Caledonian Railway Company (Écosse).

Disposition générale du tender de 4,125 gallons.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cl. — 5.

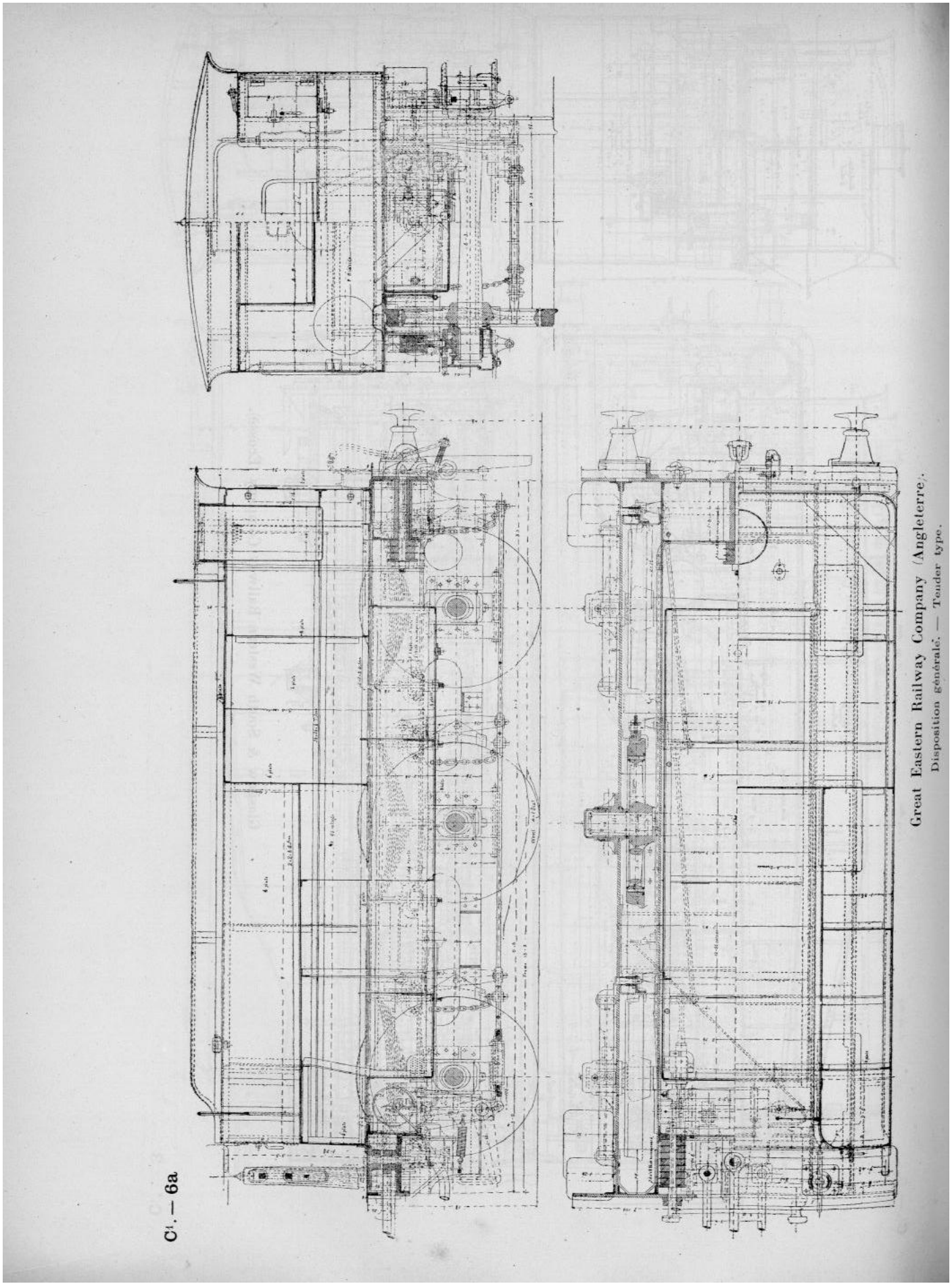




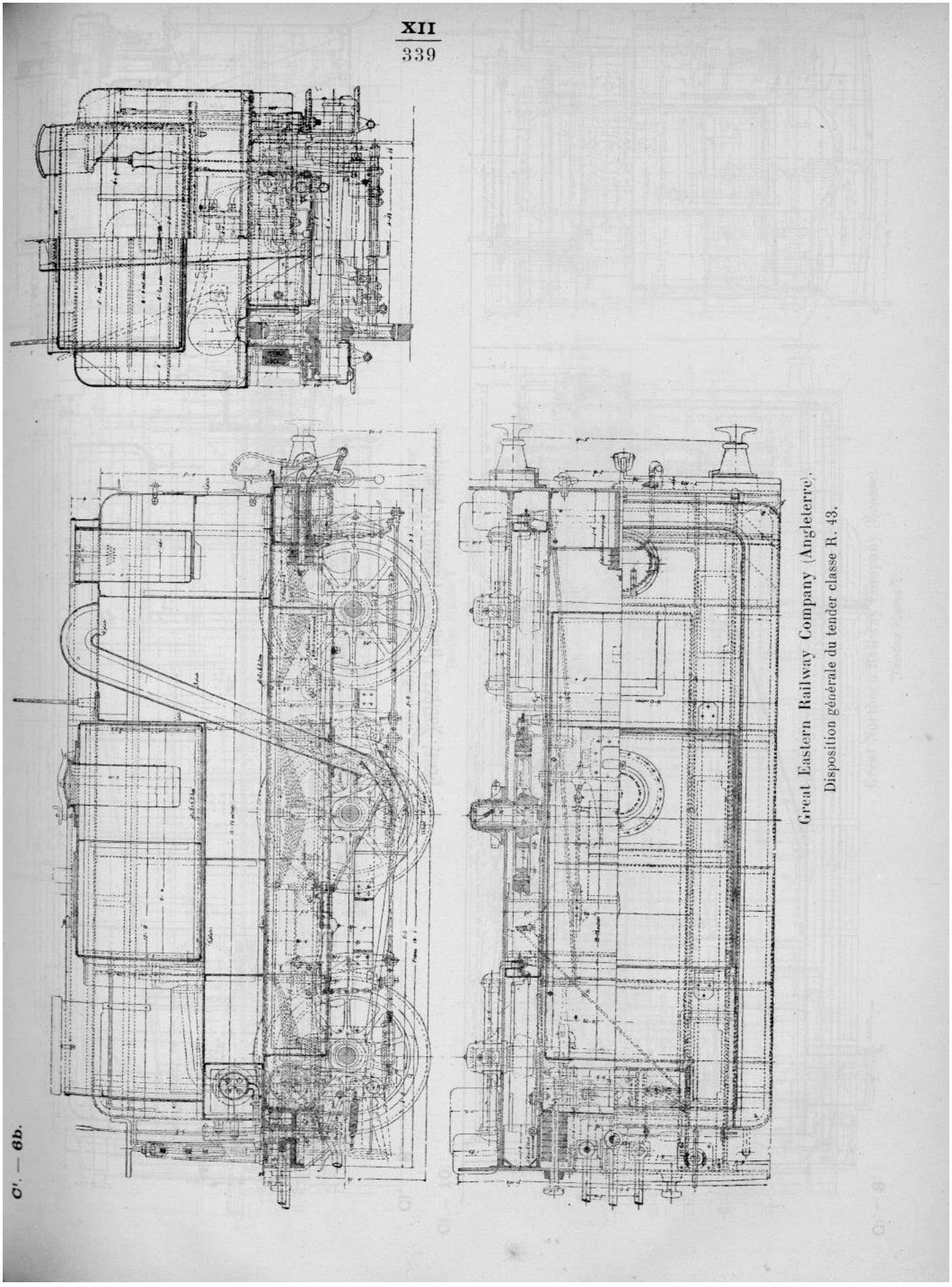
Glasgow & South Western Railway Company (Écosse).

Disposition du tender à bogie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



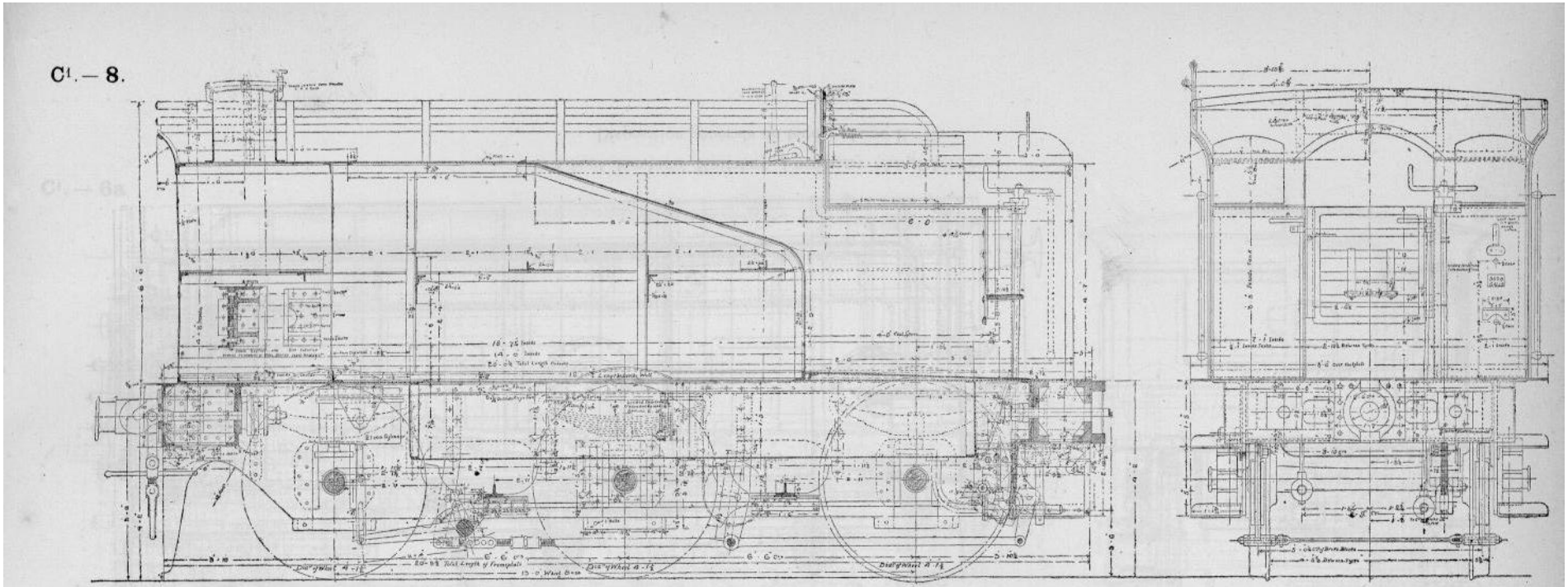
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Great Eastern Railway Company (Angleterre).
Disposition générale du tender classe R. 43.

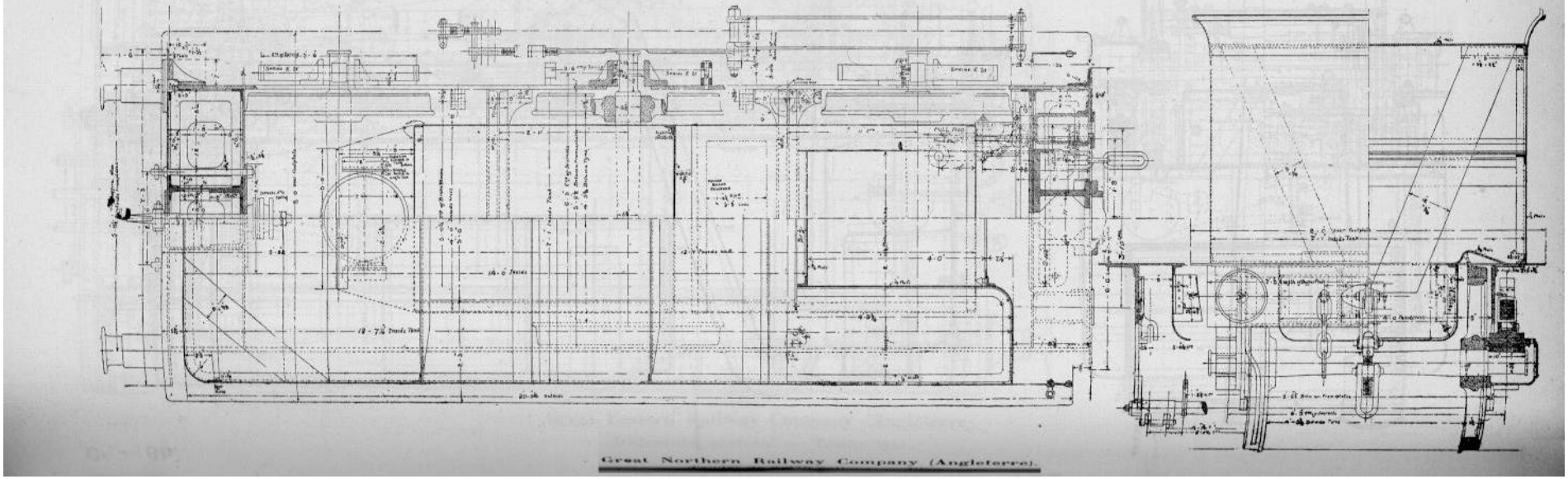
C¹. — 6b.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

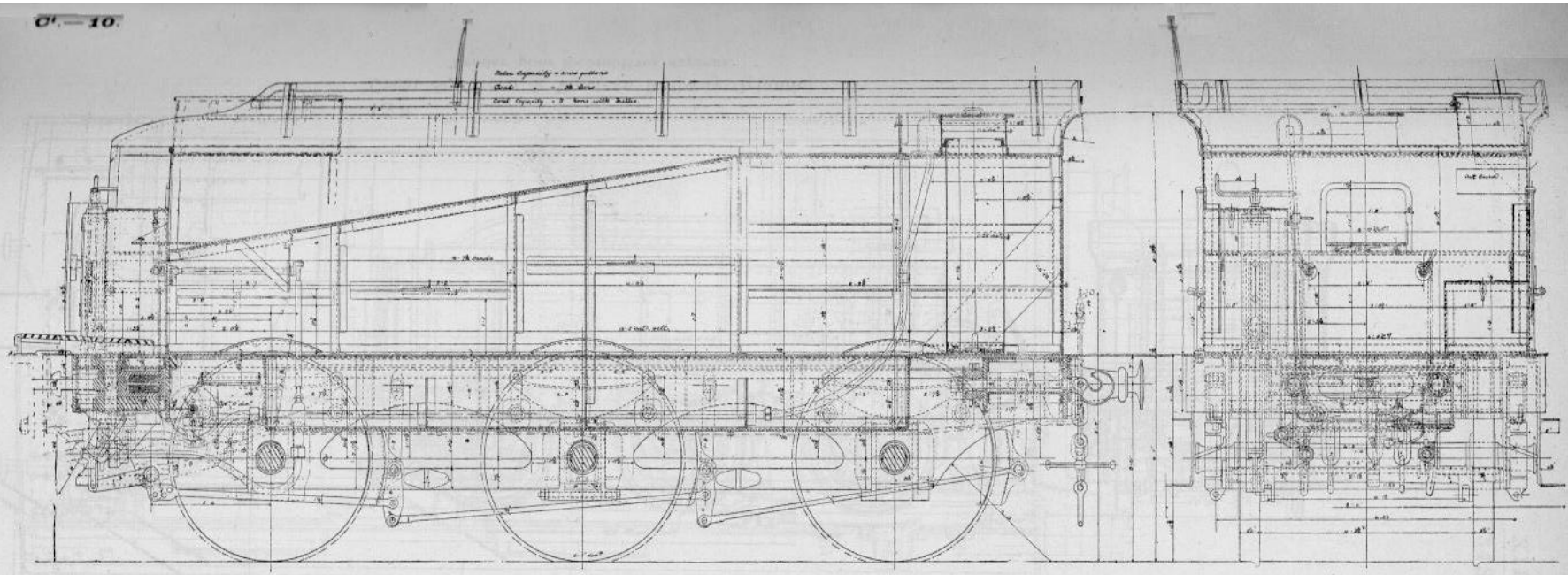


Great Northern Railway Company (Angleterre).

Section longitudinale : Tender de 3,670 gallons.



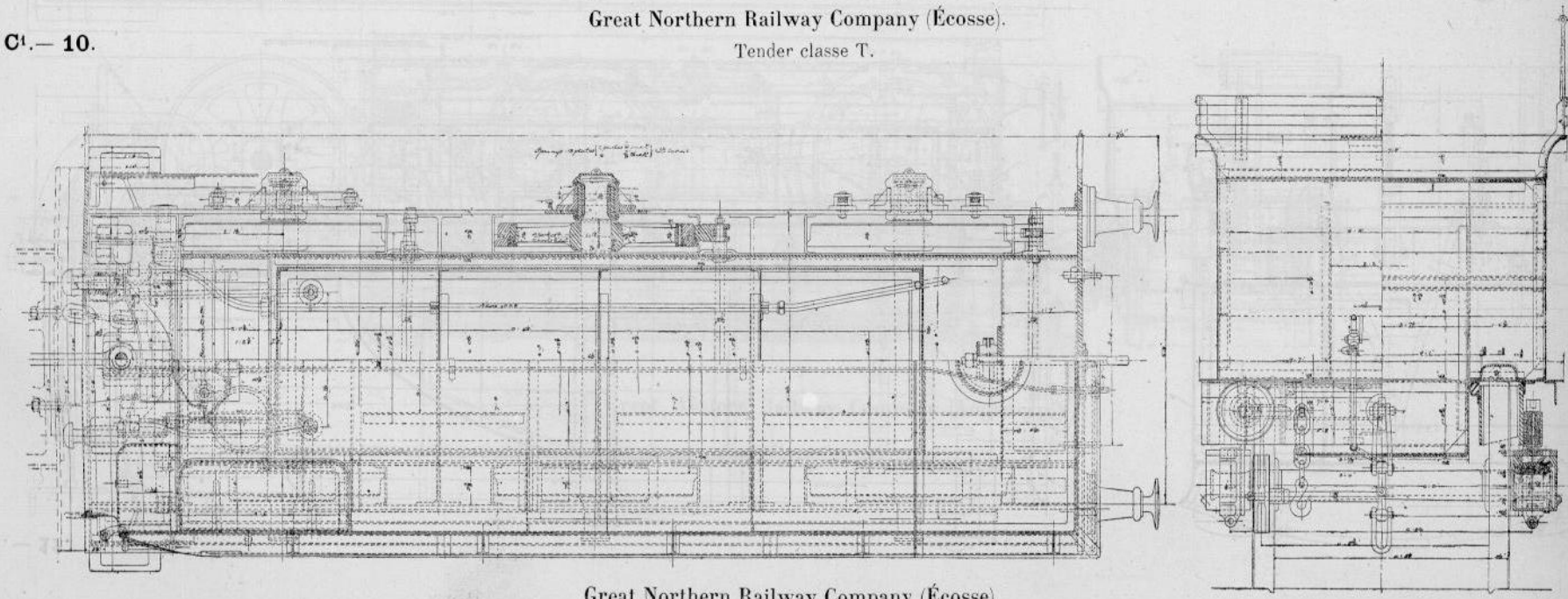
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Great Northern Railway Company (Écosse).

Tender classe T.

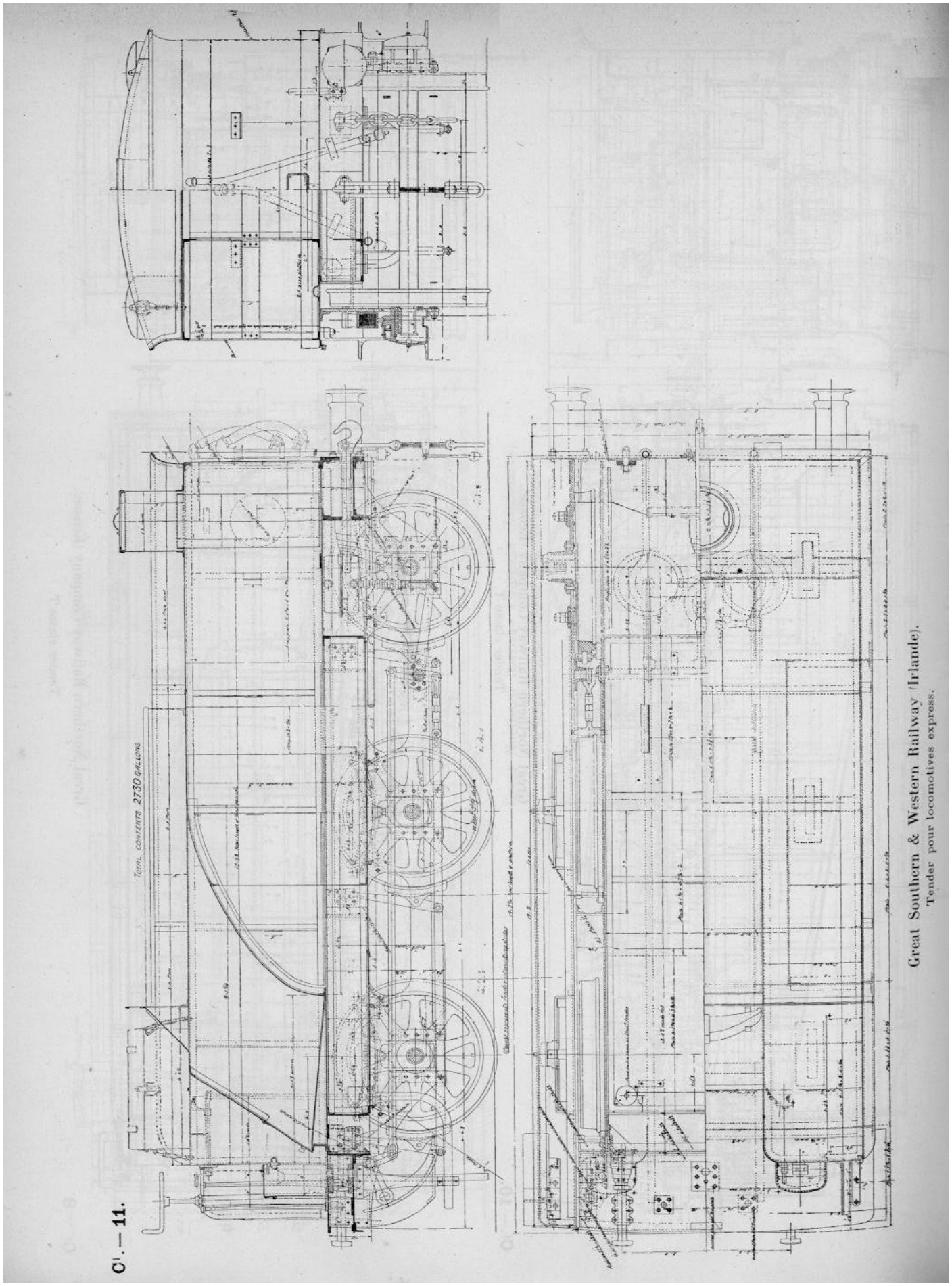
C¹.— 10.



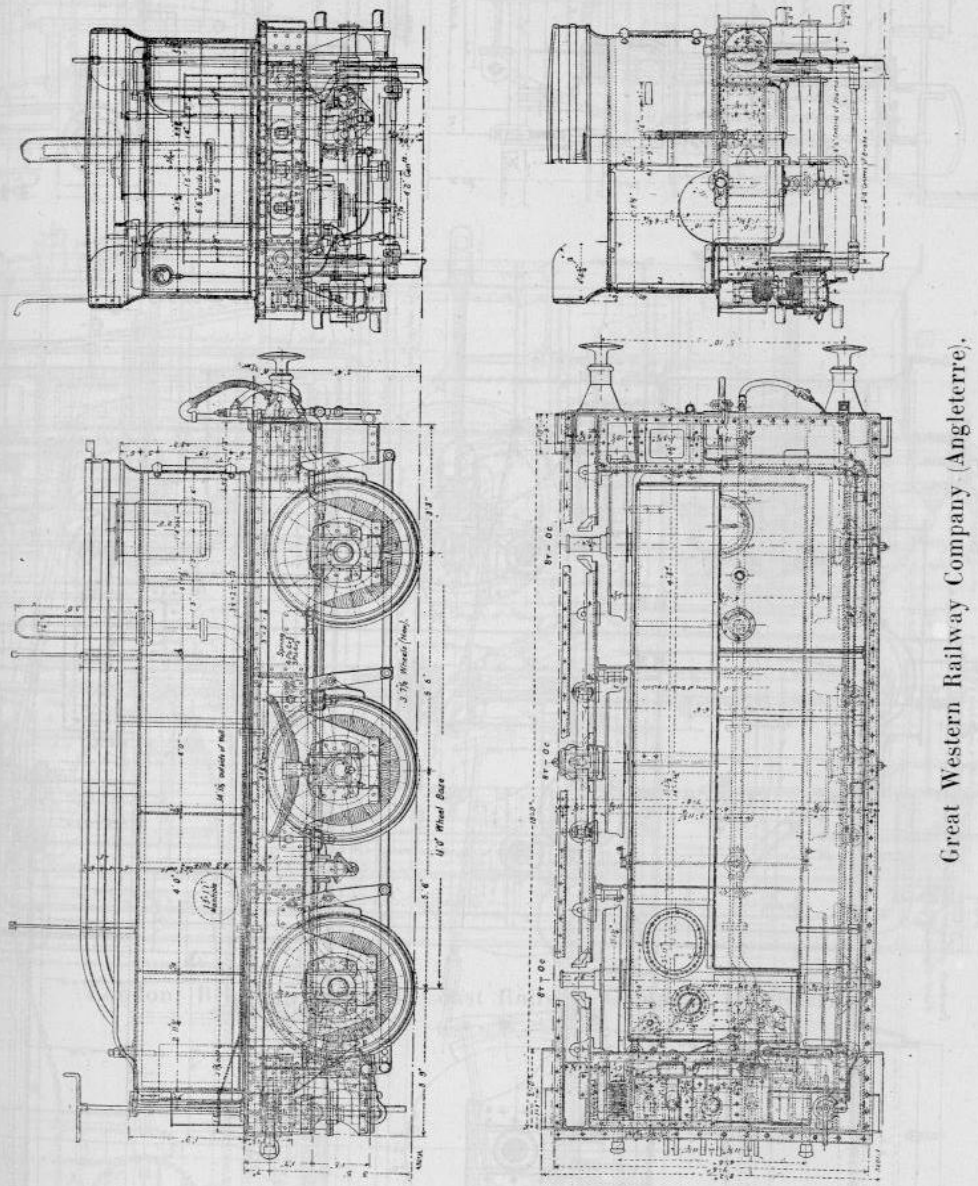
Great Northern Railway Company (Écosse).

Tender classe T.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



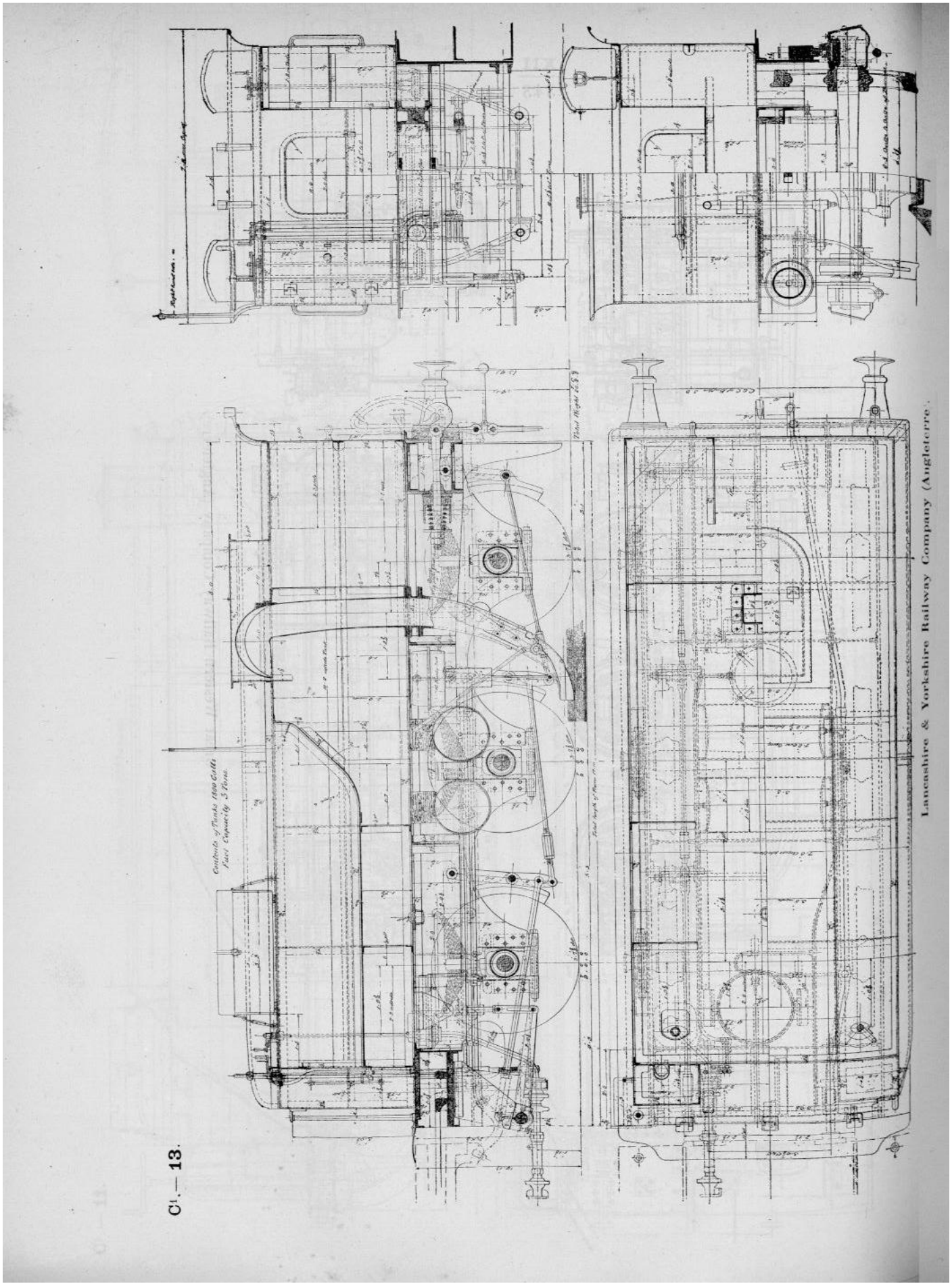
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Great Western Railway Company (Angleterre).

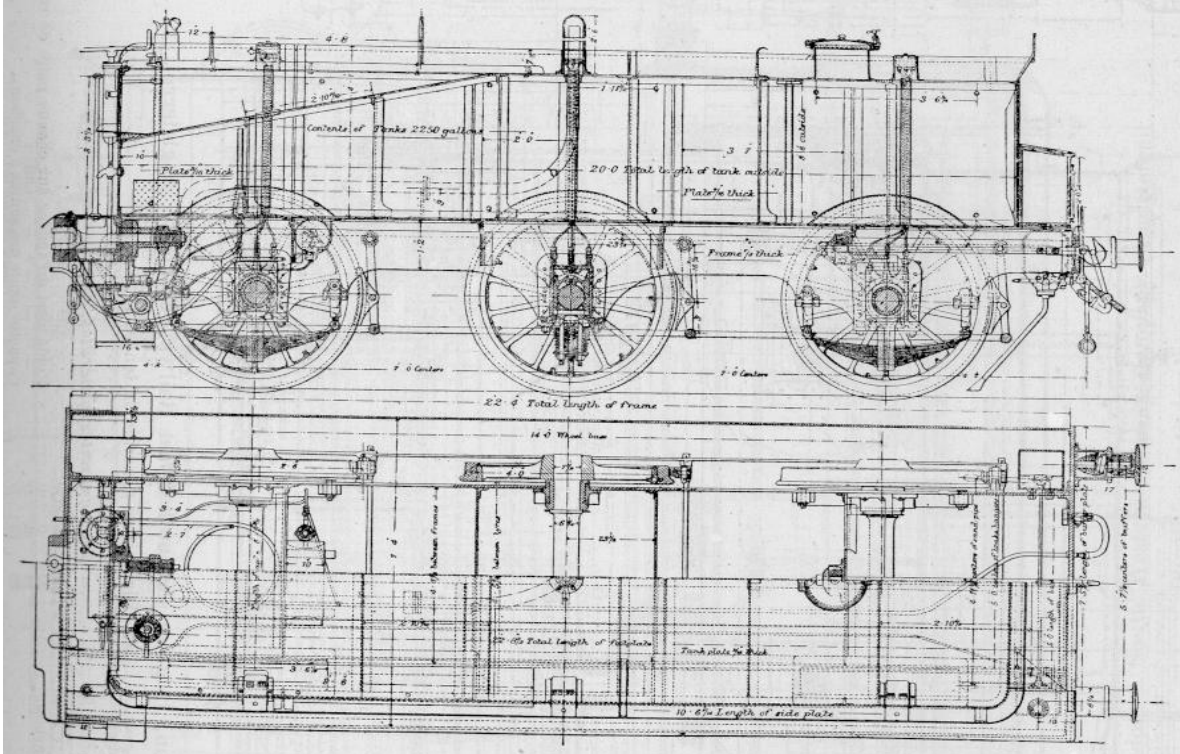
Cl. — 12a.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

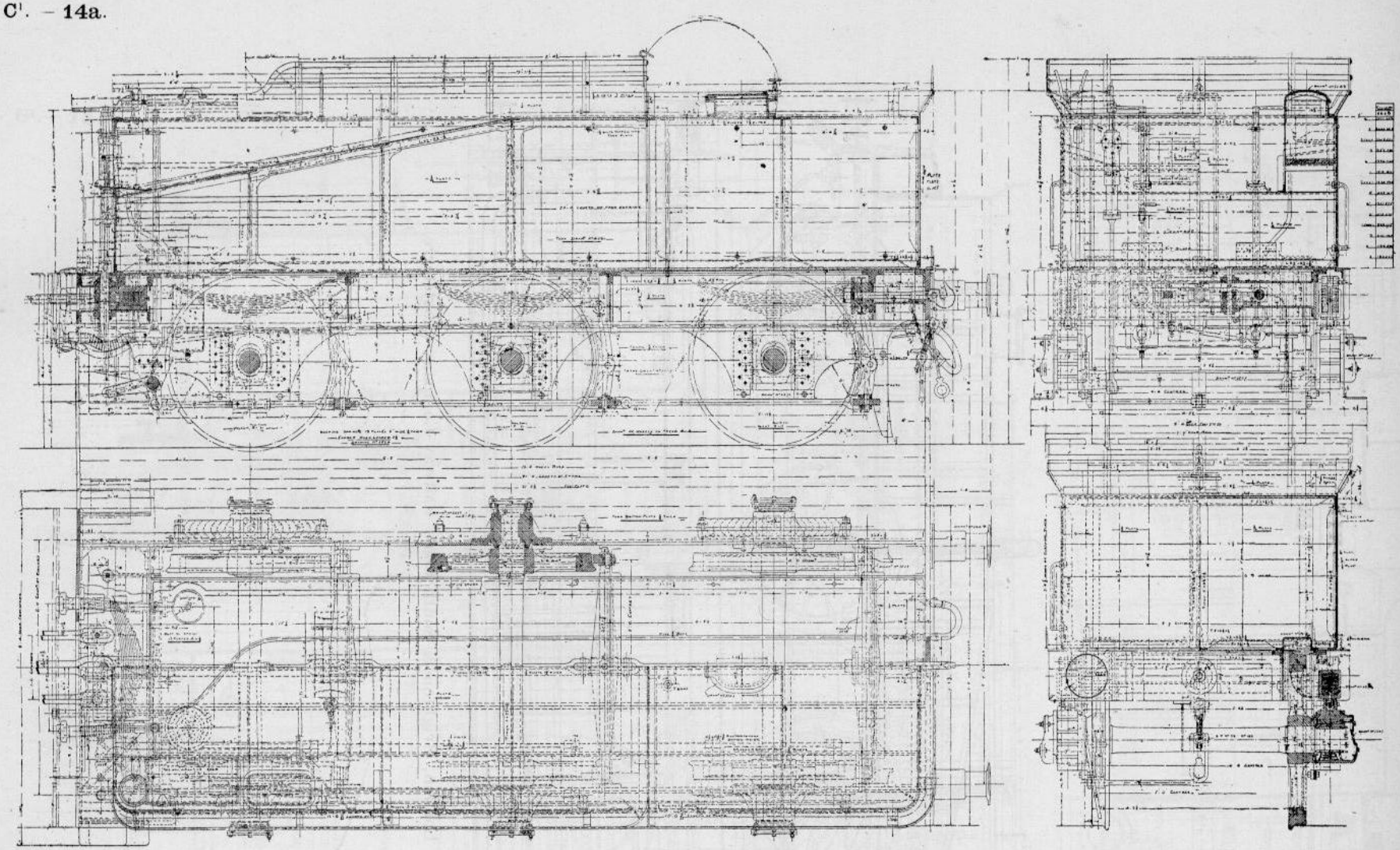
C[l]. — 14.



London, Brighton & South Coast Railway Company (Angleterre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C¹. – 14a.



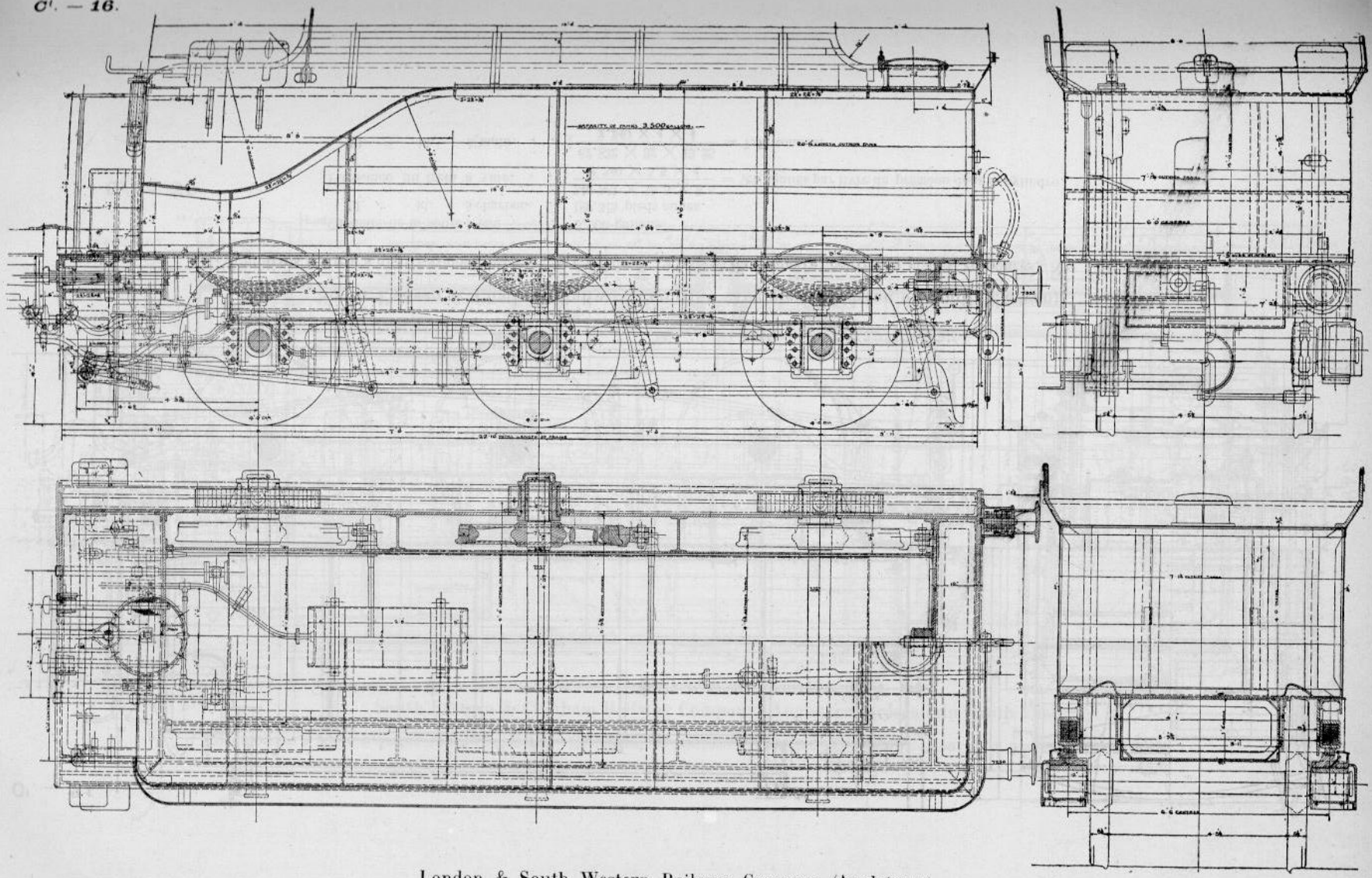
London, Brighton & South Coast Railway Company (Angleterre).

Disposition générale du tender type.

Particularités générales.

	Tons.	Cwt.	Qr.		Tons	Cwt.	Qr.
Poids total du tender chargé de 2 tonnes de charbon. . . .	33	0	0	Poids total du tender sur chaque paire de roues	8	11	0
— — — à vide	18	6	0	— — — — eau	11	12	0
— — — moyen.	25	13	0	Capacité totale des soutes à charbon	4	0	0

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



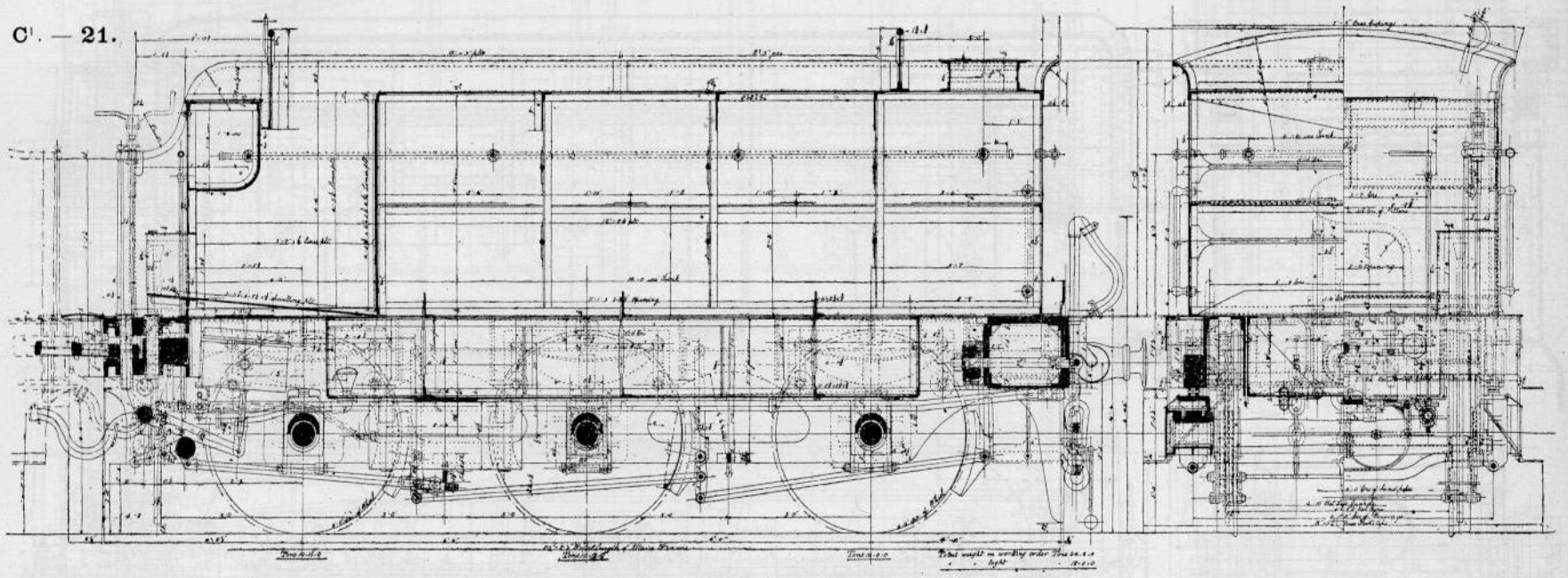
London & South Western Railway Company (Angleterre).

Disposition des tenders types.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

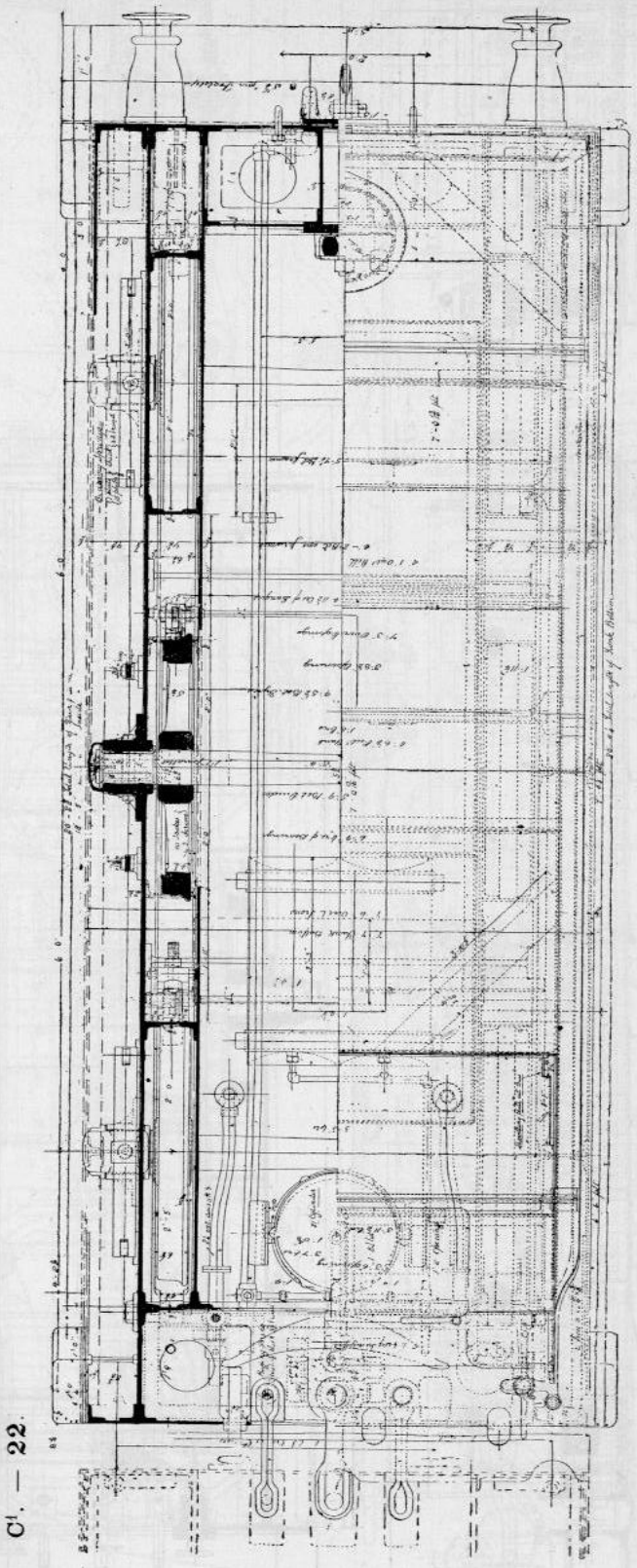
C¹. — 21.



South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre) (réseau du South Eastern).

Locomotives à bogie à quatre roues couplées. — Cylindres, 19 pouces de diamètre; course du piston, 26 pouces. Nos 440 à 459.

Capacité de la soute à eau . . .	3,000 gallons.	
Id. id. à charbon. .	189.315 pieds cubes.	
Puissance du frein à vide. . .	$\frac{346.361 \times 25.5 \times 5.5}{2.240 \times 5.5 \times 4}$	= 985 tonnes par livre de pression dans le cylindre.
Id. id. à main. . .	$\frac{62.832 \times 32 \times 13.25}{2,240 \times 4 \times 4}$	= 7,43 tonnes.



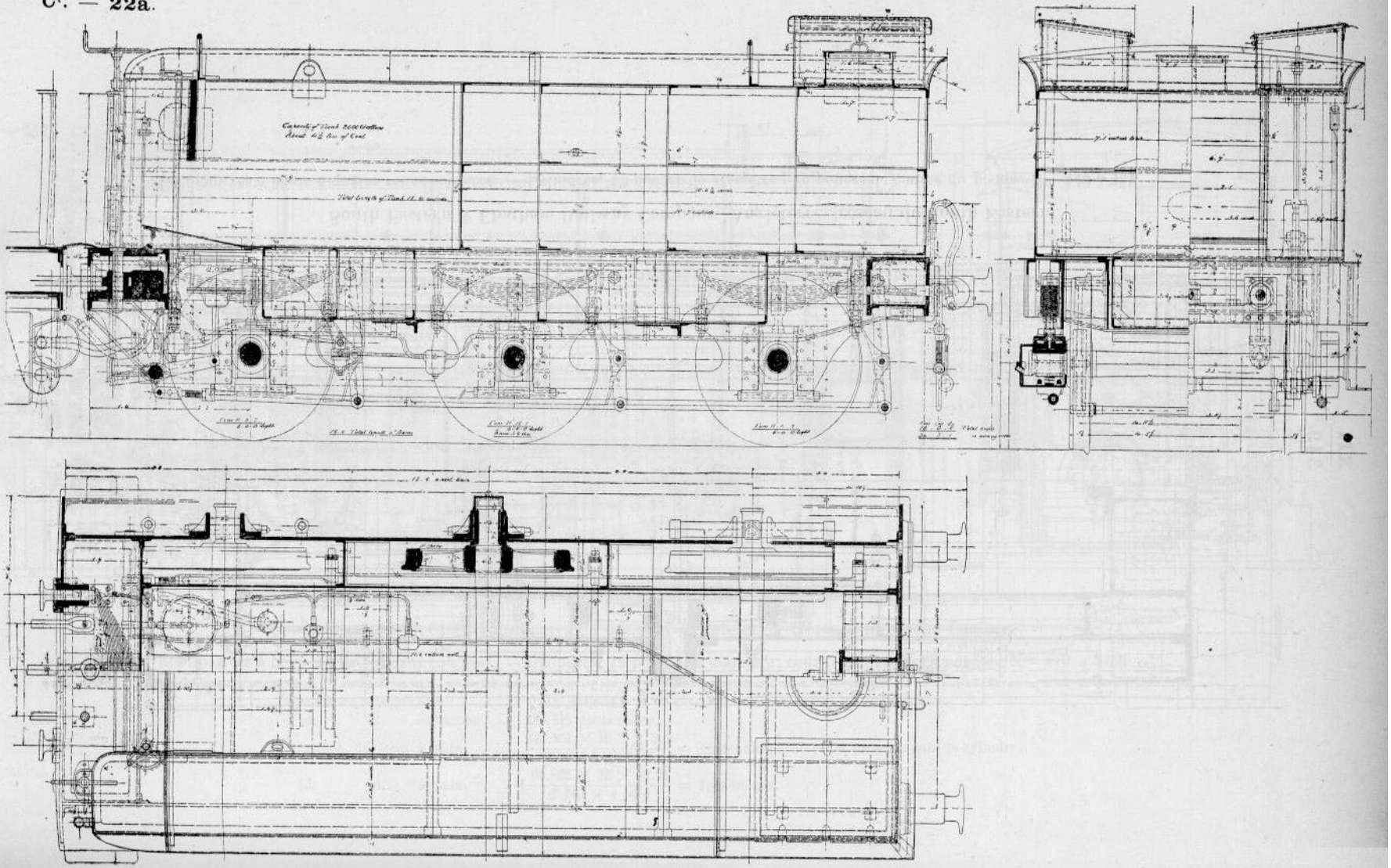
South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre) (réseau du South Eastern).

Locomotives à bogie à quatre roues couplées. — Cylindres, 19 pouces de diamètre ; 26 pouces de course du piston. Nos 440 à 459.

C1. — 22.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

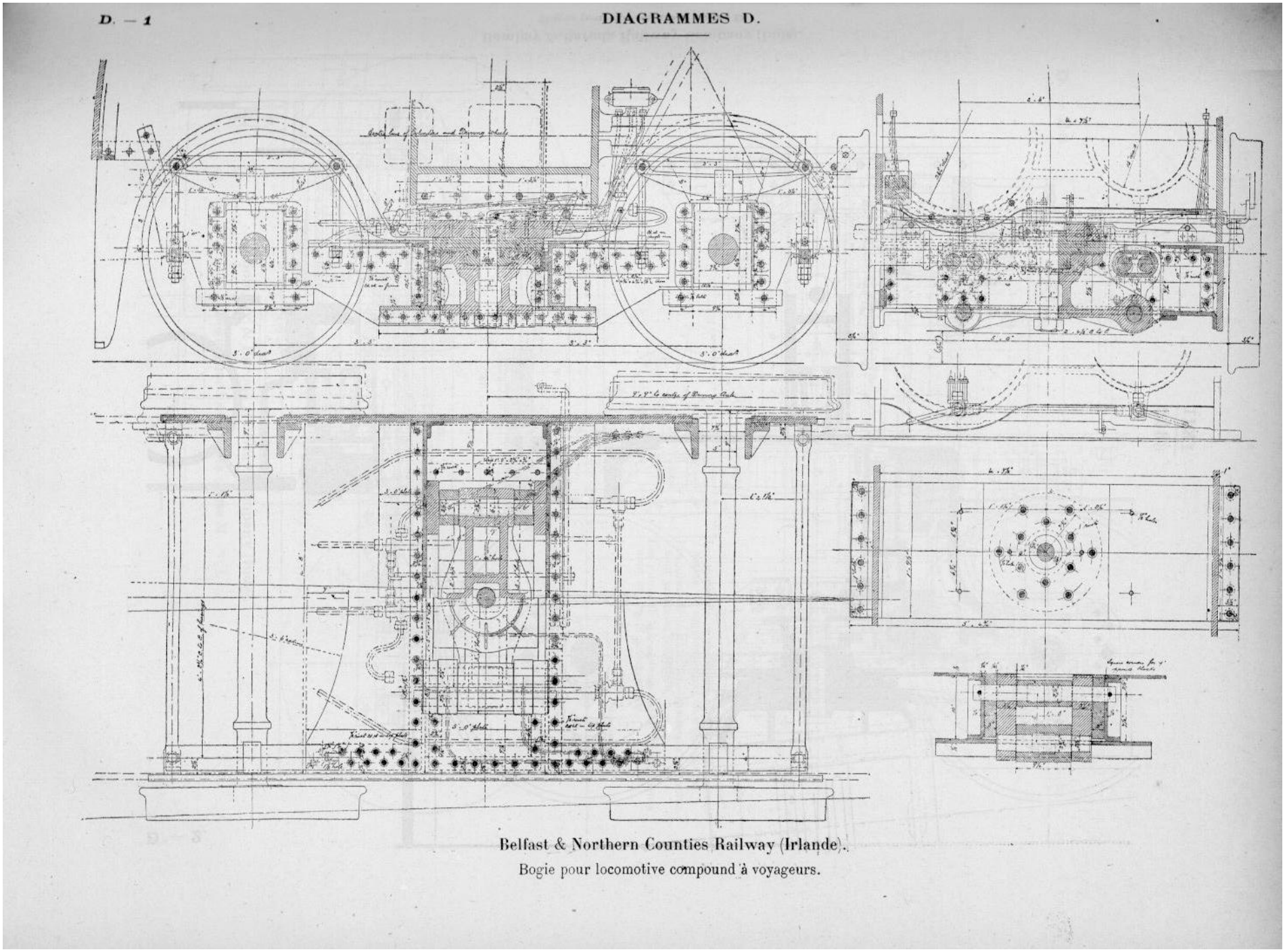
Cl. — 22a.



South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre) (réseau de Chatham).

Tender type. — Locomotives classe M3.

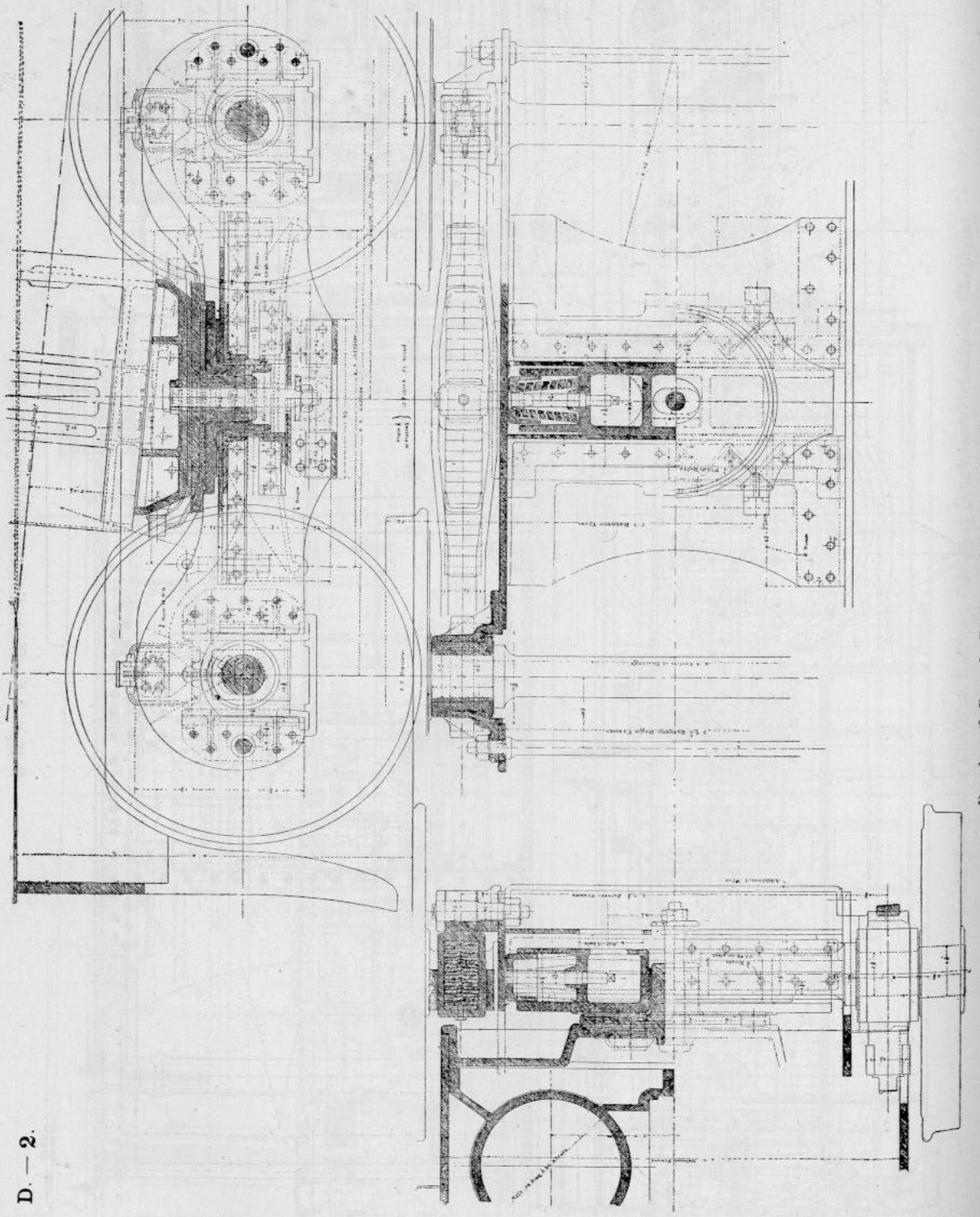
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Belfast & Northern Counties Railway (Irlande).

Bogie pour locomotive compound à voyageurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

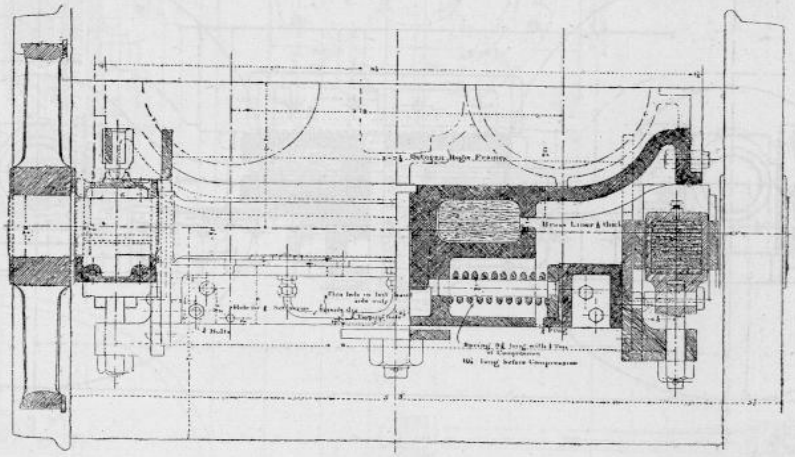


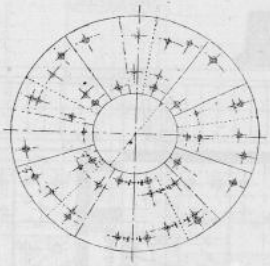
Bombay & Baroda Railway Company (Inde).
Bogie pour locomotives classe D.

D. — 2.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D. — 2 a.

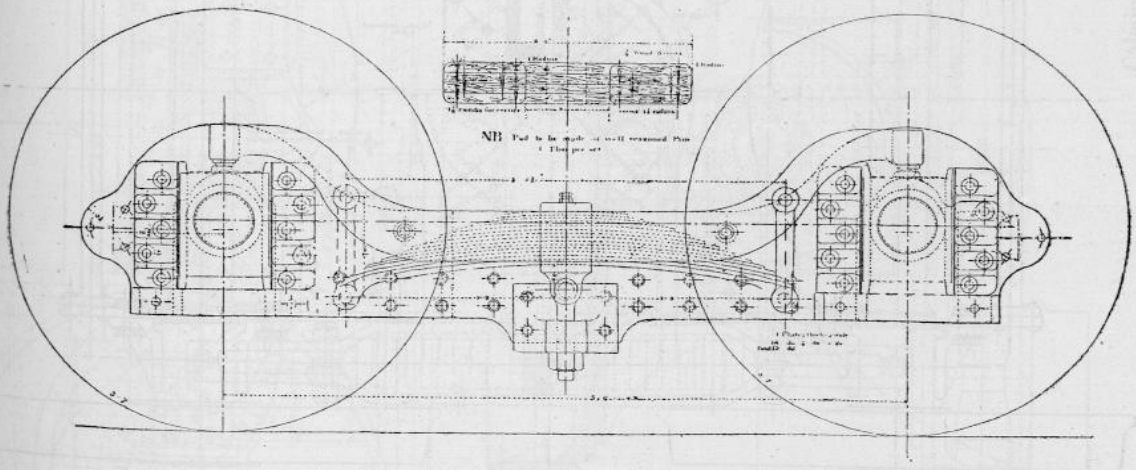




Les joints de la première et de la quatrième assise de segments sont en traits pleins.

Les joints de la deuxième assise de segments sont en traits pointillés.

Les joints de la troisième assise de segments sont en traits interrompus.

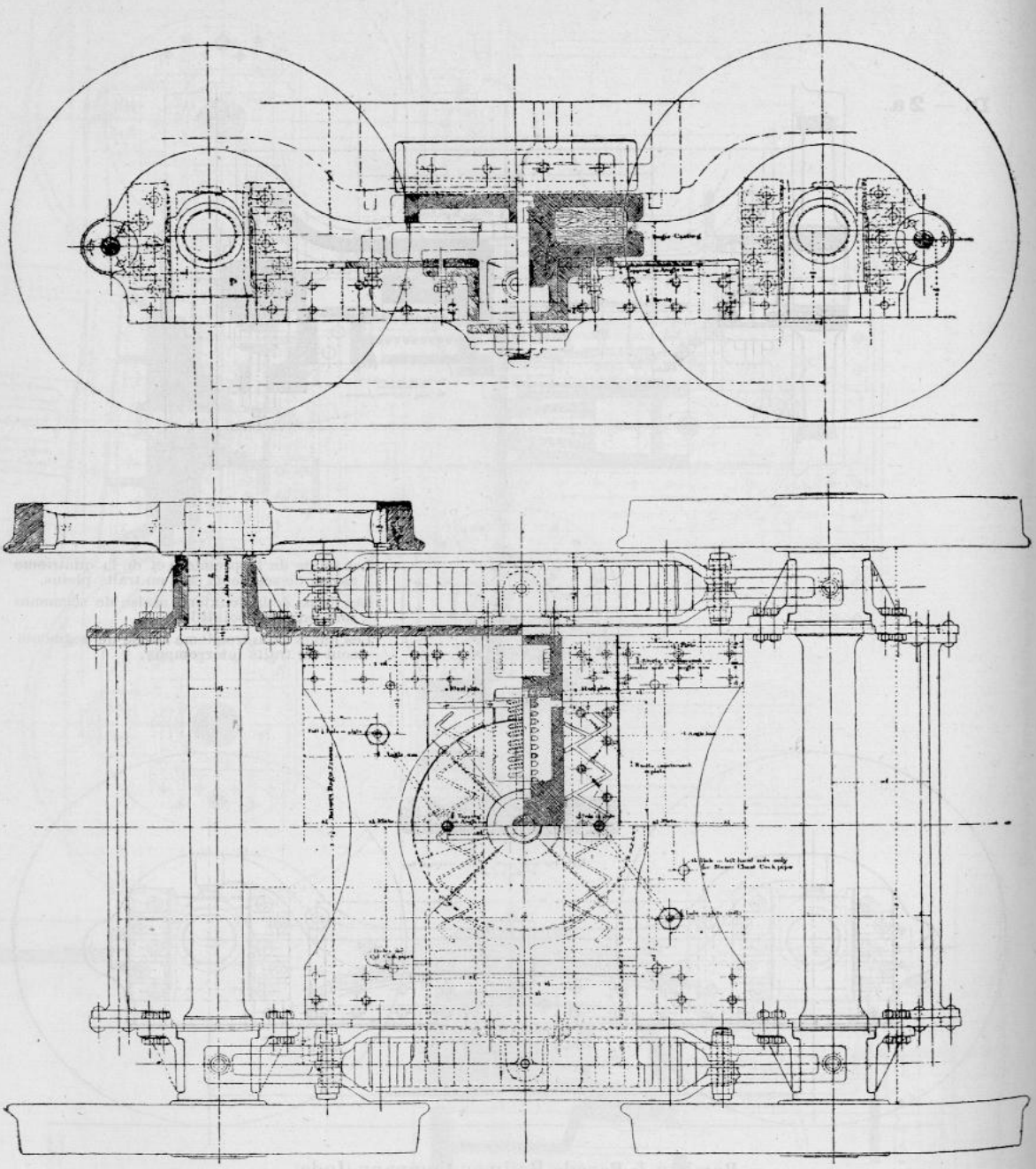


Bombay & Baroda Railway Company (Inde).

Bogie pour locomotives classe M.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

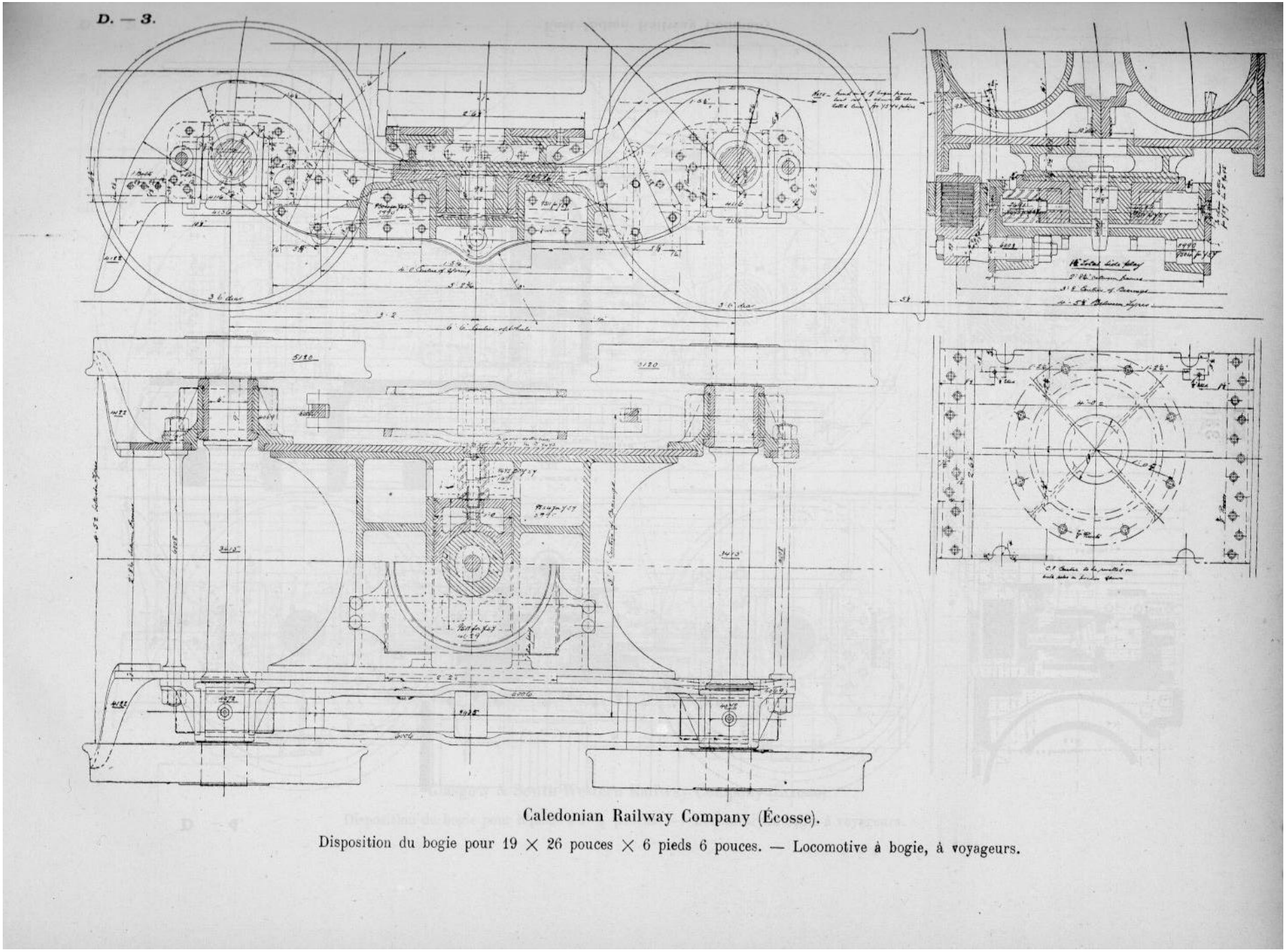
D. — 2a.



Bombay & Baroda Railway Company (Inde).

Bogie pour locomotives classe M.

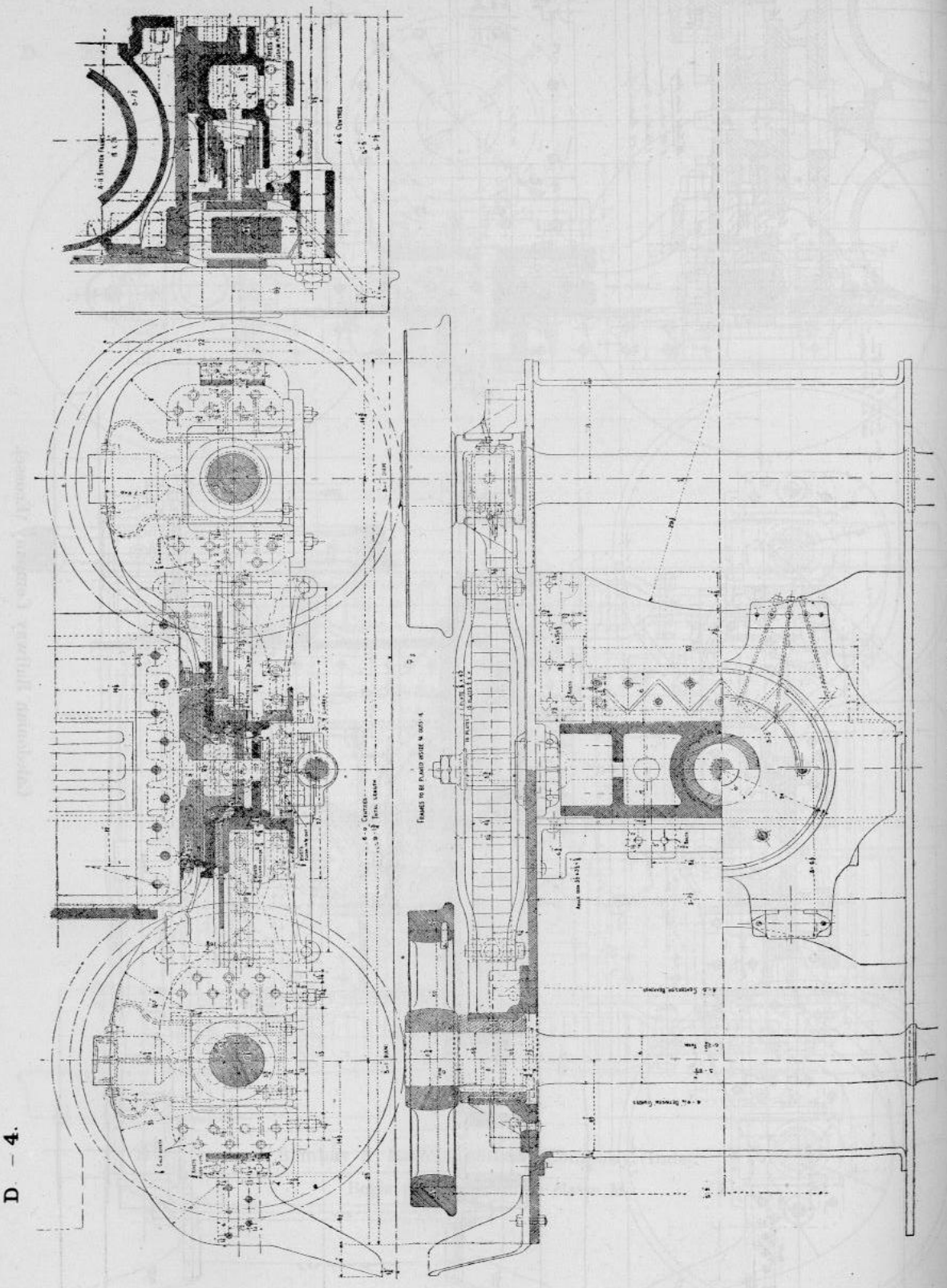
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Caledonian Railway Company (Écosse).

Disposition du bogie pour 19 × 26 pouces × 6 pieds 6 pouces. — Locomotive à bogie, à voyageurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



D – 4.

East Indian Railway Company.

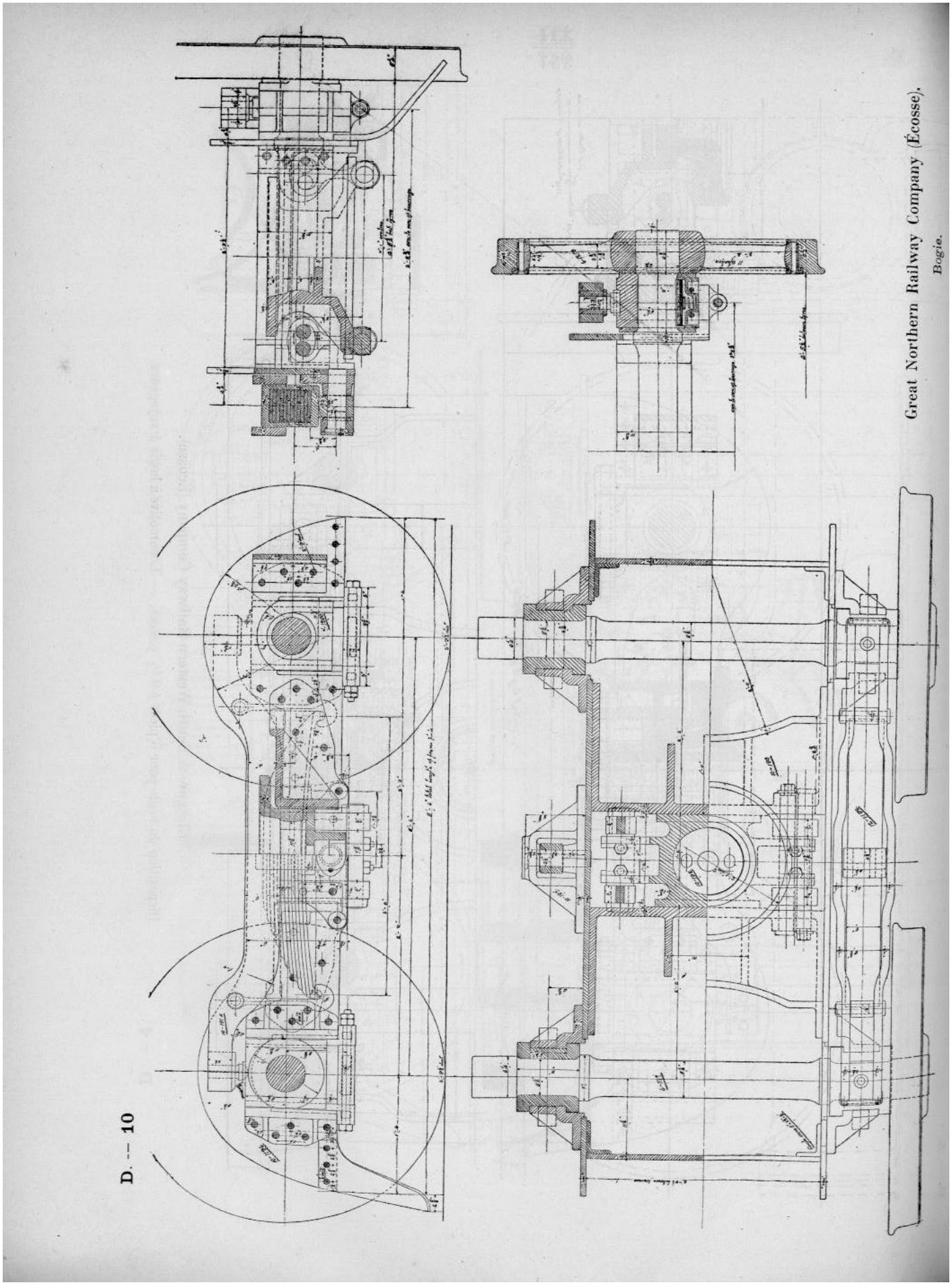
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D. — 5.

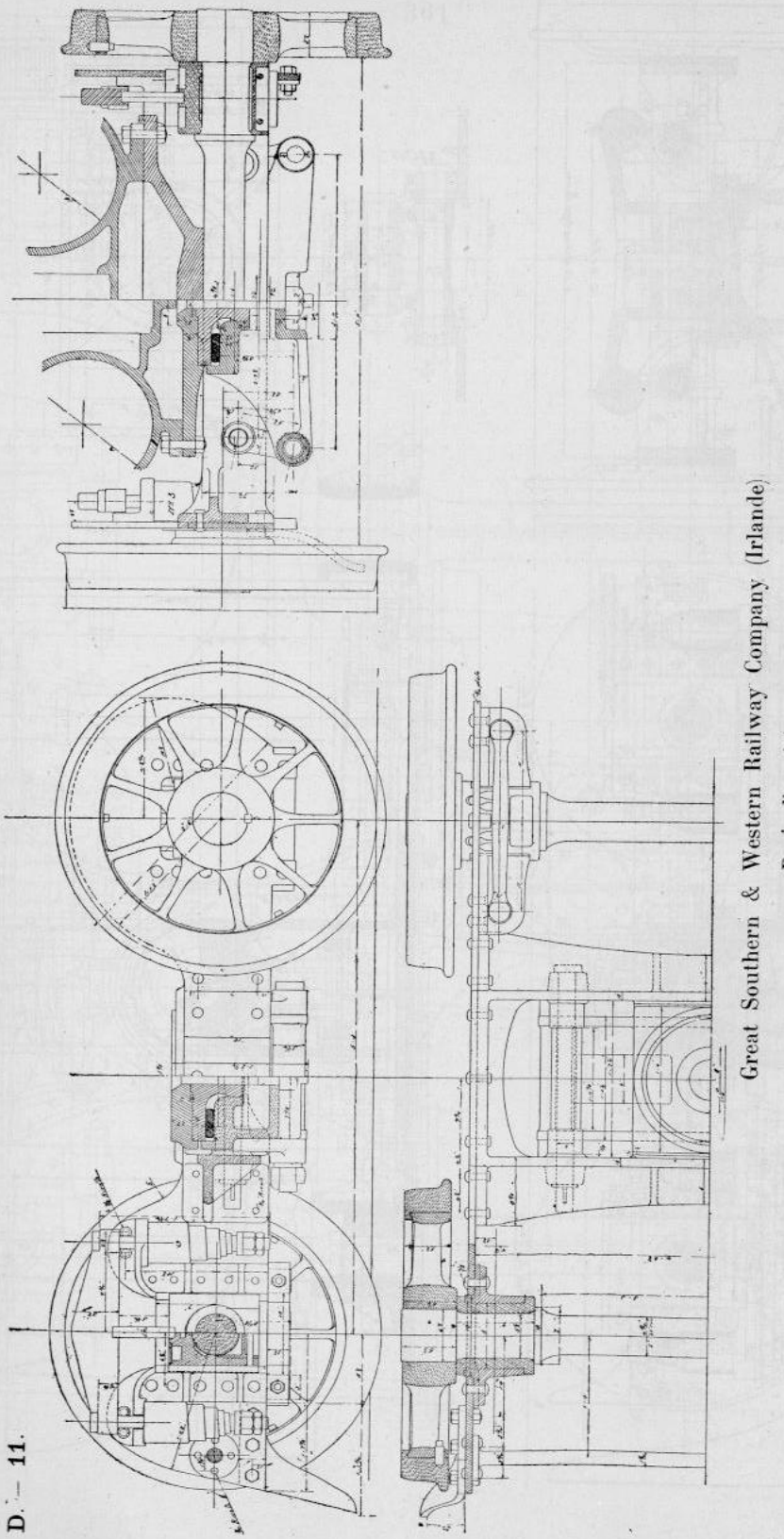
Glasgow & South Western Railway Company (Écosse).

Disposition du bogie pour 6 pieds à 9 1/2 pouces. — Locomotive à bogie à voyageurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



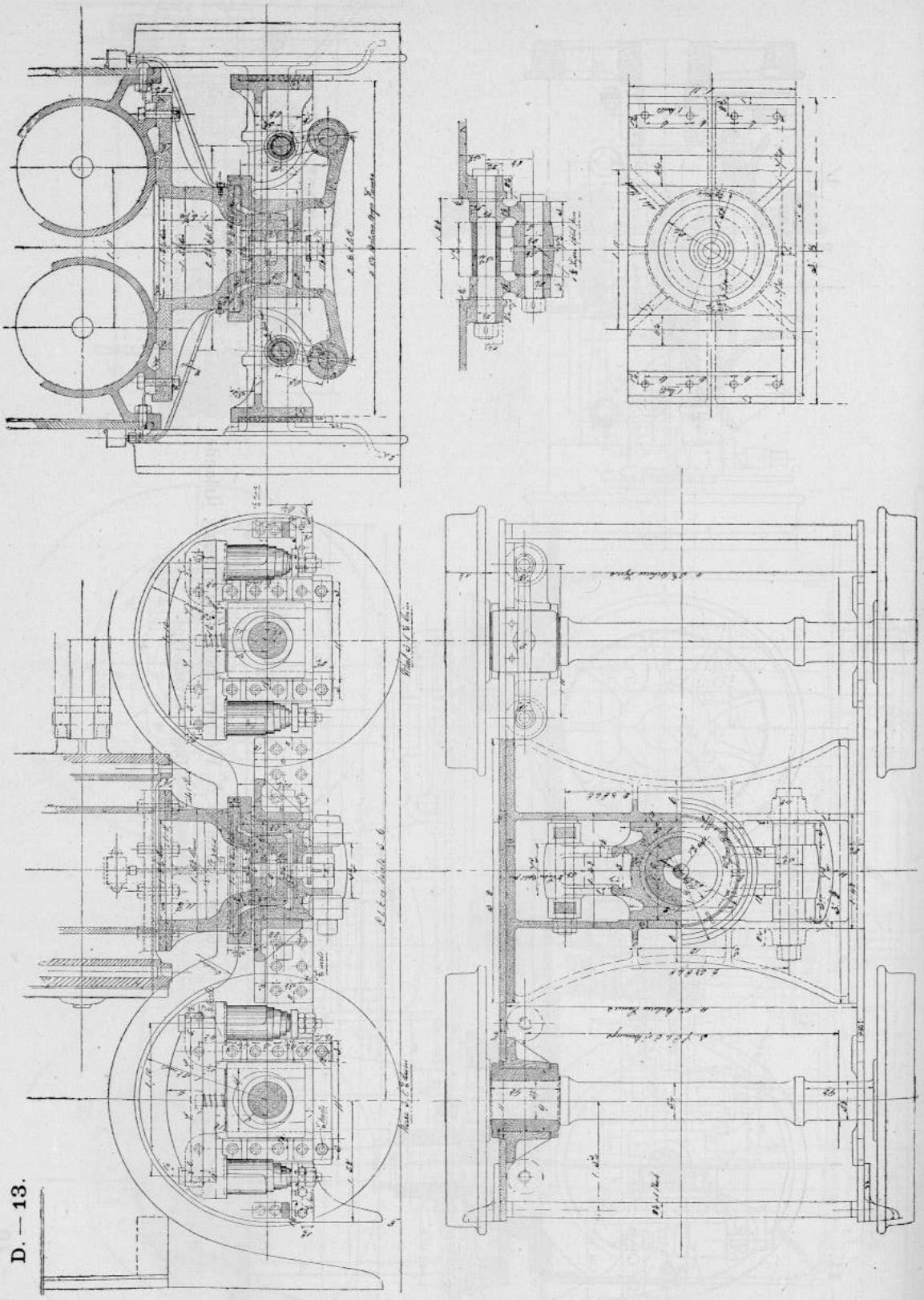
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Great Southern & Western Railway Company (Irlande)
Bogie d'avant type.

D. — 11.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

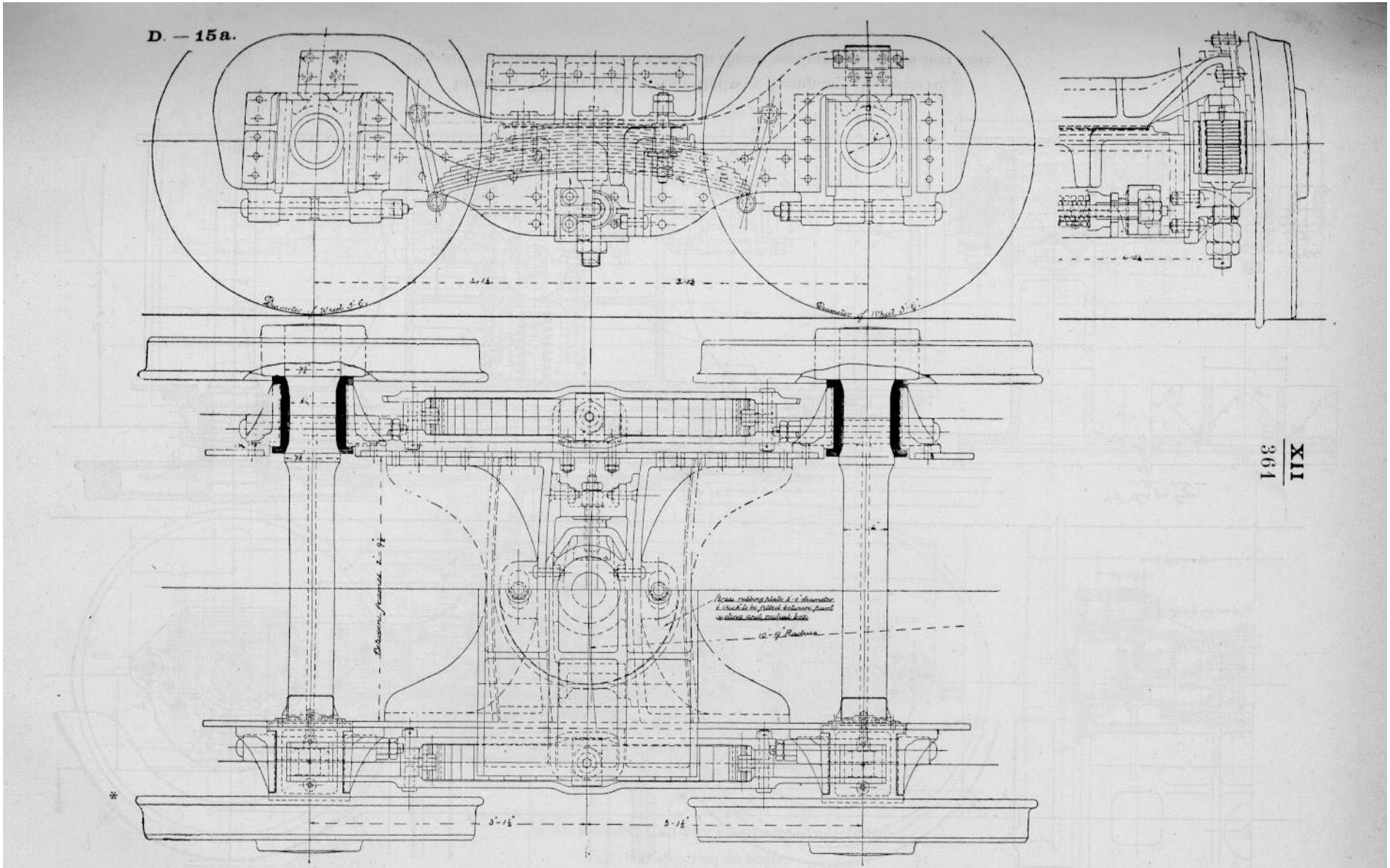


D. — 13.

Lancashire & Yorkshire Railway Company (Angleterre).

Locomotives à voyageurs à bogie, à cylindres de 18 × 26. — Disposition générale du bogie.

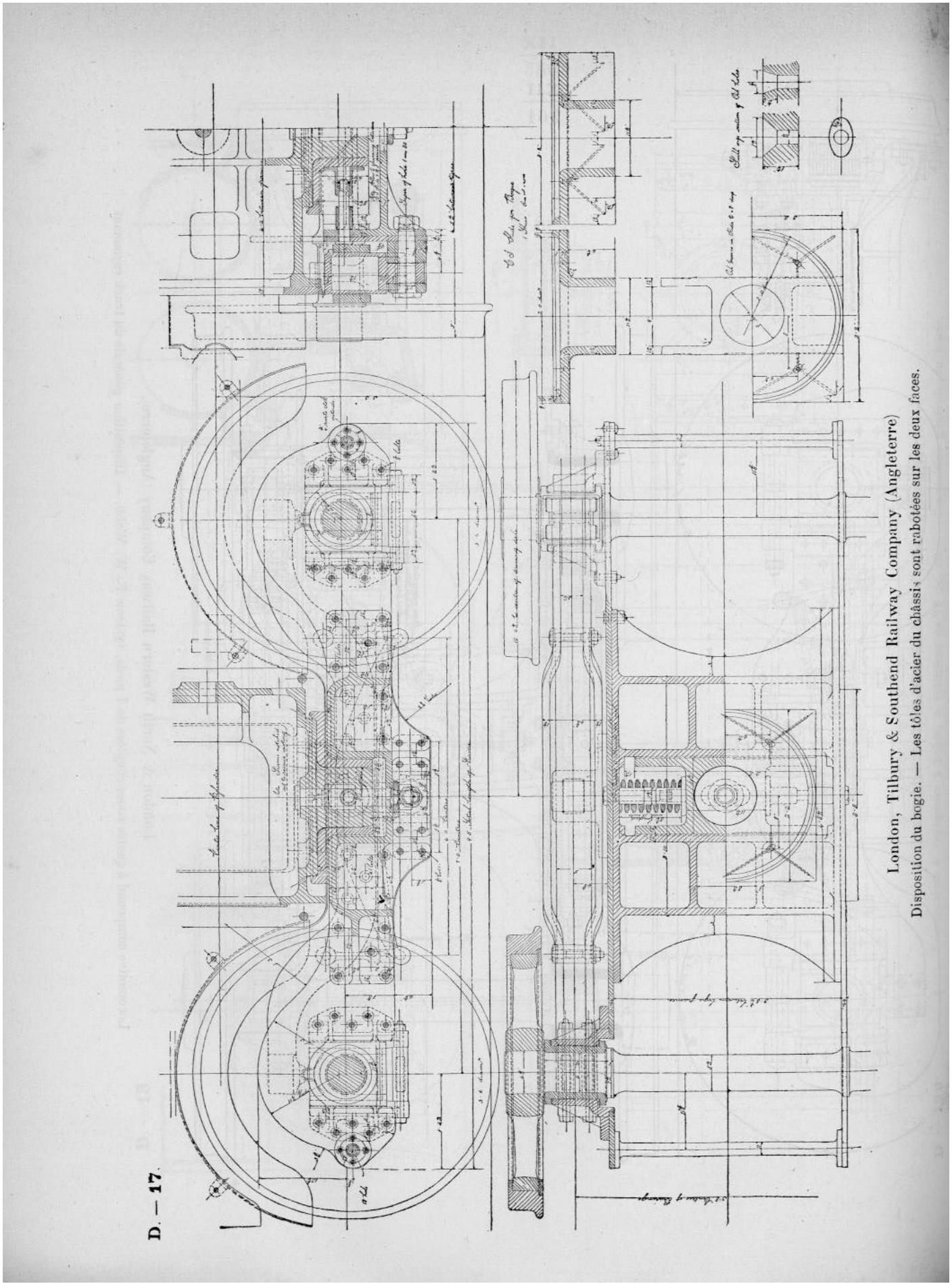
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



London & North Western Railway Company (Angleterre).

Locomotive compound à quatre roues couplées de 7 pieds, système F. W. Webb. — Disposition générale du truck rayonnant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

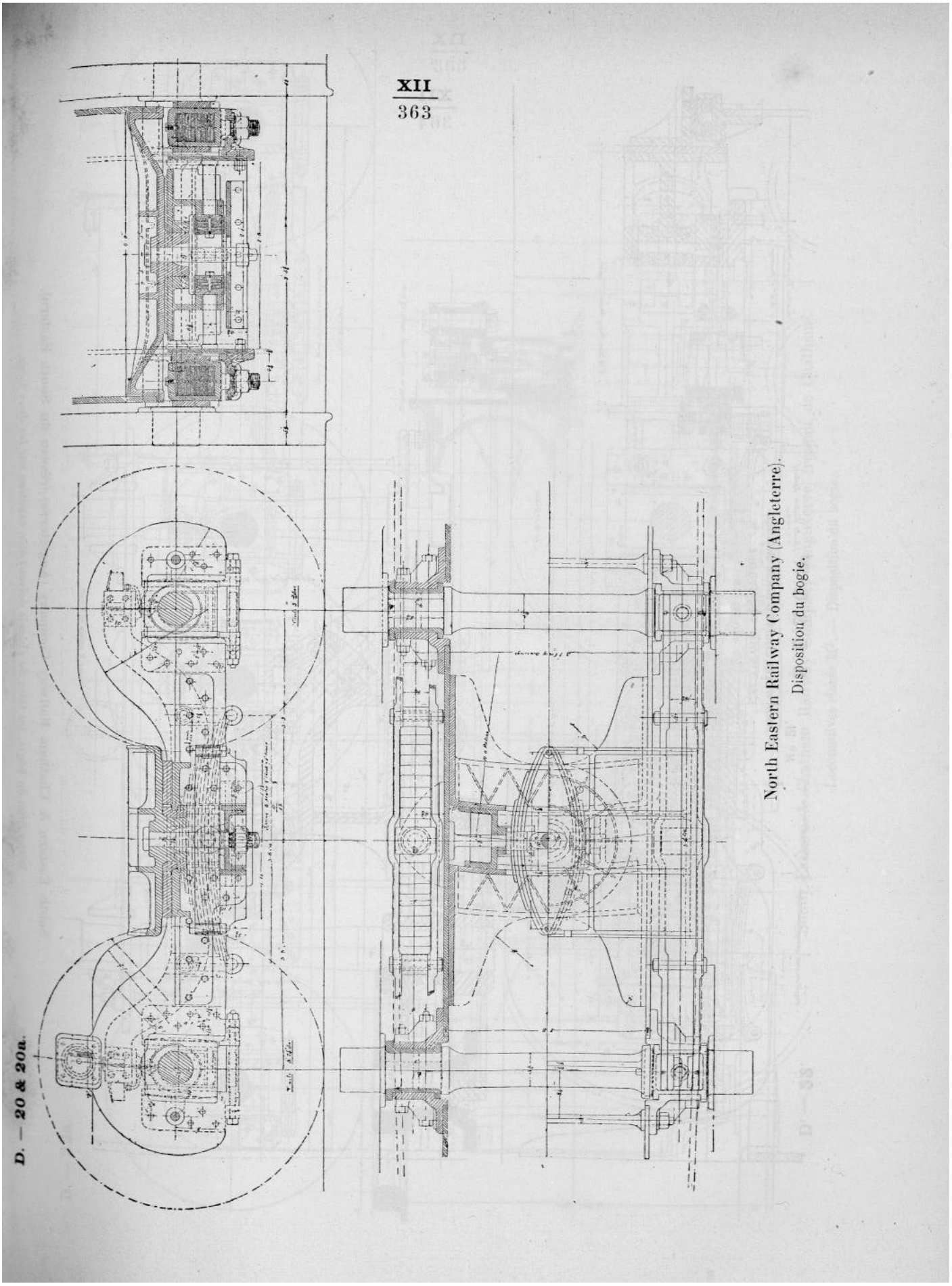


D. — 17.

London, Tilbury & Southend Railway Company (Angleterre)

Disposition du bogie. — Les tôles d'acier du châssis sont rabotées sur les deux faces.

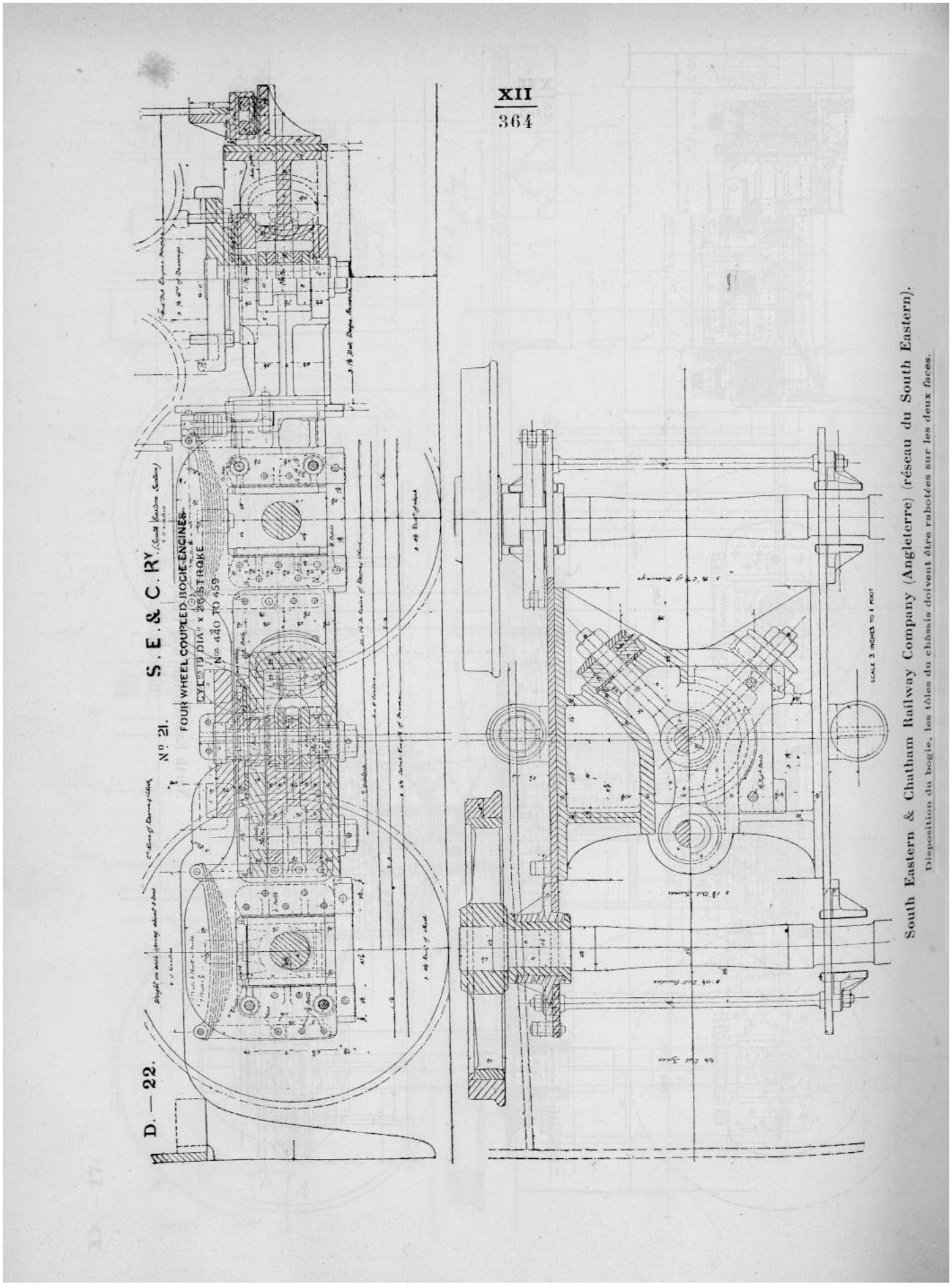
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



North Eastern Railway Company (Angleterre).
Disposition du bogie.

D. — 20 & 20a.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre) (réseau de Chatham).
Locomotives classe M³. — Disposition du bogie.

D. — 22a.

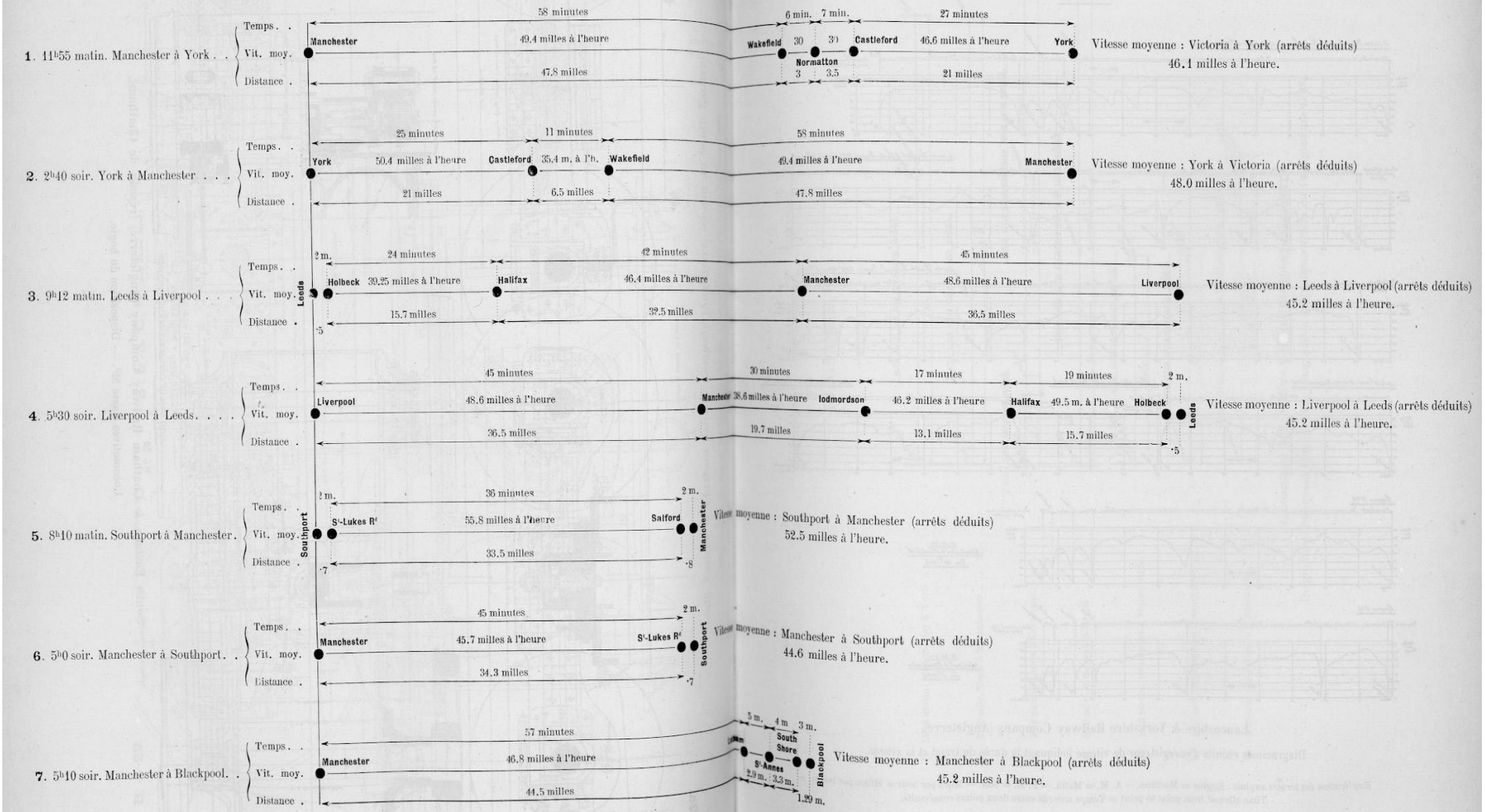
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME E[1].

DIAGRAMME E[1].

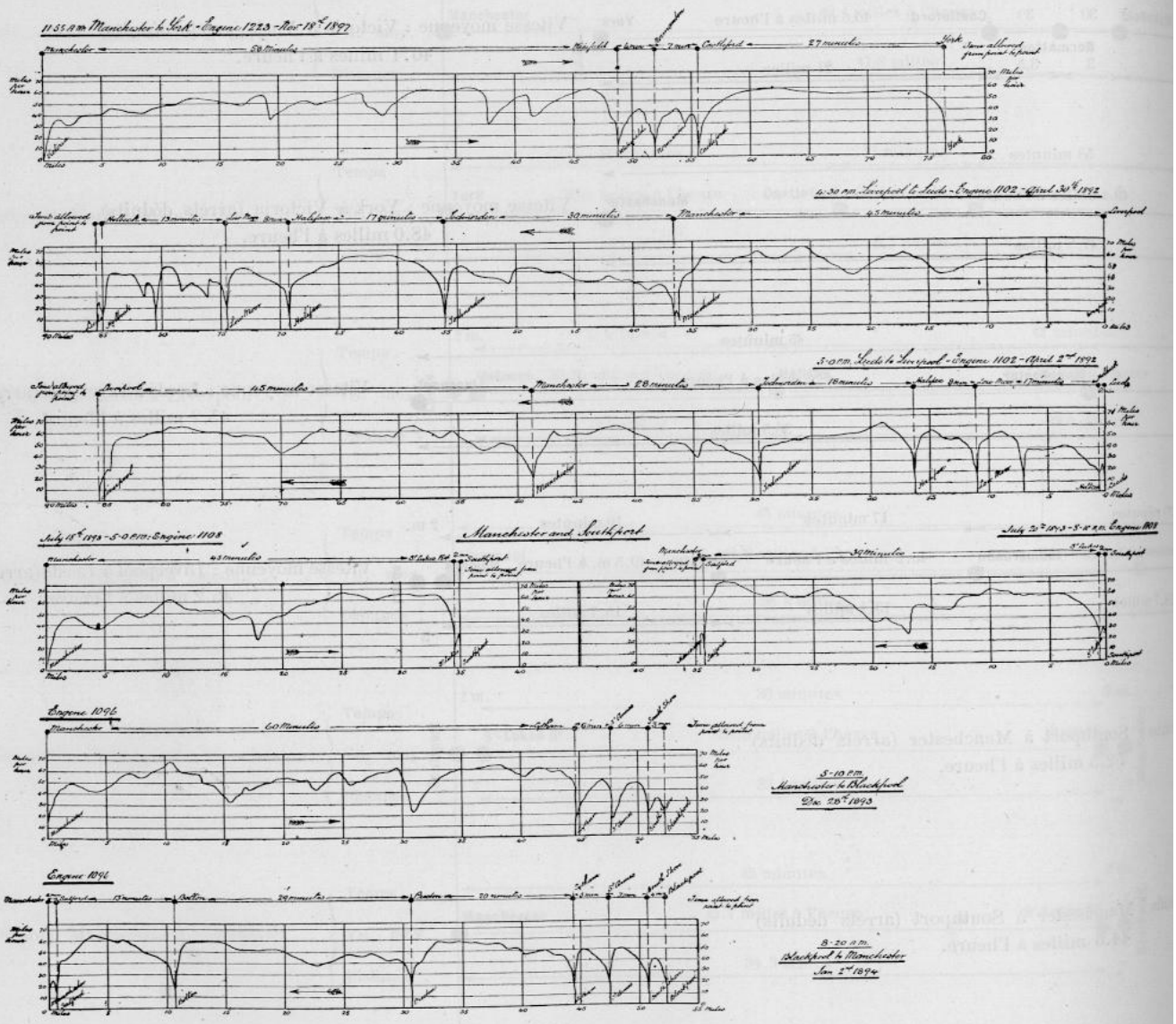
Lancashire & Yorkshire Railway Company (Angleterre). (N. 13.)

Diagrammes indiquant les vitseses moyennes des trains spécifiés dans les diagrammes précédents.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME E[1].



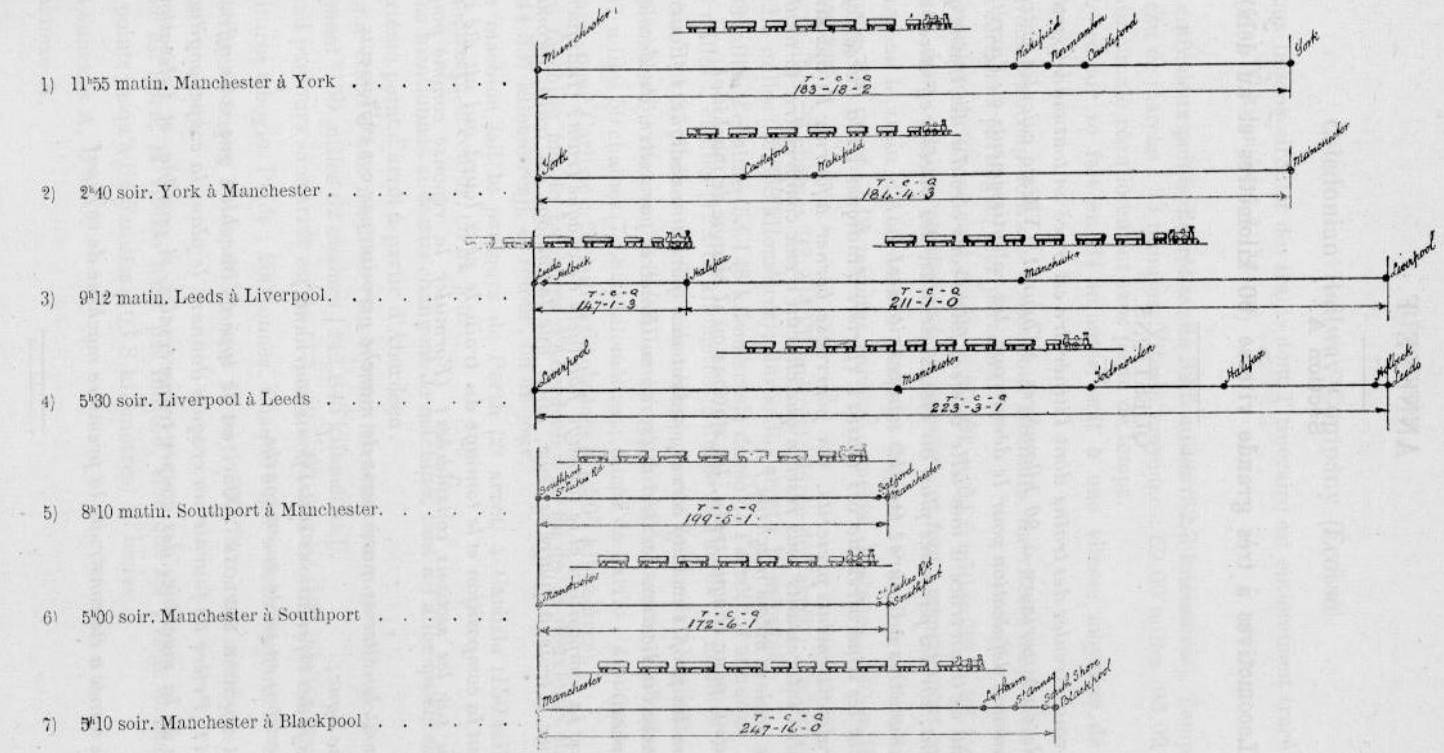
Lancashire & Yorkshire Railway Company (Angleterre).

Diagrammes réduits d'enregistreur de vitesse indiquant la durée du trajet et la vitesse.

Explication des termes anglais : Engine = Machine. — A. M. = Matin. — P. M. = Soir. — Miles per hour = Milles par heure. — Time alloued from point to point = Temps accordé entre deux points consécutifs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMME E.



* Lancashire & Yorkshire Railway Company (Angleterre).

Diagrammes indiquant le poids et la composition de quelques trains du 14 septembre 1898.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE F.

Section A.

Locomotives à très grande vitesse (90 kilomètres et au delà).

QUESTIONS.

1A. *Faites-vous circuler des trains dont l'itinéraire est tracé en tout ou en partie à une vitesse moyenne égale ou supérieure à 90 kilomètres à l'heure? (Vitesse calculée entre deux points d'arrêt sans aucune défalcation pour le démarrage, les ralentissements ou l'arrêt.)*

1B. *A défaut de train tracé à une telle vitesse, faites-vous circuler des trains qui, habituellement, atteignent, sur des parcours plus ou moins étendus, des vitesses effectives égales ou supérieures à 90 kilomètres à l'heure? Quelles sont ces vitesses?*

2. *Quels sont les itinéraires de ces trains? (Prière d'indiquer ici la durée de tous les arrêts ainsi que les ralentissements prescrits. On pourra se borner à fournir l'itinéraire détaillé des parcours les plus intéressants sous réserve que chacun d'eux comprendra la totalité du service assuré par une seule et même machine.)*

3. *Quelles sont, pour chaque train, les stations où il change de machine?*

4. *Quels sont les profils en long correspondant aux parcours indiqués? (Fournir un croquis de ces profils avec l'indication des déclivités, en millimètres par mètre, du développement et du rayon des courbes.)*

5. *Quels sont la composition et le tonnage habituels de chaque train? (Indiquer le nombre de véhicules à deux, à trois, à quatre essieux, ainsi que le tonnage du train, locomotive et tender non compris.)*

6. *Quels sont la composition et le tonnage du train le plus lourd qui ait été remorqué sans perte de temps sur les sections considérées? (Formuler la réponse comme pour la question ci-dessus.)*

7. *Quelles sont les vitesses maximums de marche permises par vos règlements :*

1° *En pleine ligne;*
2° *Au passage des bifurcations et des ponts tournants;*
3° *Sur les sections en pente ou en courbe.*

8. TYPE DE MACHINE EMPLOYÉ : *Quel est le type de machine que vous affectez au service ci-dessus défini? (Prière de fournir un croquis donnant le plan, la coupe longitudinale et l'élévation latérale de la machine, des coupes transversales, si possible, et l'elévation latérale du tender.)*

9. *En quelle année a été construite la première machine de ce type?*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RÉPONSES.

Caledonian Railway Company (Écosse).

1A. Oui, nous faisons circuler des trains dont l'itinéraire est entièrement tracé à une vitesse moyenne dépassant 90 kilomètres à l'heure.

Exemple :

La distance entre deux points d'arrêt est de 32.5 milles (52.3 kilomètres). Temps de parcours d'après le tableau de marche : 33 minutes. Vitesse moyenne : 59.09 milles (95.09 kilomètres) à l'heure. Ce train circule régulièrement sans perte de temps.

Le trajet de retour se fait en 34 minutes, soit à une vitesse moyenne de 57.35 milles (92.29 kilomètres) à l'heure.

1B. Nous avons beaucoup de trains tracés pour atteindre une vitesse de plus de 90 kilomètres à l'heure dans certaines parties de leur parcours.

Un certain nombre de trains sont tracés à 60, 61 et 64.5 milles (96.5, 98.1 et 103.8 kilomètres) à l'heure, dans certaines parties de leur parcours, et font journellement ces vitesses.

2. Nous citerons le train d'Aberdeen à Carlisle. Départ : 8 heures soir; arrivée : 1 heure 42 matin. Durée du trajet, 342 minutes, arrêts compris. Distance, 240 milles 47 chaînes (387.182 kilomètres).

1re étape : 57 milles 25 chaînes (92.234 kilomètres); durée de l'arrêt : 3 minutes.
2e étape : 32.5 milles (52.303 kilomètres); durée de l'arrêt : 10 minutes.
3e étape : 33 milles 2 chaînes (53.148 kilomètres); durée de l'arrêt : 3 minutes.
4e étape : 8 milles 2 chaînes (12.915 kilomètres); durée de l'arrêt : 2 minutes.
5e étape : 15 milles 37 chaînes (24.884 kilomètres); durée de l'arrêt : 1 minute.
6e étape : 20 milles 59 chaînes (33.353 kilomètres); durée de l'arrêt : 4 minutes.
7e étape : 47 milles 59 chaînes (76.825 kilomètres); durée de l'arrêt : 4 minutes.
Dernière étape, pour Carlisle : 25 milles 63 chaînes (41.500 kilomètres).

La première machine fait le parcours d'Aberdeen à la fin de la deuxième étape (89 milles 65 chaînes [144.537 kilomètres]), et retour, en un jour.

La seconde machine fait le parcours de Perth (2e arrêt) à Carlisle (150 milles 62 chaînes [242.645 kilomètres]), et retour, en un jour.

3. Les trains mentionnés ci-dessus changent de machine, tant à l'aller qu'au retour, à Perth, qui est le deuxième point d'arrêt à partir d'Aberdeen.

La plus longue étape d'une machine remorquant le même train est celle de Perth à Carlisle, ou réciproquement (150 milles 62 chaînes [242.645 kilomètres]).

Le plus grand parcours sans arrêt est de 117 milles 60 chaînes (189.5 kilomètres).

5. Neuf voitures à bogie. Poids : 200 tonnes. Chaque bogie a deux essieux.

6. Douze voitures à bogie. Poids, 265 tonnes 10 cwt. (269.76 tonnes métriques). Chaque bogie a deux essieux.

7. Si la voie est libre, la vitesse n'est pas limitée, bien que les livrets de marche indiquent pour certains points jusqu'à 64.5 milles (103.8 kilomètres) à l'heure.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE G.

Section B.

Moteurs des trains rapides lourdement chargés.

QUESTIONS.

1. *Faites-vous circuler des trains que leur vitesse et leur charge habituelle permettent de faire rentrer dans la catégorie des trains rapides lourdement chargés?*

1A. *A défaut de ces trains, faites-vous circuler, à une vitesse similaire, des trains qui atteignent toujours, sur des parcours plus ou moins étendus, des vitesses effectives égales ou supérieures à 56 milles (90 kilomètres) à l'heure? Quelles sont ces vitesses?*

2. *Quels sont les itinéraires de ces trains? (Prière d'indiquer ici la durée de tous les arrêts ainsi que les ralentissements prescrits. On pourra se borner à fournir l'itinéraire détaillé des parcours les plus intéressants, sous réserve que chacun d'eux comprendra la totalité du service assuré par une seule et même machine.)*

3. *Où et combien de fois changez-vous de machine? Quelle est la plus grande distance parcourue par une machine avec le même train? Quel est le plus long trajet sans arrêt?*

4. *Quels sont les profils en long correspondant aux parcours indiqués? (Fournir un croquis de ces profils, avec l'indication des déclivités, en millimètres par mètre, du développement et du rayon des courbes.)*

5. *Quels sont la composition et le tonnage habituels de chaque train? (Indiquer le nombre de véhicules à deux, à trois, à quatre, à six essieux, ainsi que le tonnage, total et net, du train, locomotive et tender non compris.)*

6. *Quels sont la composition et le tonnage du train le plus lourd qui ait été remorqué sans perte de temps sur les sections considérées? (Formuler la réponse comme pour la question ci-dessus.)*

7. *Quelles sont les vitesses maximums de marche permises par vos règlements :*
1° Sur la grande ligne ;
2° Sur les embranchements et au passage des bifurcations et des ponts tournants ;
3° Sur les sections en pente ou en courbe?

8. *Type de machine employé.*
Quel est le type de machine que vous affectez au service ci-dessus défini?
(Prière de fournir un croquis donnant le plan, la coupe longitudinale et l'élévation latérale de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la machine, des coupes transversales si possible, et l'élévation latérale du tender, avec les charges respectives de chaque paire de roues de la machine et du tender.)

9. *En quelle année a été construite la première machine de ce type ?*

RÉPONSES.

—

1. Belfast & Northern Counties Railway (Irlande).

1. Oui.

1A. Oui, tous nos trains de grandes lignes dépassent la vitesse de 56 milles (90 kilomètres) à l'heure sur une partie quelconque du parcours.

2. *Train de 8 heures matin, Belfast à Derry.*

Distance en milles (kilom.).				
	Belfast	Dép.	8	heures matin.
6 3/4 (10.16)	Greenisland	Arr.	8.13	—
	—	Dép.	8.15	—
13 1/4 (21.32)	Doagh		8.30	—
18 1/4 (29.37)	Dunadry		8.40	—
	Antrim		8.47	—
	Cookstown (bifurcation)	Arr.	8.53	—
	Ballymena	Arr.	9.10	—
	—	Dép.	9.15	—
	Ballymoney	Arr.	9.50	—
	—	Dép.	9.53	—
	Coleraine	Arr.	10.5	—
	—	Dép.	10.9	—
	Limavady (bifurcation)		10.34	—
	Derry	Arr.	10.55	—

Entre Ballymena et Derry, ralentissement à huit stations pour l'échange des tablettes.

Nota. — Une seule machine fait, pour sa journée, le trajet ci-dessus de Belfast à Derry, et le retour, soit au total 190 milles (306 kilomètres).

3. La plus grande distance parcourue par une machine avec le même train est de 95 milles (153 kilomètres) et le plus long parcours sans arrêt est de 46 1/2 milles (74.8 kilomètres).

5. La composition de trains varie beaucoup, mais on peut admettre que le poids moyen est de 120 à 150 tonnes, non compris la machine et le tender.

7. Il n'existe pas de réglementation spéciale au sujet de ces questions.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2. Bombay & Baroda Railway Company (Indes).

1. Oui, nous faisons circuler des trains pouvant être rangés dans la catégorie des trains rapides lourdement chargés.

1A. Nous faisons circuler des trains qui atteignent une vitesse effective de 56 milles (90 kilomètres) à l'heure dans certaines parties de leur parcours.

2. Nous n'avons pas de diagrammes d'indicateur de vitesse de ces parcours.

3. Entre Bombay et Ahmedabad (distance 309.5 milles [498 kilomètres]), la machine est changée une fois, à Surat.

La plus grande distance parcourue par une machine avec le même train est de 167 milles (269 kilomètres).

Le plus long trajet sans arrêt est de 50.5 milles (81.3 kilomètres), de Palghar à Damon.

5. La composition habituelle du train est la suivante :

8 véhicules à 4 roues ;
5 — à 6 — ;
1 — à 8 —

Poids du train à vide . . . . . 191 t. 1 cwt. 3 qrs. (194 tonnes 145 kilogrammes).
— sous charge . . . . . 243 t. 13 cwt. 0 qrs. (247 tonnes 550 kilogrammes).

6. Le train le plus lourd remorqué, sans perte de temps, avait la composition ci-après :

13 véhicules à 4 roues ;
5 — à 6 — ;
1 — à 8 — .

Poids du train à vide . . . . . 244 t. 7 cwt. 1 qr. (248 tonnes 260 kilogrammes).
— sous charge . . . . . 316 t. 16 cwt. 1 qr. (321 tonnes 880 kilogrammes).

7. 1° 60 milles (96.5 kilomètres) à l'heure ;
2° 10 — (16.1 —) — ;
3° 27 — (43.4 —) — .

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

3. Caledonian Railway Company (Écosse).

1. Oui, des trains express à intercirculation, avec voitures-restaurant de 1re et de 3e classe.

1A. Ces trains sont tracés à une vitesse de 60 à 61 milles (96.5 à 98 kilomètres) à l'heure entre certains points, et ils font journellement ces vitesses.

2. Voici trois exemples :

a) De Glasgow à Carlisle, 102.3 milles (164.6 kilomètres), sans arrêt ;
b) De Carlisle à Glasgow (train de retour), un arrêt de 5 minutes ;
c) D'Édimbourg à Carlisle, 100.5 milles (161.7 kilomètres), sans arrêt ;
d) De Carlisle à Édimbourg (train de retour), un arrêt de 2 minutes ;
e) De Perth à Carlisle, 150.7 milles (241.5 kilomètres), 1er arrêt, de 2 minutes, à Stirling (33 milles 2 chaînes [53.148 kilomètres]) ; 2e arrêt, de 2 minutes, à Larbet (8 milles 2 chaînes [12.915 kilomètres]) ; 3e arrêt, de 3 minutes, à Coatbridge (15 milles 37 chaînes [24.884 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètres]); 4e arrêt, de 10 minutes, à Carstairs (20 milles 59 chaînes [33.353 kilomètres]); 5e arrêt, de 15 minutes, à Symington (6 milles 53 chaînes [10.662 kilomètres]). Dernière étape, pour Carlisle (66 milles 69 chaînes [107.600 kilomètres]);

f) De Carlisle à Perth (train de retour), les mêmes arrêts.

Temps de trajet des trains ci-dessus : *a*) 2 heures 15 minutes; *b*) 2 heures 10 minutes; *c*) 2 heures 5 minutes; *d*) 2 heures 7 minutes; *e*) 3 heures 50 minutes; *f*) 3 heures 37 minutes.

3. Pour les trains cités ci-dessus, la réponse est la suivante : *a*) et *b*) pas de changement, la machine fait chaque jour le parcours de retour; *c*) et *d*) pas de changement, la machine fait chaque jour le double trajet; *e*) et *f*) pas de changement, la machine fait chaque jour le double parcours. Le plus grand trajet sans arrêt est de 117 milles 60 chaînes (189.5 kilomètres).

5. *a*) 11 véhicules, savoir : 8 voitures à intercirculation, avec bogies à 4 roues, et 3 voitures-restaurant à intercirculation, montées sur bogies à 6 roues. Charge : 286 tonnes 8 cwt. (291.080 tonnes métriques), non compris les bagages, la poste, ni les voyageurs);

b) La voiture à intercirculation sur bogies à 4 roues pèse 20 tonnes 16 cwt. (21.130 tonnes métriques).

Le restaurant à intercirculation sur bogies à 6 roues pèse 40 tonnes (40.640 tonnes métriques).

6. 12 véhicules remorqués par 1 machine sans renfort, savoir : 9 voitures à intercirculation, sur bogies à 4 roues, et 3 voitures-restaurant à intercirculation, sur bogies à 6 roues.

Charge : 307 tonnes 7 cwt. (312.270 tonnes), non compris les bagages, la poste, ni les voyageurs.

Ces trains circulent sans perte de temps.

7. Sur voie libre, la vitesse des trains rapides n'est pas limitée, bien qu'entre certains points le tracé prévoie une vitesse atteignant 64.5 milles (103.8 kilomètres) à l'heure.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

4. East Indian Railway Company (Indes).

5. Malle de Bombay : Howrah, Asansol, Mokameh, Buxar, Allahabad, Sutna, Jubbulpore.

Malle de Punjab : Howrah, Asansol, Mokameh, Buxar, Allahabad, Cawnpore, Jundla, Ghaziabad, Umballa.

De Buxar à Allahabad : 153 $^1/_4$ milles (246.6 kilomètres).

7. 60 milles (96.5 kilomètres) à l'heure.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

5. Glasgow & South Western Railway Company (Écosse).

1. Oui.

1 A. Le train remorqué par la machine décrite plus loin atteint toujours, sur une partie plus ou moins considérable de son parcours, une vitesse réelle de 56 milles (90 kilomètres) à l'heure, ou au-dessus. La vitesse de certaines parties du trajet est de 65 milles (105 kilomètres) à l'heure.

2. Le train express partant à 1 h. 30 m. soir de Glasgow pour Carlisle est tracé à une vitesse moyenne de 47.58 milles (76.57 kilomètres) à l'heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le premier arrêt, de 4 minutes, se fait à Kilmarnock (24 milles 28 chaînes [39.186 kilomètres]); le reste du trajet jusqu'à Carlisle (91 milles 11 chaînes [141.670 kilomètres]) est franchi sans arrêt.

3. Les longueurs des lignes du « Glasgow & South Western » ne sont pas assez considérables pour nécessiter un changement de machine pendant le parcours.

Le plus long trajet sans arrêt est de 91 milles 11 chaînes (141.67 kilomètres).

5. Le train se compose de 2 voitures à bogies de 4 roues; de 2 restaurants à 12 roues et de 2 fourgons-frein à 6 roues. Son poids total est de 150 tonnes.

6. On n'a pas tenu de statistique à ce sujet.

7. La vitesse dépasse rarement 65 milles (105 kilomètres) à l'heure. Nos règlements ne donnent des prescriptions qu'en ce qui concerne la vitesse à observer au passage de certaines aiguilles ou bifurcations; la vitesse varie en ces points suivant les circonstances.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

6. Great Eastern Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

1 A. Oui, les trains dépassent souvent 56 milles (90 kilomètres) à l'heure entre certains points, et atteignent même 62 milles (100 kilomètres) à l'heure.

2. Voir les tableaux ci-après.

3. Une seule machine remorque chaque train jusqu'à la fin de son parcours.

Le plus grand trajet franchi par une machine avec le même train est de 138 milles 130 chaînes (224.7 kilomètres.)

5. 3 voitures de 1re et 3e classe, avec toilette et bagages; 1 voiture mixte de 1re et 3e classe, avec toilette et bagages; 1 voiture de 1re classe avec toilette; 3 voitures de 3e classe avec toilette; 1 voiture de 3e classe et 3 fourgons-frein.

Nombre de voitures.	Nombre d'essieux.	Poids de chaque voiture.	Poids total.
3	4	20 tonnes 4 cwts (20,523.2 kg.).	63 tonnes 12 cwts (61,569.6 kg.).
1	3	13 — 10 — (13,716.0 —).	13 — 10 — (13,716.0 —).
1	3	13 — 10 — (13,716.0 —).	13 — 10 — (13,716.0 —).
3	3	13 — 0 — (13,208.0 —).	39 — 0 — (39,624.0 —).
1	3	13 — 3 — (13,360.4 —).	13 — 3 — (13,360.4 —).
3	3	12 — 11 — (12,750.8 —).	37 — 13 — (38,252.4 —).
			180 tonnes 8 cwts (183,286.4 kg.).
		Voyageurs et bagages.	29 — 7 — (29,819.6 —).
		Total. . .	209 tonnes 15 cwts (213,106.0 kg.).

6. 3 voitures à bogies, de 1re et 3e classe, avec toilette et compartiments à bagages; 2 voitures de 1re classe avec toilette, 1 salon (no 7); 1 salon (no 21); 1 salon-toilette de 3e classe (no 27); 4 voitures de 3e classe avec toilette; 1 voiture de 3e classe; 4 fourgons-frein.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nombre de voitures.	Nombre d'essieux.	Poids de chaque voiture.	Poids total.
3	4	21 tonnes 4 cwts (21,539.2 kg.).	63 tonnes 12 cwts (64,617.6 kg.).
2	3	13 — 10 — (13,462.0 —).	27 — 0 — (26,924.0 —).
1	3	12 — 18 — (13,106.4 —).	12 — 18 — (13,106.4 —).
1	3	15 — 14 — (16,154.4 —).	15 — 14 — (15,951.4 —).
1	3	13 — 0 — (13,208.0 —).	13 — 0 — (13,208.0 —).
4	3	13 — 0 — (13,208.0 —).	52 — 0 — (52,832.0 —).
1	3	13 — 3 — (13,360.4 —).	13 — 3 — (13,360.4 —).
4	3	12 — 11 — (12,750.8 —).	50 — 4 — (51,003.2 —).
			247 tonnes 11 cwts (251,510.8 kg.)
		Voyageurs et bagages.	40 — 5 — (40,894.0 —).
		Total. . .	287 tonnes 16 cwts (292,404.8 kg.).

7. 1° Pas de limite.
2° 15 milles (24 kilomètres) à l'heure aux bifurcations.
3° Pas de limite.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

7. Great Central Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

2. STATIONS.	Distance en milles (km.).	Temps du trajet.	Vitesse en milles (km.) à l'heure.
De Londres à Leicester.	103 (165.7)	2 h. 0 m.	51 1/2 (82.9)
De Leicester à Loughboro.	9 (14.5)	... 14 m.	38 (61.0)
De Loughboro à Nottingham	13 (20.9)	... 18 m.	43 (69.0)
De Nottingham à Sheffield.	39 (62.7)	... 53 m.	44 (71.0)
De Sheffield à Penistone	13 (20.9)	... 22 m.	35 (56.0)
De Penistone à Guide Bridge	23 (37.0)	... 35 m.	39 (63.0)
De Guide Bridge à Manchester	5 (8.0)	... 9 m.	33 (53.0)

3. *Composition du train.*

1 voiture de 1re classe à 6 roues. . . .	14 tonnes 6 cwts (14,530 kg.).
1 — 3e — à 6 —	13 — 16 — (14,020 —).
1 — 3e — à 6 —	13 — 16 — (14,020 —).
1 — 3e — à 6 —	13 — 16 — (14,020 —).
1 — à bogie, avec appareil de déclenchement en marche	24 — 0 — (24,385 —).
Total. . .	79 tonnes 14 cwts (80,975 kg.).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8. Great Northern Railway Company (Angleterre).

1. Oui, un grand nombre.

1A. La vitesse atteinte est variable, mais elle est souvent de 60 à 70 milles (96 à 112 kilomètres) à l'heure, et une vitesse de 75 milles (120 kilomètres) à l'heure n'est pas exceptionnelle.

2. De Londres à Doncaster, 156 milles (251 kilomètres), en 3 heures, avec un seul arrêt intermédiaire de 4 minutes à Grantham (à 105 1/4 milles [168.6 kilomètres] de Londres) et un ralentissement à 10 milles (16 kilomètres) à l'heure à Peterboro (à 76 1/4 milles [122.7 kilomètres] de Londres). De Londres à Peterboro, 76 1/4 milles (122.7 kilomètres) en 87 minutes; de Peterboro à Doncaster, 79 3/4 milles (128.3 kilomètres) en 92 minutes. Comme exemples du service journalier des locomotives, nous citerons les machines allant de Londres à Grantham et retour, ou de Grantham à York et retour (165 1/2 milles [266.3 kilomètres]), ou de Doncaster à Peterboro et retour.

3. Généralement à la fin d'un trajet de 76, 80 ou 105 milles (122, 129 ou 169 kilomètres), mais cela dépend de la distance entre les gares.
120 milles (193 kilomètres).

3. Le train se compose de matériel à bogies de 6 roues, de matériel à bogies de 4 roues, et de matériel ordinaire à 6 roues.
Les charges varient beaucoup; souvent elles sont en moyenne de 210 à 250 tonnes, parfois elles atteignent de 270 à 300 tonnes.

6. Une charge de 214 tonnes (217 tonnes métriques), locomotive et tender non compris, est fréquemment remorquée de Londres à Grantham sans perte de temps, par une seule machine.

7. 1° Pas de limite.
2° Lorsque la courbe de la voie déviée est raide, 15 milles (24 kilomètres) à l'heure.
3° Il n'y a généralement pas de limite sur les pentes; la vitesse est quelquefois limitée pour le passage dans les courbes raides.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

9. Great Northern Railway Company (Irlande).

Voir la section C du questionnaire (annexe H).

10. Great Northern Railway Company (Écosse).

1. Oui.

1A. Oui, nous atteignons des vitesses de 56, 60, 65 et 70 milles (90, 96, 104 et 112 kilomètres) à l'heure.

2. L'express partant d'Aberdeen à 6 heures du matin est tracé pour aller à Elgin (distance 87 1/4 milles [140 4 kilomètres]) en 2 heures 20 minutes en faisant huit arrêts : à Dyce, 1 minute, pour le service de gare; à Huntly, 6 minutes, pour ravitaillement en eau de la machine et pour le service de gare; à Tillynaught, Porkoy, Cullen, Portknockie et Buckie, 1 minute pour le service de gare; à Garmouth, 2 minutes pour le contrôle des billets. L'express montant de 10 heures 32 minutes du matin est tracé pour aller d'Elgin à Aberdeen en 2 heures 20 minutes avec dix arrêts : à Urquhart, 1 minute, pour le service de gare; à Garmouth, 4 minutes, croisement de trains et service de gare; à Buckie, 5 minutes, marée et service de gare; à Cullen, Porkoy, Tillynaught, 1 minute, pour le service de gare; à Cairme Junction, 2 minutes, pour attacher une rame et pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le service de gare; à Huntly, 4 minutes, pour prise d'eau et pour le service de gare; à Dyce, 1 minute, pour le service de gare; à Schoolhill, 2 minutes, pour le contrôle des billets.

3. Il n'y a pas lieu à changement de machine, le parcours étant de 87 1/4 milles (140.4 kilomètres).

Le plus long trajet franchi régulièrement sans arrêt est de 40 3/4 milles (65.6 kilomètres), entre Aberdeen et Huntly.

5. 8 voitures à 6 roues, tonnage environ 112 tonnes (114 tonnes métriques).

8 véhicules à 6 roues, et quelquefois 6 véhicules à 6 roues et 2 voitures à 8 roues sur bogies.

6. Environ 11 voitures à 6 roues, soit 198 tonnes (201 tonnes métriques).

7. Pas de réglementation.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

11. Great Southern & Western Railway (Irlande).

1. Oui.

1 A. Jusqu'à concurrence de 60 milles (96.5 kilomètres) à l'heure.

2. De Dublin à Killarney, et *vice versa*, 185 1/4 milles (298 kilomètres), en 4 heures : 144 1/2 milles (232.5 kilomètres) de ligne à double voie de Dublin à Mallow, en 2 heures 55 min., avec l'arrêt de 5 minutes à Bally Cropley, et 40 3/4 milles (65.5 kilomètres) de Mallow à Killarney (ligne à voie unique) en 1 heure, avec cinq ralentissements pour échange du bâton-pilote. Arrêt de 5 minutes à Mallow. Le retour se fait dans le même temps avec le même arrêt. Le parcours d'aller représente le service journalier d'une machine. L'été dernier, le bâton-pilote a été transmis au mécanicien à l'aide d'un filet placé sur la machine et d'un autre placé sur le sol, pendant que le train marchait à 40 milles (64 kilomètres) à l'heure.

3. Il n'y a pas de changement de machine pendant le parcours.

77 3/4 milles (125.1 kilomètres) chaque jour en remorquant le train mentionné plus haut.

107 milles (172 kilomètres) sont parcourus à l'occasion sans arrêt, avec un train spécial.

4. Entre Mallow et Killarney, il n'existe pas de courbes ayant moins de 30 chaînes (600 mètres) de rayon. Toutes les courbes entre Dublin et Mallow sont très faciles.

5. 5 voitures à bogies, chacune à 8 roues. Poids de chaque voiture, à vide : 21 tonnes (21,340 kilogrammes). Charge, environ 3 tonnes par voiture.

6. 5 voitures à bogies comme précédemment et 2 voitures de 30 pieds (9 mètres) à 6 roues; ces dernières pèsent, à vide, 13 tonnes chacune. Charge, environ 3 tonnes par voiture.

7. 1° 60 milles (96.5 kilomètres) à l'heure.

2° 20 milles (32.2 kilomètres) à l'heure.

3° 40 milles (64.4 kilomètres) à l'heure, au plus, entre Headford et Killarney, où il y a des courbes et contre-courbes et une pente.

8. Voir les annexes A, B et C.

Un modèle plus lourd du même type de machine est en cours de construction pour ce service.

9. Voir l'annexe A.

12. Great Western Railway Company (Angleterre).

1. Oui, nous avons des trains dont la vitesse moyenne, y compris les ralentissements sur les bifurcations, etc., est de 53 1/2 milles (86.1 kilomètres) à l'heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1A. Oui, beaucoup.

Vitesse moyenne maximum pour les trains réguliers: 53 1/2 milles (86.1 kilomètres) à l'heure.

2. De Londres à Exeter; de Londres à Bristol; de Londres à Birmingham; de Newport à Londres.

Les machines font le parcours de Paddington (Londres) à Bristol, et retour, comme service journalier; ce parcours est de 236 milles (380 kilomètres).

3. Train régulier de Londres à Exeter, 194 milles (312 kilomètres), sans arrêt. Les machines vont quelquefois de Londres à Newton Abbot, 214 milles (344 kilomètres), mais non sans un arrêt intermédiaire.

5. 6 à 9 voitures à 8 roues, suivant les cas. Tonnage net, de 140 à 200 tonnes. Le poids brut n'a pas été noté.

7. 1° Il n'est pas prescrit de maximum
2° Suivant les conditions qui existent dans chaque station.
3° 40 milles (64 kilomètres) à l'heure, ou moins si les déclivités sont fortes.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

13. Lancashire & Yorshire Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

1A. Le train le plus rapide est celui de 8 h. 10 m. matin de Southport à Manchester, avec une vitesse moyenne de 55.8 milles (89.8 kilomètres) à l'heure.

Voir les diagrammes de vitesse annexe E[1].

2. Voir le diagramme annexe E[1].

3. Nous ne changeons pas de machine.

Voir l'annexe E[1].

De Wakefield à Manchester, 47 1/2 milles (76.4 kilomètres).

6. L'express de 9 h. 12 m. matin de Leeds :
13 voitures chaque jour
14 1/2 voitures le samedi.

4 voitures à bogies et 1 voiture à 6 roues depuis Leeds, 5 voitures à bogies à Halifax; total égal à 14 1/2 voitures ordinaires.

7. 1° Pas de règles sur les vitesses maximums.
2° Articles 148 (*a*) et (*b*) du Règlement du Clearing House.
3° Idem.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

14. London, Brighton & South Coast Railway Company (Angleterre).

5. 11.8 en moyenne.

6. 26 ou 27 voitures.

7. Au passage des bifurcations et des courbes, 15 milles (24 kilomètres) à l'heure en général, sauf prescription contraire.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

15. London & North Western Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

1A. La vitesse moyenne de nos trains rapides est d'environ 53 milles (85 kilomètres) à l'heure, mais sur beaucoup de sections la vitesse est bien supérieure à ce chiffre.

2. *Train de 10 heures matin d'Euston (Londres) :*

Euston	Dép., 10 h. 00 m
Willesden	Dép., 10 h. 12 m.
Rugby	Arr., 11 h. 44 m.
—	Dép., 11 h. 49 m.
Crewe	Arr., 1 h. 14 m.
—	Dép , 1 h. 19 m.
Carlisle	Arr., 4 h. 18 m.

Parcours total : 299 1/4 milles (481.5 kilomètres).

3. En général, sur la grande ligne, les machines sont changées à Crewe (à 158 milles [254 kilomètres] d'Euston, et à 141 1/4 milles [227.5 kilomètres] de Carlisle). Mais quelques trains vont directement d'Euston à Liverpool sans arrêt; la distance est de 200 3/4 milles (323 kilomètres).

5. La composition des trains varie avec la nature du service, mais le poids moyen de nos trains-restaurants à intercirculation est de 293 tonnes (298 tonnes métriques) à vide, non compris la machine et le tender. Avec la machine et le tender, les voyageurs et les bagages, ils pèsent en moyenne environ 384 tonnes (390 tonnes métriques). Ces trains se composent généralement de 11 voitures, d'une longueur totale de 567 pieds 9 pouces (173.050 mètres). Certaines voitures ont 60 pieds (18.290 mètres) de longueur et reposent sur 2 bogies à 6 roues; d'autres, de 42 et 50 pieds (12.800 et 15.240 mètres) de longueur, sont portées par des bogies à 4 roues.

7. Pas de vitesse prescrite.

8. Le type varie. Certains trains sont remorqués par des machines non-compound, à 4 roues couplées de 6 pieds 6 pouces (1.980 mètre), d'autres par des compound à roues motrices, soit de 6 pieds (1.830 mètre), soit de 7 pieds (2.130 mètres).
Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

16. London & South Western Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

1A. Oui.
De 60 à 70 milles (96 à 112 kilomètres) à l'heure.

2. De Londres à Exeter et à Plymouth; de Londres à Bournemouth.

5. A Salisbury (83 milles [133.5 kilomètres]); à Exeter (88 milles [141.6 kilomètres]).
Plus grand parcours sans changement de machine : 111 milles (178.7 kilomètres).
108 milles (173 8 kilomètres).

6. 15 à 22 véhicules.

7. 1° Pas de restrictions.
2° Varie sensiblement.
3° Un tableau indique la vitesse des trains.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

17. London, Tilbury & Southend Railway Company (Angleterre).

18. Madras Railway Company (Indes).

1A. Oui.

De 50 à 60 milles (80 à 96 kilomètres) à l'heure.

2. Notre train-poste et voyageurs le plus rapide est tracé à une vitesse commerciale de 29.3 milles (49.15 kilomètres) à l'heure entre Madras et Raichur. La ligne est très difficile, et dans le trajet de 350 milles (563 kilomètres), en dehors de vingt-huit arrêts complets, les trains doivent, aux termes des règlements, ralentir dans trente-deux autres stations à une vitesse de 10 milles (16 kilomètres) à l'heure en passant sur les aiguilles prises en pointe. Mais entre certaines stations nous atteignons très souvent des vitesses de 50 à 60 milles (80 à 96 kilomètres) à l'heure. Le plus long trajet sans arrêt du parcours est de 32 milles (51.5 kilomètres); encore est-il coupé de cinq ralentissements.

3. Le train est formé de quatorze véhicules d'un poids total de 220 à 230 tonnes.

213 milles (343 kilomètres) sans changement de machine.

5. Voir la question 3, section B.

7. Voir la question 3, section B.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

19. Midland Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

1A. Oui. La vitesse moyenne prescrite est d'environ 52 milles (83.5 kilomètres) à l'heure; la vitesse réelle peut atteindre 60 à 70 milles (96 à 112 kilomètres) à l'heure.

2. Entre Londres et Carlisle, Londres et Manchester, etc. Le tableau ci-après donne, à titre d'exemple, l'itinéraire du train partant à midi 42 de Carlisle pour Londres:

Numéro d'ordre de la machine.	STATIONS.	Distance, milles (km.).	Service de gare.	HEURE réglementaire.	VITESSE milles (km.) réglementaire.	*Observations.*
			Min.			
	Carlisle . . . . Dép.			12.42		
1	Kirkby Stephen . . Arr.	41 1/2 (66.8)		1.36	46.1 (74.2)	
1	— . . Dép.		1	1.37		
	Hellifield . . . . Arr.	35 1/4 (56.7)		2.20	49.1 (79)	Changt de machine.
2	— . . . . Dép.		5	2.25		
2	Leeds . . . . . Arr.	36 (57.9)		3.10	48.0 (77.2)	—
3	— . . . . . Dép.		7	3.17		
3	Leicester . . . . Arr.	97 1/4 (156.9)		5.22	46.6 (75)	—
4	— . . . . Dép.		4	5.26		
4	Saint-Pancras . . Arr.	99 (159.3)		7.20	52.1 (83.8)	
		309 (497.3)	17	6.38	48.6 (78.2)	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LIMITATIONS DE VITESSE.

DÉSIGNATION DES POINTS DE RALENTISSEMENT.	Milles (km.) à l'heure.	Motifs des ralentissements.
Marche prudente en sortant de Citadel Station.	...	...
Station de Crown Street.	7 (11)	Bifurcation.
Bifurcation de Petteril, Carlisle	20 (32)	—
Au passage d'une courbe située au troisième poteau milliaire (km. 4.827) au sud de la station de Gargrave	20 (32)	Courbe.
Au passage d'une courbe située entre le poteau milliaire 25 3/4 (km. 41.440) et la bifurcation nord de Skipton	20 (32)	— et bifurcation.
Bifurcations de Leeds et de Bingley à Shipley et courbe	20 (32)	Bifurcations et courbes.
Quatre bifurcations à Leeds (Wortley, Whitehall, Leeds et dépôt des machines)	20 (32)	Courbes et bifurcations.
Courbe près de la bifurcation de Hunslet (marchandises)	30 (48)	Courbe.
Bifurcation d'Altofts.	30 (48)	Bifurcation.
En traversant la gare de Normanton	15 (24)	Courbes, etc.
Bifurcation de Tapton, à Chesterfield.	20 (32)	— et bifurcation.
— nord de la traversée de Clay Cross	20 (32)	Bifurcation.
Courbe au poste sud de Clay Cross	30 (48)	Courbe.
Poste de signaux de Conry Green.	15 (24)	Service des charbonnages.
Charbonnage de Danesmoor	20 (32)	— —
Station d'Alfreton, côté nord	15 (24)	— —
Exploitation de charbonnage sous la station de Pyr Bridge.	15 (24)	— —
Au passage de la bifurcation nord de la station de Trent	10 (16)	Bifurcation.
En traversant la gare de Trent.	15 (24)	Courbe et gare.
Bifurcation de Trent.	30 (48)	Bifurcation.
Entre les voies du dépôt et la bifurcation de London Railroad, Leicester	15 (24)	Service des mécaniciens.
Station de Market Harboro.	40 (64)	Courbe.
A l'entrée dans Saint-Pancras	10 (16)	Gare terminus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exemples de roulements de machines.

Numéro du roulement de la machine	Heure de départ.	De	A	Heure d'arrivée.	Distance en milles (km.).
1	Midi 42	Carlisle.	Hellifield.	2 h. 20 s.	154 (248)
	3 h. 34 s.	Hellifield.	Carlisle.	5 h. 10 s.	
2	9 h. 27 m.	Bradford.	Leeds.	10 h. 3 m.	115 (185)
	11 h. m.	Leeds.	Hellifield.	Midi 7	
	2 h. 25 s.	Hellifield.	Leeds.	3 h. 10 s.	
	5 h. 5 s.	Leeds.	Ilkley.	5 h. 40 s.	
	6 h. 37 s.	Ilkley.	Bradford.	7 h. 17 s.	
3	8 h. 30 m.	Leicester.	Nottingham.	10 h. 25 m.	205 (330)
	11 h. 38 m.	Nottingham.	Leeds.	1 h. 50 s.	
	3 h. 17 s	Leeds.	Leicester.	5 h. 22 s.	
4	2 h. s.	Londres.	Leicester.	4 h. s.	198 (318)
	5 h. 26 s.	Leicester.	Londres.	7 h. 20 s.	

3. *Train de midi 42, de Carlisle à Londres :*

1re machine, de Carlisle à Hellifield. . . 76 3/4 milles (123.5 kilomètres).
2e — d'Hellifield à Leeds. . . . 36 — (58 —).
3e — de Leeds à Leicester . . . 97 1/4 — (156 5 —).
4e — de Leicester à Londres. . . 99 — (159 —).

Le plus long trajet sans arrêt sur le Midland est de 124 milles (199.5 kilomètres), entre Londres et Nottingham.

3. Ce train est ordinairement formé, entre Carlisle et Hellifield, de 12 voitures pesant, sans les voyageurs et les bagages, 186 tonnes (189 tonnes métriques); entre Hellifield et Leeds, d'environ 9 voitures, pesant, sans les voyageurs et les bagages, 143 tonnes (145 tonnes métriques); entre Leeds et Londres, d'environ 8 voitures, pesant, sans les voyageurs et les bagages, 149 tonnes (151 tonnes métriques).

3 voitures à 4 roues
3 — à 6 —
4 — à 8 —
2 — à 12 —
12
} entre Carlisle et Hellifield, où l'on détache une partie

3 voitures à 4 roues
2 — à 6 —
2 — à 8 —
2 — à 12 —
9
} entre Hellifield et Leeds

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2	voitures	à	4	roues
1	—	à	6	—
2	—	à	8	—
3	—	à	12	—
8				

entre Leeds et Londres.

7. Il n'est pas fixé de vitesses maximums, sauf en certains points où il existe des courbes exceptionnellement raides, des travaux de charbonnage sous la voie, etc. Dans ces cas, les vitesses maximums varient avec les circonstances.

8. Machines à tender séparé, à 4 roues couplées et à bogie, entre Carlisle et Hellifield, Hellifield et Leeds, Leeds et Leicester; machine à voyageurs à tender séparé, à roues motrices indépendantes et à bogie, entre Leicester et Londres.
Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

20. North Eastern Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

2. *Train de 2 heures 5 minutes soir de York à Édimbourg.*

STATIONS.		Heures.	Durée du trajet.	Distance en milles (km.).	Vitesse en milles (km.) à l'heure.
			Minutes.		
York	Dép.	2 h. 5			
Newcastle	Arr.	3 h. 40	95	80 3/4 (130)	51 (82)
Entre York et Newcastle, on observera les limitations de vitesse suivantes :					
Station de Durham		15 milles (24 kilomètres) à l'heure.			
— de Gateshead.		10 — (16 —) —			
Pont à niveau haut		5 — (8 —) —			
Newcastle	Dép.	3 h. 48			
Berwick.	Arr.	5 h. 8	80	67 (107.8)	50.25 (80.85)
Entre Newcastle et Berwick, on observera les limitations de vitesse suivantes :					
Courbe de Morpeth		15 milles (24 kilomètres) à l'heure.			
Berwick (entrée dans la gare)		5 — (8 —) —			
Berwick.	Dép.	5 h. 13			
Édimbourg.	Arr.	6 h. 30	77	57 1/2 (92.5)	44.80 (72.09)
Entre Berwick et Édimbourg, on observera les limitations de vitesse suivantes :					
Portobello, entre les bifurcations ouest et est : 20 milles (32 kilomètres) à l'heure.					

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Train de 10 heures 50 minutes soir d'Édimbourg à York.

STATIONS.	Heures.	Durée du trajet.	Distance en milles (km.).	Vitesse en milles (km.) à l'heure.
		Minutes.		
Édimbourg . . . . . Dép.	10 h. 50			
Newcastle . . . . . Arr.	1 h. 25	155	124 1/2 (200.4)	48.19 (77.55)
Entre Édimbourg et Newcastle, on observera les limitations de vitesse suivantes :				
Portobello, entre les bifurcations ouest et est.	20 milles (32 kilomètres) à l'heure.			
Berwick (passage par la gare).	5 — (8 —) —			
Courbe de Morpeth	15 — (24 —) —			
Newcastle . . . . . Dép.	1 h. 34			
York . . . . . Arr.	3 h. 15	101	80 3/4 (129.9)	47.97
Entre Newcastle et York, on observera les limitations de vitesse suivantes :				
Station de Gateshead	10 milles (16 kilomètres) à l'heure.			
— de Durham	15 — (24 —) —			

3. Le train ci-dessus change de machine, une fois dans chaque trajet, à Newcastle.

Le plus long parcours fait par une machine en remorquant un train est de 124 1/2 milles (200 kilomètres), de Newcastle à Édimbourg et *vice versa*.

Le plus long trajet sans arrêt est également de 124 1/2 milles (200 kilomètres).

5. *Composition du train de 2 heures 5 minutes soir de York à Édimbourg.*

DESCRIPTION DES VÉHICULES.	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
2 fourgons-frein à 6 roues	26	0	4	(26.470)
2 voitures mixtes à intercirculation, avec frein, à 12 roues	64	0	0	(65.020)
1 voiture de 1re classe avec cabinet de toilette, à 6 roues.	16	13	2	(16.940)
3 voitures de 3e classe à intercirculation, à 6 roues.	47	15	9	(48.630)
3 — mixtes à toilette, à 6 roues	48	18	2	(49.700)
1 voiture de 3e classe avec frein, à 6 roues . . .	15	1	0	(15.290)
Tare. . .	218	11	1	(222.050)
Voyageurs et bagages (environ).	23	2	0	(23.470)
Poids total du train. . .	241	13	1	(245.520)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Composition du train de 10 heures 50 minutes soir d'Édimbourg à York.

DESCRIPTION DES VÉHICULES.	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
1 fourgon-frein à 6 roues.	12	19	1	(13.170)
1 voiture de 3e classe à couloir, à 6 roues . .	16	5	3	(16.550)
1 voiture-lits mixte, à 8 roues	30	5	1	(30.750)
1 — à 12 roues	24	8	2	(24.820)
3 mixtes à toilette, à 6 roues.	48	18	2	(49,700)
1 voiture de 3e classe avec frein, à 6 roues . . .	15	1	0	(15.290)
1 fourgon-frein à 6 roues.	12	19	1	(13.170)
Tare. . .	160	17	2	(163.450)
Voyageurs et bagages (environ)	16	16	3	(17.100)
Poids total du train. . .	177	14	1	(180.550)

6. *Composition du train de 2 heures 5 minutes soir de York à Édimbourg, le 27 juillet 1898.*

DESCRIPTION DES VÉHICULES.	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
3 voitures de 3e classe à 6 roues.	45	15	9	(46.600)
1 voiture de 3e classe à 12 roues	34	19	1	(35.520)
3 voitures mixtes à 6 roues	46	4	6	(47.010)
1 voiture de 1re classe à 6 roues	14	6	0	(14.530)
2 fourgons-frein à 6 roues	25	18	2	(26.340)
3 voitures de 3e classe à 6 roues	42	3	6	(42.900)
1 fourgon-frein à 6 roues	13	16	2	(14.050)
Tare. . .	223	7	2	(226 950)
Voyageurs et bagages (environ)	34	5	2	(34.820)
Poids total du train. . .	257	12	4	(261.770)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Composition du train de 10 heures 50 minutes soir d'Édimbourg à York, le 15 septembre 1898.

DESCRIPTION DES VÉHICULES.	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
2 fourgons-frein à 6 roues	25	18	2	(26.340)
1 voiture de 3e classe à 6 roues	15	5	3	(15.530)
3 voitures mixtes à 6 roues	48	18	2	(49.700)
2 voitures-lits à 8 roues	53	12	1	(54.470)
1 fourgon-frein à 6 roues	13	16	2	(14.050)
2 voitures de 3e classe à 6 roues	28	3	0	(28.600)
1 voiture de 1re classe à 6 roues.	14	2	1	(14.340)
1 — mixte à 6 roues.	14	1	1	(14.300)
Tare.	213	18	0	(217.330)
Voyageurs et bagages (environ)	34	5	2	(34.820)
Poids total du train.	248	3	2	(252.150)

7. Pas d'autres restrictions que celles indiquées pour les deux trains du tableau donné plus haut.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

21. South Australian Railway Company (Australie).

1. Oui.

1A. Oui.

2. De Murray Bridge à Sewigeton. Distance, 136 milles (219 kilomètres). Cinq arrêts intermédiaires de 4, 3, 5, 3 et 1 minute respectivement. Pas de ralentissement.

3. Il n'est pas fait de changement de machine. 51 $^1/_4$ milles (92.1 kilomètres).

5. 7 véhicules, dont 6 à 8 roues et 1 à 12 roues. Poids total, 160 tonnes (162.5 tonnes métriques); tare, 130 tonnes (132 tonnes métriques).

6. 8 véhicules, dont 6 à 8 roues et 2 à 12 roues. Poids total, 200 tonnes (203 tonnes métriques). Tare, 165 tonnes (167.5 tonnes métriques).

7. 62 milles (100 kilomètres) à l'heure. Pas d'embranchements; fortes rampes ou courbes.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe B.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

22. South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre).

Réseau du South Eastern.

1. Oui.

1A. Quelques trains atteignent une vitesse de 56 milles (90 kilomètres) à l'heure pendant de courtes distances sur les pentes.

2. Entre Londres et Douvres sans arrêt, mais plusieurs ralentissements, dont un à 10 milles (16 kilomètres) à l'heure, deux à 15 milles (24 kilomètres) à l'heure et un à 25 milles (40 kilomètres) à l'heure, ce dernier au pied d'une pente et d'une rampe. La machine conduit le train de Londres à Douvres et retour.

3 Pas de changement de machine. 75 1/2 milles (121.5 kilomètres).

5. 16 véhicules à 6 roues. 208 tonnes (211,300 kilogrammes).

6 16 véhicules à 6 roues et 5 véhicules à 4 roues. 258 tonnes (262,000 kilogrammes).

7. 1° Pas de prescription.
2° 10 à 25 milles (16 à 40 kilomètres) à l'heure.
3° 25 milles (40 kilomètres) à l'heure.

9. 1898.

Réseau de Chatham.

1. Oui.

1A. Non.

2. De Herne Hill à Douvres et de St-Paul's à Margate sans arrêt; la distance est de 74 milles (119 kilomètres) dans l'un et l'autre cas. Durée du premier parcours, 1 heure 32 minutes; durée du second parcours, 1 heure 30 minutes. Plusieurs ralentissements. Train de Douvres : courbes de Strood dans les deux sens, au pied de la rampe de Strood, pendant 1 mille (1,600 mètres), à 20 milles (32 kilomètres) à l'heure; du port de Douvres à la jetée, à 6 milles (10 kilomètres) à l'heure dans les deux sens. Train de Margate, 10 milles (16 kilomètres) à l'heure dans les deux sens à Blackfriars. Trains de Herne Hill, 10 milles (16 kilomètres) à l'heure dans les deux sens à Blackfriars ; courbes de Strood, 20 milles (32 kilomètres) à l'heure pendant 1 mille (1,600 mètres) dans les deux sens, et à Taversham en passant de la grande ligne sur l'embranchement. La machine va de Londres à Douvres et retour dans un cas (156 milles [251 kilomètres]) et de Ramsgate à Londres et retour dans l'autre (158 milles [254 kilomètres]).

3. Pas de changement de machine. 74 milles (119 kilomètres). 79 1/2 milles (127.9 kilomètres).

5. 16 voitures à 6 roues. 192 tonnes (195 tonnes métriques).

6. 21 véhicules à 6 roues. 252 tonnes (256,000 kilogrammes).

7. 1° Pas de prescriptions.
2° 10 à 20 milles (16 à 32 kilomètres) à l'heure.
3° 25 milles (40 kilomètres) à l'heure.

9. 1891.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE H.

Section C.

Moteurs des trains relativement rapides parcourant des lignes accidentées.

QUESTIONS.

1. *Faites-vous circuler des trains rapides sur des lignes que leur profil permet de faire rentrer dans la catégorie des lignes accidentées?*

1A. *A défaut de ces trains, faites-vous circuler, à une vitesse similaire, des trains qui atteignent toujours, sur des parcours plus ou moins étendus, des vitesses effectives égales ou supérieures à 56 milles (90 kilomètres) à l'heure?*

Quelles sont ces vitesses?

2. *Quels sont les itinéraires de ces trains? (Prière d'indiquer ici la durée de tous les arrêts ainsi que les ralentissements prescrits. On pourra se borner à fournir l'itinéraire détaillé des parcours les plus intéressants sous réserve que chacun d'eux comprendra la totalité du service assuré par une seule et même machine.)*

3. *Où et combien de fois changez-vous de machine? Quelle est la plus grande distance parcourue par une machine avec le même train? Quel est le plus long trajet sans arrêt?*

4. *Quels sont les profils en long correspondant aux parcours indiqués? (Fournir un croquis de ces profils, avec l'indication des déclivités, en millimètres par mètre, du développement et du rayon des courbes.)*

5. *Quels sont la composition et le tonnage habituels de chaque train? (Indiquer le nombre de véhicules à deux, à trois, à quatre, à six essieux, ainsi que le tonnage, total et net, du train, locomotive et tender non compris.)*

6. *Quels sont la composition et le tonnage du train le plus lourd qui ait été remorqué sans perte de temps sur les sections considérées? (Formuler la réponse comme pour la question ci-dessus.)*

7. *Quelles sont les vitesses maximums de marche permises par vos règlements :*

1° *Sur la grande ligne;*
2° *Sur les embranchements et au passage des bifurcations et des ponts tournants;*
3° *Sur les sections en pente ou en courbe?*

8. *Type de machine employé :*

Quel est le type de machine que vous affectez au service ci-dessus défini? (Prière de fournir un croquis donnant le plan, la coupe longitudinale et l'élévation latérale de la machine, des coupes transversales, si possible, et l'élévation latérale du tender, avec les charges respectives de chaque paire de roues de la machine et du tender.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

9. *En quelle année a été construite la première machine de ce type?*

10. *Quels moyens employez-vous pour modérer la vitesse sur les fortes pentes?*

11. *Quels moyens employez-vous pour empêcher les vitesses excessives sur les fortes pentes?*

12. *Quelle est la vitesse maximum que vous prescrivez sur les fortes pentes?*

RÉPONSES.

---

1. Belfast & Northern Counties Railway (Irlande).

1 et 1A. Les rampes sont généralement de 1 : 90 (11.1 millimètres par mètre); toutefois, certaines autres rampes, d'un développement de 3 à 4 milles (5 à 6.5 kilomètres), ont une déclivité de 1 : 100 (10 millimètres par mètre).

2 et 3. Voir l'annexe G.

5 à 8. Voir l'annexe G.

9. Voir l'annexe A.

10 et 11. Le frein.

12. Pas de réglementation.

2. Bombay & Baroda Railway Company (Indes).

1. Oui. Nous faisons circuler des trains de voyageurs sur des lignes qui peuvent être rangées parmi les lignes accidentées.

1A. Oui. Nous avons des trains qui atteignent une vitesse réelle de 56 milles (90 kilomètres) à l'heure sur une partie plus ou moins longue du parcours.

2. Nous n'avons pas de diagrammes d'indicateur de vitesse pour répondre à cette question.
Le trajet est celui d'Anand, bifurcation à Ruttam.
Fortes rampes entre Godhra et Ruttam.

3. Les machines font toute l'étape (de 164.5 milles [264.7 kilomètres]) sans être changées.
Le plus long trajet sans arrêt est de 13 milles (21 kilomètres).

5. 1 véhicule à 8 roues, 1 à 6 roues, 6 à 4 roues.

	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
Poids du train : à vide	96	13	2	(98.220)
— — en charge	131	3	0	(133.250)

6. 1 véhicule à 8 roues, 1 à 6 roues, 8 à 4 roues :

	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
Poids du train : à vide	116	3	3	(118.550)
— — en charge	156	19	0	(158.460)

7. 1° 60 milles (96.5 kilomètres) à l'heure.
2° 15 milles (24 kilomètres) à l'heure, en passant sur les aiguilles abordées en pointe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° 25 milles (40 kilomètres) à l'heure.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

10. La vitesse est modérée par le serrage du frein à vide automatique.

11. Le frein est le seul moyen avec les trains de voyageurs. Les trains de marchandises marquent l'arrêt avant de descendre une forte pente, et les freins sont serrés.

12. Les trains sont tracés sur cette ligne à une vitesse de 25 à 27 milles (40 à 43 kilomètres) à l'heure.

3. Caledonian Railway Company (Écosse).

Les réponses données sous les sections A et B s'appliquent toutes à la section C.

4. East Indian Railway Company (Indes).

Voir les sections B et D pour ces questions.

5. Glasgow & South Western Railway Company (Écosse).

Voir les sections B et D pour ces questions.

6. Great Eastern Railway Company (Angleterre).

1. Non. Nos plus fortes rampes sur la grande ligne ne dépassent pas 1 : 70 (14.3 millimètres par mètre).

1A. Non.

7. Great Central Railway Company (Angleterre).

N'a pas donné de renseignements.

8. Great Northern Railway Company (Angleterre).

Voir la section B.

9. Great Northern Railway Company (Irlande).

1. Oui.

2. Parcours de 112 1/2 milles (181 kilomètres) en 165 minutes.

2 arrêts de 2 minutes chacun	4 minutes.
1 arrêt de 6 minutes	6 —
12 ralentissements de 1/2 minute chacun	6 —
	16 minutes.

3. 112 1/2 milles (181 kilomètres) à l'aller,
112 1/2 — (181 —) au retour,
ou 225 milles (362 kilomètres) par jour.
33 3/4 milles (54.3 kilomètres).

5. 3 voitures à bogies.
1 voiture-restaurant à bogies.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2 voitures ordinaires.
4 véhicules à 8 roues, 2 à 6 roues.
Environ 130 tonnes, sans les voyageurs.

7. 1° Pas de règle.
2° 15 milles (24 kilomètres) à l'heure sur les aiguilles de sûreté.
3° Pas de règle.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

10 et **11.** Serrage du frein à vide automatique.

10. Great Northern Railway Company (Écosse).

1. Oui.

1A à **9.** Voir la section B.

10. On ferme le régulateur et on serre le frein continu.

11. Voir ci-dessus.

12. Pas de règle.

11. Great Southern & Western Railway Company (Irlande).

La Compagnie n'a pas de trains de cette nature.

12. Great Western Railway Company (Angleterre).

1. La vitesse est généralement limitée à 40 milles (64 kilomètres) sur les déclivités de la grande ligne.

1A. C'est possible, mais il n'est pas fixé de vitesse maximum, sauf pour les cas indiqués dans les réponses aux questions précédentes.

2. Les machines font ordinairement le parcours de Newton Abbot à Penzance et retour ou de Penzance à Plymouth et retour.

3. Plus grande distance : 80 milles (129 kilomètres).
Plus long trajet sans arrêt : 52 milles (84 kilomètres).

5. Voir la section B, question 5.

7. Pas de maximum, sauf sur les déclivités.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

10. Frein à vide automatique.

11. Les agents de la machine sont mis en garde.

12. 40 milles (64 kilomètres) en général (parfois moins).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

13. Lancashire & Yorkshire Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

5. Voir la section B, question 3.

6. Voir la section B, question 6.

7. Voir la section B, question 7.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

10 et 11. Frein à vide automatique et frein à main.

12. Pas de règle.

14. London, Brighton & South Coast Railway Company (Angleterre).

9. Voir l'annexe A.

10. Frein Westinghouse automatique.

15. London & North Western Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

1A à 8. Voir les réponses à la section B.

9. Voir l'annexe A.

10. Frein à vide automatique serré sur tous les véhicules et frein à vapeur sur la machine.

11. Par le serrage convenable des freins dans toute la longueur du train.

12. Nous n'avons pas de limite de vitesse spécifiée sur les pentes.

16. London & South Western Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

1A. Oui.
60 milles (96.5 kilomètres) à l'heure.

2. Voir la section B, question 2.

3. Voir la section B, question 3.

5. Voir la section B, question 5.

7. Voir la section B, question 7.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

10 et 11. Frein à vide automatique continu.

12. La vitesse est réglée par le livret de marche

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

17. London, Tilbury & Southend Railway Company (Angleterre).

18. Madras Railway Company (Indes).

Voir la section B, annexe G.

19. Midland Railway Company (Angleterre).

1. Oui. Voir la section de Carlisle donnée antérieurement.

1 A à 12. Voir la section B, annexe G.

20. North Eastern Railway Company (Angleterre).

1. Oui.

2. *Train de 10 heures matin de Newcastle à Leeds.*

STATIONS.	Heures.	Temps de parcours en minutes.	Distance en milles (kilomètres).	Vitesse en milles (kilomètres) à l'heure.
Newcastle . . . . . Dép.	10.00			
Sunderland . . . . . Arr.	10.19	19	12 (19.3)	37.89 (60.95)
— . . . . . Dép.	10.22			
Wellfield . . . . . Arr.	10.48	26	13 (20.9)	30.00 (48.3)
— . . . . . Dép.	10.49			
Stockton . . . . . Arr.	11.11	22	13 1/2 (21.7)	36.81 (59.2)
— . . . . . Dép.	11.15			
Northallerton . . . . . Arr.	11.40	25	17 3/4 (28.6)	42.60 (68.6)
— . . . . . Dép.	11.42			
Ripon . . . . . Arr.	12.5	23	17 (27.4)	44.34 (71.4)
— . . . . . Dép.	12 6			
Harrogate . . . . . Arr.	12.27	21	11 1/2 (18.5)	32.85 (52.9)
— . . . . . Dép.	12.32			
Holbeck . . . . . Arr.	12.57	25	17 1/2 (28.2)	42.00 (67.6)
— . . . . . Dép.	1.1			
Leeds . . . . . Arr.	1.5		3/4 (1.2)	

Entre Newcastle et Leeds, il faut observer les limitations de vitesse ci-après :

Gateshead Est . . . . . 10 milles (16 kilomètres) à l'heure.
Courbe de Ryhope . . . . . 20 — (32 —) —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Arrêt à Ryhope pour double traction dans la rampe, au besoin :

Bifurcation de Northallerton High . .	30 milles	(48 kilomètres)	à l'heure.
Courbe de Crimple	15 —	(24 —)	—
Bifurcation sud de Thirsk.	20 —	(32 —)	—
Bifurcation d'Eaglescliffe	15 —	(24 —)	—

Train de 4 heures 30 minutes soir de Leeds à Newcastle.

STATIONS.		Heures.	Temps de parcours en minutes.	Distance en milles (kilomètres).	Vitesse en milles (kilomètres) à l'heure.
Leeds	Dép.	4.30			
Harrogate	Arr.	5.2	32	18 1/4 (29.37)	34.21 (55.0)
—	Dép.	5.7			
Ripon	Arr.	5.22	15	11 1/2 (18.5)	46.00 (74.0)
—	Dép.	5.23			
Thirsk	Arr.	5.36	13	9 1/4 (14.9)	42.69 (68.77)
—	Dép.	5.38			
Northallerton . . .	Arr.	5.49	11	7 3/4 (12.47)	42.27 (68.02)
—	Dép.	5.51			
Eaglescliff.	Arr.	6.11	20	14 3/4 (23.74)	44.25 (71.22)
—	Dép.	6.15			
Stockton	Arr.	6.21	6	3 (4.83)	30.00 (48.3)
—	Dép.	6.24			
Wellfield	Arr.	6.48	24	13 1/2 (21.72)	33.75 (54.3)
—	Dép.	6.49			
Sunderland	Arr.	7.16	27	13 (20.92)	28.8 (46.5)
—	Dép	7.20			
Newcastle	Arr.	7.40	20	12 (19.31)	36.00 (57.93)

Entre Leeds et Newcastle, il faut observer les limitations de vitesse ci-après :

Tunnel de Bramhope	30 milles	(48 kilomètres)	à l'heure.
Bifurcation de Crimple	15 —	(24 —)	—
— sud de Thirsk	26 —	(42 —)	—
— de Northallerton. . . .	30 —	(48 —)	—
— d'Eaglescliff	15 —	(24 —)	—
Courbe de Ryhope	20 —	(32 —)	—
Gateshead Est	10 —	(16 —)	—
Pont-haut.	5 —	(8 —)	—

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

5. Il y a pas de changement de machine pour les deux trains ci-dessus. La même machine fait le parcours entier de 103 milles (166 kilomètres).

Le plus long trajet sans arrêt est celui de Leeds à Harrogate; distance : 18 1/4 milles 29.4 kilomètres).

4. Voir annexe E.

3. *Composition du train de 10 heures matin, de Newcastle à Leeds :*

	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
1 voiture de 3e classe avec frein, à 8 roues. . . .	20	15	3	(21.120)
1 — mixte avec toilette, à 8 roues	23	16	1	(24.190)
1 — de 3e classe à 8 roues	22	16	3	(23.200)
1 — mixte, avec compartimt à bagages, 8 roues.	22	18	0	(23.270)
1 — de 3e classe avec frein, à 8 roues. . . .	20	15	3	(21.120)
	111	2	2	(112.900)
Voyageurs et bagages (environ)	22	4	0	(22.560)
Poids total du train. . .	133	6	2	(135.460)

Composition du train de 4 heures soir, de Leeds à Newcastle :

	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
1 voiture de 3e classe avec frein, à 8 roues. . . .	20	15	3	(21.120)
1 — mixte avec toilette, à 8 roues	23	16	1	(24.190)
1 — de 3e classe, à 8 roues	22	16	3	(23.200)
1 — mixte, avec compartimt à bagages, à 8 roues	22	18	0	(23.270)
1 — de 3e classe avec frein, à 8 roues. . . .	20	15	3	(21.120)
	111	2	2	(112.900)
Voyageurs et bagages (environ)	22	4	0	(22.560)
Poids total du train. . .	133	6	2	(135.460)

6. *Composition du train de 10 heures matin, de Newcastle à Leeds, le 8 août 1898 :*

	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
2 voitures de 3e classe, à 6 roues.	23	16	4	(24.230)
2 — mixtes, à 8 roues	45	18	1	(46.650)
2 — de 3e classe avec frein, à 8 roues. . . .	41	10	6	(42.470)
1 voiture de 3e classe, à 8 roues.	23	12	2	(24.000)
1 — mixte, à 6 roues.	12	14	0	(12.900)
	147	13	1	(150.250)
Voyageurs et bagages (environ)	33	11	2	(34.110)
Poids total du train. . .	181	4	3	(184.360)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Composition du train de 4 heures soir, de Leeds à Newcastle, le 27 août 1898 :

	Tonnes.	Cwts.	Qrs.	(Tonnes métriques.)
1 voiture de 3e classe, à 6 roues	12	14	0	(12.900)
1 — de 3e classe avec frein, à 6 roues	12	12	2	(12.830)
1 salon, à 8 roues	22	13	2	(23.040)
2 voitures mixtes, à 6 roues	28	2	2	(28.570)
1 voiture de 3e classe, à 8 roues	23	12	2	(24.000)
2 voitures de 3e classe avec frein, à 8 roues	41	10	6	(42.470)
1 voiture mixte, à 8 roues	22	18	0	(23.270)
	164	4	2	(167.080)
Voyageurs et bagages (environ)	30	1	1	(30 540)
Poids total du train.	194	5	3	(197.620)

7. Pas d'autres restrictions que celles indiquées pour les deux trains détaillés plus haut.

8. Voir les annexes A, B et C.

9. Voir l'annexe A.

10 et **11**. On ferme le régulateur et on applique le frein Westinghouse.

12. Nous n'avons pas d'autres règles à ce sujet que les réductions de vitesse indiquées plus haut.

21. South Australian Railway Company (Australie).

1. Non.

1A. Non.

ANNEXE I.

Section D.

Questions communes aux sections A, B et C.

QUESTIONS.

1. *Poids total, en ordre de marche, de chaque type de machine avec son tender?*

1A. *Poids adhérent? (Prière d'indiquer sur le schéma de la machine la charge de chaque paire de roues; la surface de chauffe de la chaudière, la surface tubulaire, la surface du foyer et la surface de la grille.)*

2. *a) Timbre de la chaudière?*
b) Pression moyenne de la vapeur dans les cylindres?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3. Chaudière : *a) Prière de fournir une spécification complète de la chaudière avec les renseignements ci-après :*

b) Type de chaudière (pression effective maximum dans la chaudière, en livres par pouce carré).

c) Surface de grille.

d) Surface de chauffe du foyer, en contact avec l'eau.

e) Surface de chauffe des tubes; section des tubes, en contact avec l'eau.

f) Surface de chauffe totale, en contact avec l'eau.

4. Enveloppe du foyer : *a) Nature du métal employé.*

b) Épaisseur des différentes plaques.

c) Écartement des entretoises.

d) Diamètre des entretoises.

e) Nature des entretoises.

f) Pas du filetage.

g) Renseignements généraux sur les entretoises et l'armaturage du foyer

5. Foyer : *a) Nature du métal.*

b) Épaisseur des différentes plaques.

c) Armatures du ciel.

d) Dire si le foyer renferme une voûte ou un bouilleur.

e) Quelle est la constitution de la grille?

6. Corps cylindrique : *a) Nature du métal.*

b) Diamètre intérieur de la plus petite virole.

c) Épaisseur des tôles.

d) Longueur du corps cylindrique entre les plaques tubulaires.

7. Tubes a fumée : *a) Type des tubes.*

b) Nature du métal.

c) Diamètre extérieur.

d) Épaisseur respective aux extrémités, côté du foyer et côté de la boîte à fumée.

e) Si vous employez des viroles, indiquez en quel endroit et donnez un croquis de leur section

f) Nature du métal des viroles. Sont-elles soudées ou étirées?

g) Nombre des tubes.

8. Qualité des matériaux employés : *Quelles sont les conditions que vous imposez pour la réception des matériaux, notamment pour celle des tôles de foyer, des tôles destinées à être cintrées ou embouties, et des entretoises?*

9. Assemblage des tôles : *Indiquer la disposition adoptée pour les différentes rivures transversales, ou circulaires, et longitudinales.*

10. *Faites-vous usage, dans la construction des chaudières, de dispositions nouvelles, capables d'augmenter la production de vapeur? Le cas échéant, prière d'en donner une description détaillée.*

11. *Employez-vous des dispositions spéciales pour faciliter le dégagement de la vapeur dans la chaudière et pour combattre l'entraînement de l'eau?*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

12. *Faites-vous usage de dispositions particulières pour diminuer la contre-pression à l'échappement ?*

13. MÉCANISME : *La machine est-elle compound ou non-compound ?*

14. *Si elle n'est pas compound, prière de donner les renseignements ci-après :*

a) Nombre de cylindres.
b) Diamètre des cylindres.
c) Course des pistons.
d) Volume des espaces nuisibles.
e) Type des tiroirs ; dire s'ils sont équilibrés.
f) Avance des tiroirs à l'avant et à l'arrière.
g) Course maximum des tiroirs.
h) Recouvrement intérieur et extérieur.
i) Dimensions des lumières d'admission et d'échappement.
k) Rapport de l'effort de traction à l'effort de freinage, en livres par tonne de poids adhérent et de poids freiné, respectivement.

15. *a) Si la machine est compound, prière de fournir les renseignements spécifiés au nº 14, séparément pour les cylindres de haute pression et de basse pression, et d'ajouter les renseignements ci-après :*

b) Volume du réservoir intermédiaire.
c) Pression maximum au réservoir (dire si elle est limitée par une soupape).
d) Orientation des manivelles les unes par rapport aux autres.
e) Type des appareils de frein.
f) Rapport de l'effort de traction à l'effort de freinage, tel qu'il est défini dans la question précédente.
g) Nombre de machines de ce type.

16. *De quelle manière ont été calculés les contrepoids des roues ? Comment ont-ils été répartis entre les différentes roues, motrices et accouplées ?*

17. *a) Quels sont les lubrifiants employés pour les cylindres ?*
b) Le graissage est-il envoyé dans la boîte à vapeur, dans les cylindres, ou est-il réparti entre la boîte à vapeur et les cylindres ?
c) Dans ce dernier cas, prière de dire dans quelle proportion.
d) S'il s'agit d'une machine compound, prière de dire dans quelle proportion le graissage est réparti entre les cylindres H. P. et B. P.?

18. CHASSIS, ROUES, TENDER, ETC., ESSIEUX ET ROUES : *Prière d'indiquer le diamètre des roues au cercle de roulement du bandage, le diamètre et la longueur des portées de calage et leur écartement d'axe en axe, la distance d'axe en axe de l'essieu avant au deuxième essieu, du deuxième au troisième, du troisième au quatrième et du quatrième au cinquième, les dimensions complètes des essieux moteurs et accouplés, les dimensions complètes de chacune des fusées et boîtes, et leur distance d'axe en axe ; la composition du métal des boîtes et coussinets.*

19. *Si la machine est pourvue d'un bogie, prière d'ajouter les renseignements suivants :*

a) Système du bogie ;
b) Dessin de détail du bogie avec ses roues, essieux et ressorts, indication des charges de chaque ressort, distance du pivot à l'essieu avant et jeu transversal du pivot ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

20. Suspension et attelages : *a) Quelle est la flexibilité des ressorts dans chaque sens et quel est le mode de suspension?*

b) Avez-vous recours à l'emploi de balanciers compensateurs?

c) Quelle est la disposition de l'attelage de la machine au tender?

21. Tender : *a) Capacité des caisses à eau.*

b) Capacité des soutes à combustibles.

Distance d'axe en axe :

c) du premier essieu (avant) au deuxième;

d) du deuxième essieu (avant) au troisième;

e) du troisième — au quatrième.

f) Diamètre des roues au contact et dimensions des essieux.

g) Poids du tender, à vide et sous charge complète, pour chaque paire de roues.

h) Si le tender est monté sur bogies, système des bogies, avec tous les détails de construction.

22. Frein : *a) Système.*

b) Pression maximum des sabots de frein sur chaque paire de roues.

23. *a) Quel est le poids total de la machine et de son tender en ordre de marche :*

Machine : b) Premier essieu (avant); c) deuxième essieu; d) troisième essieu; e) quatrième essieu; f) cinquième essieu.

Tender : g) Premier essieu; h) deuxième essieu; i) troisième essieu; k) quatrième essieu.

24. *Avez-vous appliqué des dispositifs ayant pour but d'atténuer la résistance opposée par l'air au mouvement de la machine? Si oui, prière d'en donner la description et de faire connaître, si possible, les résultats obtenus.*

25. *Si vous avez apporté à cette machine quelque disposition particulière qu'il vous paraisse intéressant de signaler, prière de faire connaître en quoi elle consiste, quels avantages elle vous a procurés et quels ont été les résultats des essais auxquels les appareils ont été soumis.*

26. Consommation de combustible et résultats d'essais : *a) Nature du combustible.*

b) Dimensions des morceaux.

c) Proportion de cendres.

d) Proportion de matières volatiles.

27. *Quelle est la consommation moyenne par train-mille de la machine :*

a) En eau.

b) En combustible.

c) Si des essais spéciaux ont été faits à ce sujet, prière de donner des renseignements et des détails.

d) Indiquer, si possible, des consommations se rapportant spécialement au train dont la composition et l'itinéraire sont ceux indiqués ci-dessus.

28. *A quel vide, dans la boîte à fumée, correspond la consommation de combustible indiquée ci-dessus?*

29. *a) Avez-vous fait, sur cette machine, des essais de vaporisation, de puissance, etc.? Si oui, prière d'en communiquer les résultats.*

b) Progrès réalisés depuis 1889.

---

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RÉPONSES.

1. Belfast & Northern Counties Railway (Irlande).

1, **1**A et **2**. Voir les annexes A1, B et C.

3. *a*) Voir la spécification de la chaudière (annexe *a*).
b à *f*) Voir les annexes A1, B et C.

4. *a* à *f*) Voir les annexes A1 et C.
g) Vissées dans les deux plaques, puis rivées à l'intérieur et à l'extérieur.

5. *a* et *b*) Voir les annexes A1 et C.
c) Fermes fixées au berceau de la boîte à feu par des cornières et des chapes.
d) Voûte en briques et écran de protection.
e) Barreaux de grille en fonte.

6. Voir les annexes A1 et C.

7. *a*) Type ordinaire.
b) Laiton.
c) 1 7/8 pouce (47.6 millimètres), avec agrandissement à 2 pouces (50.8 millimètres) de diamètre sur une longueur d'environ 8 pouces (203 millimètres) du côté de la boîte à fumée.
d) Nos 10 et 12 de la jauge de Birmingham (3.4 et 2.77 millimètres).
e) Viroles à l'extrémité côté du foyer seulement.
f) Étirées sans soudure.
g) Voir les annexes A1 et C.

8 et **9**. Voir la spécification de la chaudière (annexe *a*).

10. Non.

11. Non.

12. Non.

13. Compound.

15. Voir les annexes A1 et C. Les tuyaux d'admission sont de section ovale de $9 \times 5\ 1/4$ pouces (229 × 133 millimètres), et l'amenée de vapeur est réglée par une valve interceptrice.
La pression dans le réservoir intermédiaire est de 90 livres par pouce carré (6.3 kilogrammes par centimètre carré) et une soupape se lève sous cette pression. Les manivelles sont calées sous un angle de 90°.

17. *a*) Huile à cylindres.
b) Dans la boîte à vapeur.
d) Également, pour autant qu'il s'agit de l'huile fournie par le graisseur à débit visible. Mais il peut être envoyé une quantité supplémentaire d'huile au cylindre à basse pression, à l'aide d'une valve placée sur la plate-forme du mécanicien.

18. Voir les annexes A1, B et C.
Boîtes : En acier ou en fer forgé cémenté et trempé.
Coussinets en bronze.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

19. Voir les annexes A1, B, C et D.

20. Voir l'annexe D.

21. Voir les annexes A1, B et C1.

22. La machine et le tender sont munis d'un frein à vapeur actionnés par un cylindre placé sur la locomotive.

Le frein du tender a une commande à main.

23. Voir les annexes A1, B, C et C1.

24. Non.

25. Pas de réponse.

26. Houille pour machines à vapeur de la Galles du Sud.

27. Consommation de houille par train-mille : 30.40 livres (8.57 kilogrammes par train-kilomètre).

28. Pas de réponse.

29. Pas de réponse.

2. Bombay & Baroda Railway Company (Indes).

1, 1A et **2.** Voir les annexes A, B et C.

3. *a)* Voir la spécification des chaudières (annexe *b*).
b à *f*) Voir les annexes A, B et C.

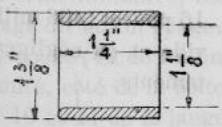
4. Voir les annexes A et C, et la spécification.

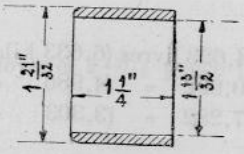
5. *a* et *b*) Voir les annexes A et C et la spécification annexe *b*.
c à *e*) Voir la spécification annexe *b*.

6. Voir les annexes A et C.

7.

	Type D.	*Type* M.
a)	Cylindrique ordinaire.	Cylindrique ordinaire.
b)	Laiton.	Acier.
c)	1 3/4 pouce (44.45 millimètres).	2 pouces (50.8 millimètres).
d)	Nos 10 et 13 (3.4 et 4.2 millimètres).	N° 10 (3.4 —).
e)	A l'extrémité côté du foyer.	A l'extrémité côté du foyer.
f)	En acier ; soudées.	En acier ; soudées.
g)	222.	186.





8. Pas de réponse.

9. Voir la spécification de la chaudière (annexe *b*).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

10 Non.

11. Non.

12. L'appareil d'échappement Macallan est appliqué sur quelques machines.

13. Non-compound.

14. *a* à *i*) Voir les annexes A, B et C.

k) Comme 1 est à 2.02 et comme 1 est à 2.91. — En admettant une pression effective moyenne égale à 75 centièmes de la pression dans la chaudière, et un vide de 16 pouces (406 millimètres) dans le cylindre à frein.

15. Les machines sont à simple expansion.

18. *a*) Voir les annexes A, B et C.

b) Les coussinets sont en bronze Stones et garnis de métal blanc composé de 5.8 parties de cuivre, 64.8 parties de zinc et 29.4 parties d'étain.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *a*) Voir l'annexe D.

b) Sur les bogies, mais non sur les ressorts des essieux moteurs et arrière.

c) Une barre d'attelage centrale réunit la machine au tender. Elle se termine par des œils que traversent les chevilles d'attelage. Celui de la machine est allongé, afin de laisser un certain jeu aux tampons latéraux qui sont écartés d'environ 3 pieds 3 pouces (0.990 mètre). Les tiges de tampon portent sur chaque extrémité d'un ressort à lames dont la bride reçoit la cheville d'attelage du tender, cette dernière servant de pivot au ressort qui s'ajuste de manière à compenser les efforts subis par les tampons. Des menottes de sûreté sont placées de part et d'autre de la barre d'attelage centrale, à environ 2 pieds (0.610 mètre) l'une de l'autre.

21. Voir les annexes A, B et C1.

22.

Type D.

a) Frein à vide automatique.

b) Machine : 13,856 livres (6,285 kilog.) sur chaque paire de roues, avec 16 pouces (406 millimètres) de vide, en négligeant les frottements. Les roues motrices et arrière sont seules munies de sabots de frein.

Tender :

1re paire : 14,623 livres (6,633 kilogr.)
2e » 10,992 » (4,986 »)
3e » 7,282 » (3,303 »)

vide de 16 pouces (406 millimètres) et en négligeant les frottements.

Type M.

a) Frein à vide automatique.

b) Machine : 16,627.2 livres (7,542 kilogr.) sur chaque paire de roues, avec 16 pouces (406 millim.) de vide, en négligeant les frottements. Les roues motrices et arrière sont seules munies de sabots.

Tender : 8,498.34 livres (3,854.78 kilogr.) sur chacune des 3 paires de roues, avec 16 pouces (406 millimètres) de vide et en négligeant les frottements.

23. Voir les annexes A, B, C et C1.

24 à **29.** Non, pas de réponse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3. Caledonian Railway Company (Écosse).

1, 1A et 2. Voir les annexes A, B et C.

3. Voir les annexes A et C.

4. Voir les annexes A et C.

Acier doux : Résistance à la traction, 26 à 28 tonnes par pouce carré (41 à 44 kilogrammes par millimètre carré), avec 27 p. c. d'allongement mesuré sur une éprouvette de 8 pouces (203 millimètres) de longueur.

Bronze : Résistance à la traction, 24.3 tonnes par pouce carré (38.3 kilogrammes par millimètre carré), avec 70 p. c. d'allongement sur 2 pouces (51 millimètres).

5. *a)* Cuivre.

b) Flancs et ciel en une seule plaque de $^{9}/_{16}$ pouce (14.3 millimètres) d'épaisseur.

Épaisseur de la plaque tubulaire : 1 pouce (25.4 millimètres) autour des tubes; $^{5}/_{8}$ pouce (15.9 millimètres) au-dessous des tubes.

Plaque arrière : $^{9}/_{16}$ pouce (14.3 millimètres) d'épaisseur.

Le foyer est armaturé sur les quatre côtés par des entretoises en bronze de 1 pouce (25.4 millimètres) de diamètre, et est assemblé en bas à l'enveloppe extérieure par un cadre de $3\ ^{1}/_{2} \times 2$ pouces (88.9 × 50.8 millimètres). Le ciel est consolidé par huit fermes qui s'appuient sur les plaques avant et arrière du foyer. Des entretoises en acier de 1 pouce (25.4 millimètres) de diamètre réunissent le ciel aux fermes. Les fermes sont portées par des chapes de suspension fixées à l'enveloppe extérieure.

Voir aussi les annexes A et C.

c) Des poutrelles reposant sur les plaques avant et arrière du foyer et attachées par des chapes à l'enveloppe extérieure.

d) Pas de bouilleur. Une voûte en briques.

e) Barreaux droits ordinaires de 2 pieds $10\ ^{3}/_{4}$ pouces (883 millimètres) de longueur et à section trapézoïdale de $^{13}/_{16}$ pouce (20.6 millimètres) en haut et $^{5}/_{8}$ pouce (9.5 millimètres) en bas. Ces barreaux reposent sur trois sommiers : un à chaque extrémité et un au milieu. Le vide entre deux barreaux voisins est, en haut, de $^{5}/_{16}$ pouce (7.9 millimètres).

6. *a)* Acier doux. Voir, pour la résistance à la traction, la question 4 ci-dessus.

b à *d)* Voir les annexes A et C.

7. *a)* Forme tubulaire, lisses.

b) Alliage dit laiton rouge.

c) $1\ ^{3}/_{4}$ pouce (44.45 millimètres) à l'extrémité côté du foyer et $1\ ^{13}/_{16}$ pouce (46 millimètres) à l'extrémité, côté de la boîte à fumée.

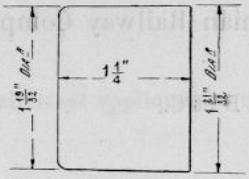
d) N°s 10 et 11 de la jauge (3.4 et 3.05 millimètres).

e) Les extrémités arrière sont seules munies de viroles.

f) Acier doux; soudées, parfois étirées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

g) Voir les annexes A et C.



Virole de tube.

8. *a) Analyse.* — Matières de toute première qualité. Cuivre, 99.25 à 99.45 p. c. ; arsenic, 0.3 p. c. au moins et 0.5 p. c. au plus ; bismuth, 0.005 p. c. au plus ; autres éléments étrangers, non compris l'oxygène combiné, 0.25 p. c. au plus. L'oxygène combiné doit être présent en quantité suffisante pour que le métal soit assez dur et résistant. Une éprouvette de 15 × 1 1/2 pouce (381 × 38 millimètres), prélevée sur chaque feuille, doit subir le pliage à bloc, à froid, et la réduction au marteau, à froid, en forme de coin aux extrémités sans se criquer.

b) *Essai mécanique.* — Plaques en cuivre : charge absolue de rupture par traction, 14 tonnes par pouce carré (22 kilogrammes par millimètre carré) ; allongement final, 60 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres). Entretoises en cuivre : charge absolue de rupture par traction, 15 tonnes par pouce carré (23.5 kilogrammes par millimètre carré) ; allongement final, 35 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres).

9. Corps cylindrique télescopique. Tous les assemblages sont faits à la riveuse hydraulique.
Les joints circulaires sont à double rivure.
Les joints longitudinaux sont à double rivure, avec couvre-joints intérieurs et extérieurs.

10. Pas de disposition nouvelle.

11. Pas de disposition spéciale.

12. Pas de disposition particulière.

13. Non-compound.

14. Voir les annexes A et C.

15. Voir l'annexe A1.

16. La totalité des masses tournantes est équilibrée dans les roues motrices ; les deux tiers de la bielle motrice sont considérés comme masses tournantes. Les masses alternatives sont équilibrées par moitié, et les contrepoids correspondants sont répartis entre les roues couplées.

17. *a*) Huile spéciale pour cylindres.
b) En partie dans les deux.
c) Dans la proportion de 2 à 1.
d) Elle n'est pas compound.

18. Voir les annexes A, B et C.

Coussinets : 16 livres (7.257 kg.) de cuivre.	Bagues : 16 livres (7.257 kg.) de cuivre.
— 2 1/2 — (1.134 —) d'étain pur.	— 2 — (0.907 —) d'étain pur.
— 1/4 livre (0.113 —) de plomb.	— 1/4 livre (0.113 —) de plomb.
— 1/4 — (0.113 —) de zinc.	— 1/4 — (0.113 —) de zinc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *a*) Jeu latéral de 3/4 pouce (19 millimètres) de chaque côté de l'axe, soit au total 1 1/2 pouce (38 millimètres).
b) Non.
c) Attelage à vis avec de robustes ressorts en spirale pour atténuer les chocs, et des tampons latéraux, également à ressorts en spirale.

21. Voir les annexes A, B et C[1].

22. *a*) Système Westinghouse automatique; pression de régime, 75 livres par pouce carré (5.23 kilogrammes par centimètre carré).
b) Pression des sabots de frein sur chaque paire de roues : 31,523.05 livres (14,298.63 kilog.).

23. Voir les annexes A, B, C et C[1].

24. Non.

26. *Houille pour locomotives.*

Coke :		Matières volatiles :	
Soufre	0.34 p. c.	Soufre	0.34 p. c.
Cendres	6.70 —	Goudron, etc.	36.30 —
Carbone fixe.	52.30 —	Eau	4.02 —
	59.34 p. c.		40.66 p. c.

27. *b*) 36 livres (10.15 kilogrammes) de houille d'Écosse.

Nota. — On s'est attaché surtout à augmenter la capacité de la chaudière, la surface de chauffe de la chaudière et du foyer, et la surface de la grille. A cet effet, on a augmenté le diamètre et la longueur du corps cylindrique, le nombre et la longueur des tubes, et agrandi le foyer.

On s'est occupé d'une façon toute particulière du choix des matériaux les plus convenables en général, et d'une qualité supérieure pour la construction des chaudières, foyers et notamment des entretoises et des tubes.

Le métal employé dans les cylindres a été essayé avec soin, en vue de l'amélioration de sa qualité.

Toutes les locomotives que l'on reconstruit maintenant sont munies des foyers et chaudières agrandis. Le timbre de toutes les chaudières neuves a été porté à 175 livres par pouce (12.3 kilogrammes par centimètre carré).

4. East Indian Railway Company (Indes).

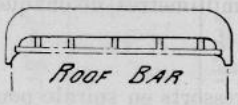
1, 1A et 2. Voir les annexes A, B et C.
Il n'a pas été relevé de diagrammes.

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. Voir les annexes A et C.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

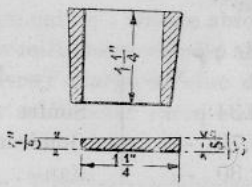
5. *a* et *b*) Voir les annexes A et C.
c) Fermes.



d) Ni voûte ni bouilleur.
e) Barreaux ordinaires en fer forgé, posés sur des sommiers en fonte.

6. *a*) Acier doux.
b à *d*) Voir les annexes A et C.

7. *a*) Mandrinés à l'extrémité avant et rétreints à l'extrémité arrière.
b) Laiton.
c, *d* et *g*) Voir les annexes A et C.
e) Du côté du foyer seulement (fer de bonne qualité).
f)



Conicité : $^1/_{20}$, d'un côté seulement.

9. Double rangée de rivets, en quinconce. Rivets de $^3/_4$ pouce (19 millimètres) de diamètre, espacés de 1 $^3/_4$ pouce (44.4 millimètres), pour les joints circulaires et longitudinaux.

11. En particulier, la liberté de circulation autour des tubes. Ces chaudières n'ont jamais été signalées comme donnant lieu à des entraînements d'eau.

12. Non.

13. Non-compound.

14. Voir les annexes A et C.

15. Non-compound.

17. *a*) Huile de castor de première qualité, fabriquée par la Compagnie.
b) 1 graisseur sur chaque cylindre ; capacité : $^1/_2$ pint (0.284 litre)
c) 1 graisseur sur la boîte à vapeur ; capacité : 1 pint (0.568 litre)

18. Voir les annexes A, B et C.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *a*) Voir l'annexe D.
b) Non.
c) Barre d'attelage et bielles de sûreté.

21. Voir les annexes A, B et C1.

22. *a*) Frein à vapeur ordinaire.
b) 4 sabots ; 4.5 tonnes sur chaque sabot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

25. Voir les annexes A, B, C et C1.

24. Non.

26. *Résultats de l'examen technique :* Mine de Khrharbaree (Bengale), couche supérieure. — Carbone fixe : 66.80 p. c. ; matières volatiles : 27.85 p. c. ; soufre : 0.40 p. c. ; cendres : 5.35 p. c. Couleur des cendres : brun jaunâtre. Houille : noir terne, dure, propre, ne s'agglutine pas, se casse en cubes.

27. *Renseignements détaillés.*

Poids du train, en tonnes, machine comprise	325.0	
Vitesse, en milles (kilomètres), à l'heure	30.75	(49.5)
Consommation de houille, Allemagne, en livres (kilog.).	560.0	(254)
Consommation de houille, en route, parcours de 161 1/4 milles (259.5 kilomètres) en livres (kilogrammes). .	5,600.0	(2,540)
Consommation de houille, en livres par tonne-mille (en kilogrammes par tonne-kilomètre)	0.10	(0.028)
Eau vaporisée, en gallons (litres)	4,590.0	(20,855)
Eau vaporisée, en livres par livre de houille (kilogrammes par kilogramme de houille)	8.19	
Eau vaporisée, en livres par tonne-mille (kilogrammes par tonne-kilomètre)	0.66	(0.186)
Poids total de cendres, en livres (kilogrammes) . . .	1,023.0	(464)

Cendres, livres par livre de houille consommée (kilogrammes par kilogramme de houille).

29. Non.

5. Glasgow & South Western Railway (Écosse).

1, 1A et **2.** *a*) Voir les annexes A, B et C.

b) La pression moyenne de la vapeur dans les cylindres est de 90 livres par pouce carré (6.3 kilogrammes par centimètre carré).

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.

b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. *a* à *c*) Voir les annexes A et C.

d à *g*) Les entretoises sont vissées à force dans les plaques du foyer et de l'enveloppe de boîte à fumée ; la partie comprise entre les plaques est lisse. Elles sont rivées et bouterollées à l'extérieur et rivées à la main à l'intérieur. Les têtes intérieures ont 7/16 pouce (11.1 millimètres) de diamètre.

5. *a* et *b*) Voir les annexes A et C.

c) Le ciel est consolidé par huit poutrelles en acier coulé recuit, s'appuyant sur les bords du ciel et les emboutis des plaques tubulaire et arrière. Les poutrelles sont attachées à l'enveloppe extérieure par des bielles et des chevilles, et au ciel du foyer par des entretoises de 1 pouce (25.4 millimètres) de diamètre, écartées de 4 pouces (102 millimètres).

d) Voûte en briques ; pas de bouilleur.

e) La grille est légèrement inclinée vers l'arrière.

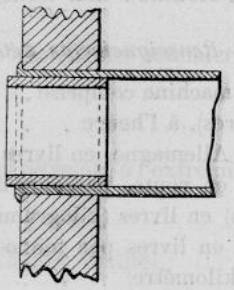
6. *a*) Acier doux.

b à *d*) Voir les annexes A et C.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7. *a* à *d*) Les tubes sont en laiton, composé de 70 parties de cuivre et 30 parties de zinc; ils ont 1 $^{5}/_{8}$ pouce (41.3 millimètres) de diamètre extérieur, une épaisseur n° 12 I. S. G. à l'extrémité côté du foyer et n° 11 I.S.G. à l'extrémité côté de la boîte à fumée.

e et *f*) Des viroles, coupées sur des tubes en acier étirés, sont employées du côté du foyer seulement.



g) Voir les annexes A et C.

8. Essais : Les tôles de chaudière en acier doivent avoir une résistance à la traction de 25 à 30 tonnes par pouce carré (39.4 à 47.2 kilogrammes par millimètre carré) de section, avec un allongement minimum de 25 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres). Des éprouvettes découpées dans chaque tôle doivent supporter le pliage suivant un arc de diamètre intérieur égal à l'épaisseur de la tôle, soit à chaud, soit à froid. Les plaques de cuivre sont soigneusement recuites, tant avant qu'après l'emboutissage, et doivent subir, sans aucun indice de rupture, un essai consistant à replier sur elles-mêmes une éprouvette à froid. Les entretoises sont soumises aux mêmes épreuves que les feuilles de cuivre.

9. Les joints circulaires sont à double rivure, les joints longitudinaux sont à bouts portants, avec couvre-joints intérieurs et extérieurs, et double rangée de rivets.

10. Non.

11. La chaudière est munie d'un dôme dans lequel se trouve le régulateur. Cette disposition suffit pour empêcher les entraînements d'eau quelque peu considérables.

12. Les lumières sont aussi dégagées que possible.

13. Non-compound.

14. Voir les annexes A et C.
L'effort de freinage sur les roues couplées est de 13.26 tonnes.

15. Non-compound.

16. Les contrepoids des roues motrices équilibrent toutes les masses tournantes qui se rapportent à ces roues, plus les deux tiers des masses à mouvement alternatif, représentées par les pistons, les tiges et têtes de piston, les bielles motrices, etc.

L'axe des contrepoids se trouve sur le prolongement de l'axe tracé entre les manivelles; en d'autres termes, il fait un angle de 135° avec chaque manivelle.

Sur les roues d'arrière on n'équilibre que les masses tournantes, et les contrepoids sont diamétralement opposés aux manivelles.

17. Les cylindres sont graissés avec une huile minérale lourde, qui est envoyée dans le tuyau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'amenée de vapeur par un graisseur à débit visible placé dans l'abri. De plus, le plateau d'avant de chaque cylindre porte un godet à huile Furness, qui fonctionne automatiquement lorsque le régulateur est fermé.

18. Voir les annexes A, B et C.
Les coussinets sont en bronze et garnis de bandes de métal blanc.

19. Voir les annexes A, B, C et D.
Le pivot a un jeu angulaire de 3°, et l'axe du bogie, un jeu latéral de 1 1/2 pouce (38 millimètres) de chaque côté.

20. Des menottes transmettent la charge des ressorts de suspension à une entretoise qui fait office de balancier compensateur.
La machine et le tender sont accouplés par une barre d'attelage centrale, avec ressort de traction en caoutchouc et tampon central.

21. *a* à *g*) Voir les annexes A, B et C[1].
h) L'avant du tender est monté sur un bogie identique à celui qui porte l'avant de la machine. Voir l'annexe D.

22. *a*) La machine et le tender sont munis du frein à vide automatique, appliqué aux roues couplées de la machine et aux quatre roues d'arrière du tender. Les roues du bogie n'ont pas de frein, ni sur la machine ni sur le tender.
b) La pression maximum des sabots est de 16,000 livres (7,250 kilogrammes) sur chaque paire de roues de la machine et de 11,600 livres (5,260 kilogrammes) sur chaque paire de roues du tender.

23. Voir les annexes A, B, C et C[1].

24. Non.

25. Nous ne pouvons rien ajouter aux renseignements déjà donnés.

26. La houille est chargée sur le tender telle qu'elle vient des différents charbonnages, et sa grosseur varie suivant qu'elle est dure ou tendre.
La proportion de cendres est de 6 à 10 p. c.

27. Nous n'avons pas fait d'essai spécial, mais la consommation moyenne par train-mille est de 24 gallons d'eau et de 33 livres de combustible (56 litres et 9.3 kilogrammes par train-kilomètre).

28. Nous n'avons pas fait d'essai à ce sujet, mais la moyenne est d'environ 3 1/2 pouces (89 millimètres) d'eau.

29. Non.

6. Great Eastern Railway Company (Angleterre).

1, 1A et **2.** *a*) Voir les annexes A, B et C.
b) Les coulisses étant relevées pour la marche en vitesse, la pression moyenne dans les cylindres est d'environ 35 livres par pouce carré (2.46 kilogrammes par centimètre carré).

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. *a*) Acier sur sole, d'une résistance à la traction de 26 tonnes par pouce carré (41 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes par millimètre carré) au moins et de 28 tonnes (44 kilogrammes) au plus. L'éprouvette doit supporter un pliage à bloc (à froid), avec un rayon intérieur d'au moins $^{5}/_{8}$ pouce (9.5 millimètres), sans criques. L'allongement doit être d'au moins 20 p. c. sur une longueur entre repères de 8 pouces (203 millimètres). Teneur en carbone : de 0.1 à 0.015 p. c.

b à *g*) Voir les annexes A et C.

5. *a* et *b*) Voir les annexes A et C.

d) Voûte en briques.

e) La grille est composée de barreaux longitudinaux, en deux moitiés de 3 pieds 1 $^{1}/_{2}$ pouce (0.9525 mètre), reposant sur des sommiers transversaux en fer forgé.

6. *a*) Acier doux.

b à *d*) Voir les annexes A et C.

7. *a*) Tubes en acier soudés à recouvrement.

b) Acier doux.

c à *g*) Voir les annexes A et C.

8. Voir la spécification, annexe *c*.

9. Joints circulaires à recouvrement, à simple rangée de rivets avec têtes bouterollées. Joints longitudinaux à bouts portants, à double rangée de rivets de $^{15}/_{16}$ pouce (20.6 millimètres) de diamètre, avec couvre-joints.

10. Les tubes Serve ont été essayés et ont été reconnus efficaces.

11. Non.

12. La tuyère d'échappement Macallan à section variable est maintenant montée sur toutes les machines. La section de la tuyère fixe peut être augmentée de 30 p. c. en relevant une valve mobile. Ce dispositif réduit la contre-pression dans les cylindres en offrant une plus grande section de passage à l'écoulement de la vapeur.

13. A simple expansion.

14. *a* à *i*) Voir les annexes A et C.

k) *Locomotive express à roues libres avec bogie :* 339.2 sur les roues motrices ; 268.7 sur les roues d'arrière.

— — — 303.4 sur les roues motrices ; 331.6 sur les roues d'arrière.

— — *à 4 roues couplées :* 348.7 sur les roues motrices et d'arrière.

15. Non-compound.

16. Supposons que la masse des pistons, des tiges de piston et des bielles motrices, et un poids ayant le même moment statique que la manivelle, soient concentrés aux tourillons de manvielle. Il s'agit d'insérer, entre les rais des roues motrices, des contrepoids dont le poids et la position soient de nature à faire équilibre au poids concentré sur le tourillon de manivelle. Les bielles d'accouplement sont équilibrées pour moitié sur les roues motrices, pour moitié sur les jantes des roues d'arrière. Les formules appliquées au calcul des contrepoids sont les suivantes :

$$i = \operatorname{arc\,tg} \frac{a}{b} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$w = \mathrm{W}.\frac{c}{r}.\sqrt{\frac{a^2+b^2}{2b^2}} = \frac{\mathrm{W}c}{\sqrt{2}.\pi\cos i} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Données :

W = le poids total que l'on suppose concentré sur un tourillon de manivelle ;

c = longueur de la manivelle, mesurée entre l'axe de l'essieu et l'axe du tourillon ;

a = distance de l'axe du tourillon de manivelle, mesurée parallèlement à l'essieu, au milieu de la longueur de l'essieu ;

b = distance de l'axe de la roue au milieu de la longueur de l'essieu ;

r = rayon vecteur de chaque contrepoids ; c'est la distance de son centre de gravité à l'axe de l'essieu.

Inconnues :

i = angle que ledit rayon vecteur fait avec un plan passant par l'axe tracé à moitié chemin entre les axes des deux manivelles et dirigé en sens contraire de ceux-ci, de sorte que les manivelles étant calées à 90° fassent un angle de 135° avec le plan en question ;

w = poids de chaque contrepoids.

17. Huile minérale noire lourde. Point d'ignition, 540° F. (282° C.).
Densité, 0.9. En proportions à peu près égales dans les cylindres et la boîte à vapeur.

18. *a*) Voir les annexes A, B et C.

b) Les coussinets sont formés de 16 livres (7.257 kilogr.) de cuivre, 4 (1.814 kilogr.) de bouts de tubes en laiton et 2 (0.907 kilogr.) d'étain. Ils sont garnis de métal blanc composé de 1 livre (0 454 kilogr.) de cuivre, 2 (0.907 kilogr.) d'antimoine, 15 (6.804 kilogr.) d'étain et 3 $^1/_4$ (1.474 kilogr.) de zinc.

19. Voir les annexes A, B, C et D.
Jeu latéral, 1 $^1/_2$ pouce (38 millimètres) de part et d'autre.

20. 1 $^1/_2$ pouce (38 millimètres) de chaque côté, 3 pouces (76 millimètres) au total. Le châssis du bogie est formé de deux longeronnets en tôle de 1 pouce (25.4 millimètres) d'épaisseur, réunis par un châssis en acier coulé dans lequel une traverse centrale en acier coulé peut prendre un jeu latéral de 1 $^1/_2$ pouce de part et d'autre. Le châssis principal de la machine repose sur cette traverse centrale et est maintenu en place par un pivot de 2 $^1/_2$ pouces (63.5 millimètres) de diamètre. Entre le châssis de la machine et la traverse centrale se trouvent des rondelles en caoutchouc de 2 $^1/_2$ pouces (63.5 millimètres) d'épaisseur. Le jeu latéral est contrôlé par des ressorts en caoutchouc placés transversalement à l'axe du pivot. Le poids est porté par un seul ressort et un balancier de chaque côté du châssis. L'écartement des roues (qui ont 3 pieds 9 pouces [1.143 mètre] de diamètre) est de 6 pieds 6 pouces (1.981 mètre) d'axe en axe. Les portées sont écartées de 3 pieds 8 pouces (1.118 mètre) d'axe en axe et sont extérieures au châssis du bogie.

b) Pas de balancier.

c) Un maillon principal (au milieu) et deux maillons de sûreté.

21. *a* à *g*) Voir les annexes A, B et C[1].

h) Il n'est pas employé de tenders à bogies.

22. *a*) Westinghouse automatique.

b) *Machine express à roues libres :* 4,900 livres (2,223 kilogrammes) sur les roues motrices ; 3,466 livres (1,572 kilogrammes) sur les roues d'arrière.

Machine express à roues couplées : 4,900 livres (2,223 kilogrammes) sur les roues motrices et les roues d'arrière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

25. Voir les annexes A, B, C et Cl.

24. Non.

26. *Houille du Derbyshire :* Carbone, 66 ½ p. c.; matières volatiles, 30 p c.; cendres, 3 ½ p. c.

27. On estime que 1 livre (1 kilogramme) de houille vaporise 8 livres (8 kilogrammes) d'eau : Environ 24.75 gallons (58 litres); 30.94 livres (8.72 kilogrammes). (Moyenne des machines en service.)

28. Environ 2 pouces (51 millimètres).

29. Non.

7. Great Central Railway Company (Angleterre).

Cette Compagnie n'a pas fourni les renseignements demandés.

8. Great Northern Railway Company (Angleterre).

1, **1**A et **2**. Voir les annexes A, B et C.
La pression moyenne dans les cylindres varie avec le degré d'admission.

3. *b* à *f*) Voir les annexes A et C.

4. *a*) Acier doux.
b à *f*) Voir les annexes A et C.
g) Le ciel est armaturé par des entretoises radiales en fer du Yorkshire de première qualité. Pas du filetage, 10 par pouce (2.54 millimètres).

5 *a* et *b*) Voir les annexes A et C.
c) Voir plus haut.
d) Voûte en briques.
e) Barreaux de grille en fonte, vides de ½ pouce (12.7 millimètres).

6. Voir les annexes A et C.

7. Voir les annexes A et C. Viroles en acier, étirées, du côté du foyer.

9. Joints circulaires à simple et double rivure. Joints longitudinaux à couvre-joints et quatre rangs de rivets.

10. Non.

11. Rien de plus que le dôme ordinaire.

12. Une tuyère d'échappement aussi grande que possible.

13. Non-compound.

14. Voir les diagrammes A et C.

15. Non-compound.

16. Nous équilibrons la totalité des masses tournantes et la moitié des masses alternatives. Sur chaque roue on équilibre la quantité qui se rapporte à cette roue.

17. Huile minérale noire, envoyée dans la boîte à vapeur et les cylindres.

18. Voir les annexes A, B et C.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *b*) Non.
c) Attelage central.

21. Voir les annexes A, B et C1.

22. *a*) Frein à vide automatique.
b) 12,000 livres (5,440 kilogrammes).

23. Voir les annexes A, B, C et C1.

24. Non.

9. Great Northern Railway Company (Irlande).

1 et 1A. Voir les annexes A, B et C.

2. *a*) Voir les annexes A, B et C.
b) Il n'a pas été relevé de chiffres.

3. *b* à *f*) Voir les annexes A et C.

4. *a* à *f*) Voir les annexes A et C.
g) Les entretoises sont vissées dans les deux plaques et les têtes sont rivées avec soin. Le ciel est armaturé par huit fermes en acier coulé, dont quatre sont attachées par des chapes à l'enveloppe de boite à feu.

5. *a* et *b*) Voir les annexes A et C.
c) Voir plus haut.
d) Voûte en briques.
e) Barreaux en fonte ordinaires.

6. Voir les annexes A et C.

7. *a*) Tubes cylindriques ordinaires, en laiton, étirés sans soudure.
b) 70 parties de cuivre, 30 parties de zinc.
c) 1 3/4 pouce (44.45 millimètres).
d) Nos 10 et 11, jauge de Birmingham (3.4 et 3.05 millimètres).
e) Viroles du côté du foyer.
f) En acier. Soudées.
g) Voir les annexes A et C.

8. Essais des tôles d'acier : Une éprouvette de 6 pouces (152 millimètres) de longueur, découpée dans l'une quelconque des tôles, après avoir été chauffée au rouge cerise et refroidie dans l'eau à 82° F. (28° C.), doit pouvoir être pliée autour d'un cylindre en fer d'un diamètre égal à trois fois l'épaisseur de la tôle, sans présenter de crique ni de rupture. Une bande de 3 1/2 pouces (89 millimètres) de largeur, découpée dans l'une quelconque des tôles, sera percée d'un trou de 5/8 pouce (15.9 millimètres) équidistant des trois arêtes ; puis ce trou sera élargi à la broche au diamètre de 1 5/8 pouce (41.3 millimètres), sans qu'il y ait d'indice de rupture. Toutes les tôles ordinaires devront avoir une résistance à la traction de 26 à 30 tonnes (41 à 47 kilogrammes par millimètre carré), sans toutefois dépasser ce dernier chiffre, avec un allongement de 26 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres). Aucune des tôles travaillées au feu ne devra avoir une résistance de plus de 28 1/2 tonnes (44.9 kilogrammes par millimètre carré) avec le même allongement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

9. Tous les rivets sont posés à la presse hydraulique, à l'exception de quelques-uns, placés dans les angles du cadre du bas, qui sont posés au marteau à main.

10 à **12**. Non.

13. Non-compound.

14. Voir les annexes A et C.

15. Non-compound.

17. Huile à cylindre dans la boîte à vapeur.

18. Voir les annexes A, B et C.
Bronze : 2 3/4 onces d'étain pour 1 livre de cuivre (78 grammes d'étain pour 0.454 kilogramme de cuivre).

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *b*) Non.
c) Barre d'attelage centrale, avec chevilles traversant les plates-formes, et maillon de sûreté de part et d'autre, avec chevilles de sûreté traversant les plates-formes. Tender muni de tampons intermédiaires et de ressorts en volute.

21. Voir les annexes A, B et C1.

22. *a*) Frein à vide automatique.
b) 5 tonnes 12 cwts (5.690 tonnes) sur chaque paire de roues, soit 2 tonnes 16 cwts (2.845 tonnes) sur chaque sabot.

23. Voir les annexes A, B, C et C1.

24 et **25**. Non.

26. *a*) Houille du pays de Galles.
b) De 1 à 14 pouces (25 à 350 millimètres).

27. *a*) Environ 26 livres d'eau par mille (7.33 kilogrammes par kilomètre).
b) 28 livres de combustible par mille en moyenne (7.89 kilogrammes par kilomètre).
c) Pas d'essais spéciaux.

29. Non.

10. Great Northern Railway Company (Écosse).

1 A et **2**. Voir les annexes A, B et C.

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. *a*) Acier doux.
b à *g*) Voir les annexes A et C.

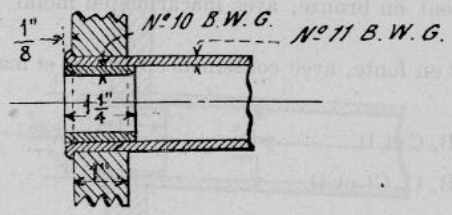
5 et **6**. Voir les annexes A et C.

7. *a*) En laiton, étirés.
b) Sept parties, en poids, de cuivre, et trois parties de zinc de Silésie de qualité supérieure.
c) 1 3/4 pouce (44.4 millimètres) de diamètre extérieur à l'extrémité côté du foyer, avec élar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gissement à 1 $^{15}/_{16}$ pouce (46 millimètres) sur une longueur de 3 pouces (76 millimètres) du côté de la boîte à fumée.

f) Viroles soudées et viroles étirées.



g) Voir les annexes A et C.

8. *Tôles d'acier :* Résistance à la traction, 26 à 28 tonnes par pouce carré (41 à 44 kilogrammes par millimètre carré), 37 à 40 p. c. d'allongement mesuré sur une longueur de 2 pouces (51 millimètres), dans le sens et en travers de la fibre. Une éprouvette de 2 pouces (51 millimètres) de largeur, aux angles légèrement arrondis, devra être pliée à bloc, à froid, sans indices de rupture. Une éprouvette de 3 pouces (76 millimètres) de largeur sera percée au poinçon, à 1 $^{1}/_{2}$ pouce (38 millimètres) du bord, d'un trou circulaire de $^{5}/_{8}$ de pouce (15.9 millimètres), et ce trou sera élargi à froid, avec des broches coniques, jusqu'à ce que le diamètre atteigne 1 $^{1}/_{2}$ pouce (38 millimètres), sans qu'il se manifeste d'indices de rupture.

Feuilles de cuivre : Résistance à la traction, 14 tonnes par pouce carré (22 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement d'au moins 55 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres). Pliage à bloc, à froid, sans indices de rupture.

Entretoises en cuivre : Résistance à la traction, 15 tonnes par pouce carré (23.5 kilogrammes par millimètre carré), avec 60 p. c. d'allongement sur 2 pouces (51 millimètres). Pliage à bloc, à froid, sans indices de rupture.

9. Joints circulaires à recouvrement et à double rivure; joints longitudinaux à couvre-joints intérieurs et extérieurs et à double rivure.

10 à **12.** Non.

13. Non compound.

14. Voir les annexes A et C.

15. Non compound.

16. Toutes les masses tournantes sont équilibrées complètement sur les roues respectives. Les deux tiers du poids des pièces à mouvement alternatif sont considérés comme masses tournantes au tourillon de manivelle et équilibrés comme telles. Il est présumé que, de la sorte, tous les efforts développés par les masses alternatives se trouvent équilibrés. Les deux tiers de la bielle motrice, mesurée à partir du tourillon de manivelle, sont comptés comme masse tournante, et le tiers restant comme masse alternative. Les bielles d'accouplement sont placées à l'opposé des manivelles et calculées en conséquence.

17. *a*) Huile de colza.
b) Partie dans l'un, partie dans l'autre.
c) Cylindre, 1 pint (0.568 litre).

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tiroir, 1 1/2 pint (0.852 litre) pour un parcours d'environ 168 milles (270 kilomètres).
d) Non-compound.

18. Voir les annexes A, B et C.
Les boîtes des machines sont en bronze, avec macarons en métal blanc dans la surface frottante.
Les boîtes des tenders sont en fonte, avec coussinets en bronze et macarons en métal blanc dans la surface frottante.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. Voir les annexes A, B, C, C^1 et D.

21. Voir les annexes A, B et C^1.

22. *a)* Frein Westinghouse automatique, à action rapide et frein à main.
b) Pression maximum sur chaque paire de roues, avec la commande par l'air comprimé : 177 livres par livre de pression de l'air dans le cylindre à frein (1,141 kilogrammes par kilogramme de pression).

23. Voir les annexes A, B, C et C^1.

24. Non.

26. *a)* Houille.
b) Cubes de 2 à 6 pouces (5 à 15 centimètres).
c) Varie de 2.44 à 9.62 p. c.
d) Varie de 12.53 à 36.88 p. c.

27. Combustible : 37.22 livres (10.49 kilogrammes par train-kilomètre).

29. Il n'a pas été fait d'essais spéciaux.

11. Great Southern & Western Railway (Irlande).

1, 1A et **2.** — Voir les annexes A, B et C.

3. *a)* La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.
b à *f)* Voir les annexes A et C.

4. *a* à *f)* Voir les annexes A et C.
g) Les entretoises sont vissées de part en part, le filetage n'est pas enlevé au milieu, elles ne sont pas perforées aux extrémités, les têtes sont rivées à l'extérieur et à l'intérieur.

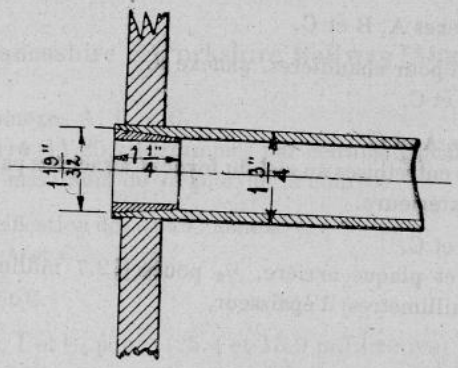
5. *a* et *b)* Voir les annexes A et C.
c) Fermes et bielles de suspension.
d) Voûte en briques, en pente, s'élevant un peu au-dessus de la rangée de tubes inférieure et s'avançant à moitié chemin dans le foyer.
e) Barreaux longitudinaux, de 1 1/8 pouce (28.6 millimètres) en haut; vides de 3/8 pouce (9.5 millimètres).

6. Voir les annexes A et C.

7. *a)* Tubes en laiton ordinaires.
b à *d)* Voir les annexes A et C.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

e) Viroles employées du côté du foyer seulement.



9. Joints circulaires à recouvrement, à simple rivure. Joints longitudinaux à couvre-joints intérieurs et extérieurs, à double rivure; rivets de 13/16 pouce (20.6 millimètres) de diamètre, 1 7/8 pouce (47.6 millimètres) d'écartement.

10 à **12**. Non.

13. Non-compound.

14. Voir les annexes A et C.

15. Non-compound.

16. Toutes les masses tournantes et la moitié des masses alternatives sont équilibrées sur les roues motrices. La moitié du poids des bielles motrices est considérée comme masse tournante. La moitié du poids des bielles d'accouplement est équilibrée sur les roues motrices, l'autre moitié des bielles d'accouplement est équilibrée sur les roues d'arrière.

Les contrepoids sont calculés d'après la méthode indiquée dans le *Railway Machinery* de Clark, édition de 1855.

17. Huile minérale lourde, pure, envoyée dans la boîte à vapeur.

18. Voir les annexes A, B et C.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

21. Voir les annexes A, B et C¹.

22. Frein à vide automatique.

23. Voir les annexes A, B, C et C¹.

24 et **25**. Non.

26. Houille de Monmouthshire de première qualité pour machines à vapeur; morceaux assez gros, avec une petite proportion de menus.

27. Combustible, 23.3 livres par train-mille (6.6 kilogrammes par kilomètre) pour longs parcours de trains du genre de ceux indiqués plus haut.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

12. Great Western Railway Company (Angleterre).

1, **1**A et **2**. Voir les annexes A, B et C.

3. *a*) Voir la spécification pour chaudières, annexe *d*.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. *a* à *f*) Voir les annexes A et C.
g) Fermes réunies par des entretoises au ciel du foyer et attachées par des chapes et des consoles au berceau de l'enveloppe extérieure.

5. *a*) Voir les annexes A et C.
b) Parois latérales, ciel et plaque arrière, 1/2 pouce (12.7 millimètres). Plaque tubulaire, 1/2 et 3/4 pouce (12.7 et 19 millimètres) d'épaisseur.
d) Non.
e) Type ordinaire.

6. Voir les annexes A et C.

7. *a*) Ordinaire.
b) Fer forgé.
c) 1 3/4 pouce (44.4 millimètres) de diamètre.
d) N° 12 (3.4 millimètres).
e) Viroles à l'extrémité, côté du foyer seulement.
f) En acier, soudés.
g) Voir l'annexe A.

8. Voir la spécification.

9. Joints circulaires à recouvrement, à simple rivure; joints longitudinaux à couvre-joints, à double rivure.

10 à **12**. Non.

13. Non-compound.

14. Voir les annexes A et C.

15. Non-compound.

17. Huile minérale dans la boîte à vapeur et le cylindre.

18. Voir les annexes A, B et C.
Bogie : boîtes en fonte avec coussinets en bronze; roues motrices : boîtes en fonte et coussinets en bronze ; roues arrière : boîtes en fonte et coussinets en bronze.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *a*) Voir les annexes C et D.
b) Non.

21. Voir les annexes A, B et C[1].

22. A la vapeur et à la main.

23. Voir les annexes A, B, C et C[1].

26. Houille de Galles pour machines à vapeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

27. Pas de statistique de la consommation d'eau. Houille, 26 à 30 livres par mille (7.3 à 8.5 kilogrammes par kilomètre) en moyenne.

29. Non.

13. Lancashire & Yorkshire Railway (Angleterre).

1, 1A et 2. Voir les annexes A, B et C.
160 livres par pouce carré (11 25 kilogrammes par centimètre carré) de pression dans la chaudière, avec une admission maximum de 75 p. c. de la course.

3. *a*) Voir aussi la spécification des essais, annexe *e*.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. Voir les annexes A et C.

5. *b*) Plaque tubulaire, 1 et $^5/_8$ pouce (25.4 et 15.9 millimètres) d'épaisseur; plaque arrière, $^5/_8$ pouce (15.9 millimètres) d'épaisseur; flancs et ciel, $^1/_2$ pouce (12.7 millimètres) d'épaisseur.
d) Voir le diagramme de la voûte en briques.
e) Voir le diagramme du cendrier.

6. Voir les annexes A et C.

7. *a*) Tubes cintrés.
b) Cuivre.
c) 1 $^3/_4$ pouce (44.4 millimètres).
d) N° 10 (3.4 millimètres) côté du foyer, n° 12 (2.77 millimètres) côté de la boîte à fumée.
e) Viroles à l'extrémité côté du foyer seulement.
f) En acier, étirés sans soudure.

8. Voir la spécification des essais, annexe *e*.

9. Rivetage hydraulique partout.

10 à 12. Non.

13. Non-compound.

14. *a* à *i*) Voir les annexes A et C.
k) Effort de traction : 12,394 livres (5,622 kilogrammes). Effort de freinage : 39,254 livres (17,805 kilogrammes), soit un rapport de 1 à 3.16. La pression effective moyenne est supposée égale aux 80 centièmes de la pression dans la chaudière.

15. Non-compound.

16. Répartis entre les roues couplées.

17. *a*) Huile à cylindres.
b) Graisseurs à débit visible, envoyant l'huile dans les tuyaux d'amenée seulement.

18. Voir les annexes A, B et C.
Toutes les boîtes de la machine sont en bronze phosphoreux; les boîtes du tender sont en fonte, avec coussinets en bronze phosphoreux.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

20. *a*) 1 1/2 pouce (38 millimètres) dans chaque sens.
b) Non.
c) Barre d'attelage centrale, avec tampons latéraux et ressorts.
Voir les annexes C et C1.

21. Voir les annexes A, B et C1. Le tender n'est pas monté sur bogies.

22. *a*) Frein à vide automatique sur la machine ; freins à vide automatique et à main sur le tender.
b) Roues de tender : frein à vide automatique, 8,851 livres (4,015 kilogrammes); frein à main, 4,411 livres (2,000 kilogrammes).

23. Voir les annexes A, B, C et C1.

24. Non.

26. Houille du Yorkshire de première qualité. Voir, dans le rapport au Congrès international de Londres, 1895, le diagramme donnant l'analyse de la houille employée sur le « Lancashire & Yorkshire Railway ».

27. 300 livres (84 kilogrammes) d'eau, 30 livres (8.4 kilogrammes) de combustible.
Voir plus haut.

28. 3 pouces (76 millimètres) d'eau en moyenne.

29. Nous ne pouvons pas donner à ce sujet de renseignements qui soient utiles pour ce rapport.

14. London, Brighton & South Coast Railway (Angleterre).

1, **1**A et **2**. Voir les annexes A, B et C.

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. Voir les annexes A et C.

5. *b*) La plaque tubulaire a 3/4 pouce (19 millimètres) d'épaisseur en haut, 1/2 pouce (12.7 millimètres) en bas. La plaque arrière, le ciel et les flancs ont 1/2 pouce (12.7 millimètres) d'épaisseur.
c) Fermes composées de tôles d'acier et suspendues au berceau de la boîte à feu. Dans quelques chaudières, on emploie des fermes en acier moulé.
d) Voûte en briques.
e) Grille et barreaux du type ordinaire.

6. Voir les annexes A et C.

7. *a*) Tubes ordinaires, mandrinés à l'extrémité avant.
b à *d*) Voir les annexes A et C.
e) Du côté du foyer seulement.
f) En acier, étirés sans soudure.

10. Non.

11 et **12**. Non.

13. Non-compound.

14. Voir les annexes A et C.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

13. Non compound.

18. Voir les annexes A, B et C.

Toutes les boîtes de la machine sont en acier coulé, avec des coussinets en bronze, garnis de métal blanc.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *a*) Nulle. Cheville centrale et écrou.
b) Non.
c) Barre d'attelage en fer forgé et deux maillons de sûreté.

21. Voir les annexes A, B et C[1].

22. Frein Westinghouse automatique.

23. Voir les annexes A, B, C et C[1].

24. Non.

26. Houille dure du pays de Galles.

29. Non.

15. London & North Western Railway (Angleterre).

1, **1A** et **2.** Voir les annexes A, B et C.

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. Voir les annexes A et C.

5. *a*) Voir les annexes A et C.

b) La plaque tubulaire a 1 pouce (25.4 millimètres) d'épaisseur dans la partie où les tubes sont emmanchés, et $^{9}/_{16}$ pouce (14.3 millimètres) ailleurs. Les autres plaques ont $^{1}/_{2}$ pouce (12.7 millimètres) d'épaisseur.

c) Les armatures du ciel sont du type ordinaire de fermes horizontales. Ces fermes ont 5 $^{1}/_{2}$ pouces (140 millimètres) de hauteur; elles sont fixées au ciel du foyer par des vis d'arrêt de 1 pouce (25 millimètres), espacées de 4 pouces (102 millimètres), et attachées au berceau de la boîte à feu extérieure par deux bielles de suspension.

d) Oui.

e) Barreaux horizontaux ordinaires, avec vides de $^{5}/_{16}$ pouce (7.9 millimètres).

6. Voir les annexes A et C.

7. *a*) Tubes ordinaires.
b) Cuivre; parfois de l'acier, avec bouts en cuivre.
e) Des viroles sont employées à l'extrémité côté du foyer.
f) Viroles en acier, étirées.

8. Les tôles d'acier sont soumises à trois essais : traction, élargissement d'un trou à la broche et pliage.

9. Le rivetage de nos chaudières se fait à l'aide de machines hydrauliques. Les joints circulaires sont à recouvrement et à double rivure; les joints longitudinaux sont à couvre-joints intérieurs et extérieurs, et à triple rivure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

10 à **12**. Non.

13 et **14**. Compound.

15. Voir l'annexe A1.

La manivelle H. P. est diamétralement opposée à la manivelle B. P. correspondante, et les deux manivelles H. P. sont calées à 90° l'une par rapport à l'autre.

La machine est munie d'un frein à vapeur et reliée aux freins à vide automatiques des voitures de telle façon que l'application de l'un ou de l'autre frein, soit par le mécanicien, soit par le chef de train, les fait fonctionner tous deux.

16. Notre pratique consiste à calculer les contrepoids de manière à équilibrer la totalité des masses tournantes et la moitié des masses à mouvement alternatif d'une machine ; les contrepoids sont placés dans la jante des roues, à l'angle voulu pour paralyser les forces perturbatrices. Dans les roues avant et arrière des machines à essieux couplés, nous plaçons un contrepoids suffisant pour équilibrer le poids du tourillon de manivelle et de son bossage, plus la partie du poids de la bielle d'accouplement qui est portée par les tourillons de manivelle sur ces roues.

17. Nous avons des graisseurs à débit visible pour lubrifier la vapeur pendant la marche. Des robinets de graissage placés sur les plateaux avant des cylindres sont de temps en temps remplis au moment du départ. Sur le plateau du cylindre B. P. des machines compound se trouve un godet à huile servant comme il vient d'être dit. Nous comptons sur la lubrification de la vapeur à mesure qu'elle passe des cylindres H. P. dans les cylindres B. P.

18. Voir les annexes A, B et C.

Les boîtes du truck radial sont en bronze phosphoreux. Les boîtes motrices et arrière sont en acier coulé, avec coussinets en bronze phosphoreux.

19. L'avant de la machine porte sur un double truck radial, dont le centre est muni de la boîte radiale F. W. Webb et d'un ressort de rappel central.

20. *c*) La machine est accouplée au tender à l'aide d'une maille centrale, dont une extrémité est solidement réunie au tender par une cheville de 2 1/4 pouces (57 millimètres) qui traverse l'extrémité de la maille et un support en acier fixé sur le châssis du tender. L'autre extrémité de la maille (ayant un trou allongé pour tenir compte de la compression des tampons entre la machine et le tender) est fixée à la plate-forme de la machine par une cheville de 2 1/4 pouces (57 millimètres). De part et d'autre de cette maille principale se trouvent deux mailles de sûreté de 1 1/2 pouce (38 millimètres) de diamètre, pour relier le tender à la machine en cas de rupture de la maille principale.

21. Voir les annexes A, B et C1.

Les tenders ne sont pas munis de bogies.

22. Les freins des tenders peuvent être serrés à la main ; de plus, ils sont disposés de manière à être commandés par le frein à vapeur de la machine.

23. Voir les annexes A, B, C et C1.

24. Non.

26. *a*) Houille.

27. Les conditions de notre exploitation varient tellement qu'il est impossible de faire une réponse générale à cette question, mais j'envoie ci-inclus les détails du travail de la machine n° 1903 *Iron Duke* à quatre cylindres, quatre roues couplées, compound, remorquant un train

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

spécial pour le Congrès de l'*Institution of Civil Engineers* d'Euston à Crewe et retour, le 8 juin 1899.

29. Voir plus haut la question n° 27.

16. London & SouthWestern Railway Company (Angleterre).

1, 1A et 2. Voir les annexes A, B et C.

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.

b) Voir les annexes A et C.

4. Voir les annexes A et C.

5. *a*) Voir les annexes A et C.

b) Plaque tubulaire, $^{7}/_{8}$ et $^{9}/_{16}$ pouce (22.2 et 14.3 millimètres) ; flancs, ciel et plaque arrière, $^{9}/_{16}$ pouce (14.3 millimètres).

c) Fermes en acier attachées à l'enveloppe de boîte à feu.

d) Voûte en briques et déflecteur sur la porte du foyer.

e) Barreaux en fonte.

6. Voir les annexes A et C.

7. *a*) Voir les annexes A et C.

b) Laiton rouge (1re qualité) et cuivre affiné.

d) Viroles à l'extrémité côté du foyer.

e) En acier, soudées.

8. Tôles en acier doux : résistance à la traction, 26 tonnes par pouce carré (41 kilogrammes par millimètre carré) au moins et 30 tonnes (47 kilogrammes) au plus. Allongement de 23 p. c. sur 10 pouces (254 millimètres). Plaques en cuivre : résistance à la traction, 15 tonnes par pouce carré (23.5 kilogrammes par millimètre carré) au moins. Allongement, 40 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres).

9. Les joints circulaires de la chaudière sont à recouvrement, avec des rivets de $^{13}/_{16}$ pouce (20.6 millimètres) de diamètre, espacés de 1 $^{7}/_{8}$ pouce (47.6 millimètres). Les joints longitudinaux sont à couvre-joints, avec des rivets en quinconce de $^{13}/_{16}$ pouce de diamètre, espacés de 1 $^{7}/_{8}$ pouce.

10. Des tubes à eau transversaux sont placés dans le foyer pour améliorer la circulation et augmenter la surface de chauffe du foyer de 100 p. c.

11. Un dôme de prise de vapeur.

12. Clapets de dégagement automatiques sur les cylindres.

13. Non-compound.

14. *a* à *i*) Voir les annexes A et C.

k) L'effort de traction est de 5.5 tonnes, l'effort de freinage sur chaque sabot est de 5.6 tonnes, soit au total de 22.6 tonnes sur les quatre roues couplées. L'effort de freinage est égal à 40 p. c. du poids total de la machine.

15. Non-compound.

18. Voir les annexes A, B et C.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *b*) Non.

c) Barre d'attelage ordinaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

21. *a* à *g*) Voir les annexes A, B et C[1].

h) Il n'est fait usage de bogies que pour les tenders de 4,000 gallons (18 mètres cubes) et au-dessus.

22. *a*) Frein à vide continu automatique.

b) 5.3 tonnes, soit 16 tonnes de puissance de freinage totale.

23. Voir les annexes A, B, C et C[1].

24. Non.

26. Houille de Galles, $^2/_3$; houille dure, $^1/_3$.

27. 32 à 45 livres par mille (9 à 12.7 kilogrammes par kilomètre).

17. London, Tilbury & Southend Railway Company (Angleterre).

1, **1**A et **2**. Voir les annexes A, B et C.

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.

b à *f*) Voir les annexes A et C.

4 et **5**. Voir les annexes A et C.

a) Cuivre de première qualité.

b) Plaque tubulaire : $^3/_4$ pouce (19 millimètres) dans la partie traversée par les tubes. Flancs, ciel et plaque arrière, $^1/_2$ pouce (12.7 millimètres).

c) Entretoises verticales de 1 $^1/_8$ pouce (28.6 millimètres), filetées au pas de onze filets par pouce (2.3 millimètres), vissées dans le ciel du foyer et le berceau de l'enveloppe de boîte à feu. En fer forgé.

d) Ni voûte ni bouilleur.

e) Grille inclinée de 4 pouces (102 millimètres) vers l'arrière. Barreaux fixes.

6 et **7**. Voir les annexes A et C.

a) Tubes étirés sans soudure.

b) Laiton composé de 70 p. c. de cuivre de premier choix et 30 p. c. de zinc de Silésie de première qualité.

c) 1 $^5/_8$ pouce (41.3 millimètres) de diamètre à l'extrémité côté du foyer et 1 $^3/_4$ pouce (44.4 millimètres) à l'extrémité côté de la boîte à fumée sur une longueur de 3 pouces (76 millimètres).

d) Épaisseur n° 11 de la jauge normale (3.05 millimètres) à l'extrémité côté du foyer, sur une longueur de 1 pied (0.305 mètre), allant en diminuant jusqu'au n° 13 (2.4 millimètres) du côté de la boîte à fumée.

e) Viroles à l'extrémité côté du foyer seulement.

f) Viroles soudées, en acier de première qualité pour viroles.

8. Tous les matériaux doivent être de toute première qualité. Essais de traction, de poinçonnage et de pliage pour l'acier. Essais de traction, de pliage à chaud et à froid pour les plaques et entretoises en cuivre.

9. Rivetage hydraulique pour tous les joints.

10 à **12**. Non.

13. Non-compound.

14. *a* à *i*) Voir les annexes A et C.

k) 2,409.6 livres par tonne de charge sur les roues motrices.

1,216.8 livres par tonne de charge sur les roues arrière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

15. Non-compound.

16. La totalité des masses tournantes et les deux tiers des masses alternatives sont équilibrées de chaque côté de la machine.

17. Le graissage est envoyé indépendamment dans la boîte à vapeur et dans les cylindres.

18. Voir les annexes A, B et C.
Roues en acier coulé, essieux en acier au creuset de première qualité.
Boîtes du bogie, motrices et arrière en bronze Stone. Boîte radiale en acier coulé, avec coussinet en bronze Stone.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *a* et *b*) Voir l'annexe D.
c) Machine-tender.

21. *h*) Pas de tender.

22. *a*) Frein Westinghouse automatique.
b) 10,692 livres (4,850 kilogrammes).

23. *a* à *f*) Voir les annexes A, B et C.
g à *h*) Pas de tender.

24 et **25**. Non.

26. Houille de Durham et de Hucknall.

27. 40 livres par train-mille (11.3 kilogrammes par train-kilomètre). Eau, 7.88 livres par train-mille (2.22 kilogrammes par train-kilomètre).

28. 3.21 pouces (81.5 millimètres) d'eau.

29. Non.

18. Madras Railway Company (Indes).

1, **1**A et **2**. Voir les annexes A, B et C.

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4 à **7**. Voir les annexes A et C.

14. Voir les annexes A et C.

18. Voir les annexes A, B et C.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. Voir l'annexe D.

21. Voir les annexes A, B et C[1].

23. Voir les annexes A, B et C.

24. Non.

26. Machines express et à voyageurs : Gouraugdhi, consommation en livres, 3.24; Singareni, consommation en livres, 3.27.
Machines mixtes et à marchandises : Gouraugdhi, consommation en livres, 2.41; Singareni, consommation en livres, 2.43.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

19. Midland Railway Company (Angleterre).

1 et **2**. Voir les annexes A , B et C.

3. *a*) La Compagnie n'a pas envoyé de spécification.

b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. *a*) Acier doux Siemens.

b) Plaque arrière et parois latérales, 1/2 pouce (12.7 millimètres); plaque avant, 5/8 pouce (15.9 millimètres).

c) Entretoises écartées de 4 pouces (102 millimètres).

d à *g*) Voir les annexes A et C.

5. *a*) Voir les annexes A et C.

b) Plaque tubulaire, partie traversée par les tubes, 3/4 pouce (19 millimètres).

c) Huit fermes, chacune composée de deux tôles d'acier d'une seule pièce, de 5/8 pouce (15.9 millimètres), rivées ensemble, fixées au ciel du foyer par des entretoises en fer de 7/8 pouce (22.2 millimètres) à têtes venues de forge, vissées à force dans la feuille de cuivre, avec écrous et rondelles à l'intérieur. Les fermes sont attachées par des bielles en acier et des chevilles à des T en acier fixés au berceau de l'enveloppe de boîte à feu.

d) Voûte en briques portée par des goujons fixés dans les parois du foyer. Pas de bouilleur.

e) Grille à barreaux en fonte trempés en dessus. Épaisseur des barreaux, 3/4 pouce (19 millimètres); largeur des vides, 9/16 pouce (14.3 millimètres).

6. Voir les annexes A et C.

7. *a* et *b*) En cuivre, étirés.

c) Diamètre extérieur : à l'arrière, 1 5/8 pouce (41.3 millimètres); à l'avant, sur une longueur de 4 pouces (102 millimètres), 1 11/16 pouce (42.9 millimètres).

d) Côté du foyer, n° 11 (3.05 millimètres); côté de la boîte à fumée, n° 12 (2.77 millimètres).

e) Viroles à l'extrémité côté du foyer seulement.

f) Viroles en acier.

g) Voir les annexes A et C.

8. Des éprouvettes de 6 pouces (152 millimètres) de longueur et 2 pouces (51 millimètres) de largeur, découpées dans un sens quelconque dans les tôles de chaudière, doivent supporter sans rupture le pliage à froid autour d'un barreau de 3/4 pouce (19 millimètres) de diamètre, et présenter une résistance à la traction de 26 à 28 tonnes par pouce carré (41 à 44 kilogrammes par millimètre carré), avec 20 à 25 p. c. d'allongement sur 8 pouces (203 millimètres). Les plaques et barres en cuivre doivent être d'une qualité affinée et subir le pliage à bloc sans rupture. Les plaques doivent avoir une résistance à la traction de 14 tonnes par pouce carré (22 kilogrammes par millimètre carré), avec 35 p. c. d'allongement sur 8 pouces (203 millimètres), et les barres, une résistance de 15 tonnes par pouce carré (23.6 kilogrammes par millimètre carré), avec 60 p. c. d'allongement sur 2 pouces (51 millimètres).

9. Joints circulaires à simple rivure. Joints longitudinaux à couvre-joints intérieurs et extérieurs et à double rivure.

10. Non.

11. La tête du régulateur est fixée dans le dôme au-dessus de l'axe de la chaudière.

12. Non.

13. Non-compound.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

14. *a* à *i*) Voir les annexes A et C.

k) Machine à roues libres, quatre sabots sur les deux roues motrices.

$$\frac{\text{Effort de traction.}}{1} \text{ à } \frac{\text{Effort de freinage.}}{1.9}$$

15. Non-compound.

16. Les contrepoids sont disposés de manière à donner un équilibrage parfait. Il est tenu compte du poids de toutes les pièces à mouvement alternatif : piston, tige de piston, tête de piston, coulisseaux, etc., et bielle motrice; on y ajoute le tourillon de manivelle et les parties non équilibrées des bras de manivelle. En ne considérant d'abord qu'un seul cylindre, le contrepoids, réduit dans la proportion de son bras de levier, serait placé sur chaque roue à une distance proportionnelle à celle de la roue à l'axe des cylindres. Mais comme on fait usage de deux cylindres, actionnant des manivelles à angle droit, chaque roue nécessiterait un gros et un petit contrepoids, espacés de 90°. Les deux contrepoids sont réduits en un seul placé entre les deux à une distance proportionnelle et ayant la forme d'un plateau pour faciliter le contact de la roue et du rail.

17. Mélange de deux tiers d'huile à cylindres minérale et un tiers d'huile de colza, envoyé dans la boîte à vapeur par un graisseur à débit visible, et dans les cylindres par des graisseurs Furness. La proportion employée varie avec les différentes conditions du service.

18. Voir les annexes A, B et C.

Les boîtes de la machine sont en fer du Yorkshire de première qualité, cémenté et trempé, et ont des coussinets en bronze Stone. Les boîtes du bogie sont en bronze à canons, avec glissières en fonte.

19. Voir les annexes A, B, C et D.

20. *b*) Non.

c) Mailles et chevilles d'attelage en fer forgé, et ressort de traction à lames sur le tender.

21. *a* à *g*) Voir les annexes A, B et C1.

h) Pas de bogies sur le tender.

22. *a*) Frein à vapeur sur la machine et le tender, agissant concurremment avec le frein à vide du train Un seul levier actionne le frein de la machine et celui du train simultanément.

b) *Machines à bogie et à quatre roues couplées :* Roues motrices, 24,458 livres (11,094 kilogrammes); roues arrière, 24,458 livres (11,094 kilogrammes). *Machines à bogie et à roues libres :* Roues motrices, 27,040 livres (12,265 kilogrammes).

23. Voir les annexes A, B, C et C1.

24 et **25**. Non.

26. *a*) Houille. *b*) Variables. *c*) Variable. *d*) Variable.

27. La consommation varie avec le poids du train et les conditions atmosphériques.

Il n'a pas été fait récemment d'expériences spéciales sur cette machine.

28. Il varie de 2 à 5 pouces (51 à 127 millimètres) d'eau.

29. Pas d'essais spécifiques.

20. North Eastern Railway Company (Angleterre).

1, **1**A et **2**. Voir les annexes A, B et C.

3. Voir les annexes A et C.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4. *a*) Acier.

b) Parois latérales et dessus, $^{9}/_{16}$ pouce (14.3 millimètres) d'épaisseur; plaques arrière et avant, $^{5}/_{8}$ pouce (15.9 millimètres) d'épaisseur.

c) 4 pouces (102 millimètres).

d à *f*) Voir les annexes A et C.

g) Les entretoises en cuivre sont vissées dans les tôles extérieures et intérieures, puis rivées.

5. *a* et *b*) Voir les annexes A et C.

c) Fermes en acier moulé.

d) Voûte en briques.

e) Barreaux en fonte, avec vides de $^{3}/_{8}$ pouce (9.5 millimètres).

6. Voir les annexes A et C.

7. *b*) Cuivre affiné.

d) N° 11 (3.05 millimètres) à l'extrémité côté du foyer, n° 13 (2.4 millimètres) à l'extrémité côté de la boîte à fumée.

e) Viroles du côté du foyer.

f) En acier doux, soudées.

g) Voir les annexes A et C.

8. Les essais imposés sont les suivants :

Tôles d'acier : Essai par traction, 25 p. c. d'allongement sur 4 pouces (102 millimètres); 28 à 32 tonnes par pouce carré (44 à 47 kilogrammes par millimètre carré).

Essai de pliage : 180°, sans rupture.

Essai de poinçonnage : Éprouvette de 4 × 4 pouces (102 × 102 millimètres); trou de $^{5}/_{8}$ pouce (15.9 millimètres), à 1 $^{1}/_{2}$ pouce (38 millimètres) de deux côtés, élargi à la broche au diamètre de 1 $^{1}/_{2}$ pouce (38.1 millimètres) sans rupture.

Plaques de cuivre : Essai par traction : 45 p. c. d'allongement sur 4 pouces (102 millimètres); 13.5 à 15 tonnes (21.3 à 23.6 kilogrammes par millimètre carré).

Essai de pliage : A bloc, sans rupture.

Essai de poinçonnage : Éprouvette de 2 $^{1}/_{2}$ × 2 $^{1}/_{2}$ pouces (63.5 × 63.5 millimètres), avec trou de $^{5}/_{8}$ pouce (15.9 millimètres) au milieu, élargi à la broche à 1 $^{1}/_{2}$ pouce (38.1 millimètres) sans rupture.

Entretoises de foyer : Essai par traction, 45 p. c. d'allongement sur 4 pouces (102 millimètres); 13.5 à 15 tonnes par pouce carré (21.3 à 23.6 kilogrammes par millimètre carré).

Essai de pliage : A bloc, sans rupture.

Essai de refoulement au marteau : A 2 $^{1}/_{2}$ pouces (63.5 millimètres) de diamètre, sans criques.

9. Rivetage mécanique.

10. Non.

11. Non.

12. Oui, des injecteurs à vapeur d'échappement et un tuyau d'échappement partant de la partie inférieure de la lumière d'échappement.

13. Non-compound.

14. Voir les annexes A et C.

15. Non-compound.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

16. La totalité des masses tournantes, les deux tiers des bielles motrices, la moitié des masses à mouvement alternatif. La moitié du poids des bielles d'accouplement est équilibrée sur les roues arrière, le reste sur les roues motrices.

17. L'huile est envoyée par des graisseurs distincts dans chaque cylindre et dans chaque boîte à vapeur quand il y en a plus d'une, comme dans le cas des boîtes à vapeur extérieures et des boîtes à vapeur placées sur les cylindres. L'huile employée est connue sous le nom d' « huile de Gallipoli », et la quantité consommée dans les cylindres et les boîtes à vapeur est à peu près égale; la consommation totale d'huile dans les cylindres et les boîtes à vapeur est d'environ 0.016 pint par mille (0.0056 litre par kilomètre) parcouru. Il n'est pas employé d'huile spéciale pour les cylindres.

18. Voir les annexes A, B et C.
En bronze, garnissage de métal blanc.

19. *a*) Voir les annexes A, B, C et D.
b) Charge de chaque ressort : 7 $^1/_2$ tonnes. Jeu du pivot central : 3 pouces (76 millimètres).

20. Non.

21. Voir les annexes A, B et C[1].

22. *Frein à air comprimé automatique continu Westinghouse.* — Les appareils nécessaires au fonctionnement de ce frein sont les suivants : une pompe à air, munie d'un détendeur et d'un graisseur; un robinet d'arrêt à vapeur; robinet du mécanicien; réservoir principal; triple valve; réservoir auxiliaire; cylindre à frein; deux robinets d'arrêt de 1 pouce (25.4 millimètres); deux boyaux et raccords d'accouplement; conduite générale en fonte et raccords avec les triples valves, avec robinets d'arrêt de $^1/_2$ pouce (12.7 millimètres). La jonction entre le tender et la voiture de tête, et d'une voiture à l'autre, est formée par le boyau et l'accouplement automatique, chacun muni d'un robinet d'arrêt de 1 pouce (25.4 millimètres) qui est fermé lorsque les boyaux ne sont pas en service, et ouvert lorsque les tuyaux sont raccordés entre les voitures. La pompe à air, qui est actionnée par la vapeur, a un cylindre à vapeur et un cylindre à air disposés en tandem, le cylindre à vapeur se trouvant immédiatement au-dessus de la pompe à air. La pompe à air, le robinet d'arrêt à vapeur, le robinet du mécanicien et le réservoir principal ne se trouvent que sur la machine et constituent les appareils de production et de modération de la puissance de freinage. Les autres organes sont communs à la machine et aux voitures et constituent les appareils servant à appliquer l'effort nécessaire pour obtenir le ralentissement, le piston du cylindre à frein étant directement relié à la timonerie et aux sabots. L'air est comprimé par la pompe et refoulé dans le réservoir principal, puis, par le robinet du mécanicien, dans la conduite générale, d'où il passe par la triple valve dans le petit réservoir. La pression est la même partout, excepté dans le réservoir principal, où une pression d'excès ou de réserve est conservée à l'aide du robinet de manœuvre, et utilisée pour le desserrage du frein. Lorsque la pression est réduite, dans la conduite générale, par le déplacement du levier du robinet de manœuvre permettant à l'air comprimé de s'échapper dans l'atmosphère, la triple valve descend sous la pression exercée sur la face supérieure du piston et de la valve, jusqu'à ce qu'il se produise une égalisation par le passage de l'air emmagasiné au réservoir dans le cylindre à frein, qui actionne le piston relié à la timonerie du frein et aux sabots. La pression normale, sur le « North Eastern », est de 60 livres (4.22 kilogrammes) dans la conduite générale et les réservoirs auxiliaires, et de 75 livres (5.27 kilogrammes) dans le réservoir principal, de sorte que la réserve de pression est de 15 livres (1.05 kilogramme). Pour desserrer les freins, on laisse passer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'excédent de pression du réservoir principal par le robinet du mécanicien dans la conduite générale; dès lors, le piston de la triple valve remonte, le conduit qui fait communiquer le réservoir auxiliaire avec le cylindre est fermé, en même temps le conduit d'échappement est ouvert, et l'air comprimé du cylindre peut s'échapper dans l'atmosphère.

23. Voir les annexes A, B, C et C[1].

24. Non.

25. *Signal en temps de brouillard.* — Ces machines sont munies de l'appareil automatique Raven et Baister breveté, pour la transmission des signaux en temps de brouillard. Il consiste en un pendule suspendu au caisson d'attelage ou à toute autre partie convenable de la machine et relié à une paire de biellettes dont les autres extrémités s'engagent dans une flasque et impriment un mouvement vertical à une tige qui à son tour actionne un sifflet placé dans l'abri et communiquant avec la conduite du frein Westinghouse, lorsque le pendule est ramené en arrière, par un mouvement de la machine passant sur un obstacle dans la voie. L'objet de la flasque mentionnée plus haut est d'atténuer la rapidité avec laquelle la tige remonte. L'obstacle placé sur la voie consiste en une manivelle disposée à une distance convenable en arrière du *distant signal* et qui monte et s'abaisse avec le signal. Le choc du pendule venant en contact violent avec la manivelle est atténué par un dispositif dont le pendule est muni et qui comprend un tampon en caoutchouc. Cet appareil a été reconnu d'un fonctionnement satisfaisant; certains pendules subissent 1,000 chocs avant qu'on ait à les renouveler.

Écopes de prise d'eau. — Des écopes ont aussi été fixées aux tenders pour embarquer de l'eau en marche, ce qui permet aux machines de faire de longs parcours sans arrêt avec de lourdes charges et évite les pertes de temps pour ravitaillement aux prises d'eau. Ces appareils ont été reconnus satisfaisants : une machine peut remplir son tender en parcourant à sa vitesse normale une distance d'environ 800 pieds (240 mètres).

Injecteurs à vapeur d'échappement. — Les chaudières ont été munies d'injecteurs à vapeur d'échappement, qui présentent le double avantage de réduire la contre-pression dans les cylindres et d'envoyer l'eau dans la chaudière à une température beaucoup plus élevée que les injecteurs ordinaires : il en résulte une économie considérable de combustible.

26. *a*) Houille.
b) Dimensions variables.
c) La teneur en cendres varie de 1.76 à 6.46 p. c.
d) La proportion de matières volatiles varie de 32.96 à 39 p. c.

27. Eau. . . . . 280 livres (79 kilogrammes par kilomètre).
Houille . . . . . 35 — (9.87 — —).

Résultats d'un essai de houille pour machines à vapeur de première qualité.

Parcours en milles (kilom.).	Consommation de houille.	Consommation par mille (kilomètre).	Nombre moyen de véhicules.	Quantité de matières étrangères.
	Tons. Cwt.			Cwt. Qrs.
1,205	16 12	30.85 livres	10	13 3
(1,939)	(16,865 kilog.)	(8.697 kilog.)		(698.5 kilog.)
				ou 4.14 p. c.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Analyse approximative.

Matières volatiles	33.20	Soufre, 1.2 p. c.
Carbone fixe.	61.42	66.74 p. c. de coke.
Cendres	5 32	
	100.00	Puissance calorifique, 15.05.

Vaporisation de 8 kilogrammes d'eau par kilogramme de houille consommée.

28. 4 1/2 pouces d'eau (114 millimètres).

29. Non.

21. South Australian Railway Company (Australie).

1, 1A et 2. Voir les annexes A, B et C.

3. *a*) Voir la spécification, annexe *f*.
b à *f*) Voir les annexes A et C.

4. *a* à *f*) Voir les annexes A et C.

g) Les entretoises latérales, en cuivre, sont percées à chaque extrémité d'un trou central de 1/8 pouce (3 millimètres), fort, de diamètre, et les deux trous se prolongent jusqu'à 1 1/2 pouce (38 millimètres) du milieu de l'entretoise. Les entretoises sont lisses au milieu. La plaque arrière de la boîte à feu est reliée au corps cylindrique par dix entretoises longitudinales dont six sont vissées dans la plaque arrière et traversent des trous percés dans les cornières supérieure et inférieure d'une entretoise des longerons rivée contre le corps cylindrique; les quatre autres sont fixées par une double joue et cheville à des supports en fer à T, rivés sur le corps cylindrique.

5. Voir les annexes A et C.
a) Cuivre.
b) Plaque tubulaire, 7/8 pouce (22.2 millimètres); les autres plaques, 1/2 pouce (12.7 millimètres).
c) Sept fermes en I, en fer martelé de première qualité, d'une seule pièce; les trous sont percés au foret et dressés sur les deux faces pour recevoir des boulons tournés à la main. Quatre fermes sont fixées au ciel par huit entretoises verticales. Des trous allongés percés dans les tirants de suspension permettent au foyer de se dilater verticalement.
d) Voûtes en briques et bouilleurs.
e) Barreaux en fer forgé, supportés par deux crémaillères cylindriques et maintenus en place par des chevilles chassées à la masse. Vides : 3/4 pouce (19 millimètres).

6. Voir les annexes A et C.
Acier doux, d'une résistance à la traction de 26 à 30 tonnes par pouce carré (41 à 47 kilogrammes par millimètre carré), avec 25 à 27 p. c. d'allongement mesuré sur une longueur de 8 pouces (203 millimètres).

7. *b*) Laiton rouge Arthur Everitt & Son breveté.
e) Extrémité côté du foyer seulement.
f) Virole soudée en acier de Suède.
g) Voir les annexes A et C.

8. Essais de traction, d'élargissement à la broche et de pliage. La résistance à la traction du

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cuivre ne doit pas être inférieure à 13 1/2 tonnes par pouce carré (21.3 kilogrammes par millimètre carré), avec 40 p. c. d'allongement sur 2 pouces (51 millimètres).

9. Joints circulaires, rivure en quinconce, espacement 2 pouces (51 millimètres). Joints longitudinaux avec couvre-joint intérieur de 3/4 pouce (19 millimètres) et couvre-joint extérieur de 7/16 pouce (11.1 millimètres), rivure en quinconce, espacement 2 pouces (51 millimètres).

10. Non.

11. Une tôle perforée fixée dans le dôme est employée dans quelques types de machines.

12. Non.

13. Non compound.

14. *a*) Deux.

b à *k*) Voir les annexes A et C.

15 et **16.** Non compound.

17. Suif dans la boîte à vapeur.

18. Voir les annexes A, B et C.
86 parties de cuivre, 14 parties d'étain.

19. *a*) Voir les annexes A, B, C et D.
b) Jeu de 2 1/2 pouces (63.5 millimètres).

20. *b*) Oui.
c) Barre d'attelage.

21. Voir les annexes A, B et C[1].

22. *a*) Frein Westinghouse automatique sur la machine, frein à main sur le tender.
b) 60 p. c. du poids sur essieux.

23. Voir les annexes A, B, C et C[1].

24. Non.

25. Pas d'essais.

26. *a*) Houille.
b) Environ 1 à 6 pouces (25 à 152 millimètres).
c) 6 p. c.
d) 37 p. c.

27. *a*) Eau, 224 livres (63 kilogrammes par kilomètre).
b) Houille, 32 livres (9 kilogrammes par kilomètre).
c) Il n'a pas été fait d'essais spéciaux.

29. Il n'a pas été fait d'essais.

South Eastern & Chatham Railway Company (Angleterre).

22. Réseau du South Eastern.

2. *a*) 170 livres (11.95 kilogrammes).
b) Pas de renseignements.

3. Multitubulaire sans dôme. Pression effective maximum, 170 livres par pouce carré

22*a*. Réseau de Chatham

2. *a*) 150 livres (10.55 kilogrammes).
b) Pas de renseignements.

3. Multitubulaire avec dôme. Pression effective maximum, 150 livres par pouce carré

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(11.95 kilogrammes par centimètre carré). Surface de la grille, 16.76 pieds carrés (1.557 mètre carré). Surface de chauffe du foyer, 111.15 pieds carrés (10 33 mètres carrés). Surface de chauffe tubulaire, 976 pieds carrés (90.67 mètres carrés). Aire des tubes, abstraction faite des viroles, 2.215 pieds carrés (0.2058 mètre carré). Surface de chauffe totale, 1,087.15 pieds carrés (101 mètres carrés).

4. Acier doux. Épaisseur des flancs, du dessus, des plaques avant et arrière : 9/16 pouce (14.3 millimètres). Entretoises en cuivre, de 1 pouce (25.4 millimètres) de diamètre, espacées d'environ 4 pouces (102 millimètres) d'axe en axe, au pas de onze filets par pouce (2.3 millimètres), lisses entre les plaques. La plaque arrière est reliée par quatre goussets de 1/2 pouce d'épaisseur à la tôle formant les flancs et le dessus.

5. Cuivre. Les flancs, faisant corps avec le ciel et la plaque arrière, ont 1/2 pouce (12.7 millimètres) et la plaque tubulaire 3/4 pouce (19.05 millimètres) d'épaisseur. Le ciel est armaturé par cent et quatre entretoises directes en fer du Yorkshire, de 1 1/8 pouce (28.6 millimètres) de diamètre, vissées dans le ciel et le berceau, rivées sur l'enveloppe extérieure et munies d'un écrou sur la face intérieure du ciel du foyer. Le foyer est muni d'une voûte en briques. La grille se compose de barreaux en fer forgé, de 3/4 pouce (19.05 millimètres) d'épaisseur en haut, avec des vides de 7/16 pouce (11.1 millimètres). La porte du foyer est ovale et montée sur des charnières latérales.

6. En acier doux. Le corps cylindrique est en trois viroles, dont la plus petite a 4 pieds 5 7/8 pouces (1.368 mètre) de diamètre Épaisseur des tôles, 9/16 pouce (14.3 millimètres). Longueur du corps cylindrique, 10 pieds 4 1/2 pouces (3.162 mètres); entre

(10.55 kilogrammes par centimètre carré). Surface de la grille, 17 pieds carrés (1.58 mètre carré). Surface de chauffe du foyer, 110 pieds carrés (10.22 mètres carrés). Surface de chauffe tubulaire, 1,000 pieds carrés (92.90 mètres carrés). Aire des tubes, abstraction faite des viroles, 1.7 pied carré (0.1579 mètre carré). Surface de chauffe totale, 1,110 pieds carrés (103.12 mètres carrés).

4. Acier doux. Épaisseur des flancs, du dessus et des plaques avant et arrière, 1/2 pouce (12.7 millimètres). Entretoises en cuivre de 1 et 7/8 pouce (25.4 et 22.2 millimètres) de diamètre, écartées d'environ 3 1/2 à 4 pouces (89 à 102 millimètres) d'axe en axe, au pas de onze filets par pouce (2.3 millimètres), filetées entre les plaques.

5. En cuivre. Les flancs, le ciel et la plaque arrière ont 1/2 pouce (12.7 millimètres) d'épaisseur, et la plaque tubulaire a 13/16 et 1/2 pouce (20.6 et 12.7 millimètres). Le ciel est armaturé par huit fermes en acier moulé, fixées chacune par quatorze goujons en fer de 1 pouce (25.4 millimètres) de diamètre, vissés à travers le ciel dans la ferme, avec un écrou sur la face intérieure du ciel. Six de ces fermes sont reliées à des cornières du berceau par douze chapes de suspension. Voûte en briques et déflecteur. La grille se compose de barreaux en fer forgé de 1 1/4 pouce (32 millimètres) d'épaisseur en haut, avec des vides de 1/2 pouce (12.7 millimètres). La porte du foyer est circulaire et consiste en deux vantaux coulissants. Un petit registre placé en dessus permet d'introduire l'air quand les grandes portes sont fermées.

6. En acier doux. Le corps cylindrique se compose de deux viroles télescopiques, dont la plus petite a 4 pieds 1 1/2 pouce (1.257 mètre) de diamètre. Épaisseur des tôles, 7/16 pouce (11.1 millimètres). Longueur du corps cylindrique, 10 pieds 5 pouces (3.175 mè-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les plaques tubulaires, 10 pieds 8 1/16 pouces (3.253 mètres).

7. Tubes à gaz chauds, en laiton. Diamètre extérieur, 1 5/8 pouce (40.9 millimètres). Épaisseur à l'extrémité côté du foyer, nº 11 de la jauge de Birmingham 3.05 millimètres); à l'extrémité côté de la boîte à fumée, nº 13 (2.4 millimètres). Viroles soudées, en acier doux, fabriqué avec des barres de Suède de première qualité, du côté du foyer. Nombre de tubes, 215.

8. Les tôles d'acier doivent avoir une résistance à la traction de 26 tonnes par pouce carré (41 kilogrammes par millimètre carré) au moins, de 30 tonnes (47 kilogrammes) au plus, avec un allongement d'au moins 25 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres). Plaques de foyer en cuivre : sur chaque feuille on prélèvera une éprouvette qui sera essayée en la repliant complètement sur elle-même à froid, sans qu'il se déclare d'indices de rupture. Des éprouvettes de traction résisteront à une charge de 14 tonnes par pouce carré (22 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement d'au moins 35 p. c. sur 8 pouces 203 millimètres).

Entretoises de foyer en cuivre : les barres laminées doivent résister à froid au pliage à bloc, sans indices de criques. Les éprouvettes de traction doivent supporter un effort de 15 tonnes par pouce carré (24 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement de 52 à 55 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres).

9. Les joints circulaires auront 2 3/4 pouces (69.85 millimètres) et les joints longitudinaux 4 pouces (101.6 millimètres) de recouvrement. Les rivets ont 7/8 pouce (22.2 millimètres) de diamètre et 2 pouces (50.8 millimètres) d'écartement. Les plaques de foyer ont 2 1/2 pouces (63.5 millimètres) de recouvrement, avec des rivets de 3/4 pouce (19 millimètres) de diamètre et 1 3/4 pouce (44.4 millimètres) d'écartement.

10. Non.

tres); entre les plaques tubulaires, 10 pieds 9 3/16 pouces (3.281 mètres).

7. Tubes à gaz chauds, en cuivre. Diamètre extérieur, 1 3/4 pouce (44.4 millimètres). Épaisseur à l'extrémité côté du foyer, nº 10 jauge de Birmingham (3.4 millimètres); à l'extrémité côté de la boîte à fumée, nº 12 (2.77 millimètres). Viroles en fonte du côté du foyer. Nombre de tubes, 203.

8. Les tôles d'acier doivent avoir une résistance à la traction de 26 tonnes par pouce carré (41 kilogrammes par millimètre carré) au moins, de 30 tonnes (47 kilogrammes) au plus, avec un allongement d'au moins 25 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres). Plaques de foyer en cuivre : sur chaque feuille on prélèvera une éprouvette qui sera essayée en la repliant complètement sur elle-même à froid, sans qu'il se déclare d'indices de rupture. Des éprouvettes de traction résisteront à une charge de 14 tonnes par pouce carré (22 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement d'au moins 35 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres).

Entretoises de foyer en cuivre : les barres laminées doivent résister à froid au pliage à bloc, sans indices de criques. Les éprouvettes de traction doivent supporter un effort de 15 tonnes par pouce carré (24 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement de 52 à 55 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres).

9. Les joints circulaires ont 2 1/2 pouces (63.5 millimètres) de recouvrement; les joints longitudinaux ont des couvre-joints intérieurs et extérieurs. Les rivets ont 15/16 pouce (20.6 millimètres) de diamètre et 1 7/8 pouce (47.6 millimètres) d'écartement. Les plaques de foyer ont 2 1/2 pouces (63.5 millimètres) de recouvrement, avec des rivets de 15/16 pouce (20.6 millimètres) de diamètre et 1 7/8 pouce (47.6 millimètres) d'écartement.

10. Non.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

11. Oui, un tuyau de prise de vapeur intérieur, perforé de petits trous.

12 et **13**. Non.

14. Deux cylindres de 19 pouces (483 millimètres) de diamètre, 26 pouces (660 millimètres) de course. Espace libre entre les plateaux de cylindre et le piston à fond de course, 5/8 pouce (9.5 millimètres). Tiroirs en D, non équilibrés, avec deux ressorts en spirale placés entre l'arrière du tiroir et le cadre, afin d'empêcher les vibrations du tiroir pendant la marche à régulateur fermé. Avance : marche avant, au fond de course; lumière d'arrière, 5/32 pouce (2.38 millimètres); lumière d'avant, 1/4 × 1/32 pouce (6.35 × 0.79 millimètre); marche arrière, au fond de course : lumière d'arrière, 5/32 pouce (2.38 millimètres); lumière d'avant, 1/4 × 1/32 pouce (6.35 × 0.79 millimètre). Course maximum du tiroir : au fond de course de la marche avant, 4 5/16 pouces (109.5 millimètres); au fond de course de la marche arrière, 3 15/16 pouces (100 millimètres). Recouvrement extérieur, 1 pouce (25.4 millimètres), pas de recouvrement intérieur. Lumières d'admission, 1 pied 4 pouces × 1 1/2 pouce (406.4 × 38.1 millimètres); lumières d'échappement, 1 pied 4 pouces × 3 1/2 pouces (406.4 × 88.9 millimètres). Effort de traction total, la pression moyenne étant supposée égale à 75 p. c. de la pression dans la chaudière, 14,241 livres (6,464 kilogrammes). Puissance de freinage totale de la machine, 24,416 livres (11,140 kilogrammes). Effort de traction par tonne de poids adhérent : 459 livres (205 kilogrammes par tonne métrique). Effort de freinage par tonne de poids sur roues freinées : 787 livres (351 kilogrammes par tonne métrique).

16. Les forces perturbatrices sont équilibrées en partie sur les roues motrices, en partie sur les roues couplées arrière.

11. Un dôme sert à emmagasiner la vapeur au-dessus du niveau de l'eau.

12 et **13**. Non.

14. Deux cylindres de 18 pouces (457 millimètres) de diamètre, 26 pouces (660 millimètres) de course. Espace libre entre les plateaux de cylindre et le piston à fond de course, 5/16 pouce (7.9 millimètres). Tiroirs en D, non équilibrés. Avance : marche avant, au fond de course : lumière d'arrière, 1/8 pouce (3.2 millimètres); lumière d'avant, 1/8 pouce (3.2 millimètres); marche arrière, au fond de course : lumière d'arrière, 1/8 pouce (3.2 millimètres); lumière d'avant, 1/8 pouce (3.2 millimètres). Course maximum du tiroir : au fond de course de la marche avant, 3 15/16 pouces (100 millimètres); au fond de course de la marche arrière, 3 3/4 pouces (95.25 millimètres). Recouvrement extérieur, 1 pouce (25.4 millimètres); pas de recouvrement intérieur. Lumières d'admission, 1 pied 3 pouces × 1 1/2 pouce (381 × 38.1 millimètres); lumières d'échappement, 1 pied 3 pouces × 3 1/2 pouces (381 × 88.9 millimètres). Effort de traction total, la pression moyenne étant supposée égale aux 75/100 de la pression dans la chaudière, 12,150 livres (5,511 kilogrammes). Puissance de freinage totale de la machine, 36,736 livres (16,663 kilogrammes). Effort de traction par tonne de poids adhérent : 420 livres (187 5 kilogrammes par tonne métrique). Effort de freinage par tonne de poids sur roues freinées : 1,271 livres (567 kilogrammes par tonne métrique).

16. La base adoptée pour le calcul des contrepoids est la suivante : l'ensemble des masses tournantes et la moitié des masses à mouvement alternatif sont équilibrés dans les roues motrices; les roues couplées d'arrière ne sont pas munies de contrepoids.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

17. Nous employons de l'huile; elle est envoyée dans la boîte à vapeur.

18. Roues motrices et accouplées : diamètre au contact, 7 pieds (2.134 mètres). Diamètre et longueur des portées de calage, 8 1/4 × 7 1/2 pouces (209.5 × 190.5 millimètres). D'axe en axe des portées de calage, 5 pieds 3 1/2 pouces (1.613 mètre). Écartement d'axe en axe des essieux du bogie, 5 pieds 4 pouces (1.626 mètre). De l'essieu arrière du bogie à l'essieu moteur, 7 pieds 4 1/4 pouces (2.242 mètres). De l'essieu moteur à l'essieu arrière, 8 pieds 6 pouces (2.591 mètres). Essieu coudé : diamètre et longueur des fusées, 7 1/4 × 8 pouces (184 × 203 millimètres). Diamètre et longueur de la portée de calage, 8 1/4 × 7 1/2 pouces (209.5 × 190.5 millimètres). Diamètre et longueur des fusées de tourillon de manivelle, 7 1/2 × 4 pouces (190.5 × 101.6 millimètres). Diamètre du corps de l'essieu, 7 pouces (177.8 millimètres). Dimensions des bras de manivelle, 4 1/2 × 14 1/2 pouces 114 × 368 millimètres) et 3 3/4 × 14 1/2 pouces (95 × 368 millimètres). D'axe en axe des manivelles, 2 pieds 4 1/2 pouces (0.724 mètre). D'axe en axe des fusées, 4 pieds (1.219 mètre).

Essieu arrière : diamètre et longueur des fusées, 7 1/4 × 8 pouces (184 × 203 millimètres). Diamètre et longueur de la portée de calage, 8 1/4 × 7 1/2 pouces (209.5 × 109.5 millimètres). Diamètre du corps de l'essieu, 7 pouces (177.8 millimètres). D'axe en axe des fusées, 4 pieds (1.219 mètre).

Boîtes à huile en bronze, garnies de métal blanc.

19. Type à jeu latéral et pivotant en même temps.

20. La machine est suspendue, au droit de chaque roue motrice, sur deux ressorts en spirale placés immédiatement sous l'essieu et

17. L'huile est envoyée dans le tuyau d'amenée de vapeur par un graisseur à débit visible, et aux cylindres directement, pendant la marche à régulateur fermé, par un graisseur Furness.

18. Roues motrices et accouplées : diamètre au contact, 6 pieds 6 pouces (1.981 mètre). Diamètre et longueur des portées de calage, 9 × 7 pouces (228.6 × 177.8 millimètres). D'axe en axe des portées de calage, 5 pieds 2 1/2 pouces (1.687 mètre). Écartement d'axe en axe des essieux du bogie, 5 pieds 9 pouces (1.753 mètre). De l'essieu arrière du bogie à l'essieu moteur, 7 pieds 1 1/2 pouce (2.172 mètres). De l'essieu moteur à l'essieu arrière, 8 pieds 6 pouces (2.591 mètres). Essieu coudé : diamètre et longueur des fusées, 7 1/2 × 7 1/2 pouces (190.5 × 190.5 millimètres). Diamètre et longueur de la portée de calage, 9 × 7 pouces (228.6 × 177.8 millimètres). Diamètre du corps de l'essieu, 7 pouces (177.8 millimètres). Diamètre et longueur des fusées de tourillon de manivelle, 7 3/4 × 4 pouces (196.8 × 101.6 millimètres). Dimensions des bras de manivelle, 4 1/2 × 12 pouces (114 × 305 millimètres) et 4 1/4 × 12 pouces (108 × 305 millimètres). D'axe en axe des manivelles, 2 pieds 4 pouces (0.711 mètre). D'axe en axe des fusées, 4 pieds (1.219 mètre).

Essieu arrière : diamètre et longueur des fusées, 7 1/2 × 7 1/2 pouces (190.5 × 190.5 millimètres). Diamètre et longueur de la portée de calage, 9 × 7 pouces (228.6 × 177.8 millimètres). Diamètre du corps de l'essieu, 7 pouces (177.8 millimètres). D'axe en axe des fusées, 4 pieds (1.219 mètre).

Boîtes à huile en bronze, garnies de métal blanc.

19. Type à jeu latéral et pivotant en même temps.

20. La machine est suspendue, au droit de chaque roue motrice, sur deux ressorts en spirale placés immédiatement sous l'essieu et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au droit de chaque roue arrière sur des ressorts à lames, reliés au longeron par des menottes travaillant à la compression. L'avant repose sur le pivot du bogie et la charge est reportée par l'intermédiaire du châssis sur des ressorts en lames placés au-dessus de chaque essieu. Il n'est pas employé de balancier compensateur sur le bogie. L'avant de la machine est aussi supporté par des tasseaux à ressorts en caoutchouc, placés de chaque côté des longerons de la machine et du bogie. Il n'est pas employé de balancier avec les roues couplées.

L'accouplement entre la machine et le tender est opéré à l'aide d'une barre d'attelage centrale, avec des maillons de sûreté de chaque côté et des tampons latéraux avec un ressort de choc à lames.

21. 3,000 gallons (13.6 mètres cubes). Capacité de la soute à combustible, 189 pieds cubes (5 350 mètres cubes). Distance du premier essieu au deuxième : 6 pieds (1.829 mètre). Distance du deuxième au troisième essieu : 6 pieds (1.829 mètre). Diamètre des roues au contact : 4 pieds (1.219 mètre). Diamètre des essieux : au milieu, 5 1/2 pouces (140 millimètres); à la portée de calage, 6 3/4 pouces (171 millimètres); aux fusées, 5 1/2 pouces (140 millimètres); longueur des fusées, 10 1/2 pouces (267 millimètres). D'axe en axe des fusées, 6 pieds 4 pouecs (1.930 mètre). Poids sur la paire de roues avant, en charge, 10 tonnes 15 cwt. (10,920 kilogrammes); à vide, 6 tonnes (6,100 kilogrammes). Poids sur la paire de roues du milieu, en charge, 18 tonnes 18 cwt. (11,070 kilogrammes); à vide, 6 tonnes (6,100 kilogrammes). Poids sur la paire de roues arrière, en charge, 12 tonnes 9 cwt. (12,650 kilogrammes); à vide, 6 tonnes (6,100 kilogrammes). Poids total : en charge, 34 tonnes 2 cwt. (34,640 kilogrammes); à vide, 18 tonnes (18,300 kilogrammes).

22. Frein à vide automatique. Les sabots

au droit de chaque roue arrière sur des ressorts à lames, reliés au longeron par des menottes travaillant à la traction. L'avant repose sur le pivot du bogie et la charge est reportée, par l'intermédiaire du châssis, sur des ressorts à lames placés entre un balancier compensateur de chaque côté du châssis du bogie. Il n'est pas employé de balancier de répartition avec les roues couplées.

L'accouplement entre la machine et le tender est opéré à l'aide d'une barre d'attelage centrale, avec des maillons de sûreté de chaque côté et des tampons latéraux avec un ressort de choc à lames.

21. 2,600 gallons (11.8 mètres cubes). Capacité de la soute à combustible, 213 pieds cubes (6.030 mètres cubes). Distance du premier essieu au deuxième : 6 pieds (1.829 mètre). Distance du deuxième au troisième essieu : 6 pieds (1.829 mètre). Diamètre des roues au contact : 3 pieds 9 pouces (1.143 mètre). Diamètre des essieux : au milieu, 6 pouces (152 millimètres); à la portée de calage, 6 3/4 pouces (171 millimètres); aux fusées, 5 1/4 pouces (133 millimètres); longueur des fusées, 9 1/2 pouces (241 millimètres). D'axe en axe des fusées, 6 pieds 4 pouces (1.930 mètre). Poids sur la paire de roues avant, en charge, 11 tonnes 8 cwt. 2 qrs. (11,600 kilogrammes); à vide, 6 tonnes (6,100 kilogrammes). Poids sur la paire de roues du milieu, en charge, 11 tonnes 10 cwt. 1 qr. (11,700 kilogrammes); à vide, 6 tonnes (6,100 kilogrammes). Poids sur la paire de roues arrière, en charge, 11 tonnes 4 cwt. 2 qrs. (11,400 kilogrammes); à vide, 6 tonnes (6,100 kilogrammes). Poids total, en charge, 34 tonnes 3 cwt. 1 qr. (34,700 kilogrammes); à vide, 18 tonnes (18,300 kilogrammes).

22. Frein Westinghouse automatique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de frein sont conjugués par des leviers compensateurs qui égalisent la pression sur les sabots. Pression maximum des sabots de frein sur chaque paire de roues, 3.28 tonnes (3,332 kilogrammes).

23. Poids total de la machine en ordre de marche, 46 tonnes 1 cwt. (46,780 kilogrammes). Poids total du tender en ordre de marche, 34 tonnes 2 cwt. (34,650 kilogrammes). Poids total de la machine et du tender en ordre de marche, 80 tonnes 3 cwt. (81,430 kilogrammes). Répartition du poids de la machine en charge : essieu avant du bogie, 7 tonnes 10 cwt. (7,620 kilogrammes); essieu arrière du bogie, 7 tonnes 10 cwt. (7,620 kilogrammes); essieu moteur, 16 tonnes 8 cwt. (16,660 kilogrammes); essieu arrière, 14 tonnes 13 cwt. (14,880 kilogrammes). Répartition du poids du tender en charge :

10 tonnes 15 cwt. (10,920 kilogrammes);
10 — 18 — (11,080 —);
12 — 9 — (12,650 —).

24. Non.

25. Rien de particulier à remarquer.

26. Charbon bitumineux, dit « Beamish », provenant du comté de Durham. Les morceaux sont assez petits, avec beaucoup de poussier. Environ 9 p. c. de cendres.

27. Consommation moyenne de la machine par train-mille (train-kilomètre) : eau, environ 26 gallons (73 litres); combustible, environ 36 livres (10 kilogrammes).

28. Pour la consommation indiquée ci-dessus, le vide dans la boîte à fumée est de 2 à 5 pouces (51 à 127 millimètres) d'eau.

29. Non.

Pression maximum des sabots de frein sur chaque paire de roues, 6.42 tonnes (6,523 kilogrammes).

23. Poids total de la machine en ordre de marche, 42 tonnes 9 cwt. (43,130 kilogrammes). Poids total du tender en ordre de marche, 34 tonnes 3 cwt. 1 qr. (34,710 kilogrammes). Poids total de la machine et du tender en ordre de marche, 76 tonnes 12 cwt. 1 qr. (77,840 kilogrammes). Répartition du poids de la machine en charge : essieu avant du bogie, 6 tonnes 15 cwt. 2 qrs. (6,880 kilogrammes); essieu arrière du bogie, 6 tonnes 15 cwt. 2 qrs. (6,880 kilogrammes); essieu moteur, 15 tonnes 13 cwt. 3 qrs. (15,940 kilogrammes); essieu arrière, 13 tonnes 4 cwt. 1 qr. (13,430 kilogrammes). Répartition du poids du tender en charge :

11 tonnes 8 cwt. 2 qrs. (11,610 kilogrammes);
11 — 10 — 1 — (11,700 —);
11 — 4 — 2 — (11,400 —).

24. Non.

25. Rien de particulier à remarquer.

26. Même réponse que pour le réseau du South Eastern.

27. Même réponse que pour le réseau du South Eastern.

28. Pas d'essais.

29. Vaporisation moyenne de 8 1/2 livres d'eau par livre de houille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE J.

Rapport de la surface de chauffe à l'aire et au volume des cylindres, poids par cheval-vapeur de la machine, etc.

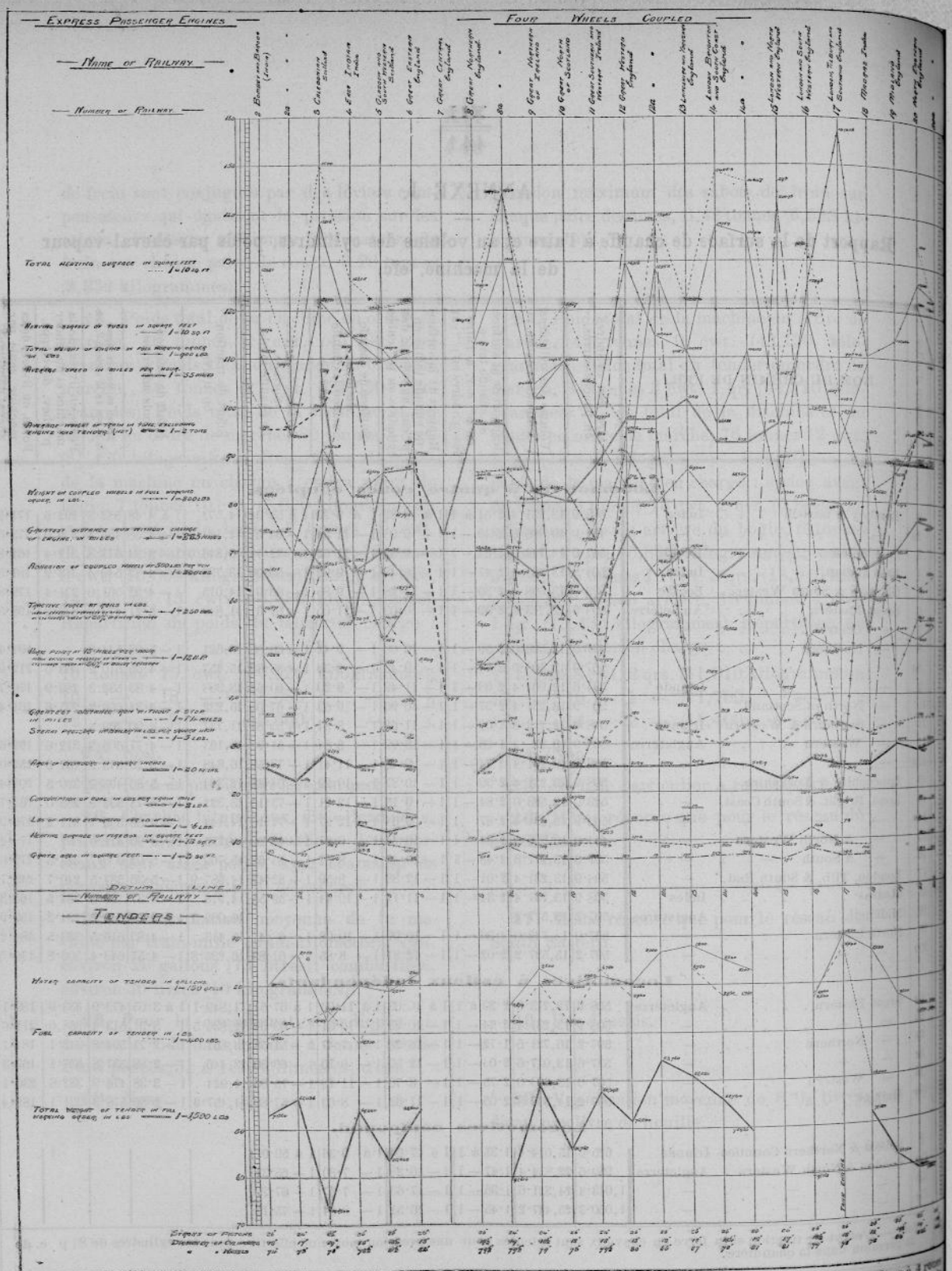
Numéro d'ordre.	NOM DU CHEMIN DE FER.		Aire des cylindres en pouces carrés.	Volume des cylindres en pouces cubes.	Rapport de la surface de chauffe totale en p^es car. à l'aire des cylindres en p^es car.	Rapport de la surface de chauffe totale en p^es car. au volume des cylindres en p^es cubes.	Surface de chauffe du foyer. Surface de chauffe directe.	Surface de grille. Surface de chauffe totale.	Effort de traction en livres.	Effort de traction. Poids adhérent.	Travail en chevaux-vapeur à la vitesse de 15 milles à l'heure.	Poids, en livres, de la machine et du tender p^r chev. développé.	Poids, en livres, de la machine seule par cheval développé.
	Locomotives à quatre roues couplées.												
2	Bombay & Baroda . . .	Indes	508·9	13,231·4	2·51 à 1	1 à 10·32	1 à 9·29	1 à 55·64	14,571	1 à 4·48	582·8	292·6	171·9
2a	— — . . .	—	454·0	10,896·0	2·40 — 1	1 — 9·98	1 — 11·54	1 — 63·57	12,161·7	1 — 4·58	486·4	308·0	173·6
3	Caledonian	Écosse	567·0	14,742·0	2·64 — 1	1 — 9·83	1 — 11·62	1 — 72·71	16,846·6	1 — 4·34	673·8	312·4	162·8
4	East Indian.	Indes	508·9	13,231·4	2·47 — 1	1 — 10·48	1 — 9·92	1 — 53·00	13,735·9	1 — 4·72	549·4	313·9	187·5
5	Glasgow & South Western .	Écosse	523·0	13,598·0	2·30 — 1	1 — 11·28	1 — 9·85	1 — 66·91	14,035	1 — 4·92	561·0	331·4	179·8
6	Great Eastern	Angleterre	503·9	12,213·6	2·39 — 1	1 — 10·03	1 — 11·05	1 — 67·61	11,849	1 — 5·21	473·9	343·3	198·5
7	— Central	—											
8	— Northern	—	481·0	12,506·0	2·59 — 1	1 — 10·00	1 — 9·42	1 — 60·08	13,621	1 — 5·08	544·8		191·4
8a	— —	—	567·0	13,603·0	2·54 — 1	1 — 9·43	1 — 9·30	1 — 53·82	15,257	1 — 4·55	610·2	363·0	212·9
9	— —	Irlande	537·6	12,902·4	2·03 — 1	1 — 11·49	1 — 9·23	1 — 60·64	13,303	1 — 4·83	532·3	289·9	176·7
10	— North of Scotland .		508·9	13,231·4	2·37 — 1	1 — 10·96	1 — 9·63	1 — 67·05	15,232	1 — 4·34	609·2	295·6	161·4
11	— Southern & Western	Irlande	508·9	12,213·6	2·05 — 1	1 — 11·62	1 — 8·34	1 — 55·87	11,737	1 — 4·90	469·4		
12	— Western	Angleterre	508·9	13,23 ·4	1·86 — 1	1 — 13·99	1 — 6·84	1 — 51·92	15,163	1 — 4·77	606·5	312·6	192·6
12a	— —	—	508·9	13,231·4	2·74 — 1	1 — 9·46	1 — 11·41	1 — 73·58	16,848	1 — 3·78	673·9	232·6	152·0
13	Lancashire & Yorkshire .	—	508·9	13,231·4	2·39 — 1	1 — 10·87	1 — 10·29	1 — 64·86	12,394	1 — 5·60	495·7	320·5	202·4
14	Lond. Bright. & South Coast.	—	523·0	13,598·0	2·84 — 1	1 — 9·15	1 — 12·21	1 — 73·16	13,322	1 — 4·75	532·8	286·0	162·7
14a	— — —	—	503·9	13,231·4	2·87 — 1	1 — 9·03	1 — 12·27	1 — 71·10	14,144	1 — 4·83	565·7	311·2	176·9
15	— & North Western .	—	451·0	10,896·0	2·34 — 1	1 — 10·24	1 — 9·27	1 — 62·20	10,275	1 — 4·90	411·0		173·4
16	— & South — .	—	537·6	13,977·6	2·48 — 1	1 — 10·47	1 — 8·02	1 — 55·62	15,769	1 — 5·02	630·7	323·5	179·0
17	London, Tilb. & South End.	—	508·9	13,231·4	2·01 — 1	1 — 12·88	1 — 8·59	1 — 52·47	14,687·9	1 — 5·36	587·5	240·7	240·7
18	Madras	Indes	508 9	13,231·4	2·34 — 1	1 — 11·11	1 — 10·44	1 — 59·55	14,976	1 — 4·37	599·0	284·5	165·8
19	Midland	Angleterre	597·2	15,527·2					16,006·7	1 — 4·28	640·2	294·2	159·9
20	North Eastern	—	567·0	14,742·0	2·36 — 1	1 — 10·99	1 — 10·08	1 — 63·41	15,413	1 — 4·89	616·5	333·5	184·2
20a	— —	—	597·2	15,527·2	2·02 — 1	1 — 12·81	1 — 8·85	1 — 61·83	16,235·8	1 — 4·57	649·4	306·8	170·5
	Locomotives à essieux indépendants.												
6a	Great Eastern.	Angleterre	508·9	12,213·6	2·39 à 1	1 à 10·03	1 à 11·06	1 à 67·61	11,849·1	1 à 3·05	473·9	333·9	189·1
6b	— —	—	508·9	13,231·4	2·54 — 1	1 — 10·23	1 — 10·31	1 — 60·69	12,836·5	1 3·31	513·4	368.0	211·6
8b	— Northern	—	597·2	16,721·6	1·72 — 1	1 — 16·20	1 — 7·47	1 — 51·58	14,851	1 — 2·71	594·0	342·1	181·7
8c	— —	—	537·6	13,977·6	2·03 — 1	1 — 12·59	1 — 9·20	1 — 60·30	13,446	1 — 2·89	537·8	337·1	169·3
12b	— Western	—	567·0	13,603·0	2·75 — 1	1 — 8·70	1 — 11·28	1 — 75·06	11,924	1 — 3·38	476·9	382·8	230·1
19a	Midland	—	597·2	14,332·8	2·06 — 1	1 — 11·62	1 — 8·63	1 — 57·88	14,457·6	1 — 2·86	578·3	331·1	182·4
	Locomotives compound.												
1	Belfast & Northern Counties	Irlande	625·6	15,014·4	1·35 à 1	1 à 17·66	1 à 9·36	1 à 59·01					
15a	London & North Western .	Angleterre	950·6	22,814·4	1·47 — 1	1 — 16·28	1 — 7·80	1 — 68·31					
15b	— — .	—	1,013·4	24,321·6	1·36 — 1	1 — 17·63	1 — 7·67	1 — 67·29					
15c	— — .	—	1,060·3	25,447·2	1·45 — 1	1 — 16·51	1 — 8·64	1 — 75·16					

Note. — L'effort de traction et la force en chevaux sont calculés pour une pression moyenne effective dans les cylindres de 80 p. c. de la pression dans la chaudière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

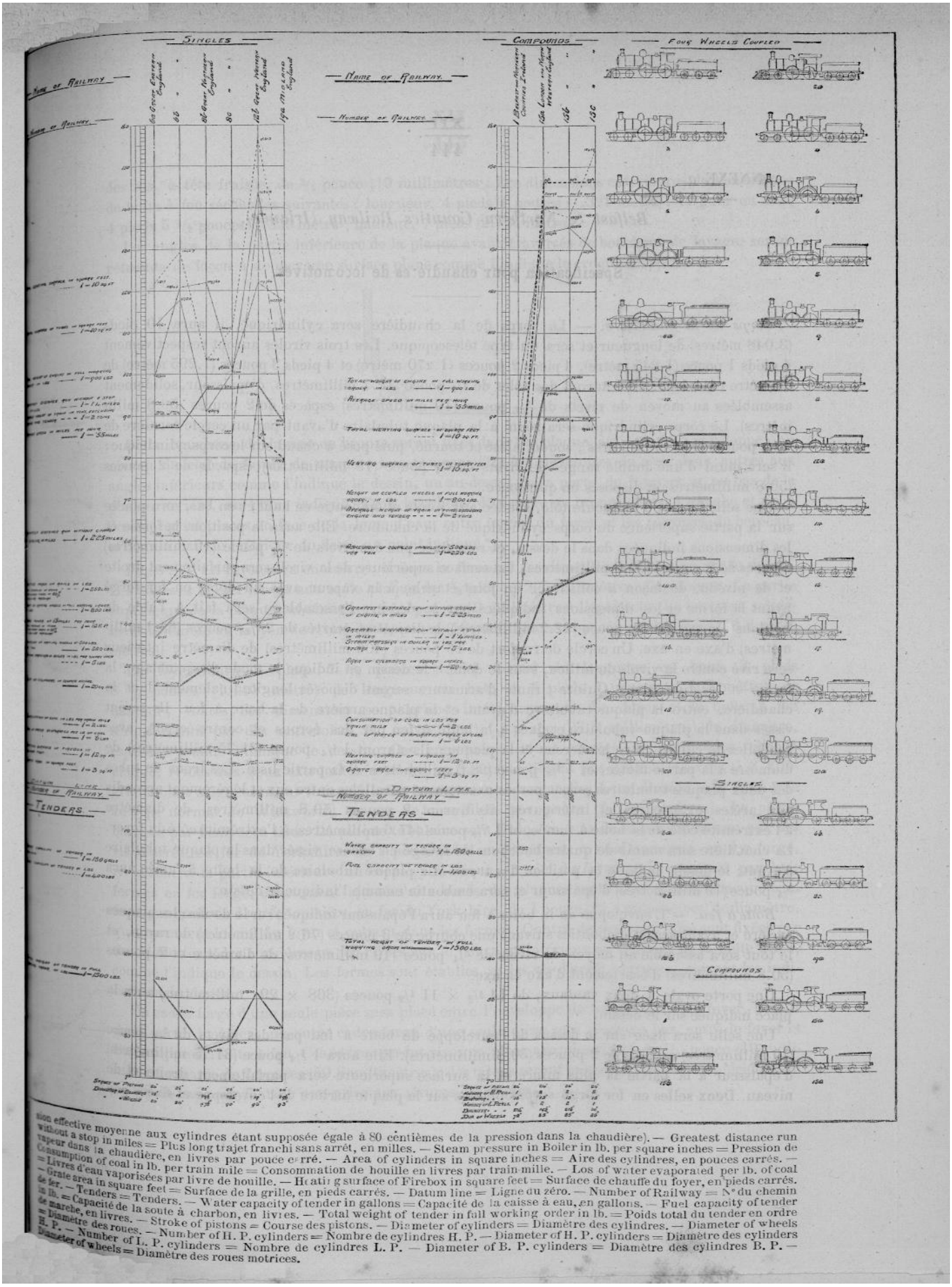
Diagramme

K.



Explication des termes anglais : Express Passenger Engines = Machines express. — Four Wheels Coupled = Locomotives à 4 roues couplées. — Singles = Locomotives à essieux indépendants. — Compounds = Locomotives compound. — Name of Railway = Nom de chemin de fer. — Number of Railway = Numéro du chemin de fer. — Total heating surface in square feet = Surface de chauffe totale en pieds carrés. — Heating surface of tubes in square feet = Surface de chauffe tubulaire en pieds carrés. — Total weight of Engine in working order in lb. = Poids total de la machine en ordre de marche en livres. — Average speed in miles per hour = Vitesse moyenne en milles à l'heure. — Average weight of train in tons excluding Engine and Tender (net) = Poids moyen du train en tonnes, machine et tender non compris (tare). — Weight on coupled Wheels in full working order in lb. = Poids adhérent en ordre de marche en livres. — Greatest distance run without change of Engine, in miles = Plus grand parcours sans changement de machine, en milles. — Adhesion of Coupled wheels at 500 lb. per ton = Adhérence, à raison de 500 livres par tonne (22.3 centièmes). — Tractive force at rails in lb. = effective pressure of steam in cylinders taken at 80 p. c. of Boiler pressure = Effort de traction tangentiel, en livres (la pression effective moyenne aux cylindres étant supposée égale à 80 centièmes de la pression dans la chaudière). — Horse power at 15 miles per hour = effective pressure of steam in cylinders taken at 80 p. c. of Boiler pressure) = Travail développé à la vitesse de 15 milles à l'heure (la pression

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



sion effective moyenne aux cylindres étant supposée égale à 80 centièmes de la pression dans la chaudière). — Greatest distance run without a stop in miles = Plus long trajet franchi sans arrêt, en milles. — Steam pressure in Boiler in lb. per square inches = Pression de vapeur dans la chaudière, en livres par pouce carré. — Area of cylinders in square inches = Aire des cylindres, en pouces carrés. — Consumption of coal in lb. per train mile = Consommation de houille en livres par train-mille. — Los of water evaporated per lb. of coal = Livres d'eau vaporisées par livre de houille. — Heating surface of Firebox in square feet = Surface de chauffe du foyer, en pieds carrés. — Grate area in square feet = Surface de la grille, en pieds carrés. — Datum line = Ligne du zéro. — Number of Railway = N° du chemin de fer. — Tenders = Tenders. — Water capacity of tender in gallons = Capacité de la caisse à eau, en gallons. — Fuel capacity of tender in lb. = Capacité de la soute à charbon, en livres. — Total weight of tender in full working order in lb. = Poids total du tender en ordre de marche, en livres. — Stroke of pistons = Course des pistons. — Diameter of cylinders = Diamètre des cylindres. — Diameter of wheels = Diamètre des roues. — Number of H. P. cylinders = Nombre de cylindres H. P. — Diameter of H. P. cylinders = Diamètre des cylindres H. P. — Number of L. P. cylinders = Nombre de cylindres L. P. — Diameter of B. P. cylinders = Diamètre des cylindres B. P. — Diameter of wheels = Diamètre des roues motrices.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE *a*.

Belfast & Northern Counties Railway (Irlande).

Spécification pour chaudières de locomotives.

Corps de la chaudière. — Le corps de la chaudière sera cylindrique, il aura 10 pieds (3.048 mètres) de longueur et sera du type télescopique. Les trois viroles auront respectivement 4 pieds 1 pouce (1.245 mètre), 4 pieds 2 pouces (1.270 mètre) et 4 pieds 3 pouces (1.295 mètre) de diamètre extérieur; elles auront des tôles de 1/2 pouce (12.7 millimètres) d'épaisseur, solidement assemblées au moyen de rivets de 3/4 pouce (19 millimètres) espacés de 2 pouces (50.8 millimètres). Le corps cylindrique sera réuni à la plaque tubulaire d'avant par un cercle-cornière de 4 1/4 pouces (108 millimètres), soudé, alésé et tourné, puis posé à chaud sur le corps cylindrique; il sera muni d'une double rangée de rivets de 3/4 pouce (19 millimètres) espacés de 2 pouces (50.8 millimètres) et disposés en quinconce.

Une selle formée d'une seule tôle, soudée aux joints et emboutie en haut et en bas, sera placée sur la partie supérieure du corps cylindrique de la chaudière. Elle aura la position, la forme et les dimensions indiquées dans le dessin, et sera fixée par des rivets de 3/4 pouce (19 millimètres) espacés de 2 pouces (50.8 millimètres). La surface supérieure de la virole sera parfaitement droite et de niveau, de façon à constituer un joint étanche à la vapeur avec un dôme en fer forgé ayant la forme et les dimensions indiquées sur le dessin; l'assemblage sera fait à l'aide de boulons tournés de 7/8 pouce (22.2 millimètres) de diamètre, écartés de 2 9/16 pouces (65.1 millimètres) d'axe en axe. Un cercle de renfort de 16 pouces (406 millimètres) de diamètre intérieur sera rivé contre la virole du milieu, sous le dôme : le dessin en indique le mode d'assemblage, la forme et les dimensions. Quinze tirants d'armature seront disposés longitudinalement dans la chaudière, entre la plaque tubulaire d'avant et la plaque arrière de la boîte à feu. Ils seront vissés dans la plaque tubulaire et fixés à la boîte à feu par des écrous et contre-écrous, avec rondelles de cuivre entre les écrous et la plaque; ils auront 1 1/4 pouce (31.75 millimètres) de diamètre à la partie filetée, et 1 1/8 pouce (28.6 millimètres) à la partie lisse. Les trous de tubes des deux plaques tubulaires seront percés exactement parallèles entre eux et légèrement arrondis aux arêtes extérieures et intérieures; ils auront 2 pouces (50.8 millimètres) de diamètre à l'extrémité côté de la boîte à fumée, et 1 7/8 pouce (47.6 millimètres) à l'extrémité côté du foyer. La chaudière sera munie de quatre bouchons de lavage en bronze, vissés dans la plaque tubulaire d'avant; le dessin indique la position des trous. La plaque tubulaire de la boîte à fumée aura 3/4 pouce (19 millimètres) d'épaisseur et sera emboutie comme l'indique le dessin.

Boîte à feu. — L'enveloppe de la boîte à feu aura l'épaisseur indiquée sur le dessin; les plaques arrière et avant seront embouties suivant une courbe de 3 pouces (76.2 millimètres) de rayon, et le tout sera assemblé au moyen de rivets de 3/4 pouce (19 millimètres) de diamètre et 2 pouces (50.8 millimètres) d'écartement d'axe en axe.

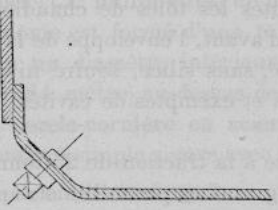
Une porte ovale à deux vantaux, de 14 1/2 × 11 1/2 pouces (368 × 292 millimètres) aura la place indiquée sur le dessin.

Une selle sera fixée sur le dessus de l'enveloppe de boîte à feu par des rivets de 3/4 pouce (19 millimètres) espacés de 2 pouces (50.8 millimètres). Elle aura 1 1/4 pouce (31.75 millimètres) d'épaisseur à la partie la plus mince et la surface supérieure sera parfaitement droite et de niveau. Deux selles en fer forgé seront placées sur la plaque arrière de l'enveloppe et fixées par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des vis, à tête fraisée, de 3/4 pouce (19 millimètres). Les dimensions extérieures de l'enveloppe de boîte à feu seront les suivantes : longueur, 4 pieds 4 pouces (1.321 mètre); largeur en bas, 4 pieds 5 1/2 pouces (1.359 mètre); hauteur, 7 pieds (2. 34 mètres).

Les angles de la partie inférieure de la plaque avant, traversés de bouchons de lavage, seront rétreints de façon à donner une surface plane comme l'indique le croquis ci-après :



Deux bouchons de lavage en bronze seront fixés dans la plaque arrière de l'enveloppe, au niveau du ciel du foyer, de manière à se trouver entre les entretoises du ciel, deux autres aux angles inférieurs comme l'indique le dessin, un au-dessus de la porte du foyer et un au bas de la plaque arrière, au point indiqué. Trois bouchons de lavage en bronze (deux à gauche et un à droite) seront placés en face de la lame d'eau, entre le ciel du foyer et les nervures du berceau, et deux à l'angle inférieur du flanc, au point indiqué.

Foyer. — Le foyer sera en cuivre; il aura la forme et les dimensions indiquées sur le dessin. Les flancs et le ciel feront une seule plaque de 1/2 pouce (12.7 millimètres) d'épaisseur. La partie supérieure de la plaque tubulaire aura 3/4 pouce (19 millimètres) d'épaisseur. Le tout sera solidement assemblé au moyen de rivets de 3/4 pouce (19 millimètres) espacés de 2 pouces (50.8 millimètres).

Le foyer aura 3 pieds 7 3/8 pouces (1.114 mètre) de longueur en haut, 3 pieds 8 7/8 pouces (1.140 mètre) de longueur en bas, et 5 pieds 7 pouces (1.702 mètre) de hauteur, toutes ces dimensions sont prises intérieurement. Le foyer et la boîte à feu seront réunis par des entretoises en cuivre de 15/16 pouce (23.8 millimètres) de diamètre, espacées comme l'indique le dessin. Ces entretoises seront vissées à force dans chaque plaque, rivées aux deux extrémités avec des marteaux ne pesant pas plus de 4 livres (1.8 kilogramme) et soigneusement finies à l'extérieur avec une bouterolle. Leur filetage sera conforme au type normal de Whitworth, au pas de onze filets par pouce (2.3 millimètres). La partie baignée par l'eau sera lisse. La plaque tubulaire sera fixée, en vue de sa consolidation, par des vis d'arrêt, en fer du Yorkshire, de 1 pouce (25.4 millimètres), à neuf tasseaux en fer forgé, rivés contre la partie inférieure du corps cylindrique. Le ciel du foyer sera armaturé par huit fermes en fer forgé, exactement ajustées aux bords des plaques verticales et dont chacune sera fixée par neuf vis d'arrêt tournées, en fer du Yorkshire, de 1 pouce (25.4 millimètres) de diamètre, qui traversent le ciel du foyer et entrent dans les fermes. Quatre de ces poutrelles sont fixées par des biellettes à des cornières en fer rivées sur le pourtour intérieur du berceau de la boîte à feu, comme l'indique le dessin. Les fermes sont établies, et les vis d'arrêt tournées, suivant les indications du dessin.

Un cadre forgé d'une seule pièce sera placé entre l'enveloppe de boîte à feu et le foyer, autour de la porte du foyer; un autre cadre forgé d'une seule pièce sera placé en bas, entre le foyer et l'enveloppe de boîte à feu. Ces cadres seront rivés en place avec des rivets de 3/4 pouce (19 millimètres) espacés de 2 pouces (50.8 millimètres); des talons seront ménagés à la partie inférieure du cadre du bas pour fournir une prise aux rivures des angles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Boîte à fumée. — Les tôles, de 5/8 pouce (9.5 millimètres) d'épaisseur, seront en fer du Staffordshire de qualité supérieure ou en acier doux. La boîte à fumée sera munie d'une porte en fer du Staffordshire de bonne qualité ou en acier doux, de 5/8 pouce (9.5 millimètres) d'épaisseur, montée sur deux charnières forgées, suivant la méthode ordinaire, et fixée au milieu par une barre transversale comme l'indique le dessin.

Qualité des matériaux. — Toutes les tôles de chaudières et cornières, constituant le corps cylindrique, la plaque tubulaire d'avant, l'enveloppe de la boîte à feu, le dôme, etc., seront en acier doux de la meilleure qualité, sans silice, soufre ni phosphore. Les deux faces des tôles doivent être parfaitement propres et exemptes de cavités, marques de laminage, crasses, dédoublures ou autres défauts.

L'acier doit avoir une résistance à la traction de 25 tonnes au moins et de 30 tonnes au plus par pouce carré (39.4 et 47.2 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement minimum de 23 p. c., mesuré sur une longueur de 10 pouces (254 millimètres). Sur la demande de l'ingénieur de la traction de la compagnie, des spécimens de l'acier seront soumis, en sa présence, aux épreuves suivantes. Une éprouvette de 6 pouces (152 millimètres) de longueur sera pliée à froid jusqu'à ce que les deux extrémités se touchent, sans qu'aucune rupture ni aucun indice de rupture ne puissent être remarqués au milieu. Des éprouvettes de 3 pouces (76 millimètres) seront percées, au foret, de trous de 5/8 pouce (15.9 millimètres), et l'acier devra supporter l'élargissement à froid, avec une broche conique, de ces trous jusqu'à un diamètre de 1 1/2 pouce (38.1 millimètres) sans que les bords s'éraillent ou présentent des indices de rupture.

Toutes les plaques et entretoises en cuivre devront être de toute première qualité.

Les plaques seront recuites avant et après l'emboutissage et devront supporter le pliage à bloc, à froid, sans présenter d'indices de rupture. Leur résistance absolue à la traction ne devra pas être inférieure à 13 1/2 tonnes par pouce carré (21.26 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement d'au moins 40 p. c. sur 2 pouces (50.8 millimètres). Le cuivre devra contenir au moins 0.35 p. c. d'arsenic.

Stipulations finales. — La chaudière devra être exactement établie d'après les indications données, et des dessins de détail complets des différentes pièces seront fournis à l'adjudicataire.

Tous les trous doivent être percés au foret.

Les matériaux et l'exécution devront être de qualité irréprochable et de nature à satisfaire, en tous points, l'ingénieur de la traction de la compagnie qui inspectera et recevra les pièces avant qu'elles quittent les usines de l'adjudicataire.

ANNEXE *b*.

Bombay, Baroda & Central India Railway.

Spécification pour chaudières.

CHAUDIÈRES, TYPE D.

Le corps cylindrique, en acier, sera formé de deux viroles ayant le même diamètre intérieur et réunies, après leur mise en place, par un cercle tourné de 7 1/2 pouces (190.5 millimètres) de largeur sur 1/2 pouce (12.7 millimètres) d'épaisseur, posé à chaud et fixé par une double rangée de rivets. Les joints longitudinaux, à bouts portants, et à deux rangs de rivets, ont des couvre-joints intérieurs et extérieurs de 7 1/2 pouces (190.5 millimètres) de largeur et 5/8 pouce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(9.5 millimètres) d'épaisseur ; ces joints sont placés au-dessus du niveau de l'eau : l'axe du joint de la virole d'avant est situé à 1 pied 10 pouces (0.559 mètre) à droite, et l'axe du joint de la seconde virole, à 2 pieds $^{3}/_{4}$ pouce (0.629 mètre) à gauche de la génératrice supérieure de la chaudière. Le dôme de prise de vapeur est placé sur la virole d'arrière du corps cylindrique, et son axe se trouve à 1 pied 9 $^{3}/_{4}$ pouces (0.552 mètre) en arrière de l'axe du joint circulaire. L'embase est en fer forgé et a 6 pouces (152 millimètres) de hauteur au-dessus de la génératrice supérieure du corps cylindrique. Le dôme est formé d'une tôle d'acier de $^{7}/_{16}$ pouce (11.1 millimètres), avec calotte sphérique. Il a un diamètre intérieur de 2 pieds (0.610 mètre) et une hauteur de 2 pieds 2 $^{15}/_{16}$ pouces (0.684 mètre) au-dessus de l'embase. La plaque tubulaire est fixée au corps cylindrique par un cercle-cornière en acier, laminé d'une pièce, assemblé à double rivure avec le corps cylindrique et à simple rivure avec la plaque tubulaire.

Hauteur de l'axe du corps cylindrique au-dessus des rails.	7 pieds 10 pouces (2.388 mètres).
Longueur du corps cylindrique	11 — (3.353 mètres).
Diamètre intérieur du corps cylindrique.	4 — 4 pouces (1.321 mètre).
Épaisseur des tôles.	$^{1}/_{2}$ pouce (12.7 millimètres).
— de la plaque tubulaire de la boîte à fumée . .	$^{3}/_{4}$ — (19.05 —).
Rivets : Disposition (double rangée, en quinconce). Écartement	1 $^{7}/_{8}$ pouce (47.6 millimètres).
Rivets : Diamètre (des rivets finis)	$^{13}/_{16}$ — (20.6 —).

Enveloppe de boîte à feu (en acier).

Les parois latérales et le dessus seront d'une seule pièce, de 5 pieds 10 $^{1}/_{2}$ pouces (1.791 mètre) de largeur. Le siège de la soupape de sûreté est placé sur la génératrice supérieure. Onze entretoises longitudinales de 1 $^{3}/_{8}$ pouce (34.9 millimètres) de diamètre, filetées au pas de onze filets par pouce (2.3 millimètres). La plaque tubulaire de la boîte à fumée est percée de trous de de 1 $^{1}/_{4}$ pouce fort (32 millimètres) de diamètre. L'entretoise a, de ce côté, 1 $^{1}/_{4}$ pouce (31.75 millimètres) de diamètre, avec onze filets au pouce (pas = 2.3 millimètres). La tête de l'entretoise est vissée à bloc sur la plaque arrière, avec interposition d'une rondelle de cuivre. Des écrous et rondelles en cuivre sont employés à l'autre extrémité, sur chaque face de la plaque tubulaire de la boîte à fumée. La plaque arrière est renforcée en outre, dans le voisinage des entretoises longitudinales, par un morceau de tôle de $^{1}/_{2}$ pouce (12.7 millimètres) rivé sur la face intérieure ; cette disposition améliore en même temps la prise offerte aux vis et montures des têtes d'entretoises. L'enveloppe de boîte à feu est assemblée au corps cylindrique à l'aide de joints à recouvrement à double rivure. Des tirants à pattes s'engagent dans la partie inférieure du corps cylindrique et de la plaque tubulaire en cuivre, au-dessous des tubes.

Longueur extérieure de l'enveloppe.	6 pieds 0 pouce (1.829 mètre).
Largeur — —	4 — 6 pouces (1.372 —).
Profondeur au-dessous de l'axe de la chaudière, à l'avant.	5 — 7 — (1.702 —).
Profondeur au-dessous de l'axe de la chaudière, à l'arrière	5 — 1 pouce (1.549 —).
Épaisseur de la plaque avant de boîte à feu. . .	$^{9}/_{16}$ pouce (14.3 millimètres).
— des flancs et du dessus	$^{1}/_{2}$ — (12.7 —).
— de la plaque arrière	$^{1}/_{2}$ — (12.7 —).
Écartement des entretoises de la lame d'eau, environ	4 pouces (102 —).
Diamètre des entretoises de la lame d'eau, environ.	$^{7}/_{8}$ pouce (22.2 —).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les entretoises latérales sont en cuivre, elles sont filetées au pas de douze filets par pouce (2.1 millimètres). Les rangées supérieures d'entretoises ont récemment donné lieu à de nombreux incidents, et on remplace maintenant les quatre rangées du haut par des entretoises de 1 pouce (25.4 millimètres), qui sont généralement en cuivre, mais pour lesquelles il est préférable d'employer du bronze Stone qui a donné de bons résultats. Les entretoises sont vissées dans les plaques du foyer et de l'enveloppe, et leurs extrémités sont rivées. Le cadre du bas est en fer forgé; il a 3 pouces (76.2 millimètres) de largeur sur 3 1/2 pouces (88.9 millimètres) de hauteur et est fixé par une double rangée de rivets de 7/8 pouce (22.2 millimètres). Des talons de 1 7/8 pouce (47.6 millimètres) de longueur seront ménagés sous les angles pour faciliter le rivetage des tôles d'enveloppe de boîte à feu en ces points. La porte du foyer, dont l'axe se trouve à 1 pied 4 pouces (406 millimètres) au-dessous de l'axe de la chaudière, est de forme ovale ; le grand axe est vertical et mesure, intérieurement, 1 pied 3 pouces (0.381 mètre). Le cadre est en fer forgé et a 2 3/4 pouces (70 millimètres) de hauteur et 2 1/2 pouces (63.5 millimètres) d'épaisseur, et la plaque en cuivre du foyer est emboutie pour s'assembler avec lui.

Foyer.

Le foyer est en cuivre. Les flancs et le ciel sont en une seule pièce de 5 pieds 4 7/8 pouces (1.648 mètre) de largeur. Le ciel est armaturé par des fermes ou poutrelles en acier coulé, disposées longitudinalement, dont les extrémités reposent sur les plaques tubulaire et arrière. Le bord inférieur affleure avec des bossages, d'environ 2 pouces (50 millimètres) de hauteur et espacés de 4 1/4 pouces (108 millimètres), dans lesquels s'engagent les entretoises. Ces dernières sont en fer forgé et ont 7/8 pouce (22.2 millimètres) de diamètre, elles sont munies du filetage Whitworth ordinaire et ont de grosses têtes carrées de 1 3/4 × 3/4 pouce (44.4 × 19 millimètres), avec un congé de raccordement de 1/4 pouce (6.3 millimètres) de rayon entre la tête et le corps. Le bord supérieur est elliptique, avec des pattes à 1 pied 5 pouces (432 millimètres) de chaque côté de l'axe, auxquelles les extrémités inférieures des bielles de suspension sont fixées par des chevilles et des clavettes. Les extrémités supérieures des bielles sont attachées à des T en acier rivés contre la face intérieure du berceau de la boîte à feu. Le trou de cheville inférieur de la bielle est mortaisé de façon à laisser un jeu de 1/4 pouce (6.3 millimètres) au-dessus de la cheville, pour faire la part des dilatations du foyer. Les fermes sont écartées de 4 3/4 pouces (121 millimètres). L'assemblage des parois latérales, du ciel, des plaques tubulaire et arrière est effectué au moyen de joints à recouvrement de 2 1/2 pouces (63.5 millimètres), avec rivets en cuivre finis au diamètre de 3/4 pouce (19 millimètres), espacés de 1 3/4 pouce (44.4 millimètres) d'axe en axe.

Longueur intérieure du foyer, en haut	5 pieds	6 1/4 pouces	(1.683	mètre).
— — — en bas.	5 —	9 15/16 —	(1.776	—).
Largeur, en haut	3 —	9 —	(1.143	—).
— en bas	3 —	10 —	(1.168	—).
Hauteur du foyer au-dessus de l'axe de la chaudière	8 1/4	pouces	(209.5	millimètres).
Épaisseur des flancs, du ciel et de la plaque arrière	1/2	pouce	(12.7	—).
Épaisseur de la plaque tubulaire, en haut.	7/8	—	(22.2	—).
Épaisseur de la plaque tubulaire, en bas, au-dessous des tubes	1/2	—	(12.7	—).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Prescriptions générales.

Un robinet de vidange sous pression est placé à la partie inférieure du corps cylindrique, vers l'avant, à 1 pied 3 pouces (0.381 mètre) de la plaque tubulaire de la boîte à fumée, et un autre sur le dessus de l'enveloppe de boîte à feu, à la main des agents de la machine. Les tubes, au nombre de 222, sont en laiton; ils ont 1 $^{3}/_{4}$ pouce (44.4 millimètres) de diamètre extérieur; le diamètre est porté par mandrinage à 1 $^{7}/_{8}$ pouce (47.6 millimètres) à l'extrémité avant sur une longueur d'environ 3 pouces (76 millimètres) et ramené à 1 $^{5}/_{8}$ pouce (40.9 millimètres) à l'extrémité côté du foyer, sur une longueur égale. Les tubes dépassent la plaque tubulaire de la boîte à fumée de $^{1}/_{4}$ pouce (6 millimètres) et sont simplement mandrinés à cette extrémité. Du côté du foyer, ils sont bouterollés et, en outre, consolidés par des viroles en acier emmanchées à force. Ces viroles dépassent de $^{1}/_{8}$ pouce (3.2 millimètres) l'extrémité bouterollée du tube; elles ont 1 $^{1}/_{4}$ pouce (32 millimètres) de longueur et $^{1}/_{8}$ pouce (3.2 millimètres) d'épaisseur. Les tubes ont une épaisseur égale au n° 10 de la jauge (3.4 millimètres) à l'extrémité arrière et au n° 13 (2.4 millimètres) à l'extrémité avant. L'écartement des plaques tubulaires est de 11 pieds 4 $^{5}/_{8}$ pouces (3.470 mètres).

La pression de régime de la chaudière est de 160 livres par pouce carré (11.25 kilogrammes par centimètre carré) au manomètre.

Surface de la grille	22.04	pieds carrés (	2.0475	mètres carrés).
— de chauffe du foyer . . .	124.49	— (	11.5651	—).
— — tubulaire . . .	1,157.61	— (	107.5420	—).
— — totale	1,282.10	— (	119.1071	—).

Spécification pour chaudières.

CHAUDIÈRES TYPE M.

La chaudière, en acier, est formée de deux viroles télescopiques, dont la plus petite, placée en avant, a un diamètre intérieur de 4 pieds 4 pouces (1.321 mètre). Elles sont assemblées par un joint à recouvrement à double rivure. Les joints longitudinaux, également à double rivure, ont des couvre-joints en acier doux, de 7 $^{1}/_{4}$ pouces (184 millimètres) de largeur sur $^{1}/_{2}$ pouce (12.7 millimètres) d'épaisseur à l'extérieur et de 7 $^{1}/_{4}$ × $^{5}/_{8}$ pouces (184 × 9.5 millimètres) à l'intérieur. Les points longitudinaux se trouvent au-dessus du niveau de l'eau. L'axe du joint de la virole avant est situé à 7 pouces (178 millimètres) à droite, et celui du joint de la virole arrière, à 1 pied 9 pouces (533 millimètres) à gauche de la génératrice supérieure de la chaudière.

La plaque tubulaire est réunie au corps cylindrique par un cercle-cornière en acier, laminé d'une seule pièce, assemblé par une double rangée de rivets avec le corps cylindrique et la plaque tubulaire. Le dôme de prise de vapeur est placé sur la deuxième virole, avec son axe à 1 pied 10 pouces (559 millimètres) de l'extrémité avant de cette virole. Le dôme et son embase sont en fer forgé; cette dernière a 6 pouces (152 millimètres) de hauteur au-dessus du corps cylindrique, et le dôme a 1 pied 10 pouces (559 millimètres) au-dessus de la surface de l'embase. Son diamètre intérieur est de 1 pied 6 $^{1}/_{4}$ pouces (463.5 millimètres).

Hauteur de l'axe du corps cylindrique au-dessus des rails.	7	pieds $^{1}/_{4}$ pouce	(2.140	mètres).
Longueur du corps cylindrique	10	—	(3.048	—).
Diamètre intérieur de la première virole.	4	— 4 pouces	(1.321	mètre).
— — de la deuxième virole.	4	— 5 $^{1}/_{8}$ p^{ces}	(1.349	—).

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Épaisseur des tôles	$^{9}/_{16}$ pouce	(14.3 millimètres).
— de la plaque tubulaire d'avant	$^{7}/_{8}$ —	(22.2 —).
Écartement des rivets (double rangée en quinconce)	$1\,^{7}/_{8}$ —	(47.6 —).
Diamètre des rivets finis	$^{13}/_{16}$ —	(20.6 —).

Enveloppe de boîte à feu (en acier).

Les parois latérales et le dessus sont d'une seule pièce de 3 pieds 10 $^{1}/_{2}$ pouces (1.181 mètre) de largeur; le siège des soupapes de sûreté est placé sur le berceau, à 2 $^{1}/_{8}$ pouces (54 millimètres) en avant de l'axe du foyer. Les tirants longitudinaux sont au nombre de quatorze et ont un diamètre de 1 $^{1}/_{4}$ pouce (31.75 millimètres), avec extrémités renflées et filetées. La plaque arrière est percée de trous de 1 $^{1}/_{2}$ pouce (38.1 millimètres) de diamètre, filetés au pas de onze filets par pouce (2.3 millimètres). La plaque tubulaire de la boîte à fumée a des trous de 1 $^{3}/_{8}$ pouce (34.9 millimètres) forts; les tirants ont, de ce côté, 1 $^{3}/_{8}$ pouce (34.9 millimètres) de diamètre et sont filetés au pas de onze filets par pouce (2.3 millimètres). La tête de l'entretoise est vissée à bloc sur la plaque arrière, avec interposition d'une rondelle de cuivre. Des écrous et rondelles de cuivre sont employés à l'autre extrémité, sur chaque face de la plaque tubulaire de la boîte à fumée. La plaque arrière est renforcée, dans le voisinage des entretoises longitudinales, par un morceau de tôle de $^{1}/_{2}$ pouce (12.7 millimètres) rivé sur la face intérieure; cette disposition améliore en même temps la prise offerte aux vis et montures des têtes d'entretoises. L'enveloppe de boîte à feu est assemblée au corps cylindrique à l'aide de joints à recouvrement à double rivure. Des tirants à pattes, espacés d'environ 5 $^{1}/_{2}$ pouces (140 millimètres), s'engagent dans la partie inférieure du corps cylindrique et de la plaque tubulaire en cuivre, au-dessous des tubes.

Longueur extérieure de l'enveloppe	4 pieds 10 $^{1}/_{2}$ pouces	(1.486 mètre).
Largeur — —	4 — 7 $^{1}/_{2}$ —	(1.410 —).
Profondeur au-dessous de l'axe de la chaudière	4 — 4 —	(1.321 —).
Épaisseur de la plaque avant	$^{5}/_{8}$ pouce	(15.9 millimètres)
— des flancs, du ciel et de la plaque arrière	$^{5}/_{8}$ —	(15.9 —).
Écartement des entretoises latérales	3 $^{3}/_{4}$ et 4 pouces	(95 et 102 millimètres).

Les entretoises latérales sont en cuivre, elles sont filetées, au pas de onze filets par pouce (2.3 millimètres), sur une longueur suffisante pour être vissées dans les plaques du foyer et de la boîte à feu, et lisses sur le reste de la longueur. Les extrémités sont rivées. Le cadre du bas est en fer; il a 3 pouces (76 millimètres) de largeur sur 3 $^{3}/_{4}$ pouces (95 millimètres) de hauteur et est fixé par une double rangée de rivets de $^{7}/_{8}$ pouce (22.2 millimètres) finis. La porte du foyer, dont l'axe se trouve à 1 pied 8 pouces (457 millimètres) au-dessous de l'axe du foyer, est de forme ovale; le grand axe, mesurant intérieurement 1 pied 3 pouces (381 millimètres), est horizontal, et le petit, de 12 pouces (305 millimètres), est vertical. Le cadre est en fer forgé de 2 $^{1}/_{2}$ pouces (63.5 millimètres) de hauteur sur environ 3 $^{1}/_{4}$ pouces (82.5 millimètres) d'épaisseur, et son épaisseur va en diminuant pour se prêter à l'inclinaison de la plaque arrière du foyer.

Foyer en cuivre.

Les flancs et le ciel sont en une seule pièce de 3 pieds 11 $^{3}/_{8}$ pouces (1.210 mètre) de largeur. Le ciel est armaturé par des poutrelles en acier coulé, de section en I, disposées longitudinalement, dont les extrémités reposent sur les plaques tubulaire et arrière. Les fermes ont la même hauteur d'une extrémité à l'autre, et les bords supérieurs sont arrondis. Des bossages, espacés de 4 pouces (102 millimètres), s'élèvent à environ 2 pouces (50 millimètres) au-dessus de l'aile inférieure, et c'est dans ces bossages que sont vissées des entretoises, au filetage Whitworth ordinaire, de 1 pouce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(25.4 millimètres) de diamètre, avec un congé de raccordement de 1/8 pouce (3.2 millimètres) de rayon entre la tête et le corps. L'aile supérieure est munie de pattes à 1 pied 1 3/8 pouce (346 millimètres) de chaque côté de l'axe, auxquelles les extrémités inférieures des bielles de suspension sont fixées par des chevilles et des clavettes. Les extrémités supérieures de ces bielles sont attachées à des cornières en acier rivées contre la face intérieure du berceau de la boîte à feu. Le trou de cheville supérieur de la bielle est mortaisé de façon à laisser un jeu de 1/4 pouce (6.3 millimètres) au-dessous de la cheville, pour faire la part des dilatations du foyer. Les fermes sont écartées de 4 3/8 pouces (111 millimètres) d'axe en axe. L'assemblage des parois latérales, du ciel, des plaques tubulaire et arrière est effectué au moyen de joints à recouvrement de 2 1/2 pouces (63.5 millimètres), avec rivets en cuivre finis au diamètre de 15/16 pouce (20.6 millimètres), espacés de 1 7/8 pouce (47.6 millimètres) d'axe en axe.

Longueur intérieure du foyer, en haut	4 pieds 1 1/8 pouce (1.248 mètre).
— — — en bas	4 — 2 3/8 pouces (1.273 —).
Largeur — — en haut	3 — 9 1/2 — (1.156 —).
— — — en bas	3 — 11 1/8 — (1.197 —).
Hauteur de la face intérieure du ciel au-dessus de l'axe de la chaudière	8 1/2 pouces (2.151 mètres).
Épaisseur des flancs, du ciel et de la plaque arrière	9/16 pouce (14.3 millimètres).
— de la plaque tubulaire, en haut	7/8 — (22.2 —).
— — — en bas	9/16 — (14.3 —).

Prescriptions générales.

Un robinet de vidange est placé à la partie inférieure de la plaque arrière. Les tubes, au nombre de 186, sont en acier; ils ont un diamètre extérieur de 2 pouces (50.8 millimètres), réduit à 1 7/8 pouce (47.6 millimètres) à l'extrémité côté du foyer sur une longueur d'environ 2 1/2 pouces (62.5 millimètres). Ils dépassent la plaque tubulaire de la boîte à fumée de 1/4 pouce (6 millimètres) et sont simplement mandrinés de ce côté. A l'extrémité arrière, ils dépassent la plaque tubulaire de 5/16 pouces (5 millimètres) et sont consolidés par des viroles en acier emmanchées à force. Ces viroles, en place, dépassent de 5/16 pouce (5 millimètres) les extrémités des tubes. Elles ont 1 1/4 pouce (32 millimètres) de longueur et 1/8 pouce (3.2 millimètres) d'épaisseur. Les tubes ont une épaisseur égale au n° 10 de la jauge (3.4 millimètres). L'écartement des plaques tubulaires est de 10 pieds 3 15/16 pouces (3.145 mètres).

Timbre de la chaudière, 160 livres par pouce carré (11.2 kilogrammes par centimètre carré).

Surface de la grille	16.4	pieds carrés	(1.5236 mètre carré).
— de chauffe du foyer	87.00	—	(8.0823 mètres carrés).
— — tubulaire	1,004.75	—	(93.3413 —).
— — totale	1,091.75	—	(101.4236 —).

ANNEXE *c*.

Great Eastern Railway Company (Angleterre).

Spécification pour tôles de fer, barres, profilés, etc.

1. Le fer doit être de fabrication britannique.

2. Toutes les tôles et barres auront exactement les dimensions prescrites, et présenteront uniformément, dans tous les sens, l'épaisseur ou la section spécifiée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

5. Toutes les tôles et barres seront exemptes de pailles, dédoublures, gauches, déjets et tous autres défauts. Toutes les tôles seront planes.

4. Toutes les tôles et barres seront d'une qualité telle qu'elles présenteront les résistances à la traction suivantes :

	Tonnes par pouce carré.	Kilogrammes par cent. carré.	Avec un allongement de	sur une longueur de
Barres rondes et carrées et barres méplates de moins de 6 pouces (152 mill.) de largeur.	22 à 24	(34.6 à 37.8)	20 p. c.	8 pouces (203 mill.)
Cornières T, U, H et barres méplates de plus de 6 pouces (152 mill.) de largeur. .	21 à 23	(33 à 36)	16 p. c.	—
Tôles, sens de la fibre.	21 à 23	(33 à 36)	14 p. c.	—
— travers de la fibre	17 à 19	(27 à 30)	5 p. c.	—

De plus, elles devront être capables de supporter les essais suivants de pliage à froid :

Épaisseur.	Angle de pliage des tôles.	
	Sens du laminage,	Travers,
1 (25.4 mill.) et $^{15}/_{16}$ pouce (23.8 mill.) . .	15°	5°
$^{7}/_{8}$ (22.2 —) et $^{13}/_{16}$ — (20.6 —) . .	20°	5°
$^{3}/_{4}$ (19.05 —) et $^{11}/_{16}$ — (17.5 —) . .	25°	10°
$^{5}/_{8}$ (15.9 —) et $^{1}/_{2}$ — (12.7 —) . .	35°	15°
$^{7}/_{16}$(11.1 —) et $^{3}/_{8}$ — (9.5 —) . .	50°	20°
$^{5}/_{16}$(7.9 —) et $^{1}/_{4}$ — (6.3 —) . .	70°	30°

5. L'inspecteur de la Compagnie du « Great Eastern Railway » aura libre accès aux usines du fabricant, à tout moment raisonnable, pendant la durée de la fabrication, pour examiner toutes les tôles ou barres, finies ou en cours de fabrication, et exécuter les essais indiqués plus haut, ou toutes autres épreuves, de pliage ou de poinçonnage, qu'il jugera nécessaires. Il aura la faculté de choisir des spécimens à raison de 2 p. c. de chaque lot de tôles ou barres finies ou de se trouver aux usines au moment du laminage et d'essayer les bouts rebutés.

6. Le fabricant devra, à ses propres frais, découper les éprouvettes et fournir la main-d'œuvre et les appareils nécessaires pour les épreuves.

7. Toutes les tôles et barres recevront à chaud l'estampille du fabricant, avec le mois et l'année de fabrication.

8. Toutes les tôles ou barres reconnues défectueuses après livraison seront retournées au fabricant et remplacées à ses frais, cela malgré qu'elles aient subi les essais imposés par cette spécification et que l'inspecteur de la Compagnie les ait examinées.

Spécification pour plaques et feuilles de cuivre.

Cuivre pur, 99.5 p. c. Teneur en arsenic, jusqu'à 0.5 p. c.

Le nom du fabricant doit être lisiblement estampillé en deux endroits au moins sur chaque plaque ; ces endroits doivent être choisis de manière que l'estampille ne soit pas exposée à être découpée pendant le travail des plaques.

La qualité des plaques en cuivre devra être approuvée par l'ingénieur en chef de la traction. Elles subiront tous les essais mécaniques et chimiques qu'il pourra exiger.

Spécification pour tôles de chaudières.

Les tôles seront en acier Siemens-Martin de première qualité et auront, comme forme et épaisseur, les dimensions exactes indiquées sur les plans ou tableaux fournis par la Compagnie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Qualité. — Les tôles seront de la qualité généralement connue sous le nom de tôles en acier doux; elles ne contiendront pas moins de 0.10 ni plus de 0.15 p. c. de carbone et seront exemptes de silicium, de soufre et de phosphore. Leur résistance à la traction sera de 26 tonnes au moins, de 28 tonnes au plus par pouce carré (41 et 44 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement d'au moins 20 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres).

Fabrication. — Toutes les tôles seront fabriquées d'après la méthode reconnue la meilleure avec des lingots martelés sur toutes les faces; après réchauffage, elles seront laminées exactement, à une épaisseur uniforme. Les deux faces seront parfaitement propres et exemptes de creux, marques de laminage, pailles, crasses, dédoublures ou autres défauts. Chaque tôle sera cisaillée aux dimensions prescrites, et toute tôle gondolée ou gauchie ou présentant un défaut quelconque sera rebutée et devra être remplacée par le fabricant à ses frais. Le nom du fabricant et la date de fabrication seront lisiblement estampillés sur chaque tôle, à 9 pouces (23 centimètres) au moins du bord.

Essais mécaniques. — Une éprouvette, de 6 pouces (152 millimètres) de longueur × 2 pouces) (51 millimètres) de largeur, sera pliée à froid suivant un rayon de $^3/_8$ pouce (9.5 millimètres) jusqu'à ce que les deux bouts se touchent, sans qu'il se déclare de rupture. Une éprouvette de 6 pouces (152 millimètres) de longueur sur 2 pouces (51 millimètres) de largeur sera pliée à chaud et aplatie. Deux éprouvettes de 3 pouces (76 millimètres) de largeur et 10 pouces (254 millimètres) de longueur auront un trou de $^5/_8$ pouce (15.9 millimètres) poinçonné à 1 $^1/_2$ pouce (38 millimètres) du bord et devront subir, sans montrer aucun signe de rupture, l'élargissement à la broche conique de ce trou à 1 $^1/_2$ pouce (38 millimètres) de diamètre : l'une des éprouvettes subira cet essai à froid, l'autre à chaud.

L'inspecteur de la Compagnie du « Great Eastern Railway » délivrera des certificats pour toutes les tôles de chaudières qu'il aura reconnues conformes à la présente spécification, et aucune tôle ne devra être expédiée avant la délivrance du certificat qui la concerne. Ces certificats (ou des copies) seront envoyés à Stratford, comme annexes aux factures.

Toutes les tôles de chaudières reconnues défectueuses après livraison seront retournées au fabricant et remplacées à ses frais, malgré qu'elles aient subi les essais imposés par cette spécification et que l'inspecteur de la Compagnie les ait examinées.

Spécification pour tôles de longerons.

Les tôles seront en acier Siemens-Martin de première qualité et auront, comme forme et épaisseur, les dimensions exactes indiquées sur les plans ou tableaux fournis par la Compagnie.

Qualité. — Les tôles seront de la qualité généralement connue sous le nom de tôles en acier doux; elles ne contiendront pas moins de 0.10 p. c. ni plus de 0.15 p. c. de carbone et seront exemptes de silicium, de soufre et de phosphore. Leur résistance absolue à la traction sera de 25 tonnes au moins, de 30 tonnes au plus par pouce carré (39.4 et 47.25 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement d'au moins 20 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres).

Fabrication. — Toutes les tôles seront fabriquées d'après la méthode reconnue la meilleure, avec des lingots martelés sur toutes les faces; après réchauffage, elles seront laminées exactement à une épaisseur uniforme. Les deux faces seront parfaitement propres et exemptes de creux, marques de laminage, pailles, crasses, dédoublures ou autres défauts. Chaque tôle sera cisaillée aux dimensions prescrites, et toute tôle gondolée ou gauchie, ou présentant un défaut quelconque, sera rebutée et devra être remplacée par le fabricant à ses frais. Le nom du fabri-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cant et la date de fabrication seront lisiblement estampillés sur chaque tôle, à 9 pouces (23 centimètres) au moins du bord.

Essais mécaniques. — Une éprouvette de 18 pouces (457 millimètres) de longueur sur 3 pouces (76 millimètres) de largeur sera pliée suivant un rayon de 1 pouce (25 millimètres), jusqu'à ce que les deux extrémités soient écartées de 2 pouces (51 millimètres), sans qu'aucune rupture soit perceptible au sommet de la courbe.

L'inspecteur de la Compagnie du « Great Eastern Railway » délivrera des certificats pour toutes les tôles de chaudières qu'il aura reconnues conformes à la présente spécification, et aucune tôle ne devra être expédiée avant la délivrance du certificat qui la concerne. Ces certifi cats (ou des copies) seront envoyés à Stratford, comme annexes aux factures.

Toutes les tôles reconnues défectueuses après livraison seront retournées au fabricant qui les remplacera à ses frais, malgré qu'elles aient subi les essais imposés par la présente spécification et que l'inspecteur de la Compagnie les ait examinées.

ANNEXE *d*.

Great Western Railway Company (Angleterre).

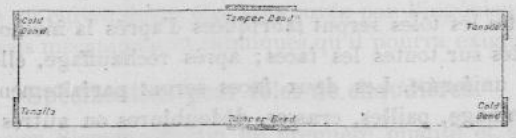
Spécification pour tôles de chaudières en acier Siemens-Martin.

1. Toutes les tôles seront de fabrication britannique ; elles seront laminées dans des cylindres durs, avec la partie inférieure de lingots produits à l'aide du procédé (acide) Siemens-Martin.

2. Les tôles seront de toute première qualité pour la fabrication des chaudières; elles seront exemptes de pailles, dédoublures, gauches et tous autres défauts, laminées exactement à une épaisseur uniforme et cisaillées exactement aux dimensions prescrites par la commande, avec une marge de rebut d'au moins 3 pouces (76 millimètres) sur chaque côté et à chaque bout. Les couvre-joints seront découpés dans des tôles laminées d'une largeur suffisante pour qu'on puisse les tracer avec leur petit côté dans le sens du laminage.

3. L'inspecteur de la Compagnie du « Great Western Railway » aura libre accès aux usines du fabricant à tout moment raisonnable; il aura la faculté de suivre la fabrication dans toutes ses phases et de rebuter tous les matériaux qu'il jugera défectueux de qualité ou d'exécution. Il assistera à l'estampillage des éprouvettes avant leur cisaillement, et aucune tôle ne sera acceptée si elle n'a pas supporté les essais spécifiés.

4. Des éprouvettes prélevées sur la marge de rebut seront préparées pour des essais de traction, de poinçonnage et de pliage, à savoir : une éprouvette de traction et une éprouvette de pliage à chaque extrémité, une éprouvette de pliage après trempe sur chaque côté des tôles laminées, ayant 20 pieds (6.096 mètres) de longueur et 5 pieds (1.524 mètre) de largeur, au moins. Lorsque les dimensions des tôles laminées dépassent ces cotes, on prélèvera sur chaque extrémité des éprouvettes supplémentaires pour l'élargissement à la broche.



Explication des termes anglais : Cold Bend = Pliage à froid. — Tamper Bend = Pliage après trempe. Tensile = Traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tôles de 20 × 5 pieds (6.096 × 1.524 mètres) ou moins :

Deux essais par traction, deux essais de pliage à froid, deux essais de pliage après trempe.

Tôles laminées plus grandes :

Deux essais par traction, deux essais de pliage à froid, deux essais de pliage après trempe, deux essais d'élargissement à la broche.

Essai par traction. — La résistance absolue à la traction ne doit pas être inférieure à 25 tonnes par pouce carré (39.4 kilogrammes par millimètre carré) ni supérieure à 30 tonnes (47.25 kilogrammes), avec un allongement minimum de 22 p. c., mesuré sur une longueur de 10 pouces (254 millimètres). Lorsque cet essai est fait aux ateliers de Swindon, une éprouvette de 2 1/2 pouces (63.5 millimètres) de largeur est découpée, puis ramenée, à la machine à fraiser, à 1 1/2 pouce (38.1 millimètres) de largeur sur une longueur parallèle de 10 pouces (251 millimètres).

Essai de pliage à froid. — Les couvre-joints subiront le pliage à la presse suivant une courbe dont le rayon intérieur sera égal à l'épaisseur de la tôle.

Essai de pliage après trempe. — Les couvre-joints, chauffés uniformément au rouge cerise faible, et refroidis dans l'eau d'une température d'environ 80° Fahr. (27° C.), subiront le pliage à la presse suivant une courbe dont le rayon intérieur sera une fois et demie l'épaisseur de la tôle.

Essai à la broche. — Des éprouvettes d'une largeur de 3 pouces (76 millimètres), percées d'un trou de 5/8 pouce (15.9 millimètres), dont le centre se trouvera à 1 1/2 pouce (38 millimètres) d'une extrémité et de chaque côté, subiront l'élargissement, à la broche, de ce trou jusqu'au diamètre de 1 3/4 pouce (44.4 millimètres).

Essai de poinçonnage. — On vérifiera la ductilité de l'acier en poinçonnant à froid un groupe de trous de 5/8 à 3/4 pouce (15.9 à 19 millimètres) de diamètre, dont les arêtes ne seront pas écartées de plus de 5/16 pouce (4.8 millimètres).

3. Les tôles destinées à être exposées à l'action de la flamme seront désignées sur la commande; leur résistance absolue ne devra pas être inférieure à 26 tonnes par pouce carré de section (41 kilogrammes par millimètre carré) ni supérieure à 28 tonnes (44 kilogrammes).

6. Le nom du fabricant, le numéro de la tôle et le numéro de la coulée seront lisiblement estampillés sur chaque tôle ou couvre-joint, mais assez loin du bord.

7. Le fabricant devra, à ses propres frais, découper les éprouvettes et fournir la main-d'œuvre et les appareils nécessaires pour les épreuves; il devra aussi, sur demande, fournir une analyse complète de chaque coulée.

8. Les tôles seront examinées au moment de la livraison, et toute tôle ayant des défauts superficiels ou présentant des indices de dressage, ou qui, essayée à Swindon, ne confirme pas les résultats obtenus aux usines du fabricant, sera retournée à l'adjudicataire et remplacée à ses frais, cela malgré leur acceptation par l'inspecteur de la Compagnie.

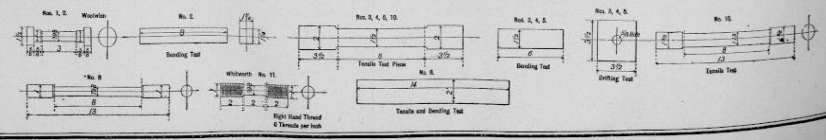
9. L'inspecteur de la Compagnie du « Great Western Railway » délivrera des certificats pour toutes les tôles (ou couvre-joints) qu'il aura reconnues conformes aux termes de la présente spécification, et aucune tôle (ou couvre-joint) ne devra être expédiée avant la délivrance du certificat.

10. Les certificats remis par l'inspecteur seront adressés à Swindon comme annexes aux factures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Spécifications des essais.

N°	DÉSIGNATION DE LA PIÈCE.	NATURE DU MÉTAL.	RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LES ESSAIS, L'INSPECTION, ETC.
1	*Bandages.* Locomotives	Acier sur sole Siemens-Martin.	Essais au choc : Flèche de 1 1/2 pouce par pied (125 millimètres par mètre) de diamètre extérieur pour les bandages ayant jusqu'à 3 pieds 1/2 pouce (927 millimètres) de diamètre extérieur, et de 2 pouces par pied (167 millimètres par mètre) pour tous les bandages d'un plus grand diamètre. Il est essayé un bandage de chaque charge.
	Tenders	—	Essai au choc : Flèche de 2 pouces par pied (167 millimètres par mètre) de diamètre extérieur. Il est essayé un bandage de chaque charge.
	Voitures	—	Réduction du diamètre de 4 pouces (102 millimètres). L'essai d'aplatissement est continué jusqu'à la rupture du bandage. Il est essayé un bandage de chaque charge.
	Wagons	—	Réduction du diamètre de 4 pouces (102 millimètres). L'essai d'aplatissement est continué jusqu'à la rupture du bandage. Il est essayé un bandage de chaque charge.
2	*Essieux.* Essieux coudés de locomotives.	—	Des morceaux recuits avec l'essieu sont découpés dans les bras de manivelle, et c'est sur ces morceaux qu'on prélève une éprouvette, rabotée, sans martelage ni réchauffage, à section carrée de 1 1/4 pouce (32 millimètres) de côté. Cette éprouvette est placée sur des appuis espacés de 6 pouces (152 millimètres) avec fondation massive en fonte, ne pesant pas moins de 3 tonnes. Un barreau en fer, de 3 pouces (76 millimètres) de diamètre, est placé sur le milieu de l'éprouvette, et un mouton de 10 cwt. (500 kilog.) tombe plusieurs fois sur le barreau de 3 pouces, d'une hauteur de 7 pouces (178 millimètres), jusqu'à ce que l'éprouvette ait pris un angle de flexion de 90°. De plus, on découpe quatre éprouvettes dans l'essieu, deux en long et deux en travers, et on les tourne aux dimensions des éprouvettes de Woolwich.
	Essieux droits de locomotives et essieux de tenders.	—	Essai au choc : Essieu de machine, 16 chocs ; essieux de bogie et de tender, chacun 12 chocs, d'un mouton de 1 tonne tombant d'une hauteur de 25 pieds (7.600 mètres). Les essieux reposent sur des appuis écartés de 3 pieds 9 pouces (1.143 mètre) et sont retournés après chaque choc. Il est choisi un essieu sur cinquante pour essai.
	Essieux de voitures	—	L'essieu sera placé sur des appuis espacés de 3 pieds 6 pouces (1.143 mètre) et subira cinq chocs d'un mouton de 2,000 livres (900 kilog.), tombant d'une hauteur de 20 pieds (6.100 mètres). Après le cinquième choc, on le casse pour examiner la cassure. Il est essayé un essieu de chaque lot.
	Essieux de wagons	—	L'essieu sera placé sur des appuis espacés de 3 pieds 6 pouces (1.143 mètre) et subira cinq chocs d'un mouton de 2,000 livres (900 kilog.), tombant d'une hauteur de 20 pieds (6.100 mètres). Après le cinquième choc, on le casse pour examiner la cassure. Il est essayé un essieu de chaque lot.
3	*Tôles de chaudières.*	Acier Siemens doux de 1re qualité.	Inspection au point de vue des défauts de surface. Chaque tôle est vérifiée.
4	*Tôles de longerons.*	—	Inspection au point de vue des défauts superficiels. Chaque tôle est essayée.
5	*Tôles pour usag généraux.*	—	Inspection au point de vue des défauts superficiels.
6	*Tubes à fumée*	Acier de qualité supérieure.	Bouts nets et coupés d'équerre, surface exempte de défauts, doivent résister au mandrinage et au pliage sans présenter de traces de criques ou de bavures. Extrémités recuites sur une longueur d'au moins 12 pouces (305 millimètres). Chaque tube doit résister, sans fuir, à une pression intérieure de 8.0 livres par pouce carré (56 kilog. par centimètre carré) et à une pression extérieure de 250 livres par pouce carré (17.5 kilog. par centimètre carré). Limites de tolérance en poids : 5 p. c. en moins, 10 p. c. en plus.
7	*Tubes à fumée*	Cuivre étiré sans soudure.	Bouts nets et coupés d'équerre, surface exempte de défauts, doivent résister au mandrinage et au pliage sans présenter de traces de criques ou de bavures. Les tubes resteront demi-durs dans toute leur longueur et devront résister, sans fuir, à une pression intérieure de 80 livres par pouce carré (56 kilog. par centimètre carré) et à une pression extérieure de 250 livres par pouce carré (17.5 kilog. par centimètre carré). Limites de tolérance en poids : 5 p. c. en moins, 10 p. c. en plus.
8	*Foyer.* Plaques en cuivre	Cuivre de qualité supérieure.	Toutes les plaques sont essayées et vérifiées au point de vue des défauts superficiels.
	Entretoises en cuivre.	—	Une éprouvette de 14 pouces de longueur et 2 pouces de largeur (356 × 51 millimètres), découpée dans la plaque, doit résister au pliage à bloc sans présenter d'indices de criques.
9	*Ressorts.* A lames et à pincettes.	...	A lames et à pincettes. Chaque ressort, après avoir subi une charge supérieure de 40 à 50 p. c. à la charge de régime, doit reprendre sa flèche initiale.
	En spirale et en volute.	...	Les ressorts, comprimés trois fois à fond de course, ne doivent pas présenter une déformation permanente de plus de 3/16 pouce (4.8 millimètres).
	Acier à ressorts	...	Inspection au point de vue des défauts superficiels.
10	*Profilés.* U, cornières, T, rivets, tiges de piston, glissières, etc.	Acier doux Siemens de qualité supérieure.	Essai identique à celui des tôles en acier doux.
11	*Acier.* Moulages, centres de roues.	Acier à grain serré. Qualité uniforme.	Recuits complètement, soudés dans toute leur surface à l'aide du marteau à devant et garantis un an. Inspectés au point de vue des creux, soufflures et autres défauts. Une roue tombant d'une hauteur de 10, 15, 20, 25 et 30 pieds (3, 4.5, 6, 7.5 et 9 mètres) ne doit pas accuser de défauts jusqu'à 15 pieds (4.5 mètres). Il est essayé une roue de chaque lot et, s'il se déclare des ruptures, le lot est rejeté.
	Pièces diverses	—	Recuites complètement, visitées au point de vue des creux, soufflures et autres défauts. Il est fourni une pièce moulée en plus de chaque catégorie et de chaque lot.



ESSAI PAR TRACTION. Charge de rupture absolue.	ESSAI PAR TRACTION. Allongement en pour cent.	ESSAI PAR TRACTION. Striction en p.c.	ESSAI DE FLEXION.	ESSAI A LA BROCHE.
23 tonnes (72.45 kilog. par millimètre carré) au moins.	20 p. c. au moins sur 3 pouces (76 millimètres).	...	...	...
23 tonnes (72.45 kilog. par millimètre carré) au moins.	20 p. c. au moins sur 3 pouces (76 millimètres).	...	...	...
35 tonnes (55 kilog. par millim. carré).	25 p. c. sur 3 pouces (76 millimètres).	...	...	...
35 tonnes (55 kilog. par millim. carré).	25 p. c. sur 3 pouces (76 millimètres).	...	...	...
28 à 32 tonnes (44 à 50 kilog. par millimètre carré.	25 p. c. sur 3 pouces (76 millimètres).	...	...	...
28 à 32 tonnes (44 à 50 kilog. par millimètre carré.	25 p. c. sur 3 pouces (76 millimètres).	...	...	...
35 tonnes (55 kilog. par millimètre carré) au moins.	25 p. c. sur 3 pouces (76 millimètres).	...	...	...
35 tonnes (55 kilog. par millimètre carré) au moins.	25 p. c. sur 3 pouces (76 millimètres).	...	...	...
26 tonnes (41 kilog. par millimètre carré) au moins et 20 tonnes (32 kilog. par millimètre carré au plus.	20 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres).	...	Éprouvettes de 6 pouces (152.4 millimètres) de longueur et 1 1/2 pouce (38.1 millimètres) de largeur, découpées en long ou en travers, chauffées uniformément et refroidies dans l'eau à 82° F. (28° C.), pliées suivant un arc d'un rayon intérieur égal à une fois et demie l'épaisseur de la tôle, sans présenter aucun indice de rupture.	Éprouvettes de 3 1/2 pouces (89 millimètres) de largeur, 5/8 (16 millimètres) de diamètre ; trou poinçonné de part en part, puis élargi à la broche, à froid, jusqu'à 1 1/2 pouce (38 millimètres) de diamètre. L'éprouvette doit supporter cet essai sans que les bords s'éraillent ni sans présenter d'indices de rupture.
26 tonnes (41 kilog. par millim. c.) au moins et 30 tonnes (47 kilog. par mill. c.) au plus.	20 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres).	...	Voir ci-dessus.	Voir ci-dessus.
26 tonnes (41 kilog. par millimètre carré) au moins et 30 tonnes (47 kilog. par millimètre carré au plus.	20 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres).	...	—	—
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
21 tonnes (32 kilog. par millim. carré). 26 tonnes (23.5 kilog. par millim. carré).	40 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres). 40 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres).	... ...	... ...	... ...
46 tonnes (71 kilog. par millim. carré). 26 tonnes (41 kilog. par mil. c.) au moins et 30 tonnes (47 kilog. par mill. c.) au plus. 28 tonnes (44 kilog. par millim. carré).	15 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres). 20 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres). 20 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres).	... ...	... ...	... ...
28 tonnes (44 kilog. par millim. carré).	20 p. c. sur 2 pouces (51 millimètres).	...	...	...

Coupons. — N° 2 : essai de pliage. Nos 3, 4, 5, 10 : essai par traction. Nos 3, 4, 5 : essai de pliage. Nos 3, 4, 5 (Hole = trou) : essai d'élargissement à la broche. N° 10 : essai par traction. N° 11 : filet à droite. Pas de 4,2 millimètres. N° 8 : essai de traction et de pliage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

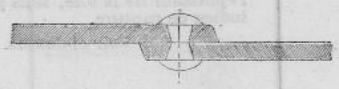
ANNEXE *f*.

South Australian Railway Company (Australie).

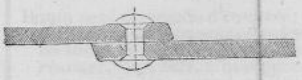
Spécification pour chaudières.

Trous de rivets. — Tous les trous de rivets du corps cylindrique et du foyer, avec son enveloppe, seront exactement poinçonnés, ou percés au foret, sur gabarits, de façon que tous les trous d'assemblage soient concordants et uniformes. Il n'est toléré aucune espèce de travail à la broche, mais on pourra au besoin procéder à un alésage fait avec soin.

Joints. — Si les trous de rivet sont poinçonnés, les tôles devront être assemblées de façon que les petits diamètres des trous coniques se trouvent ensemble, comme l'indique le croquis ci-après.



Si les trous sont percés au foret, ils seront légèrement fraisés, comme l'indique le croquis ci-dessous,



pour les deux têtes du rivet. Tous les bords des tôles assemblées par recouvrement seront chanfreinés suivant un petit angle, comme le montrent les croquis ci-dessus.

Rivetage. — Tous les joints transversaux seront à recouvrement, avec double rivure en quinconce; tous les joints longitudinaux seront à double couvre-joint, avec double rivure en quinconce.

Corps cylindrique. — Le corps cylindrique sera télescopique et se composera de trois viroles, dont chacune sera formée d'une seule tôle. Le trou découpé dans le corps cylindrique pour le dôme devra être établi comme l'indique le plan, avec une tôle de renfort à l'intérieur.

Dôme. — Le dôme et son embase seront en fer de Lowmoor. L'embase sera fixée au corps cylindrique par une double rangée de rivets en quinconce et son axe se trouvera dans le plan vertical passant par l'essieu couplé d'avant. La collerette du dôme et les deux rebords de son embase seront découpées en pleine tôle; la collerette devra, après usinage, avoir une épaisseur d'au moins 1 $^{1}/_{8}$ pouce (28.6 millimètres).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tôles embouties. — La plaque tubulaire de la boîte à fumée, les plaques avant et arrière de la boîte à feu, le dôme et les feuilles de cuivre du foyer seront emboutis et tournés avec soin aux rayons indiqués sur les plans. Les parties cintrées des parois latérales, au droit du cadre du bas, destinées à recevoir les bouchons de lavage, seront formées dans la pleine tôle, et non soudées.

Équerres de dilatation. — On veillera à ce que les équerres de dilatation soient rivées à l'enveloppe de boîte à feu de façon à être parfaitement de niveau dans le sens transversal et parallèles à l'axe de la chaudière dans le sens longitudinal, comme l'indiquent les dessins. L'attention est spécialement appelée sur ce détail.

Spécification pour foyers.

Cuivre. — Toutes les plaques et entretoises filetées du foyer seront en cuivre de toute première qualité, fourni par *Messrs. Bibby & C°; la Broughton Copper Company; Thomas Bolton & Sons; Elliot's Metal Company; Pascoe, Grenfell & C°, Pontifex, Wood & C°*, ou *Vivian & Sons.*

Entretoises. — Les entretoises en cuivre seront percées d'un trou central de $^1/_8$ pouce (3.2 millimètres) de diamètre à chaque extrémité, et les deux perforations de chaque entretoise s'arrêteront à 1 $^1/_2$ pouce (38 millimètres) du milieu de l'entretoise. Le corps de l'entretoise sera lisse, comme l'indique le dessin, et on veillera à ce que le diamètre de l'entretoise ne soit en aucun point inférieur au diamètre de la partie filetée au fond du filet.

Feuilles de cuivre. — Le ciel et les flancs du foyer seront formés d'une seule feuille de cuivre ; les plaques tubulaire et arrière seront embouties avec soin.

Bouilleur. — Un bouilleur suspendu au ciel du foyer sera rivé contre le ciel et les flancs, comme l'indiquent les dessins. Il sera soigneusement embouti et entretoisé à l'aide de tubes en cuivre vissés dans les plaques en cuivre et bouterollés à chaque extrémité. Un boulon en fer forgé, vissé d'un côté dans la plaque d'enveloppe extérieure, et assujetti par un écrou et une rondelle en cuivre, à l'intérieur et à l'extérieur de la plaque, de l'autre côté, servira à consolider l'enveloppe de boîte à feu aux points où il faut supprimer les entretoises en cuivre ordinaires à cause du bouilleur, et un bouchon de lavage en bronze, avec siège, sera placé de chaque côté de l'enveloppe de boîte à feu, au point indiqué sur le dessin. Le cadre de la porte du foyer sera circulaire, et le cadre du bas sera rainé sur le bord supérieur, entre les parties courbes des angles, comme le montre le dessin. Un trou de nettoyage circulaire, avec porte en fer forgé, sera ménagé dans la partie inférieure du corps cylindrique, comme l'indique le dessin.

Qualité du cuivre. — Pour vérifier la qualité des plaques de cuivre, des bandes seront découpées en présence de l'ingénieur-conseil du gouvernement et repliées à froid sur elles-mêmes. Si les éprouvettes présentent après cette épreuve des indices quelconques de criques, toutes les plaques du même envoi et de la même qualité seront rebutées.

Armatures du ciel. — Le ciel du foyer sera armaturé par sept fermes à profil I, en riblons de fer martelés de première qualité. Chaque ferme sera d'une seule pièce. Elles seront percées et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dressées sur les deux faces pour recevoir des boulons tournés, et auront l'écartement indiqué sur les dessins. Quatre de ces fermes seront attachées au ciel par huit tirants verticaux comme l'indiquent les dessins, et il sera tenu compte, dans la construction de ces tirants, de la dilatation verticale du foyer. Toutes les chevilles servant à attacher les tirants verticaux seront en acier coulé.

Entretoises longitudinales. — La plaque arrière de l'enveloppe de boîte à feu sera renforcée par une cale plate semi-circulaire de $^{7}/_{16}$ pouce (11.1 millimètres), rivée contre cette plaque, entre la rangée supérieure d'entretoises en cuivre et le congé de l'embouti. La même plaque sera réunie au corps cylindrique par dix entretoises longitudinales, dont six seront vissées dans la plaque arrière et passeront par des trous ménagés dans les cornières supérieures et inférieures d'une entretoise des longerons rivée au corps cylindrique, où elles seront fixées par des écrous dressés. Les quatre autres entretoises seront fixées chacune par une double joue et cheville à des supports en fer T rivés contre le corps cylindrique et passeront par des trous ménagés dans la plaque arrière pour être retenues par des écrous dressés et des rondelles de cuivre minces sur les deux côtés de la plaque.

Entretoises de la plaque tubulaire en cuivre. — La plaque tubulaire en cuivre sera réunie au corps cylindrique par six entretoises du type ordinaire au-dessous des tubes.

Robinetterie et bouchons. — Toute la robinetterie de la chaudière sera fixée par des brides autant que possible. Deux bouchons fusibles seront insérés dans le ciel du foyer, un de chaque côté du bouilleur ; sept bouchons coniques seront placés comme suit : un dans chaque angle du bas, un dans la plaque arrière au-dessus de l'axe du foyer, et deux dans l'arrière du foyer au-dessus de la plate-forme ; un autoclave se trouvera dans la plaque arrière, immédiatement au-dessus du cadre du bas, et trois bouchons à chapeau dans la plaque tubulaire de la boîte à fumée, une en bas et une de chaque côté, un peu au-dessous de l'axe transversal ; deux soupapes de sûreté Ramsbottom seront fixées sur le couvercle du trou d'homme au-dessus du foyer.

Qualité. — Toutes les tôles du corps cylindrique, le berceau et les flancs de la boîte à feu et toutes les tôles embouties, sauf spécification contraire, seront en acier doux spécial de première qualité, fabriqué par F. Krupp, d'Essen, avec une résistance à la traction de 26 à 30 tonnes par pouce carré (41 à 47 kilogrammes par millimètre carré) et un allongement de 25 à 27 p. c. sur une longueur de 8 pouces (203 millimètres). Les cercles-cornières, les équerres du ciel du foyer, les entretoises verticales, les entretoises de longerons et fers T pour entretoises longitudinales, les boulons et écrous des fermes du ciel, les tirants longitudinaux et leurs écrous, et tous les boulons et écrous du corps cylindrique et du foyer, seront en « fer de première qualité » *(best iron)*. Tous les rivets en fer employés dans la chaudière seront de la marque Lowmoor.

Tubes. — Les tubes seront en cuivre durci *Everett & Sons*, ou en laiton de la meilleure qualité fabriqué par *Everett & Sons*, *Green & Co.*, ou *Wilkes & Co.*, suivant les indications de l'ingénieur en chef de la traction. Ils seront soigneusement mandrinés dans les deux plaques tubulaires à l'aide de l'appareil Dudgeon et fixés par des viroles en acier du côté du foyer seulement. On n'emploiera pas de viroles du côté de la boîte à fumée. Les extrémités des tubes seront rabattues sur les plaques tubulaires et soigneusement bouterollées avec un outil spécial. On veillera surtout à percer les trous de tubes à des distances exactes entre eux dans toutes les tôles. Les tubes en place

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

seront inclinés : l'extrémité avant sera de 1 pouce (25 millimètres) au-dessus de l'extrémité côté du foyer. Ils seront disposés en rangées verticales, comme l'indiquent les dessins.

Matage. — On évitera le matage des joints autant que possible, mais lorsque cette opération sera absolument nécessaire pour assurer l'étanchéité de l'assemblage, on ne se servira que d'un outil à face large, appliqué très légèrement contre les bords de la tôle. L'existence de sillons ou de gorges, d'une nature quelconque, ne pourra être ni acceptée ni tolérée. L'attention est particulièrement appelée sur cette clause.

Essais. — Avant d'être munie de l'enveloppe extérieure, chaque chaudière, complètement montée, sera essayée en présence de l'inspecteur du gouvernement, d'abord sous une pression hydraulique de 210 livres par pouce carré (14.75 kilogrammes par centimètre carré), ensuite sous une pression de vapeur de 150 kilogrammes par pouce carré (10.55 kilogrammes par centimètre carré), et aucune fuite ne devra se déclarer sous ces pressions. Avant son refroidissement, la chaudière recevra extérieurement une couche de peinture au minium ou de vernis de kérosène, appliquée avec soin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU x. **Locomotives à quatre roues couplées.**

—	N° d'ordre.	NOM DU CHEMIN DE FER.	MAXIMUM.	N° d'ordre.	NOM DU CHEMIN DE FER.	MINIMUM.
Surface de chauffe totale, en pieds carrés (mètres carrés) . . .	3	Caledonian	1,500 (139.35)	12	Great Western.	951.2 (88.37)
— — tubulaire — (—) . . .	3	—	1,381.2 (128.30)	12	— —	830 (77.11)
Poids total de la machine en ordre de marche, en livres (kilogrammes).	17	London, Tilbury & S. End .	141,456 (64,163)	15	London & North Western.	73,360 (33,275)
Vitesse moyenne en milles (kilomètres) à l'heure.	3	Caledonian	59 (95)	18	Madras	29.3 (47.2)
Poids moyen du train, non compris la machine et le tender, en tonnes (tonnes métriques).	15	London & North Western.	293 (298)	7	Great Central	79.7 (81)
Poids adhérent en ordre de marche, en livres (kilogrammes . .	16	London & South Western .	79,296 (35,968)	2a	Bombay Baroda	55,776 (25,299)
Plus grand parcours sans changement de machine, en milles kilomètres).	9	Great Northern (Irlande) .	225 (362)	17	London Tilbury	39.5 (63.6)
Adhérence des roues couplées, à raison de 500 livres par tonne (22.3 centièmes), en livres (kilogrammes).	16	London & South Western .	17,700 (8,029)	2a	Bombay Baroda	12,450 (5,647)
Effort de traction tangentiel, en livres (kilogrammes), pour 80 centièmes de la pression dans la chaudière.	12a	Great Western.	16,848 (7,642)	15	London & North Western.	10,275 (4,660)
Travail développé à 15 milles (24 kilomètres) à l'heure, en H. P. (chevaux-vapeur .	12a	— —	673.9 (683.3)	15	— — .	411 (416.7)
Plus long trajet sans arrêt, en milles (kilomètres).	15	London & North Western .	200.75 (323.1)	18	Madras	32 (51)
Pression de vapeur dans la chaudière, en livres par pouce carré (kilogrammes par centimètre carré).	12	Great Western.	180 (12.65)	11, 14, 15	Great South. & West. (Irl.), London, Brigh. & S. Coast, London & North Western.	150 (10.54)
Aire des cylindres, en pouces carrés (mètres carrés)	19,20a	North Eastern & Midland .	597.2 (0.3852)	2a, 15	Bombay, Baroda (Indes) & North Western (Irlande).	454 (0.2929)
Consommation de houille, en livres par mille (kilogrammes par kilomètre .	17	London Tilbury	40 (11.276)	11	Great Southern & Western (Irlande).	23.3 (6 568)
Vaporisation, en livres d'eau par livre de houille, ou kilogramme d'eau par kilogramme de houille.	13	Lancashire & Yorkshire. .	10	5	Glasgow & South Western.	7.2
Surface de chauffe du foyer, en pieds carrés (mètres carrés). .	16	London & South Western .	148 (13.75)	2a	Bombay & Baroda. . . .	87 (8.08)
Surface de la grille, en pieds carrés (mètres carrés)	8 a	Great Northern (Angleterre)	26.7 (2.48)	2a	— —	16.4 (1.52)
Tenders.						
Capacité de la soute à eau en gallons (mètres cubes).	3	Caledonian	4,125 (18.742)	17	London Tilbury	1,500 (6.815)
— — à charbon, en livres (kilogrammes). . . .	18	Madras	16,000 (7,260)	17	— —	5,040 (2,200)
Poids total du tender en ordre de marche, en livres (kilogrammes)	3	Caledonian	100,800 (45,720)	12a	Great Western.	53,76 (24,380)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU x^{1}. — Locomotives à roues libres.

—	N° d'ordre.	NOM DU CHEMIN DE FER.	MAXIMUM.	N° d'ordre.	NOM DU CHEMIN DE FER.	MINIMUM.
Surface de chauffe totale, en pieds carrés (mètres carrés) . . .	12*b*	Great Western.	1,561.3 (145.04)	8*b*	Great Northern (Angleterre)	1,031.6 (95.83)
— — tubulaire — (—) . . .	12*b*	— —	1,434.2 (133.23)	8*b*	— — —	909.9 (84.53)
Poids total de la machine en ordre de marche, en livres (kilogrammes).	8*b*,12*b*	Great Northern (Angleterre), Great Western.	109,760 (54,320)	6*a*	Great Eastern —	89,656 (40,670)
Vitesse moyenne en milles (kilomètres) à l'heure.	12*b*	Great Western.	53.5 (86.1)	6*a*,6*b*	— — —	48 (77)
Poids moyen du train, non compris la machine et le tender, en tonnes (tonnes métriques).	6*a*,6*b*	Great Eastern	180.4 (183.3)	12*b*	Great Western.	170 (172.7)
Poids adhérent en ordre de marche, en livres (kilogrammes). .	6*b*	— —	42,560 (19,310)	6*a*	Great Eastern	36,178 (16,410)
Plus grand parcours sans changement de machine, en milles (kilomètres).	12*b*	Great Western.	214 (344)	19*a*	Midland	99 (159)
Adhérence des roues couplées, à raison de 500 livres par tonne (22.3 centièmes), en livres (kilogrammes).	6*b*	Great Eastern	9,500 (4,310)	6*a*	Great Eastern	8,075 (3,660)
Effort de traction tangentiel en livres (kilogrammes), pour 80 centièmes de la pression dans la chaudière.	8*b*	Great Northern (Angleterre)	14,851 (6,740)	6*a*	— —	11,849 (5,380)
Travail développé à 15 milles (24 kilomètres) à l'heure, en H. P. (chevaux-vapeur).	8*b*	— — (—)	594 (602)	6*a*	— —	473.9 (480.5)
Plus long trajet sans arrêt, en milles (kilomètres).	12*b*	Great Western.	194 (312)	8*b*,8*c*	Great Northern (Angleterre).	120 (193)
Pression de vapeur dans la chaudière, en livres par pouce carré (kilogrammes par centimètre carré).	8*b*,8*c*, 19*a*	Great Northern (Angleterre), Midland.	170 (11.95)	6*a*,6*b*, 12*b*	Great Eastern, Great Western.	160 (11.25)
Aire des cylindres, en pouces carrés (mètres carrés).	8*b*,19*a*	Great Northern (Angleterre), Midland.	597.2 (0.3852)	6*a*,6*b*	Great Eastern	508.9 (0.3283)
Consommation de houille, en livres par mille (kilogrammes par kilomètre).	6*a*,6*b*	Great Eastern, ...	30.94 (8.72)	12*b*	Great Western.	28 (7.89)
Vaporisation, en livres d'eau par livre de houille, ou kilogramme d'eau par kilogramme de houille.	6*a*,6*b*	— —	8	6*a*,6*b*	Great Eastern	8
Surface de chauffe du foyer, en pieds carrés (mètres carrés). .	19*a*	Midland	128 (11.89)	6*a*	— —	100.9 (9.37)
Surface de la grille, en pieds carrés (mètres carrés).	6*b*,19*a*	Great Eastern, Midland. .	21.3 (1,978)	6*a*	— —	18 (1.672)
Tenders.						
Capacité de la soute à eau en gallons (mètres cubes).	19*a*	Midland	3,500 (15.930)	6*a*	— —	2,640 (12.000)
— — à charbon, en livres (kilogrammes) . . .	19*a*	—	10,083 (4,570)	6*a*	— —	7,840 (3,560)
Poids total du tender en ordre de marche, en livres (kilogrammes)	8*b*	Great Northern (Angleterre)	93,464 (42,404)	6*a*	— —	68,600 (31,100)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU x^2. **Locomotives compound.**

—	N° d'ordre.	NOM DU CHEMIN DE FER.	MAXIMUM.	N° d'ordre.	NOM DU CHEMIN DE FER.	MINIMUM.
Surface de chauffe totale, en pieds carrés (mètres carrés) . . .	15*c*	London & North Western.	1,540.9 (143.15)	1	Belfast Northern Counties.	849.8 (78.95)
— — tubulaire — (—) . . .	15*c*	— — — .	1,381.2 (128.30)	1	— — — .	767.8 (71.32)
Poids total de la machine en ordre de marche, en livres (kilogrammes).	15*b*	— — — .	121,856 (55,2.2)	1	— — — .	86,60 (39,280)
Vitesse moyenne en milles (kilomètres) à l'heure	15*a*, 15*b*, 15*c*	— — — .	53 (85)	1	— — — .	35 4 (56.9)
Poids moyen du train, non compris la machine et le tender, en tonnes (tonnes métriques).	15*a*, 15*b*, 15*c*	— — — .	293 (298)	1	— — — .	135 (137)
Poids adhérent en ordre de marche, en livres (kilogrammes) . .	15*b*	— — — .	79,520 (36,070)	1	— — — .	55,800 (25,310)
Plus grand parcours sans changement de machine, en milles (kilomètres).	15*a*, 15*b*, 15*c*	— — — .	200.75 (323)	1	— — — .	95 (153)
Adhérence des roues couplées, à raison de 500 livres par tonne (22.3 centièmes), en livres (kilogrammes).	15*b*	— — — .	17,750 (8,050)	1	— — — .	12,500 (5,670)
Effort de traction tangentiel, en livres (kilogrammes), pour 80 centièmes de la pression dans la chaudière.	...	...	...	...	...	...
Travail développé à 15 milles (24 kilomètres) à l'heure, en H. P. (chevaux-vapeur).	...	...	...	...	...	...
Plus long trajet sans arrêt, en milles (kilomètres).	15*a*, 15*b*, 15*c*	London & North Western.	200.75 (323)	1	Belfast Northern Counties.	46.5 (74.8)
Pression de vapeur dans la chaudière, en livres par pouce carré (kilogrammes par centimètre carré).	15*b*	— — — .	200 (14.06)	1	— — — .	170 (11.95)
Aire des cylindres, en pouces carrés (mètres carrés).	15*c*	— — — .	1,060.3 (0.6841)	1	— — — .	625.6 (0.4010)
Consommation de houille, en livres par mille (kilogrammes par kilomètre).	15*a*,15*b*	— — — .	39.6 (11.16)	1	— — — .	30.4 (8.57)
Vaporisation, en livres d'eau par livre de houille, ou kilogramme d'eau par kilogramme de houille.	15*a*,15*b*	— — —	7.94	15*a*,15*b*	London & North Western.	7.94
Surface de chauffe du foyer, en pieds carrés (mètres carrés) . .	15*a*,15*b*	— — — .	159.1 (14.78)	1	Belfast Northern Counties.	82 (7.62)
Surface de la grille, en pieds carrés (mètres carrés)	15*a*, 15*b*, 15*c*	— — — .	20.5 (1,904)	1	— — — .	14.4 (1.338)
Tenders.						
Capacité de la soute à eau en gallons (mètres cubes)	1	Belfast Northern Counties.	2,090 (9.500)	1	— — — .	2,090 (9.500)
— — à charbon, en livres (kilogrammes) . . .	1	— — — .	7,465.9 (3,396.5)	1	— — — .	7,465.9 (3,396.5)
Poids total du tender en ordre de marche, en livres (kilogrammes)	15*a*,15*b*	London & North Western.	59,584 (27,027)	1	— — — .	57,120 (25,908)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621 .131.2 & 621 .134.4]

EXPOSÉ N° 3

(États-Unis)

Par J. B. SLACK,

ASSISTANT SUPERINTENDENT MOTIVE POWER, DELAWARE AND HUDSON COMPANY : ALBANY (N. Y.).

Afin d'obtenir sur les trains de grande vitesse les renseignements nécessaires, des formules de tableaux indiquant les renseignements à fournir ont été envoyées aux principales lignes des États-Unis.

Les tableaux et les diagrammes ci-après résument les renseignements fournis par les lignes qui ont répondu. Une étude attentive de ces tableaux et de ces diagrammes fera ressortir les principaux points intéressants et montrera quel est sur les lignes américaines l'usage général en ce qui concerne les locomotives pour trains de grande vitesse dans des conditions diverses. On remarquera que si, dans beaucoup de cas, les vitesses ne paraissent pas élevées, cela tient aux difficultés résultant de l'existence de fortes rampes ou de la lourdeur des trains. Pour que ce rapport fût plus complet, j'ai aussi cru bon d'y comprendre les trains les plus rapides pour chaque ligne, bien que, dans quelques cas, ces trains ne puissent pas être rangés strictement dans la catégorie des trains de grande vitesse: Les tableaux indiquent les catégories suivantes de trains, mais dans certains cas il est assez difficile de classer les trains, la ligne de démarcation ne pouvant être strictement tracée et la question de savoir dans quelle catégorie un train doit être rangé pouvant être discutée.

Tableau A : *Trains légers de grande vitesse mis en marche en 1899 sur des lignes à profil peu accidenté.*

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau B : *Trains lourds de grande vitesse mis en marche en 1899 sur des lignes à profil peu accidenté.*

Tableau A-1 : *Trains légers de grande vitesse mis en marche en 1889 sur des lignes à profil peu accidenté.*

Tableau B-1 : *Trains lourds de grande vitesse mis en marche en 1889 sur des lignes à profil peu accidenté.*

Tableau C : *Trains de grande vitesse mis en marche sur des lignes à profil accidenté.*

On remarquera que les renseignements des tableaux A et B sont beaucoup plus complets que ceux des tableaux A-1 et B-1. La raison en est qu'en 1889 les trains de grande vitesse étaient beaucoup moins nombreux qu'actuellement, et aussi que beaucoup de lignes n'ont pas été à même de fournir des renseignements certains sur les trains mis en marche en 1889.

Les diagrammes de locomotives (fig. 1 à 12) résument à peu près tous les différents types de locomotives employés dans le service à grande vitesse, et ont été choisis parmi un grand nombre d'autres comme représentant le mieux la pratique américaine. Les figures 1, 2 et 3 représentent les types de locomotives employés en 1889 sur le « Pennsylvania Railroad ». Les dimensions de ces machines non portées sur les diagrammes sont mentionnées dans le tableau B-1. Les figures 4 et 5 représentent les types de locomotives en service sur la même ligne en 1899. Les dimensions de ces machines sont données dans le tableau B. Les figures 6 et 7 représentent les locomotives employées en 1889 sur le « Chicago, Burlington & Quincy Railroad »; les dimensions de la figure 6 sont données dans le tableau B-1. Les figures 8 et 9 représentent les locomotives employées sur la même ligne en 1899. Les dimensions se rapportant à ces figures sont données dans le tableau B. La figure 10 représente le type de locomotive employé en 1899 par le « New York Central & Hudson River Railroad » pour ses trains légers à grande vitesse. On remarquera ici que, pour les trains à grande vitesse mis en marche en 1889, cette Compagnie a employé un type similaire dont celui-ci n'est qu'une modification. Les dimensions de cette locomotive sont indiquées dans le tableau A. La machine que représente la figure 11 a été employée sur la même ligne en 1899, pour les trains lourds. Les dimensions en sont indiquées dans le tableau B. Cette Compagnie a constaté que, bien que le type de locomotive représenté dans la figure 10 soit un type excellent pour le service en vue duquel il a été établi, l'augmentation constante du poids des trains exigeait une machine d'une puissance de traction plus considérable et ayant un poids adhérent correspondant. C'est pour répondre à cette nécessité que le type à dix roues représenté dans la figure 11 a été établi.

La figure 12 représente le type de locomotive *Atlantic* employé sur le « Central Railroad of New Jersey ». Les dimensions en sont indiquées dans le tableau A. Ce type et celui représenté par la figure 8 sont similaires. La différence principale consiste en ce que la machine représentée dans la figure 8 est une machine compound et qu'elle possède une chaudière à tirants radiaux droits et un foyer construit pour brûler du charbon gras, tandis que la machine représentée dans la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

figure 12 est une machine non-compound avec foyer Wootten brûlant de l'anthracite fin. La locomotive représentée dans la figure 5 est aussi semblable à celles-ci, sauf pour la chaudière qui est du type Belpaire. C'est aussi une machine non-compound.

Les figures 6 et 11 permettent, par leur comparaison, de se rendre compte des changements apportés de 1889 à 1899 aux types similaires de locomotives. Bien que l'une soit une locomotive *Mogul* et l'autre une machine à dix roues, elles ont toutes deux été établies pour un service similaire, c'est-à-dire pour un service de trains lourds de grande vitesse. On verra que l'augmentation de poids est considérable. Dans la locomotive représentée dans la figure 6, le poids sur les roues motrices n'est que de 91,500 livres, tandis que, dans la locomotive représentée dans la figure 11, il est de 128,900 livres. La capacité de la chaudière est aussi beaucoup plus grande. Dans la figure 6, la surface totale de chauffe est de 1,506 pieds carrés et dans la figure 11, de 2,908 pieds carrés. Si nous comparons les figures 3 et 10, représentant les locomotives à huit roues employées en 1889 et en 1899, nous constatons une augmentation similaire de ces éléments dans le type récent. Le poids sur les roues motrices est, dans la figure 3, de 77,200 livres, tandis que, dans la figure 10, il est de 90,100 livres. La surface totale de chauffe est, dans la figure 3, de 1,572 pieds carrés et, dans la figure 10, de 1,974 pieds carrés. Il apparaît donc que, lorsque le même type de locomotive a été conservé, il y a eu tendance à augmenter sensiblement les dimensions et la puissance de la locomotive. Dans beaucoup de cas, notamment pour le « Chicago, Burlington & Quincy Railroad » et pour le « Pennsylvania Railroad », cette augmentation de la puissance a été accompagnée de modifications radicales dans le dessin, ainsi qu'on peut le voir en comparant les figures 1, 2 et 3 avec les figures 4 et 5, ainsi que les figures 6 et 7 avec les figures 8 et 9.

Si nous relevons quelques-uns des points indiqués en détail dans les tableaux, nous constatons que la vitesse moyenne la plus élevée entre les points extrêmes, arrêts déduits (colonne 4), a été pour les trains légers, en 1889, de 48 milles à l'heure. En 1899, et sur la même ligne, elle a été de 50.7 milles à l'heure. La vitesse moyenne la plus élevée de toutes les lignes pour les trains de cette catégorie en 1899 est celle de 62.2 milles à l'heure fournie par le « Philadelphia & Reading ». Mais cette vitesse ne concerne qu'un parcours de 90 milles, et les deux trains à long parcours les plus rapides de cette catégorie paraissent être le train n° 15 du « Chicago, Burlington & Quincy Railroad » et le train n° 51 du « New York Central & Hudson River Railroad ». La vitesse réelle maximum indiquée par l'horaire du « New York Central & Hudson River Railroad » est de 68.5 milles à l'heure. Cependant le mille a été fait sur cette ligne à la vitesse de 102 milles à l'heure et l'on déclare qu'une vitesse de 112.5 milles à l'heure a été atteinte. Le type de locomotive qui semble être le plus en usage pour les trains de cette catégorie est le type à huit roues. Le tableau montre cependant que des locomotives *Mogul*, *Atlantic*, *Columbia*, à dix roues, et *Bicycle* (à un seul essieu moteur) sont aussi employées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les chaudières employées sont de diverses formes. La chaudière surhaussée avec tirants radiaux semble être plus employée qu'aucun autre type. Le type Wootten (perfectionné) est aussi fort en usage sur les lignes traversant des bassins anthraciteux où l'on peut obtenir à bon marché des menus de rebut. Ce modèle de chaudière, lorsqu'il est bien construit, donne d'excellents résultats et, grâce à sa grande surface de grille, il permet de brûler un combustible de très bas prix. La pression maximum dans la chaudière est, pour 1899, fort en augmentation sur 1889. Dans les machines anciennes, on remarquera que cette pression dépasse rarement 160 livres et descend souvent à 130 et 140 livres. Dans les locomotives récentes, au contraire, cette pression atteint presque toujours 180 à 200 livres. Nous constatons aussi une augmentation de la surface de chauffe, comme nous l'avons indiqué ci-dessus. C'est là naturellement une conséquence nécessaire de l'accroissement de puissance de la locomotive. On remarquera cependant que les dimensions des cylindres, bien que légèrement plus grandes dans quelques cas, en particulier la course du piston, ne semblent pas avoir augmenté dans une proportion aussi grande que les autres dimensions des locomotives. Cela résulte probablement de deux causes, d'abord de ce que beaucoup des locomotives anciennes avaient de trop grands cylindres, ensuite de ce que l'on a trouvé préférable et plus économique d'obtenir l'augmentation requise de puissance des cylindres en élevant la pression dans la chaudière plutôt qu'en agrandissant les cylindres. On remarquera cependant que lorsque la capacité des cylindres a été augmentée, ce résultat a été obtenu généralement par l'allongement de la course du piston. Dans les locomotives de 1889 des tableaux A-1 et B-1, la course du piston est toujours de 24 pouces, tandis que, dans beaucoup de machines de 1899 des tableaux A et B, cette course a été portée à 26 pouces. On a constaté que cette augmentation de la course du piston lorsque l'on emploie la coulisse, qui est d'un usage presque universel en Amérique, on obtenait une bien meilleure distribution de vapeur. Les objections tirées de la vitesse élevée du piston contre cet accroissement de la course ne semblent pas fondées, aucun inconvénient n'ayant été constaté de ce chef. On verra, dans les colonnes 62 et 63 des tableaux A et B, que des vitesses de piston de 1,400 et de 1,500 pieds par minute ont été atteintes dans plusieurs cas et que, dans un cas, on a même obtenu une vitesse de 1,755 pieds par minute.

Le système de clouure des chaudières employées en 1899 est dans presque tous les cas le double recouvrement pour les clouures circulaires et le joint où les pinces placées bout à bout sont réunies par deux couvre-joints et six rangées de rivets pour les rivures longitudinales. L'emploi des couvre-joints pour les clouures longitudinales est beaucoup plus répandu qu'en 1889. Ce fait résulte surtout de la nécessité d'une rivure plus forte à raison de l'augmentation de la pression.

La locomotive compound a été fort employée en 1899 pour les trains de grande vitesse. On verra par les tableaux A-1 et B-1 qu'aucune des lignes mentionnées ne signale l'emploi en 1889 de ce type de machine. En 1899, ainsi que l'indiquent les tableaux, 14 lignes employaient des machines non-compound, trois des locomotives

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

compound et deux des machines de l'un et l'autre système. Le train le plus rapide indiqué (tableau B « Philadelphia & Reading », nos 25 et 21) est remorqué par une locomotive compound.

Le tiroir équilibré Richardson, employé dans beaucoup de cas avec la lumière Allen, semble être le type de tiroir le plus en faveur en 1899, comme il l'était il y a dix ans. Le tiroir cylindrique est cependant employé dans quelques cas. Son emploi semble s'étendre, et comme on a remédié aux défauts qu'il présentait dans sa disposition primitive, ceux qui, l'ayant essayé, s'en sont faits les défenseurs, soutiennent qu'il offre beaucoup d'avantages sur le tiroir ordinaire. Parmi ces avantages, le principal réside dans la réduction considérable du frottement résultant de ce que la soupape peut être complètement équilibrée, et dans la grande longueur de l'ouverture de lumière en comparaison de celle obtenue avec le tiroir ordinaire. Comme on peut le voir dans la colonne 40, il y a tendance à supprimer l'avance linéaire à fond de course et, dans beaucoup de cas, à régler les tiroirs avec une avance négative. Cette disposition paraît être avantageuse, car la locomotive marche rarement avec le tiroir à fond de course; or, on sait que lorsque la course du tiroir est réduite, avec la coulisse, l'avance augmente si rapidement qu'au point de détente de marche, l'avance devient suffisante lorsque le tiroir est réglé avec une légère avance négative à fond de course. On constate aussi dans beaucoup de cas une tendance à donner au tiroir un découvert intérieur. Cette disposition paraît aussi être bonne en ce qu'elle permet à la vapeur de s'échapper plus facilement aux vitesses élevées et en ce qu'elle évite une compression exagérée.

Sauf deux exceptions, toutes les lignes placent le tender sur deux bogies à quatre roues. Le « Pennsylvania » et le « Chicago, Burlington & Quincy » n'emploient pas de bogies, mais ont adopté le tender à six roues avec essieux à déplacement latéral avec rappel par plans inclinés placés au-dessus des boîtes. Cette disposition semble présenter quelques avantages au point de vue de la réduction des dépenses de construction et d'entretien.

Là où il a été possible d'obtenir des chiffres, la composition des charbons employés varie considérablement. La composition moyenne du charbon bitumineux semble être de 7 à 11 $^1/_2$ p. c. de cendres et de 28 à 39 p. c. de matières volatiles. On remarquera une exception, celle constituée par le charbon bitumineux de Pocahontas employé sur le « Norfolk & Western » qui donne une proportion remarquablement peu élevée de cendres et de matières volatiles. La consommation de combustible par train-mille avec ce charbon est extrêmement peu élevée, comme le fait prévoir sa composition.

Comme on le verra par les tableaux, les renseignements portés dans les colonnes 56, 57 et 58 relatifs à la consommation du combustible et de l'eau et à la vaporisation par livre de charbon sont très maigres. La colonne 59 donne la puissance de traction théorique de la locomotive et sa comparaison avec les différents poids des trains remorqués par les diverses locomotives est intéressante. Il serait intéressant, dans la comparaison des différents types de tiroirs, des différentes dimensions des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lumières, etc., d'obtenir la pression effective moyenne maximum réelle dans le cylindre de la colonne 60, mais, comme on le verra, les renseignements fournis dans cette colonne sont si incomplets qu'ils n'ont qu'une valeur très minime.

Les colonnes 62 et 63 sont intéressantes en ce qu'elles donnent les vitesses moyenne et maximum des pistons. On verra que, bien que quelques lignes conservent encore pour la vitesse des pistons la limite de 1,000 pieds par minute considérée antérieurement comme convenable, la majorité des lignes admettent une vitesse plus grande et même, dans quelques cas, beaucoup plus élevée, comme nous l'avons déjà signalé.

Le rapport entre la surface de chauffe en pieds carrés et le volume total des cylindres en pieds cubes est indiqué dans la colonne 64 et, comme on le verra dans les tableaux A, B et C, il se rapproche, dans beaucoup de cas, de 250 et s'élève même dans un cas à 286. Voici quel était le rapport recommandé par le *Master Mechanic Committee* en 1897 :

180 pour le gros anthracite ;
200 pour le petit anthracite ;
200 pour le charbon bitumineux ;

pour les locomotives non-compound à voyageurs ou à marchandises [1].

On verra par les tableaux A-1 et B-1 qu'un rapport assez approché était adopté en 1889, mais la pratique récente semble indiquer qu'il serait bon d'avoir un rapport plus élevé de la surface de chauffe au volume des cylindres.

La colonne 65 donne le rapport de la surface de chauffe en pieds carrés à la surface de grille. On verra que ce rapport varie considérablement dans les locomotives brûlant la même qualité de combustible. Pour le coke et le charbon gras, la pratique semble être en faveur d'un rapport se rapprochant de 70, bien que dans quelques cas le rapport descende jusqu'à 44, tandis que dans d'autres il s'élève jusqu'à 95. Pour les locomotives brûlant du gros anthracite, ce rapport varie entre 19 et 44, la moyenne paraissant être 35. Une locomotive destinée à brûler de l'anthracite fin (Central Railroad of New Jersey, tableau A) a un rapport de 23. Cependant, les machines récemment construites en vue de brûler cette qualité de combustible ont une surface de chauffe beaucoup plus grande avec à peu près la même surface de grille et donnent des résultats satisfaisants.

En comparant les colonnes 23 et 24 des différents tableaux, on remarquera que les locomotives récentes présentent une augmentation considérable de la capacité en charbon et en eau du tender. Sur un grand nombre de lignes, l'emploi du bec mobile Ransbottom, prenant de l'eau en marche dans une rigole placée dans la voie, a été abandonné, et l'on a donné au tender une capacité suffisante pour qu'il puisse fournir toute l'eau nécessaire entre les points d'arrêt.

---

[1] La détente dans le cylindre de haute pression des locomotives compound n'ayant pas été indiquée, ce rapport n'a pas été calculé pour ces locomotives.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici quels sont, en résumé, les changements apportés, de 1889 à 1899, dans la construction des locomotives destinées au service à grande vitesse :

1° Les machines les plus récentes sont plus lourdes et plus puissantes;

2° La pression dans la chaudière a été augmentée et la disposition ainsi que la construction des chaudières ont été perfectionnées;

3° La locomotive compound est employée dans une plus grande mesure;

4° Le rapport de la surface de chauffe au volume des cylindres a été augmenté;

5° La capacité en charbon et en eau des tenders a été augmentée;

6° Il y a tendance à employer une plus longue course de piston dans les dernières locomotives;

7° L'emploi des tiroirs cylindriques s'étend;

8° On a adopté des vitesses de piston plus élevées que celles qui étaient antérieurement admises.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau A.

Trains légers à grande vitesse.

NOM DE LA LIGNE.	1	2	3	4	5	6	7	8		9		10	11	12	13	14	15
	Direction du trajet.	Points extrêmes du trajet.	Numéro du train.	Vitesse moyenne entre les points extrêmes, arrêts déduits.	Vitesse moyenne entre les points extrêmes, arrêts non déduits.	Distance entre les points extrêmes, en milles.	Nombre d'arrêts.	RAMPE MAXIMUM. Pieds par mille.	RAMPE MAXIMUM. Longueur en milles.	PLUS LONGUE RAMPE. Pieds par mille.	PLUS LONGUE RAMPE. Longueur en milles.	Plus grand trajet sans changement de locomotive.	Poids net du train en tonnes, non compris locomotive et tender.	Poids de la charge moyenne, en tonnes nettes.	Nombre de véhicules.	Vitesse d'horaire maximum en milles à l'heure.	Vitesse réelle maximum atteinte par milles à l'heure.
Baltimore & Ohio	Nord.	Washington à Philadelphie.	528	50.7	47.37	137	3	63 à 79	1.5	19 à 21	6.25	137	169	...	4	51.43	...
Boston & Maine	Ouest.	Portland à Boston.	76	43.83	40.65	111.78	4	46.4	0.8	27	6.2	111.78	181	28	5	66.36	72
Chicago, Burlington & Quincy	S. O.	Chicago et Burlington.	15	58	53.3	206	3	36.9	5.1	26	7.1	206	132	...	4	90	90
			7	53 3/4	47 1/2	206	5	36.9	5.1	26	7.1	206	175	...	5	70	90
Chicago, Rock-Island & Pacific	Ouest.	...	21	...	44	181	10	...	...	...	...	...	120	...	3	...	...
Central Railroad of New Jersey	Est.	Wayne Junct. et Jersey City.	524	53	53	85	Aucun.	37	2	20	6	91.2	160	...	4	50	50
Erie Railroad	—	Hornensville et Susquehanna.	2	57	45.9	140	7	12	...	...	...	140	212	...	5 & 6	...	...
Michigan Central	—	Windsor et Ft. Erie.	16	47.5	46.4	229	1	16.1	2.6	6.2	222	229	222	...	5	49.3	...
Michigan Central	Ouest.	Ft. Erie et Windsor.	17	46.1	45	229	1	19.6	0.6	13	8.7	229	222	...	5	49.2	...
New York Central & Hudson River.	Nord.	New York et Buffalo.	51	54.3	53.9	444.6	4	52.5	3.1	11.6	32	149	212	19	4	68.5	68
Philadelphia & Reading.	Est.	Philadelphie et Jersey City.	520	62.2	58.2	90.2	7	36.96	1.97	6.07	5.3	90.2	100	...	4	75	...
Southern Pacific	—	Oakland et Backersfield.	25	44.8	40	309.5	6	0	...	...	...	309.5	...	...	6	48	...
Vandalia.	—	St. Louis et Indianapolis.	14	49.02	42	240	15	69	500 ft.	36	3.6	165	152 1/2	11 1/2	4	60	80

Tableau A.

Trains légers à grande vitesse.

NOM DE LA LIGNE.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			29	30	31			32
	Type de locomotive.	Date de la construction de la première locomotive de cette classe.	Poids sur les roues motrices, en livres.	Poids sur le bogie d'avant, en livres.	Poids sur les roues porteuses (s'il y en a), en livres.	Poids total de la machine, en livres.	Poids total du tender, en livres.	Capacité en eau du tender, en gallons.	Capacité en charbon du tender, en tonnes nettes.	Type de chaudière.	Diamètre de la plus petite virole de la chaudière.	Pression de marche, en livres par pouce carré.	SURFACE DE CHAUFFE en pieds carrés. Foyer.	Extérieur des tubes.	Totale.	Surface de grille, en pieds carrés.	Voûte en briques dans le foyer.	TUBES. Longueur.	Diamètre extérieur.	Nombre.	Type de cloutures circulaires de la chaudière.
Baltimore & Ohio	10 roues.	Août 1896	113,000	32,200	...	145,200	85,000	4,000	8	Wagon top allongé.	60"	190	176.6	1,978.5	2,155.1	34.27	Non.	14'6 1/2"	2 1/4"	231	Recouvrement à double rivure.
Boston & Maine	8 —	1895	82,000	43,000	...	125,000	86,000	4,000	8	Wagon top allongé. entretoisem^t radial.	61 1/8"	180	149.7	1,845.3	1,995	26.41	Non.	11'9 3/8"	2"	299	
Chicago, Burlington & Quincy	Columbia.	Oct. 1895	84,450	22,150	22,100	128,700	102,000	5,000	10	Droit, entretoisem^t radial.	58 3/4"	200	187.4	1,392.7	1,580.1	44.47	Oui.	12'9"	2"	210	
	Mogul.	1892	106,500	18,500	...	125,000	92,000	5,000	10	Belpaire.	60"	180	135.5	1,553.6	1,689.1	29.75	Oui.	12'5"	2 1/4"	214	
Chicago, Rock-Island & Pacific	8 roues.	1886	54,400	34,300	...	...	88,700	2,700	5	Droit, entretoisem^t radial.	56"	160	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Central Railroad of New Jersey	Atlantic.	1896	80,000	34,300	29,700	144,000	82,000	3,600	6	Wootten perfectionné.	58 3/4"	200	183	1,563	1,746	76	Oui.	13'0"	1 3/4"	278	
Erie Railroad	—	...	84,290	36,544	20,165	151,000	116,600	6,000	12	Wootten perfectionné.	61"	200	160	2,127	2,287	64	Non.	15'0"	2"	271	
Michigan Central	8 roues.	1897	64,400	35,600	...	100,000	80,675	3,675	8	Entretoisem^t radial.	54"	180	131.3	1,235.7	1,377	17.1	Tubes seulem.	11'6"	2"	207	Recouvrement à double rivure.
Michigan Central	8 —	...	64,400	35,600	...	100,000	80,675	3,675	8	Entretoisem^t radial.	54"	180	131.3	1,235.7	1,377	17.1	Tubes seulem.	11'6"	2"	207	
New York Central & Hudson River.	8 —	1890	90,100	44,500	...	134,600	93,600	4,500	7	Crown bar wagon top.	60"	190	165	1,809	1,974	31.2	Oui.	12'0"	2"	288	
Philadelphia & Reading.	Bicycle.	Juill. 1895	50,500	36,500	35,000	122,000	79,500	4,000	6	Wootten, ciel droit.	58 3/4"	200	173	1,294	1,467	76	Oui.	10'3"	1 1/2"	373	
Southern Pacific	8 roues.	1898	85,850	45,550	...	131,400	101,900	4,500	11	Wagon top allongé.	61"	190	168	1,946	2,114	303	Oui.	12'0"	2"	312	
Vandalia.	8 —	Août 1895	86,000	45,000	...	131,000	93,000	4,500	9	Wagon top allongé.	61".	185	171.2	1,996.4	2,167.6	29.87	Non.	11'11"	2"	320	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau A. (*Suite.*)

Trains légers à grande vitesse

NOM DE LA LIGNE.	33 Type de clôtures longitudinales de la chaudière.	34 Locomotive compound ou non.	35 Système compound.	36 Diamètre des cylindres.	37 Course du cylindre.	38 Type des tiroirs.	39 Course des tiroirs.	40 Avance en pleine linéaire.	41 Recouvrement extérieur.	42 Recouvrement intérieur.	43 Dimensions des ouvertures d'admission.	44 Dimensions des ouvertures d'échappement.
Baltimore & Ohio	Joint buttant à deux couvre-joints.	Jumelle	...	21″	26″	Richardson équilibré.	5 13/16″	0	1″	— 1/8″	13/8″×19″	2 3/4″×19″
Boston & Maine	Joint buttant à deux couvre-joints.	—	...	19″	24″	Richardson équilibré.	5 3/4″	0	1″	Arrière — 7/32″ Avant 0″	1 1/4″×18″	2 3/4″×18″
Chicago, Burlington & Quincy	Joint buttant à sextuple rivure.	—	...	18″	26″	Cylindrique	6″	—5/32″	1″	— 1/4″	1 3/4″×21″	3″×5 1/2″
	Joint buttant à sextuple rivure.	—	...	19″	24″	Allen équilibré.	5″	—1/16″	7/8″	— 1/4″	1 1/2″ ×17 1/4″	3″×17 1/4″
Chicago, Rock-Island & Pacific	...	...	...	18″	24″	Richardson équilibré.	5 1/2″	....	...	...	1 1/4″×15″	2 1/2″×15″
Central Railroad of New Jersey	Joint buttant à deux couvre-joints.	Comp.	Vauclain.	13″ & 22″	26″	Cylindrique	5 1/2″	1/10″	1 1/4″	0	2 1/2 ×10 1/2″ 2 1/4″×8″	7 1/2″ ×10 1/2″ 7 1/2″×8″
Erie Railroad	...	—	—	13″ & 22″	26″	—	5 1/2″	...	H.P. 3/4″ B.P. 5/8″	H.P. — 1/16″ B.P. — 1/4″	1 1/2″	4 1/2″
Michigan Central	Joint buttant à deux couvre-joints.	Jumelle	...	18″	24″	Richardson équilibré.	5 1/2″	....	7/8″	1/32″	1 1/8″×17″	2 1/2″×17″
	Joint buttant à deux couvre-joints.	—	...	18″	24″	Richardson équilibré.	5 1/2″	....	7/8″	1/32″	1 1/8″×17″	2 1/2″×17″
New York Central & Hudson River	Joint buttant à deux couvre-joints.	—	...	19″	24″	Richardson équilibré.	5 1/2″	....	1″	0″	1 1/4″×18″	2 3/4″×18″
Philadelphia & Reading	Joint buttant à deux couvre-joints.	Comp.	Vauclain.	13″ & 22″	26″	Cylindrique	5 7/16″	1/32″	H.P. 7/8″ B.P. 5/8″	0″	1 1/2″×27″	4 1/2″×27″
Southern Pacific	Joint buttant à sextuple rivure.	Jumelle	...	20″	24″	Allen américain.	6″	1/16″	1 1/8″	— 3/32″	1 3/4″×18″	3″×18″
Vandalia	Joint buttant à sextuple rivure.	—	...	20″	24″	Richardson équilibré.	6″	1/32″	1 1/8″	0″	1 5/8″×20″	3″×20″

Tableau A. (*Suite.*)

Trains légers à grande vitesse

45 Diamètre des roues motrices ou couplées.	46 Dimensions des fusées des essieux moteurs.	47 Nature des coussinets des essieux moteurs.	48 Bogie de la locomotive à pivot oscillant ou rigide.	49 Poids du tender à vide, en livres.	50 Diamètre des roues du tender.	51 Nombre de roues sous le tender.	52 Dimensions des fusées du tender.	53 Qualité du combustible.	54 Proportion pour cent de cendres.	55 Proportion pour cent de matières volatiles.	56 Consommation de combustible par train-mille, en livres.	57 Consommation d'eau par train-mille, en gallons.	58 Vaporisation par livre de charbon.	59 Puissance de traction théorique de la locomotive d'après la surface de la chaudière. Pression moyenne effective maximum dans les cylindres d'après diagrammes d'indicateur.	60	61 Puissance de traction maximum d'après diagrammes d'indicateur.	62 Vitesse maximum du piston en pieds par minute.	63 Vitesse moyenne du piston.	64 Rapport entre la surface de chauffe et le volume engendré par le piston en pieds cubes.	65 Rapport entre la surface de chauffe et la surface de grille.
78″	8 1/2″×10″	Laiton.	Oscill.	36,000	33″	8	4 1/4″×8″	Coke.	...	...	...	...	...	22,344	...	...	961	948	207.2	62.9
72″	8 1/2″×11 1/2″	Bronze.	—	35,000	33″	8	4 1/4″×8″	Charbon tendre.	7	33	48	44	7 1/2	17,327	85	10,138	1,346	819	253.5	75.5
84 1/4″	Diam. 8 1/2″	Bronze phosphoreux.	—	40,000	42 1/2″	6	Diam. 6 1/4″	—	...	...	67.96	...	...	16,000	...	...	1,552	1,000	207	35.5
69″	Diam. 8″	— —	—	30,500	37″	8	4 1/4″	—	...	...	67.96	...	...	18,000	...	...	1,755	1,048	214	57
57 1/4″	7 1/2″×9″	...	Rigide.	...	33″	8	4 3/8″×7″	...	...	...	...	...	...	14,640	...	...	...	875	...	...
84 1/4″	8 1/2″×12″	Laiton.	Oscill.	40,120	36″	8	5″×8″	Authracite menu.	...	...	...	...	...	15,605	...	...	...	914	...	23
78″	8 1/2″×12″	—	—	42,800	36″	8	5″×9″	Charbon tendre.	...	...	...	...	...	17,299	...	...	1,094	...	...	35.7
69″	7 1/2″×8 1/2″	—	—	34,000	33″	8	4 1/4″×8″	—	...	...	...	...	...	16,230	...	...	959	924	195.5	81
69″	7 1/2″×8 1/2″	—	—	34,000	33″	8	4 1/4″×8″	—	...	...	...	...	...	16,230	...	...	957	896	195.5	81
78″	9×12 1/2″	Bronze.	Rigide.	42,100	36″	8	4 1/2″×8″	—	...	...	...	...	...	16,889	...	...	1,181	936	250.8	63.2
84″	8 5/8″ ×12 3/4″	Bronze Ajax.	—	...	36″	8	4 1/2″×8″	Authrac. en gros grains.	7.7	7.5	65.66	...	...	15,652	...	...	1,297	1,176	...	19.3
78″	9″×12″	Laiton.	—	39,650	33″	8	5″×9″	Charbon.	...	...	...	...	...	19,990	129.46	17,024	883	824	242.5	69.7
72″	8 3/4″×11 1/2″	Bronze phosphoreux.	—	40,100	33″	8	4″×8″	Charbon tendre.	9.5	46.5	...	...	...	19,460	...	...	1,472	901	248.5	72.4

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau B. Trains lourds à grande vitesse.

NOM DE LA LIGNE.	1 Direction du trajet.	2 Points extrêmes du trajet.	3 Numéro du train.	4 Vitesse moyenne entre les points extrêmes, arrêts déduits.	5 Vitesse moyenne entre les points extrêmes, arrêts non déduits.	6 Distance entre les points extrêmes, en milles.	7 Nombre d'arrêts.	8 RAMPE MAXIMUM. Pieds par mille.	8 RAMPE MAXIMUM. Longueur en milles.	9 PLUS LONGUE RAMPE. Pieds par mille.	9 PLUS LONGUE RAMPE. Longueur en milles.	10 Plus grand trajet sans changement de locomotive.	11 Poids net du train en tonnes, non compris locomotive et tender.	12 Poids de la charge moyenne, en tonnes nettes.	13 Nombre de véhicules.	14 Vitesse d'horaire maximum entre milles à Pleurtuit.	15 Vitesse d'horaire maximum entre milles à Pleurtuit.
Boston & Maine	Est.	Boston et Portland.	11	42.8	36.36	108.5	6	46.4	1 5/8	37	3.2	108.5	376	41	10	53.28	65
Baltimore & Ohio	Sud.	Philadelphie et Baltimore.	507	42.35	39.56	97	3	42	2 1/8	18 à 42	4.5	Même machine 97	347	...	8	48	—
		Baltimore et Washington.	507	48	48	40	0	41.7	1 1/4	19.8	4	40	339	...	9	53.7	—
Chicago, Burlington & Quincy	S. O.	Chicago et Burlington.	15	47	41	205	9	36.9	5.1	26	7.1	206	323	...	9	75	75
			5	43 1/2	39 1/2	206	6	36.9	5.1	26	7.1	206	256	...	7	60	75
Cleveland Cincinnati, Chicago & St. Louis	Est.	St. Louis et Indianapolis.	18	50	44	266	11	...	...	...	...	266	350 à 450	...	7 à 10	59 1/2	80 à 90
Chicago Great Western	Ouest.	Chicago et Minn'polis.	1	...	31	436.3	30	52.8	5	52.8	5	206	300	...	7	50	50
Chicago Milwaukee & St. Paul	—	Chicago et Milwaukee.	57	...	51.8	...	0	26	1 1/4	...	...	196	171	4	5	51.8	60
			3	46.9	44.7	...	2	26	1 1/4	...	...	196	437	2	12	44.7	50
Central Railroad of New Jersey	Est.	Perth Amboy et Jersey City.	208	50	50	121	0	32.7	0.8	22	1	59.8	240	...	8	50	50
Delaware & Hudson Co.	Nord.	Albany et Saratoga.	201	36	39	39	1	48	0.5	10	27	39	373	15	5	...	—
Erie	Est.	Hornellsville et Susq'hanna.	10	46	40	140	6	12	...	...	...	140	...	...	7	...	—
Michigan Central	—	Windsor et Ft. Erie.	10	43.7	42.8	229	1	16.1	2.6	6.2	22.2	229	292	...	7	44.4	—
New York, Chicago & St. Louis	—	Chicago et Ft. Wayne.	2	36.34	35.25	141	5	38.8	0.7	26.4	2.2	141	338	...	9	36.3	67
New York Central & Hudson River	Nord.	New-York et Saratoga.	201	49.7	49.7	182	2	1.6	12.5	1.6	12.5	149	373	15	5	...	—
		New-York et Buffalo.	11	44.5	43	44.46	6	52.5	3.1	11.6	32	149	564	38.4	13	...	—
Norfolk & Western	Est.	Norfolk et Richmond.	21	44.8	42.6	103	5	...	...	...	...	103	171.5	...	5	...	59
Philadelphia & Reading	S. E.	Camden et Atlantic City.	25 & 21	66.6	66.6	55.5	0	52.8	0.2	27.19	1.5	55.5	170	...	6	70	—
	Ouest.	Jersey City et Philadelphie.	521 & 535	51.9	49.2	90.8	3	36.96	1.97	6.07	5.3	90.8	193	...	5 et plus.	75	—
Pennsylvania	Est.	Pittsburg et Jersey City.	16	45.07	44.07	43.19	3 5 min. chac.	60.19	4.08	60.19	4.08	131.7	280	...	6	49.4	—
		Camden et Atlantic City.	209	63.6	63.6	58.3	0	27.36	0.62	26.9	4.3	58.3	287	...	8	71.3	79.6
Plant System	Nord.	Savannah et Jacksonville.	38	51.25	42.25	172	6	35	1.75	20	4.12	172	375	...	8	66	74
Southern Pacific	Est.	Oakland et Bakersfield.	7	...	29.3	309.5	...	Palier	...	...	...	309.5	...	...	10	40	—
Vandalia	Ouest.	Indianapolis et E. St. Louis.	11	43.02	37.48	238	17	49	0.47	35	3	165	285	104	8	48	75

Trains lourds à grande vitesse. **Tableau B.**

NOM DE LA LIGNE.	16 Type de locomotive.	17 Date de la construction de la première locomotive de cette classe.	18 Poids sur les roues motrices, en livres.	19 Poids sur le bogie d'avant, en livres.	20 Poids sur les roues porteuses (s'il y en a), en livres.	21 Poids total de la machine, en livres.	22 Poids total du tender, en livres.	23 Capacité en eau du tender, en gallons.	24 Capacité en charbon du tender, en tonnes nettes.	25 Type de chaudière.	26 Diamètre de la plus petite virole de la chaudière.	27 Pression de marche, en livres par pouce carré.	28 SURFACE DE CHAUFFE en pieds carrés. Foyer.	28 Extérieur des tubes.	28 Totale.	29 Surface de grille, en pieds carrés.	30 Voûte en briques dans le foyer.	31 TUBES. Longueur.	31 Diamètre extérieur.	31 Nombre.	32 Type de cloisons circulaires de la chaudière.
	8 roues.	1895	82,000	43,000	...	125,000	86,000	4,000	8	Wagon top allongé, entretois' radial.	61 1/8"	180	149.7	1,845.3	1,995	26.41	Non.	11' 9 3/8"	2"	299	Recouvrement à double rivure.
	10 roues.	Août 1896	113,000	32,200	...	145,200	85,000	4,000	8	Wagon top allongé.	60"	190	176.62	1,978.5	2,155.1	31.27	—	14' 6 1/2"	2 1/4"	231	
	10 roues.	Août 1896	113,000	32,200	...	145,200	...	...	...	...	...	...	De même que la ligne ci-dessus.								
	Atlantic.	Fév. 1899	85,850	40,200	33,000	159,050	102,000	5,000	10	Droit, entretois' radial.	62"	210	186	2,324	2,510	33.6	Oui.	16' 0"	2 1/4"	248	
	—	Fév. 1899	85,850	40,200	33,000	159,050	102,000	5,000	10	Id.	62"	210	86	2,324	2,510	33.6	—	16' 0"	2 1/4"	248	
	8 roues.	1897	86,000	46,000	...	130,000	105,000	5,000	10	Wagon top allongé, entretois' radial.	62"	200	165	1,997	2,162	31	Non.	12' 0"	2"	320	
	8 roues.	1887	73,800	38,700	...	112,500	110,000	6,000	10	Wagon top allongé.	58"	180	141.5	1,610	1,751.5	25.58	Oui.	12' 6"	2"	246	
	Atlantic.	Juin 1896	72,000	40,000	29,000	141,000	85,000	4,500	7	Droit, entretois' radial.	60"	200	171	2,074	2,245	30	—	15' 0"	2"	264	
	Atlantic.	Juin 1896	72,000	40,000	29,000	141,000	85,000	4,500	7	Id.	60"	200	171	2,074	2,245	30	—	15' 0"	2"	264	Recouvrement à double rivure.
	8 roues.	1893	88,250	37,300	...	125,550	80,070	3,500	6	Wagon top avec foyer étroit.	60"	175	224	1,484	1,708	38 1/2	Non.	11' 5"	2"	260	
	8 roues.	1899	84,600	41,600	...	126,200	84,500	4,000	8	Wootten.	59"	180	170	1,753	1,928	80	—	12' 11"	2"	260	
	Atlantic.	...	84,200	36,544	30,165	151,000	116,600	6,000	12	Wootten.	61"	200	160	2,127	2,287	64	—	15' 0"	2"	271	
	10 roues.	1888	101,800	26,200	...	128,000	87,200	3,900	10	Crown bar.	57"	180	137.1	1,566.7	1,703.8	28.5	Tubes seulement.	12' 6"	2"	241	
	8 roues.	Fév. 1896	67,000	33,000	...	100,000	70,000	3,150	7	Wagon top. Crown bar.	56"	165	146	1,366	1,512	18.33	Oui.	11' 9"	2"	222	
	8 roues.	1899	80,000	40,000	...	120,000	80,000	3,500	6 3/4	Id.	58"	180	151	1,671	1,822	27.3	—	12' 0"	2"	268	
	10 roues.	1899	128,900	60,000	...	168,900	102,000	4,500	10	Id.	66 1/4"	200	206	2,702	2,908	30.5	—	14' 4"	2"	360	
	8 roues.	1887	69,100	38,000	...	107,100	71,425	3,000	7.5	Id.	56"	140	141.8	1,556	1,697.8	18.5	—	12' 1"	2"	246	Recouvrement à simple rivure.
	Atlantic.	1896	73,500	41,500	37,000	152,000	79,500	4,000	6	Wootten à ciel droit.	58 3/4"	200	180	1,656	1,836	76	—	13' 0"	1 3/4"	278	
	Atlantic.	1896	73,500	41,500	37,000	152,000	79,500	4,000	6	Id.	58 3/4"	200	180	1,656	1,836	76	—	13' 0"	1 3/8"	278	
	D-16-A 8 roues.	1895	93,100	41,400	...	134,500	82,000	3,000	7.5	Belpaire.	60	185	171.4	1,746.6	1,918	33	Non.	11' 4 3/4"	1 7/8"	310	Recouvrement à double rivure.
	E-1 Atlantic.	1899	101,550	38,125	33,775	173,450	90,000	4,000	6	Belpaire foyer large.	67	185	218	2,102	2,320	68	Chamb. de combustion.	13' 0"	1 3/4"	353	
	10 roues.	Déc. 1898	105,000	34,000	...	139,000	91,000	4,200	8	Wagon top allongé, entretois' radial.	60"	200	160	1,892	2,052	28	Oui.	14' 0"	2"	238	
	8 roues.	1898	85,850	45,550	...	131,400	101,900	4,500	11	Wagon top allongé.	61"	190	168	1,946.7	2,114.7	30.3	—	12' 0"	2"	312	
	8 roues.	Mars 1899	90,900	48,100	...	139,000	116,800	6,000	10	Id.	61"	180	175	2,066	2,241	30.07	Non.	12' 4"	2"	320	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau B. (*Suite.*) — **Trains lourds à grande vitesse.**

NOM DE LA LIGNE.	33 Type de clôtures longitudinales de la chaudière.	34 Locomotive compound ou non.	35 Système compound.	36 Diamètre des cylindres.	37 Course du cylindre.	38 Type des tiroirs.	39 Course des tiroirs.	40 Avance linéaire.	41 Recouvrement extérieur.	42 Recouvrement intérieur.	43 Dimensions des ouvertures d'admission.	44 Dimensions des ouvertures d'échappement.
Boston & Maine	Joint butt. à (sext.rivure.)	Jumelle	...	19″	24″	Richardson équilibré.	5 3/4″	0″	1″	Arrière 7/32″ Avant 0	1 1/4″×18″	2 3/4″ 18
Baltimore & Ohio	Joint buttant à 2 couvre-joints	—	...	21″	26″	Id.	5 13/16″	0″	1″	-1/8″	1 5/8″×19″	2 5/8″×19″
	Comme la ligne ci-dessus.			...	...	...	...	...	...	...	...	...
Chicago, Burlington & Quincy	Buttant à sextuple rivure.	Comp.	Vauclain.	13 1/2 & 23″	26″	Piston.	5 1/2″	-1/32″	3/4″	-1/8″	1 1/2″ ×29 3/4″	4 1/2″ ×29 3/4″
Cleveland Cincinnati, Chicago & St. Louis	—	—	—	13 1/2 & 23″	26″	—	5 1/2″	-1/32″	3/4″	-1/8″	1 1/2″ ×29 3/4″	4 1/2″ ×29 3/4″
	Buttant à 2 couvre-joints.	Jumelle	...	20″	26″	Richardson équilibré.	5 1/2″	1/16″	1″	0″	1 3/8″×20″	2 3/4″×20″
Chicago Great Western	Id.	—	...	19″	24″	Plain Amer. équilibré.	5 3/4″	0″	1″	0″	1 3/8″×18″	2 3/4″×18″
Chicago Milwaukee & St. Paul	Id.	Comp.	Vauclain.	13″ & 22″	26″	Piston.	5 1/2″	0″	H. P. 7/8″ B. P. 5/8″	H. P. -1/8″ B. P. -1/4″	1 1/2″	4 1/2″
	Id.	—	—	13″ & 22″	26″	—	5 1/2″	0″	H. P. 7/8″ B. P. 5/8″	H. P. -1/8″ B. P. -1/4″	1 1/2″	4 1/2″
Central Railroad of New Jersey	Id.	Jumelle	...	20″	24″	Richardson équilibré.	6″	...	1″	0	1 1/2″×20″	3 1/2″×20″
Delaware & Hudson Co	Id.	—	...	19″	24″	Allen Richardson	5 1/2″	1/16″	7/8″	0	1 5/8″×18″	3″×18″
Erie	Id.	Comp.	Vauclain.	13″ & 22″	26″	Piston.	5 1/2″	...	H. P. 3/4″ B. P. 5/8″	H. P. -1/16″ B. P. -1/4″	1 1/2″	4 1/2″
Michigan Central	Id.	Jumelle	...	19″	24″	Allen Richardson	5 1/2″	0″ front 1/16″ back.	7/8″	0″	1 5/8″×18″	3″×18″
New York, Chicago & St. Louis	Recouvrem^t à triple riv.	—	...	18″	24″	Id.	6 1/4″	0″	1 1/8″	0″	1 1/4″×17″	2 1/2″×17″
New York Central & Hudson River.	Recouv^t et soudure.	—	...	19″	24″	Richardson équilibré.	5 1/2″	...	1″	0″	1 1/4″×18″	2 3/4″×18″
	Joint buttant à 2 couvre-joints	—	...	20″	28″	Américain équilibré.	5 1/2″	0″	1″	0″	1 1/4″×18″	2 3/4″×18″
Norfolk & Western	Recouv^t à double riv.	—	...	18 1/2″	24″	Richardson équilibré.	5 9/16″	1/16″	7/8″	1/32″	1 5/8″×16″	3″×16″
Philadelphia & Reading	Joint buttant.	Comp.	Vauclain.	13″ & 22″	26″	Piston.	5 7/8″	1/32″	L. P. 5/8″ B. P. 3/4″	...	1 1/2″ ×29 3/4″	4 1/2″ ×29 3/4″
	—	—	—	13″ & 22″	26″	—	5 7/8″	1/32″	—	...	1 1/2″ ×29 3/4″	4 1/2″ ×29 3/4″
Pennsylvania	Joint buttant.	Jumelle	...	18 1/2″	26″	Richardson équilibré.	6″	1/16″	1 1/8″	-5/32	1 1/4″×20″	3″×20″
		—	...	20 1/2″	26″	Id.	7″	-1/32″	1 1/2″	-5/32	1 1/2″×20″	3″×20″
Plant System	Buttant à sextuple rivure.	—	...	19″	26″	Id.	6″	2/64″	1″	0″	1 1/2″×18″	3″×18″
Southern Pacific	—	—	...	20″	24″	Allen américain.	6″	1/16″	1 1/8″	1/32″	1 3/4″×18″	3″×18″
Vandalia	—	—	...	20″	26″	Américain équilibré.	6″	0″	1 1/8″	...	1 5/8″×18″	3″×18″

Trains lourds à grande vitesse. — **Tableau B.** (*Suite.*)

45 Diamètre des roues motrices sur bandage, en pouces.	46 Dimensions des fusées des essieux moteurs.	47 Nature des coussinets des essieux moteurs.	48 Bogie de la locomotive à pivot oscillant ou rigide.	49 Poids du tender à vide, en livres.	50 Diamètre des roues du tender.	51 Nombre de roues sous le tender.	52 Dimensions des fusées du tender.	53 Qualité du combustible.	54 Proportion pour cent de cendres.	55 Proportion pour cent de matières volatiles.	56 Consommation de combustible par train-mille, en livres.	57 Consommation d'eau par train-mille, en gallons.	58 Vaporisation par livre de charbon.	59 Puissance de traction théorique de la locomotive, S / P. C. de la pression dans la chaudière.	60 Pression moyenne effective maximum dans les cylindres, d'après diagrammes d'indicateur.	61 Puissance de traction maximum, d'après diagrammes d'indicateur.	62 Vitesse maximum du piston, en pieds par minute.	63 Vitesse moyenne du piston.	64 Rapport entre la surface de chauffe et la surface de grille.	65 Rapport entre la surface de chauffe et la surface de grille.
72″	8 1/2″×11 1/2″	Bronze.	Oscill.	35,000	33″	8	4 1/4″ × 8″	Charb.tend.	7	33	57	55	8	17,327	Voir note. 85	10,138	1,215	800	253.5	71.7
78″	8 1/2″×10″	Laiton.	—	36,000	33″	8	4 1/4″×8″	Coke.	...	...	..	...	...	22,344	...	...	897	791	207.2	62.9
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1,004	897	207.2	...
84 1/2″	8 1/2″	Bronze phosphoreux.	Oscill.	40,000	42 1/4″	6	6 1/4″	Charb.tend.	...	...	87.38	...	...	18,400	...	...	1,290	808	...	74.4
84 1/2″	8 1/2″	—	—	40,000	42 1/4″	6	6 1/4″	—	...	...	78.25	...	...	18,400	...	...	1,290	748	...	74.4
78″	8 3/4″×11 1/2″	—	Rigide.	40,000	36″	8	5″×9″	—	5	...	67.6	...	...	21,333	...	...	1,683	935	229	69.7
68″	8 1/2″×10″	Laiton.	—	42,000	33″	8	4 1/2″×8″	—	8	...	...	...	...	18,300	...	...	990	613	222	68.4
78″	8″×12″	—	Oscill.	40,000	33″	8	4 1/4″×8″	—	7	39	88	...	...	16,850	...	...	1,122	969	...	74.8
78″	8″×12″	—	—	40,000	33″	8	4 1/4″×8″	—	7	39	78	...	...	16,850	...	...	935	877	...	74.8
78″	8″×12″	—	—	39,020	36″	8	5″×8″	Anthracite en blocs.	...	...	...	...	...	17,200	...	...	...	862	196	44.4
68″	8 1/2″×11 1/2″	—	Rigide.	35,200	33″	8	4 1/4″×8″	Anthracite menu.	...	...	...	...	...	18,345	...	...	...	712	245	24.1
70″	8 1/2″×12″	...	...	42,800	36″	8	5″×9″	Charb.tend.	...	...	...	...	...	17,280	...	...	1,094	...	...	35.7
68″	7 1/2″×8 1/2″	A bandes de métal bab.	...	35,000	33″	8	4 1/4″×8″	—	...	...	...	...	...	18,347	...	...	879	865	216.5	59.8
67″	7 1/2″×9 1/2″	Laiton.	Rigide.	30,000	33″	8	4 1/4″×8″	—	...	...	71.6	48.77	5.68	15,320	72	8,236	1,346	729	215	82
78″	8 1/4″×10 1/2″	Bronze.	—	36,000	33″	8	4 1/2″×8″	—	...	...	...	...	...	16,000	...	...	...	857	231.5	66.8
70″	9″×12″	--	Oscill.	44,500	33″	8	4 1/4″×8″	—	...	...	...	...	...	25,600	...	...	...	968	296	95
68″	7 1/2″×8 1/2″	Bronze phosphoreux.	—	31,425	33″	8	4″×7″	Pocahontas bitumineux.	.49 à 1.51	15.86 à 19.35	50	...	7.03	13,700	...	...	1,168	887	228	92
84″	8 7/2″×12″	Bronze Ajax.	—	...	36″	8	4 1/2″×8″	Anthrac. en gros grains.	7.7	7.5	76.28	...	...	15,652	...	...	1,211	1,152	...	24
84″	8 1/2″×12″	—	—	...	36″	8	4 1/2″×8″	Anthrac. en gros grains.	7.7	7.5	76.28	...	...	15,652	...	...	1,297	898	...	24
80″	8 1/2″×12 1/2″	Bronze phosphoreux.	Rigide.	35,000	36″	8	4 1/2″×8″	Bir. et anthracite.	11.5 et 9.5	28 és 4	...	...	...	16,460	...	...	820	899	237	58
80″	9 1/4″×13″ 8 1/2″×13″	—	—	45,000	42″	6	5″×9″	Anthracite.	9.5	4	...	...	...	20,214	...	...	1,157	1,449	231	34
80″	8 1/4″×10″	Bronze Ajax.	—	41,400	36″	8	4 1/4″×8″	Charb.tend.	10	16	57	53	7.4	21,800	74 mill. par heure. 38.5	5,200	1,561	1,081	240	73
62″	7 1/2″×8 1/2″	A dés de métal bab.	—	35,650	33″	8	4 1/4″×8″	Charbon.	...	...	...	...	...	23,162	...	...	694	...	197.8	69.7
70″	8 3/4″×11 1/2″	Bronze phos.	—	46,700	36″	8	5″×9″	Charb.tend.	9.5	46.5	...	...	...	19,200	...	...	804	1,402	237	74.6

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOM DE LA LIGNE.	1 Direction du trajet.	2 Points extrêmes du trajet.	3 Numéro du train.	4 Vitesse moyenne entre les points extrêmes, arrêts déduits.	5 Vitesse moyenne entre les points extrêmes, arrêts non déduits.	6 Distance entre les points extrêmes, en milles.	7 Nombre d'arrêts.	8 RAMPE MAXIMUM. Pieds par mille.	8 RAMPE MAXIMUM. Longueur en milles.	9 PLUS LONGUE RAMPE. Pieds par mille.	9 PLUS LONGUE RAMPE. Longueur en milles.	10 Plus grand trajet sans changement de locomotive.	11 Poids net du train en tonnes, non compris locomotive et tender.	12 Poids de la charge moyenne, en tonnes nettes.	13 Nombre de véhicules.	14 Vitesse d'horaire maximum, en milles à l'heure.	15 Vitesse réelle maximum, en milles à l'heure.
Tableau A-1.		**Trains légers à grande vitesse en 1889.**															
Baltimore & Ohio.	Sud.	Philadelphie et Baltimore.	Mixte 1	38.29	36.36	97	3	42	2 1/8	18 à 42	4.5	97	124	...	4	36.36	–
		Baltimore et Washington.	1	48	48	40	Aucun.	41.7	1 1/4"	19.8	4	40	124	...	4	50.7	–
Chicago, Rock-Island & Pacific.	Ouest.	...	5	...	33	181	...	...	...	...	...	181	200	...	5	...	–
Tableau B-1.		**Trains lourds à grande vitesse en 1889.**															
Chicago, Burlington & Quincy.	S. O.	Chicago et Burlington.	7	40	33 1/3	206	12	36.9	5.1	26	7.1	163	279	...	8	42	60
Vandalia.	Ouest.	E. St. Louis et Indianapolis.	7	42.62	36.61	238	17	49	0.5	35	3	165	151 1/2	63	5	44	60
	Est.	Indianapolis et E. St. Louis.	20	43.54	38.08	238	13	69	0.1	38	3.6	165	...	21	6	48	55
Pennsylvania.	–	Pittsburg et Jersey City.	2	39.1	37.6	431.9	3	60.19	4.08	60.19	4.08	131.7	286	...	6	40.2	–
	–	Camden et Atlantic City.	47	45.6	45.6	64.6	Aucun.	27.36	0.62	26.9	4.3	64.6	241	...	11	43.5	–
	–	Washington et Jersey City.	30	41.2	39.1	226.9	4	64.9	0.36	52.8	2.38	137.5	143	...	4	40.2	–
New York Central & Hudson River.	Nord.	New-York et Buffalo.	1	41.9	41.3	444.6	3	52.5	3.1	11.6	32	149	...	...	...	...	–
Tableau C.		**Trains à grande vitesse parcourant des lignes à profil accidenté.**															
Lehigh Valley.	Ouest.	Bethlehem et Buffalo.	1	41.94	32.89	359	23	*Voir* profil.				194	321	23	8	80	85
	Est.	Buffalo et Bethlehem.	4	44.35	39.32	359	13	...	...	...	...	194	357	26.5	9	80	85
	Ouest.	Jersey City et Buffalo.	9	50.04	46.17	447	12	...	...	...	...	194	241	20	5	80	90
	Est.	Buffalo et Jersey City.	10	50	45.75	447	13	...	...	...	...	194	241	20	5	80	90
Northern Pacific.	Ouest.	St. Paul et Portland.	1	31.89	29.72	205.7	87	116	7	9 Av. 8	356	272	497.5	47	12	54	–
	Est.	Portland et St. Paul.	2	29.91	27.89	205.7	88	116	8 1/2	22	106	272	497.5	47	12	54	–
Southern Pacific.	–	Bakersfield et Los Angeles.	25	26.3	25.2	168.2	3	116	26	116	26	168.2	...	...	4	37	–
Southern Railway.	Nord.	Washington et Monroe.	36	39.3	32.1	166	17	71	1 1/4	11' à 44' à 71'	3, 1 1 1/2	166	474	52	11	50.6	47.5
	Sud.	Washington et Monroe.	35	42.8	38.9	166	7	70	1	(54' à 12' à 45'	1 1/2, 1 2 1/2	166	394	44	9	58	46.5

NOM DE LA LIGNE.	16 Type de locomotive.	17 Date de la construction de la première locomotive de cette classe.	18 Poids sur les roues motrices, en livres.	19 Poids sur le bogie d'avant, en livres.	20 Poids sur les roues porteuses (s'il y en a), en livres.	21 Poids total de la machine, en livres.	22 Poids total du tender, en livres.	23 Capacité en eau du tender, en gallons.	24 Capacité en charbon du tender, en tonnes nettes.	25 Type de chaudière.	26 Diamètre de la plus petite virole de la chaudière.	27 Pression de marche, en livres par pouce carré.	28 SURFACE DE CHAUFFE en pieds carrés. Foyer.	28 SURFACE DE CHAUFFE en pieds carrés. Extérieur des tubes.	28 SURFACE DE CHAUFFE en pieds carrés. Totale.	29 Surface de grille, en pieds carrés.	30 Oui, si briques dans le foyer.	31 TUBES. Longueur.	31 TUBES. Diamètre extérieur.	31 TUBES. Nombre.	32 Type de cloures circulaires de la chaudière.
Trains légers à grande vitesse en 1889. **Tableau A-1.**																					
Baltimore & Ohio.	8 roues.	Sept. 1883	62,400	31,900	...	94,200	65,600	3,000	6 1/2	Wagon top.	49 1/4"	133	133·85	1,010·59	1,144·44	26·28	Oui.	11' 11"	2 1/4"	141	Double rivure.
	–	Sept. 1883	62,400	31,900	...	94,300	65,600	3,000	6 1/2	—	49 1/4"	133	133·85	1,010·59	1,144·44	26·28	—	11' 11"	2 1/4"	144	
Chicago, Rock-Island & Pacific.	–	1886	...	34,300	...	...	88,700	2,700	5	Droit entre-tois. radial.	56	160	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Trains lourds à grande vitesse en 1889. **Tableau B-1.**																					
Chicago, Burlington & Quincy.	Mogul.	Nov. 1887	91,500	18,500	...	116,000	74,000	3,500	7·5	Belpaire.	56"	160	126	1,380	1,506	27·1	Oui.	12' 4 13/16"	2 1/4"	190	Recouvrement à double rivure.
Vandalia.	8 roues.	Feb. 1883	54,700	29,100	...	83,800	59,500	3,000	6	Wagon top.	52"	140	121·5	1,052·4	1,173·9	17·25	Non.	11' 2 1/2"	2"	180	
	–	Feb. 1883	54,700	29,100	...	83,800	59,500	3,000	6	—	52"	140	121·5	1,052·4	1,173·9	17·25	—	11' 2 1/2"	2"	180	
Pennsylvania.	Tinsburg div. & Phil. div. A-II A.	1884	67,800	32,800	...	100,600	56,300	2,400	6	—	54"	140	164·39	1,365·8	1,530·2	34·8	Non.	10' 10 5/8"	2"	240	
	Middle div. D-8.	1883	57,700	33,600	...	91,300	50,500	2,400	4	—	54"	130	142	1,250	1,392	17·6	Oui.	11' 11 7/8"	2 1/4"	193	
	N. Y. div. D-10 A.	1889	77,200	35,000	...	112,200	69,700	3,000	7·5	Belpaire.	57"	160	137	1,435	1,572	33·22	Non.	11' 3 3/4"	1 7/8"	258	
	D-11 A.	1884	67,800	32,800	...	100,600	56,300	2,400	6	Wagon top.	54"	140	164·39	1,365·8	1,530·2	34·8	—	10' 10 7/8"	2"	240	
	D-11 A.	1884	67,800	32,800	...	100,600	56,300	2,400	6	—	54"	140	164·39	1,365·8	1,530·2	34·8	—	10' 10 5/8"	2"	240	
New York Central & Hudson River.	8 roues.	1884	55,700	33,000	...	88,100	62,700	2,500	6	—	50"	150	153	1,200	1,353	17·9	...	11' 8"	2"	200	...
Trains à grande vitesse parcourant des lignes à profil accidenté. **Tableau C.**																					
Lehigh Valley.	8 roues.	1892	90,000	38,500	...	128,500	96,500	4,000	10	Wootten modifié.	61"	160	154	1,751	1,905	67·7	Non.	13' 7 1/2"	2"	248	Recouvrement à double rivure.
	–	1892	90,000	38,500	...	128,500	96,500	4,000	10	Wootten modifié.	61"	160	154	1,751	1,905	67·7	—	13' 7 1/2"	2"	248	
	Atlantic.	1896	81,800	29,100	30,050	140,950	96,500	4,000	10	Wootten modifié.	61"	180	136	2,080	2,216	63·7	—	15' 1"	2"	265	
	–	1896	81,800	29,100	...	140,950	96,500	4,000	10	Wootten modifié.	61"	180	136	2,080	2,216	63·7	—	15' 1"	2"	265	
Northern Pacific.	10 roues.	Avril 1897	112,000	Simple 38,600	...	Simple 150,600	94,000	4,350	9	Wagon top allongé.	62"	200	168·03	2,316·97	2,485	30·8	Oui.	14' 0"	2"	314	
	–	Avril 1897	112,000	Comp. 43,500	...	Comp. 155,500	94,000	4,350	9	Wagon top allongé.	62"	200	168·03	2,316·97	2,485	30·8	—	14' 0"	2"	314	
Southern Pacific.	–	1895	112,050	30,300	...	142,350	92,200	4,000	11	Wagon top.	59"	180	137	1,731	1,868	27·85	—	12' 5 1/4"	2"	263	
Southern Railway.	–	1897	116,870	39,190	...	156,065	89,000	4,500	8	Wag. top allongé entretois. radi l.	62"	200	194	2,226	2,420	35	—	14' 6"	2"	295	
	–	1897	116,870	39,190	...	156,065	89,000	4,500	8	Wag. top allongé entretois. radial.	62"	200	194	2,226	2,420	35	—	14' 6"	2"	295	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOM DE LA LIGNE.	33 Type de clôtures longitudinales de la chaudière.	34 Locomotive compound ou non.	35 Système compound.	36 Diamètre des cylindres.	37 Course du cylindre.	38 Type des tiroirs.	39 Course des tiroirs.	40 Avance intérieure.	41 Recouvrement extérieur.	42 Recouvrement intérieur.	43 Dimensions des ouvertures d'admission.	44 Dimensions des ouvertures d'échappement.	45 Diamètre des roues motrices sur bandage, en pouces.	46 Dimensions des fusées des essieux moteurs.	47 Nature des coussinets des essieux moteurs.	48 Règle de la locomotive à pivot oscillant ou rigide.	49 Poids du tender à vide, en livres.	50 Diamètre des roues du tender.	51 Nombre de roues sous le tender.	52 Dimensions des fusées du tender.	53 Qualité du combustible.	54 Proportion pour cent de cendres.	55 Proportion pour cent de matières volatiles.	56 Consommation de combustible par train-mille, en livres.	57 Consommation d'eau par train-mille, en gallons.	58 Vaporisation par livre de charbon.	59 Puissance de traction théorique de la locomotive, 80 p. c. de la pression dans la chaudière.	60 Pression moyenne effective maximum dans les cylindres d'après diagrammes d'indicateur.	61 Puissance de traction maximum d'après diagrammes d'indicateur.	62 Vitesse maximum du piston en pieds par minute.	63 Vitesse moyenne du piston.	64 Rapport entre la surface de chauffe et la surface de grille.	65 Rapport entre la surface de chauffe et la surface de la grille.
Tableau A-1. (*Suite.*)	**Trains légers à grande vitesse en 1889.**																																	
Baltimore & Ohio	Recouvrement et couvre-joint intérieur.	Simple.	...	19″	24″	Richardson équilibré.	4 3/8	1/16″	1″	—	11/4″×18″	3″×15″	66″	7 1/2″×7 1/2″	Laiton.	Rigide.	28,000	33″	8	3 3/4″×7″	Charbon tendre.	...	...	...	...	...	13,564	...	...	...	747	145.4	43.5
	—	—	...	19″	24″	Richardson équilibré.	4 5/8	1/16″	1″	—	11/4″×18″	3″×15″	66″	7 1/2″×7 1/2″	—	—	28,000	33″	8	3 3/4″×7″	—	...	...	...	...	...	13,564	...	...	988	936	145.4	43.5
Chicago, Rock-Island & Pacific	...	...	...	18″	24″	Richardson équilibré.	5 1/2″	...	...	—	11/4″×15″	2 1/2″×15″	57 3/4″	7 1/2″×9″	...	—	...	33″	8	4 3/8″×7″	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	656	...	...
Tableau B-1. (*Suite.*)	**Trains lourds à grande vitesse en 1889.**																																	
Chicago, Burlington & Quincy	Buttant à sext. rivuré	Simple.	...	19″	24″	Allen équilibré.	5″	1/16″	7/8″	1/4″	1 1/2″ ×17 1/4″	3″×17 1/4″	66″	8″	Bronze phos.	Oscill.	30,000	37″	8	4 1/4″	Charbon tendre.	...	...	77.66	...	...	...	...	...	1,260	840	191	55.8
	Recouv. à double riv.	—	...	17″	24″	Plain.	5″	1/16″	3/4″	1/16″	11/4″×15″	2 1/2″×15″	60″	7″×9″	Laiton.	Rigide.	20,800	33″	8	3 1/2″×7″	—	9 1/2″	46 1/2″	...	...	...	11,771	...	...	1,224	869	186	68
Vandalia	Recouv. à double riv.	—	...	17″	24″	—	5″	1/16″	3/4″	1/16″	11/4″×15″	2 1/2″×15″	60″	7″×9″	—	—	20,800	33″	8	3 1/2″×7″	—	9 1/2″	46 1/2″	...	...	...	...	...	...	1,122	887	186	68
	Joint buttant.	—	...	18 1/2″	24″	Glissant équilibré.	5″	1/16″	3/4″	0	1 1/4″ ×17 1/4″	2 1/2″ ×17 1/4″	56″	8″×10 1/2″	Bronze phos.	—	24,300	33″	8	4″×8″	—	11.5	28	...	...	...	13,530	...	...	796	772	205	44
	Joint buttant.	—	...	17″	24″	Glissant équilibré.	5″	1/16″	3/4″	0	1 1/4″ ×17 1/4″	2 1/2″ ×17 1/4″	56″	8″×7 5/8″	—	—	22,500	33″	8	4″×8″	—	11.5	28	...	...	...	11,630	...	...	872	846	229	79
Pennsylvania	Joint buttant.	—	...	18 1/2″	24″	Glissant équilibré.	5″	1/16″	3/4″	0	1 1/4″ ×17 1/4″	2 1/2″ ×17 1/4″	56″	8 1/2″×10 1/2″	—	—	29,700	33″	8	4″×8″	—	11.5	28	...	...	...	15,460	...	...	796	772	210	47.3
	Joint buttant.	—	...	18 1/2″	24″	Glissant équilibré.	5″	1/16″	3/4″	0	1 1/4″ ×17 1/4″	2 1/2″ ×17 1/4″	56″	8 1/2″×10 1/2″	—	—	24,300	33″	8	4″×8″	—	11.5	28	...	...	...	13,530	...	...	861	...	205	44
	Joint buttant.	—	...	18 1/2″	24″	Glissant équilibré.	5″	1/16″	3/4″	0	1 1/4″ ×17 1/4″	2 1/2″ ×17 1/4″	56″	8 1/2″×10 1/2″	—	—	24,300	33″	8	4″×8″	—	11.5	28	...	...	...	13,530	...	...	795	815	205	44
New York Central & Hudson River	...	—	...	17″	24″	Richardson équilibré.	5 1/4″	...	7/8″	0	1 1/4″ ×15 1/2″	2 1/2″ ×15 1/2″	57″	7″×8″	...	—	26,900	33″	8	3 3/4″×7″	—	...	...	...	...	...	11,890	...	...	...	806	215	75.5
Tableau C. (*Suite.*)	**Trains à grande vitesse parcourant des lignes à profil accidenté.**																																	
	Butt. sext. à 2couv.joint^s	Simple.	...	20″	24″	Richardson équilibré.	5 3/4″	1/32″	1″	0	1 3/8″×19″	3″×19″	68″	8 1/2″×11″	Bronze phos.	Oscill.	34,000	36″	8	4 1/4″×8″	Anthracite et bitum.	...	...	...	...	...	19,200	...	...	1,683	829	218	28
	Butt. sext.à 2couv.joint^s	—	...	20″	24″	Richardson équilibré.	5 3/4″	1/32″	1″	0	1 3/8″×19″	3″×19″	68″	8 1/2″×11″	—	—	34,000	36″	8	4 1/4″×8″	Anthracite et bitum.	...	...	...	...	...	19,200	...	...	1,683	877	218	28
Lehigh Valley	Butt. sext. à 2couv.joint^s	—	...	19″	26″	Richardson équilibré.	6″	1/32″	1 1/8″	1/32″	1 3/8″×19″	3 1/4″×20″	68″	8 1/2″×11″	—	—	34,000	36″	8	4 1/4″×8″	Anthracite en blocs.	...	...	...	...	...	18,895	...	...	1,728	961	260	34.8
	Butt. sext. à 2couv.joint^s	—	...	19″	26″	Richardson équilibré.	6″	1/32″	1 1/8″	1/32″	1 3/8″×19″	3 1/4″×20″	68″	8 1/2″×11″	—	—	34,000	36″	8	4 1/4″×8″	Anthracite en blocs.	...	...	...	...	...	18,895	...	...	1,728	961	260 simple	34.8
	Butt. sext. à 2couv.joint^s	Simple &comp.	Shenectady.	Simple 20″ comp. 22″×34″	26″	Allen américain.	5 13/16″	1/8″	1 1/8″	1/8″	1 3/8″×20″	3″×20″	68″	8 1/2″×11″ Av. et Ar. 9″×11″ milieu	—	—	39,600	33″	8	4 1/2″×8″	Charbon tendre.	...	...	...	...	...	24,116	...	...	1,139	673	263.2	80.6
Northern Pacific	Butt. sext. à 2couv.joint^s	Simple &comp.	Shenectady.	Simple 20″ comp. 22″×34″	26″	Allen américain.	5 13/16″	1/8″	1 1/8″	1/8″	1 3/8″×20″	3″×20″	68″	8 1/2″×11″ Av. et Ar. 9″×11″ milieu	—	—	30,600	33″	8	4 1/2″×8″	—	...	...	...	...	...	24,116	...	...	1,139	631	263.2 simple	80.6
Southern Pacific	Recouvrement et rangées de rivets	Simple.	...	20″	2.″	Allen américain.	6″	1/16″	1 1/8″	1/32″	1 3/4″×18″	3″×18″	66″	7 1/2″×8 1/2″	Métal Babbit.	Rigide.	35,650	33″	8	4 1/4″×8″	—	...	...	...	...	...	17,603	143.51	19,447	856	609	197.8	67
	Butt. sext. à 2couv.joint^s	—	...	21″	28″	Richardson équilibré.	5 1/2″	1/32″	1″	0	1 1/2″×19″	3 1/2″×19″	68″	8 1/2″×11″	Bronze.	Oscill.	35,500	38″	8	4 1/4″×8″	—	4.61	23.63	56.8	63.34	9.3	27,468	...	...	1,044	857	216	69
Southern Railway	Butt. sext. à 2couv.joint^s	—	...	21″	28″	Richardson équilibré.	5 1/2″	1/32″	1″	0	1 1/2″×19″	3 1/2″×19″	68″	8 1/2″×11″	—	—	35,500	38″	8	4 1/4″×8″	—	...	...	...	...	...	...	...	...	1,022	933	216	69

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

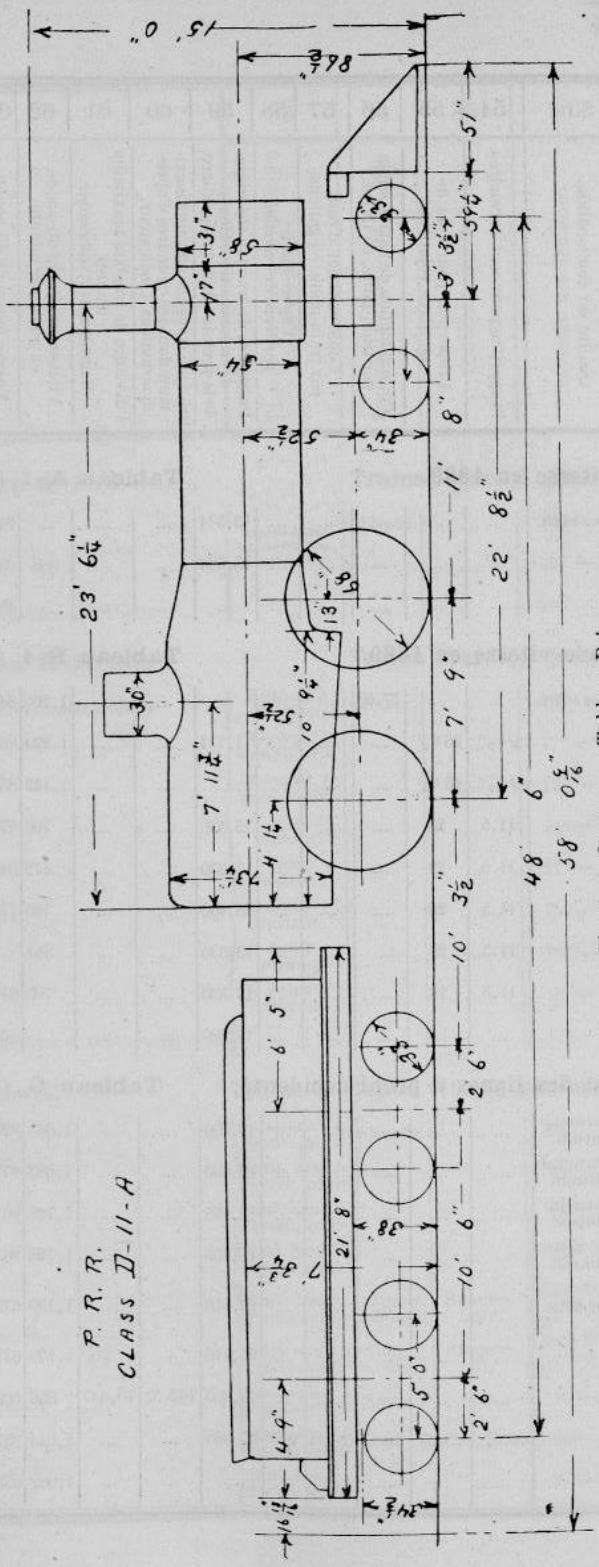


Fig. 1. — 8 roues. — Tableau B-1.

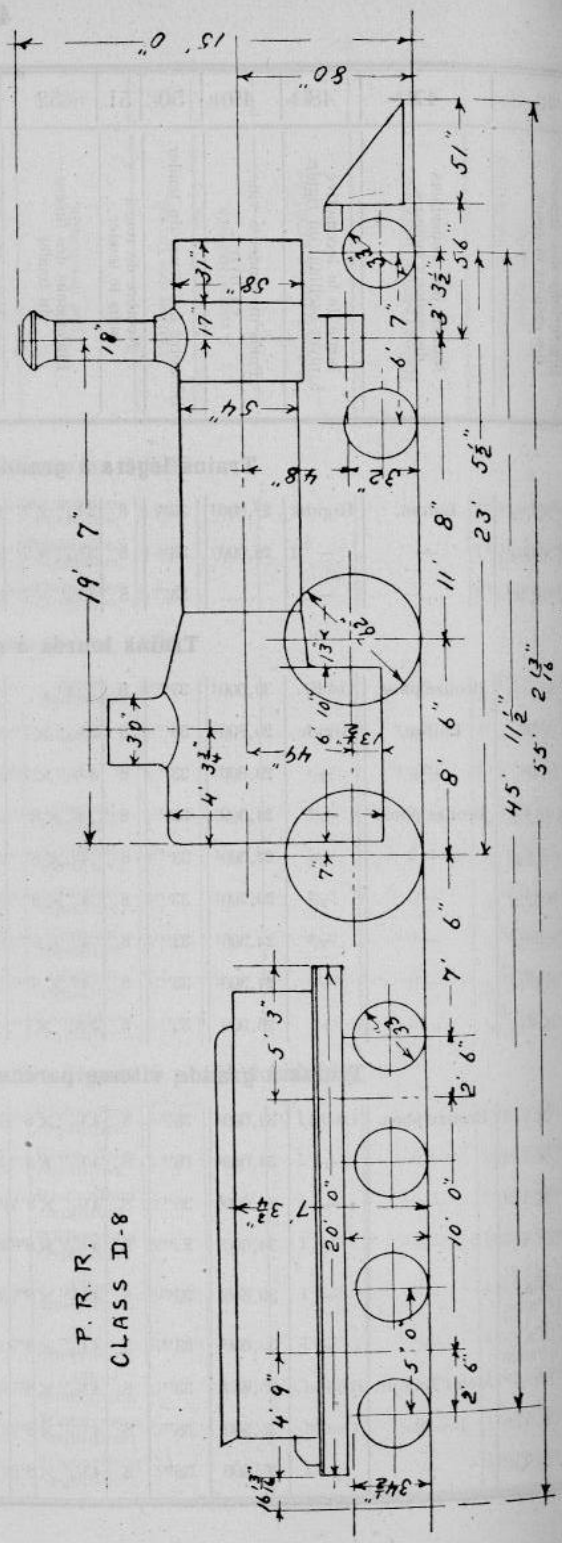


Fig. 2. — 8 roues. — Tableau B-1.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

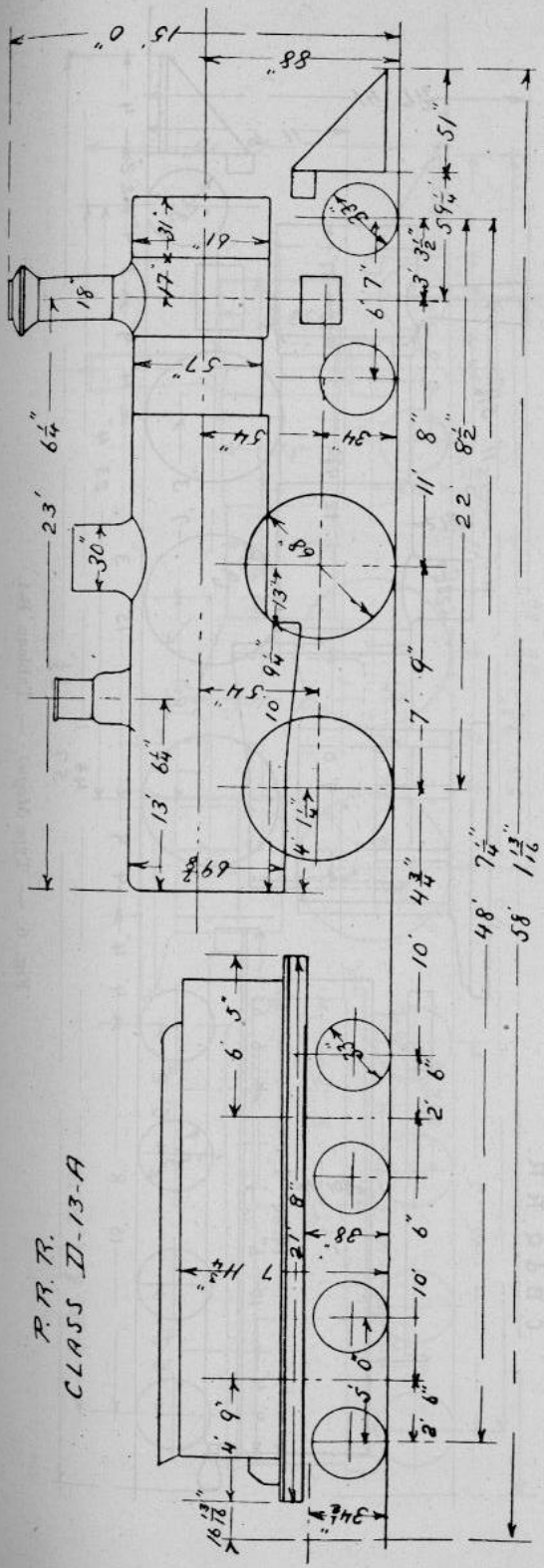


Fig. 3. — 8 roues. — Tableau B-1

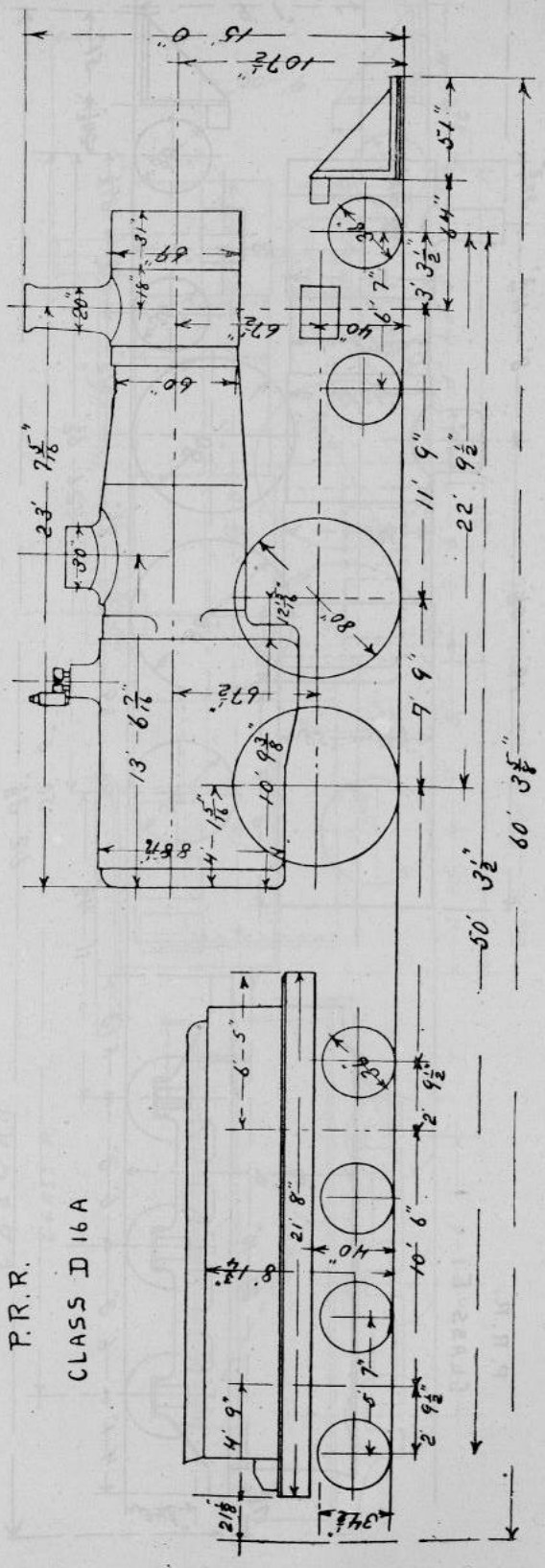


Fig. 4. — 8 roues. — Tableau B.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

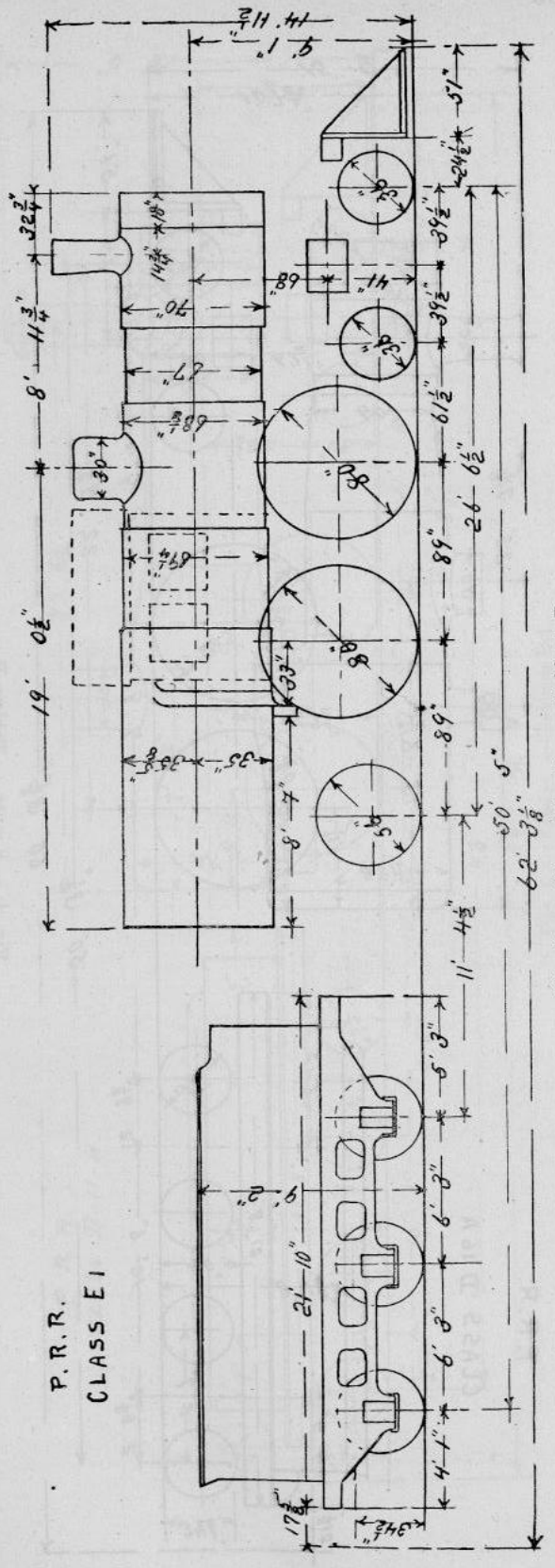


Fig. 5. — Type *Atlantic*. — Tableau B.

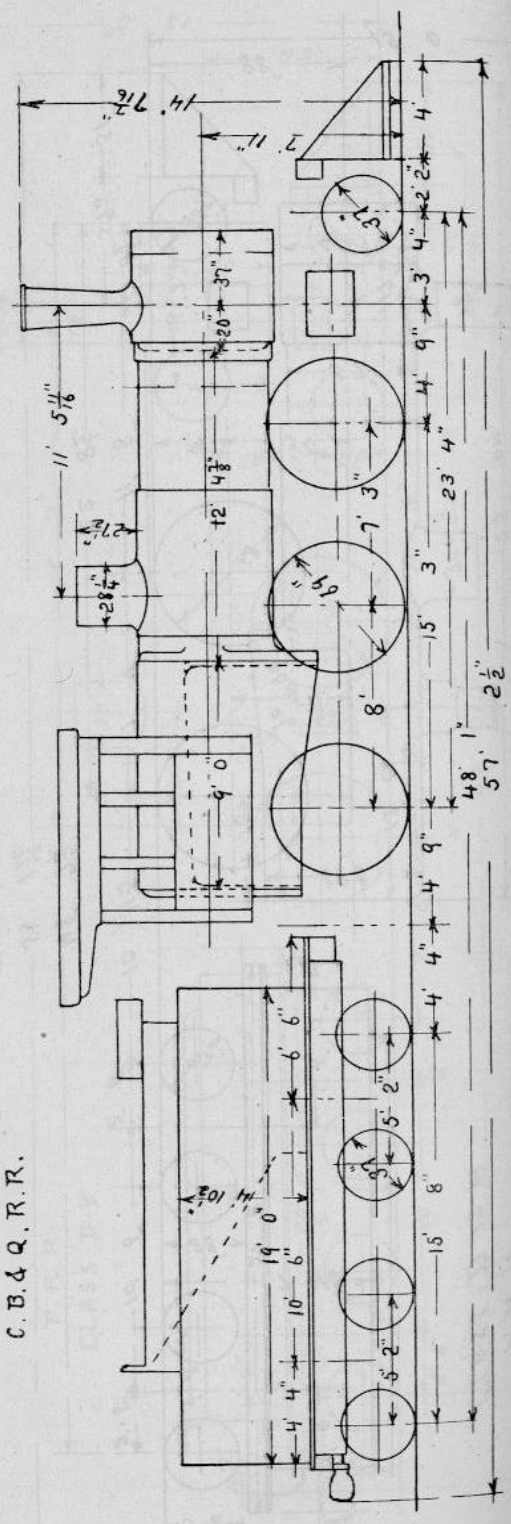


Fig. 6. — Type *Mogul*. — Tableau B-1.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

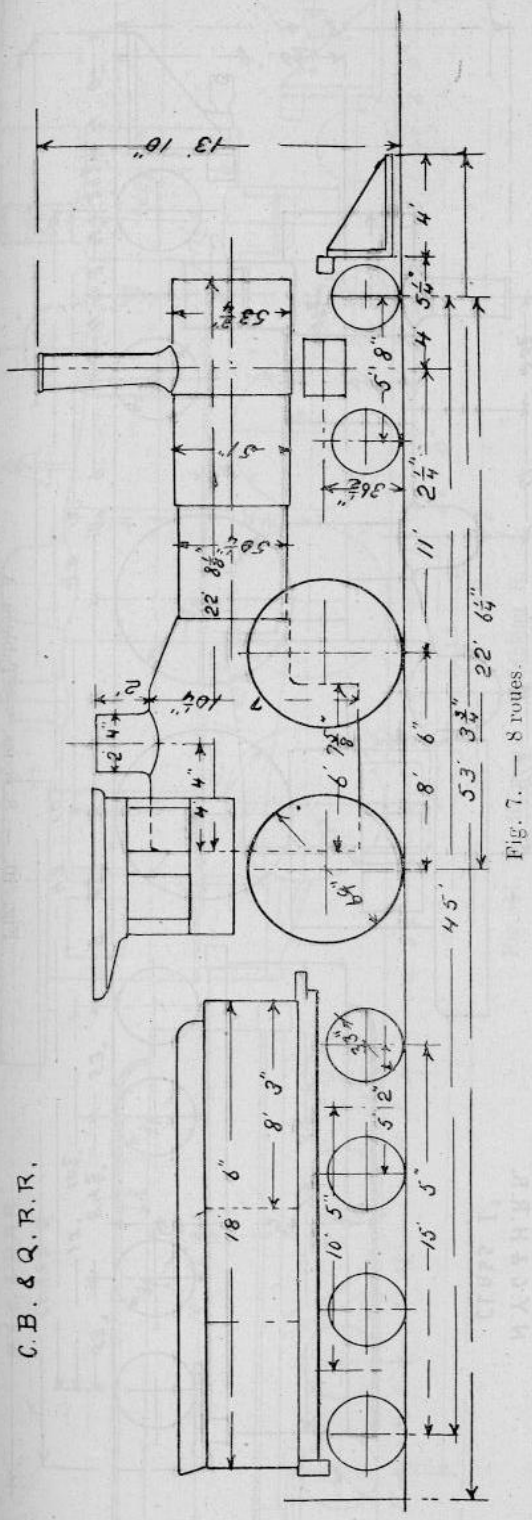


Fig. 7. — 8 roues.

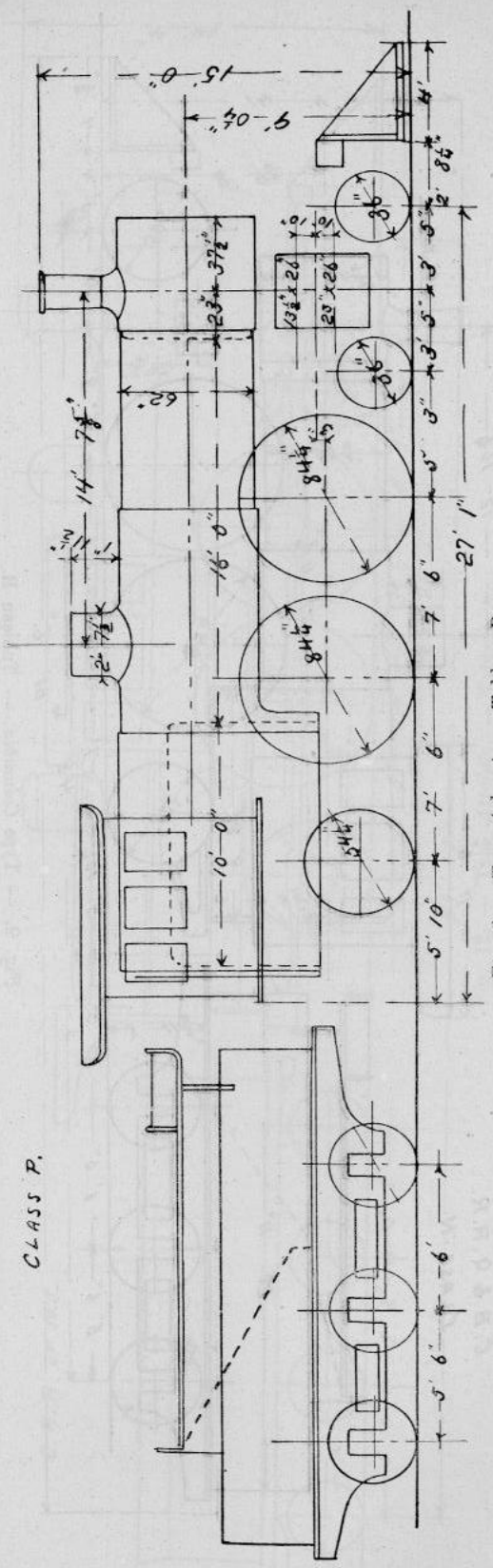


Fig. 8. — Type *Atlantic*. — Tableau B.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

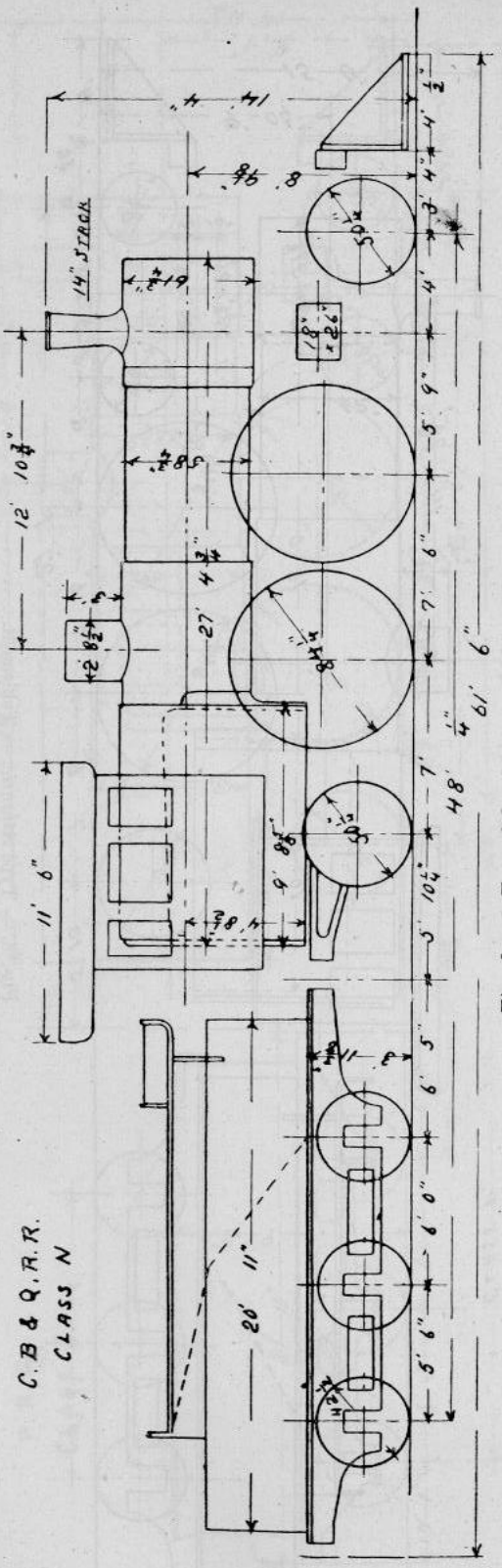


Fig. 9. — Type *Columbia*. — Tableau B.

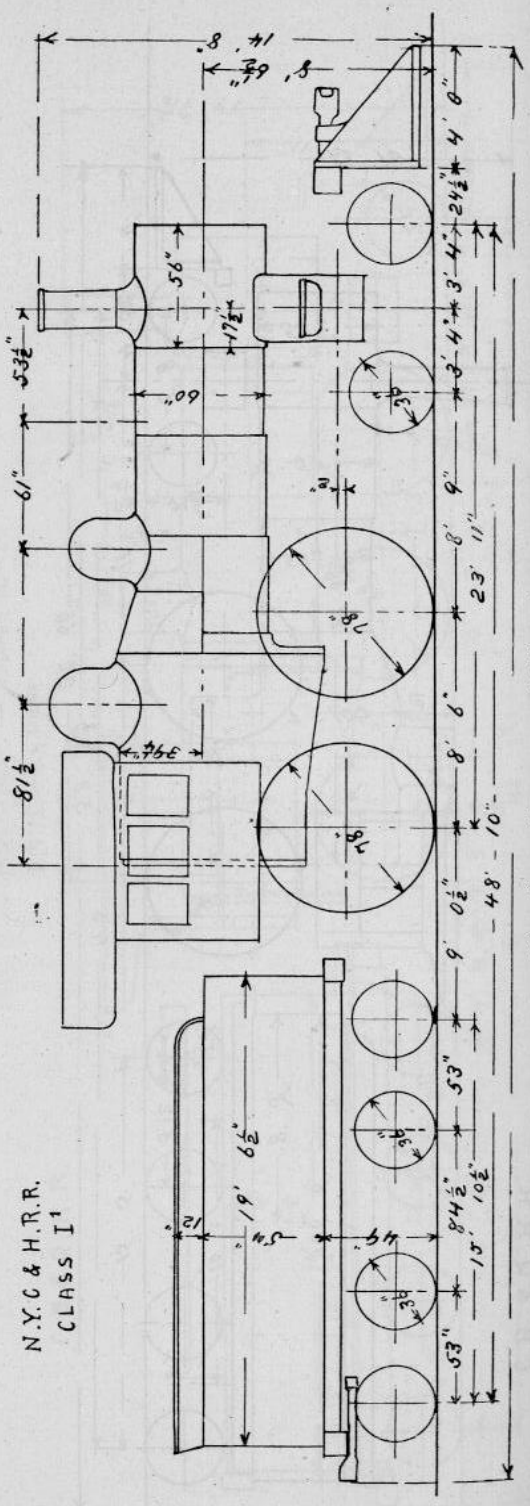


Fig. 10. — 8 roues. — Tableau A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

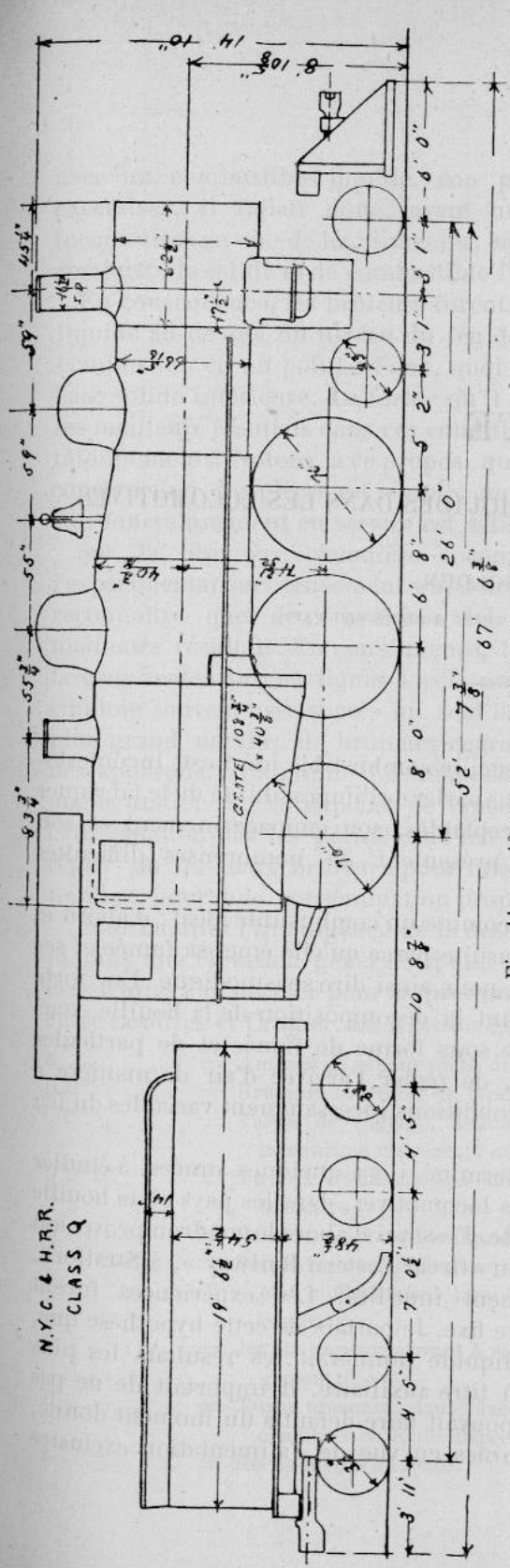


Fig. 11. — 10 roues. — Tableau B.

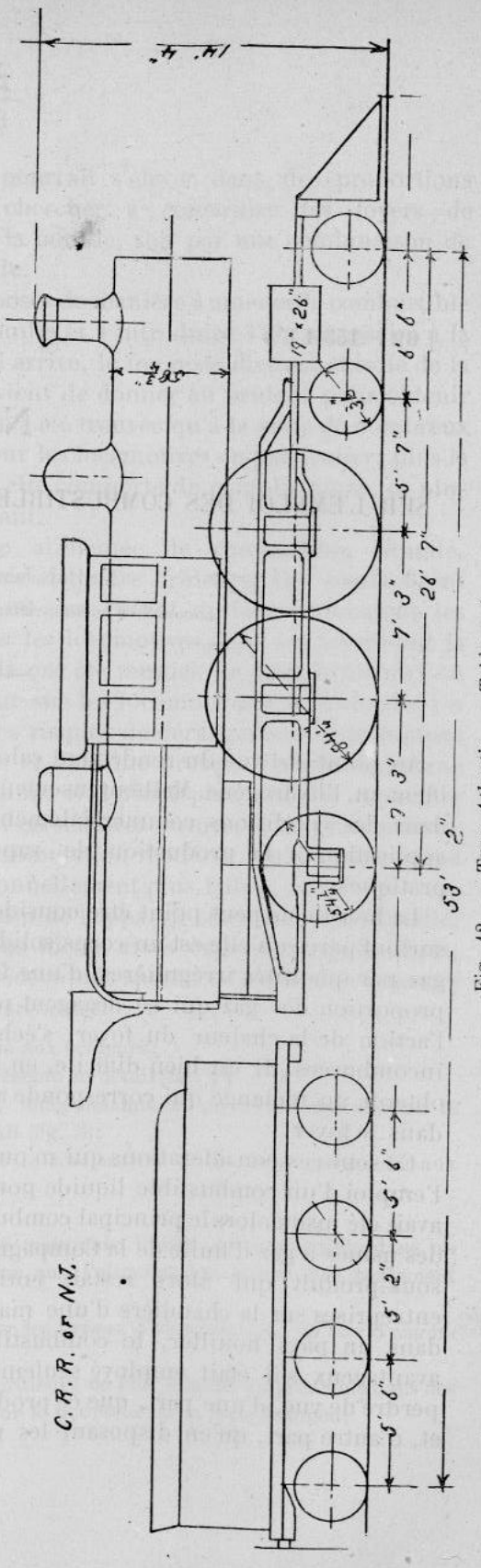


Fig. 12. — Type *Atlantic*. — Tableau A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621.133.1]

NOTE

SUR L'EMPLOI DES COMBUSTIBLES LIQUIDES DANS LES LOCOMOTIVES,

Par JAMES HOLDEN,

LOCOMOTIVE SUPERINTENDENT, « GREAT EASTERN RAILWAY ».

Au point de vue du rendement calorifique, le combustible idéal est, incontestablement, l'hydrogène. Malheureusement, sans parler de l'impossibilité de le fabriquer dans des conditions commercialement acceptables, son emmagasinement et son application à la production de vapeur présentent de nombreuses difficultés pratiques.

La houille ne peut point être considérée comme un combustible idéal : d'abord et surtout parce qu'elle est un corps solide, ensuite parce qu'elle émet sa fumée et ses gaz par quantités irrégulières, d'une façon pour ainsi dire spasmodique. Une forte proportion des gaz qui se dégagent pendant la décomposition de la houille, sous l'action de la chaleur du foyer, s'échappe sous forme de fumée et de particules incomburées. Il est bien difficile, en effet, de régler l'arrivée d'air de manière à obtenir un mélange qui corresponde aux conditions incessamment variables du feu dans le foyer.

Ce sont ces considérations qui m'ont déterminé, il y a quelques années, à étudier l'emploi d'un combustible liquide pour les locomotives, dans les pays où la houille avait été jusqu'alors le principal combustible. J'essayai d'abord le goudron provenant des usines à gaz d'huile de la Compagnie du « Great Eastern Railway », à Stratford, sous-produit qui alors restait entièrement inutilisé. Les expériences furent entreprises sur la chaudière d'une machine fixe. Je partais de cette hypothèse que, dans un pays houiller, le combustible liquide donnerait les résultats les plus avantageux s'il était employé seulement à titre auxiliaire. Il importait de ne pas perdre de vue, d'une part, que ce produit pouvait faire défaut à un moment donné, et, d'autre part, qu'en disposant les machines en vue de l'alimentation exclusive

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec un combustible liquide, son prix pourrait s'élever dans des proportions excessives. Il fallait donc, avant tout, chercher à construire les foyers de locomotives en vue de les alimenter, soit à la houille, soit par une combinaison de combustible solide et de combustible liquide.

En conséquence, les brûleurs furent disposés de manière à amener le combustible liquide au-dessus du niveau du feu de houille et à introduire l'air nécessaire à la combustion en un point tel que, quoi qu'il arrive, le feu reste distinct et isolé de la base solide inférieure. La forme qu'il convient de donner au brûleur pour obtenir les meilleurs résultats dans ces conditions n'a été trouvée qu'à la suite de nombreux tâtonnements. Notons, à ce propos, que pour les locomotives en particulier, plus la construction des pièces est simple, moins elle comporte de complications, et plus leur fonctionnement en service est satisfaisant.

Sur la première chaudière locomotive alimentée de combustible liquide, j'expérimentai successivement un, deux, trois et quatre brûleurs. Ces essais firent reconnaître que deux brûleurs débouchant sur l'avant du foyer donnaient les meilleurs résultats. En conséquence, toutes les locomotives dont les foyers ont la largeur usitée sur les lignes à voie normale ont été munies de deux brûleurs; on emploie souvent avec succès un seul brûleur sur les locomotives à voie étroite. Un plus grand nombre de brûleurs aggrave les risques de dérangement et de rupture des appareils, complique les canalisations et entraîne presque certainement une augmentation de la dépense de vapeur; enfin, il devient plus difficile de régler l'alimentation par les périodes de feu lent : en d'autres termes, il est plus facile de régler un ou deux brûleurs pour une consommation modérée, qu'un plus grand nombre pour une consommation proportionnellement plus faible.

Pour faciliter l'intelligence de la description de l'appareil sous sa forme actuelle, je joins une élévation générale d'une de nos locomotives express à roues libres, construites l'an dernier pour assurer un service rapide spécial de trains de voyageurs entre Londres et Cromer. La légende est la suivante :

A . . . . . = Amenée de vapeur sèche du dôme aux brûleurs;
B′B″ . . . . = Brûleurs brevetés, du type représenté en détail (fig. 2);
C′C″ . . . . = Valves de réglage, actionnées, indépendamment ou solidairement, par le mécanisme représenté en détail (fig. 3);
D′D″D‴. . . = Tuyaux d'alimentation amenant le combustible de la caisse du tender aux brûleurs;
E . . . . . = Caisse à combustible liquide;
F . . . . . = Serpentin réchauffeur servant à maintenir, l'hiver, le combustible dans un état suffisamment liquide pour que l'alimentation puisse être facilement réglée;
G . . . . . = Jet de vapeur servant à ramoner les tuyaux d'alimentation, en cas d'engorgement;
H . . . . . = Tuyau amenant, dans l'axe des brûleurs de l'air chauffé au préalable dans des chambres en fonte disposées sur le pourtour de la boîte à fumée;
I . . . . . = Réchauffeurs en fonte.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

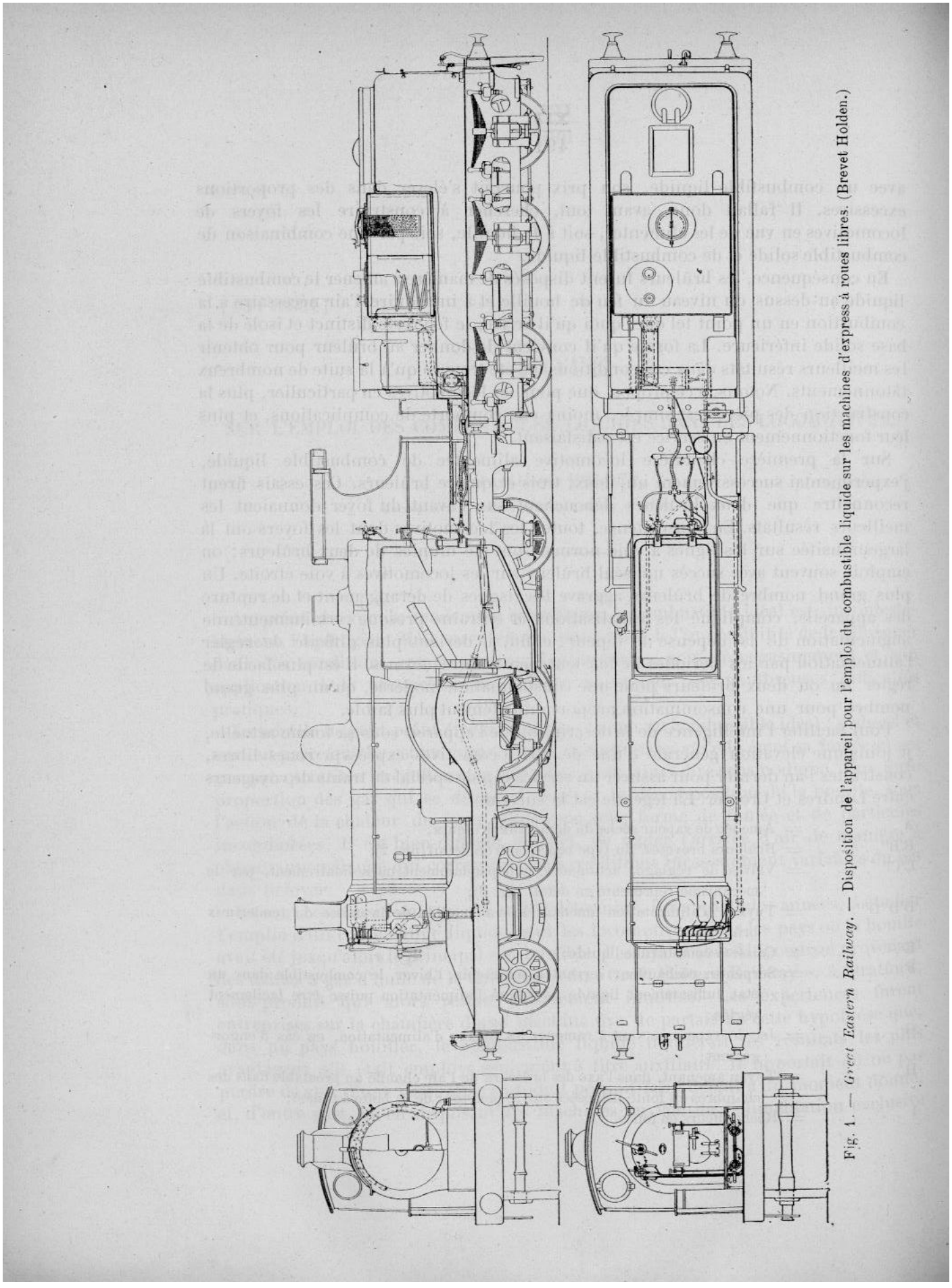


Fig. 1. — *Great Eastern Railway.* — Disposition de l'appareil pour l'emploi du combustible liquide sur les machines d'express à roues libres. (Brevet Holden.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

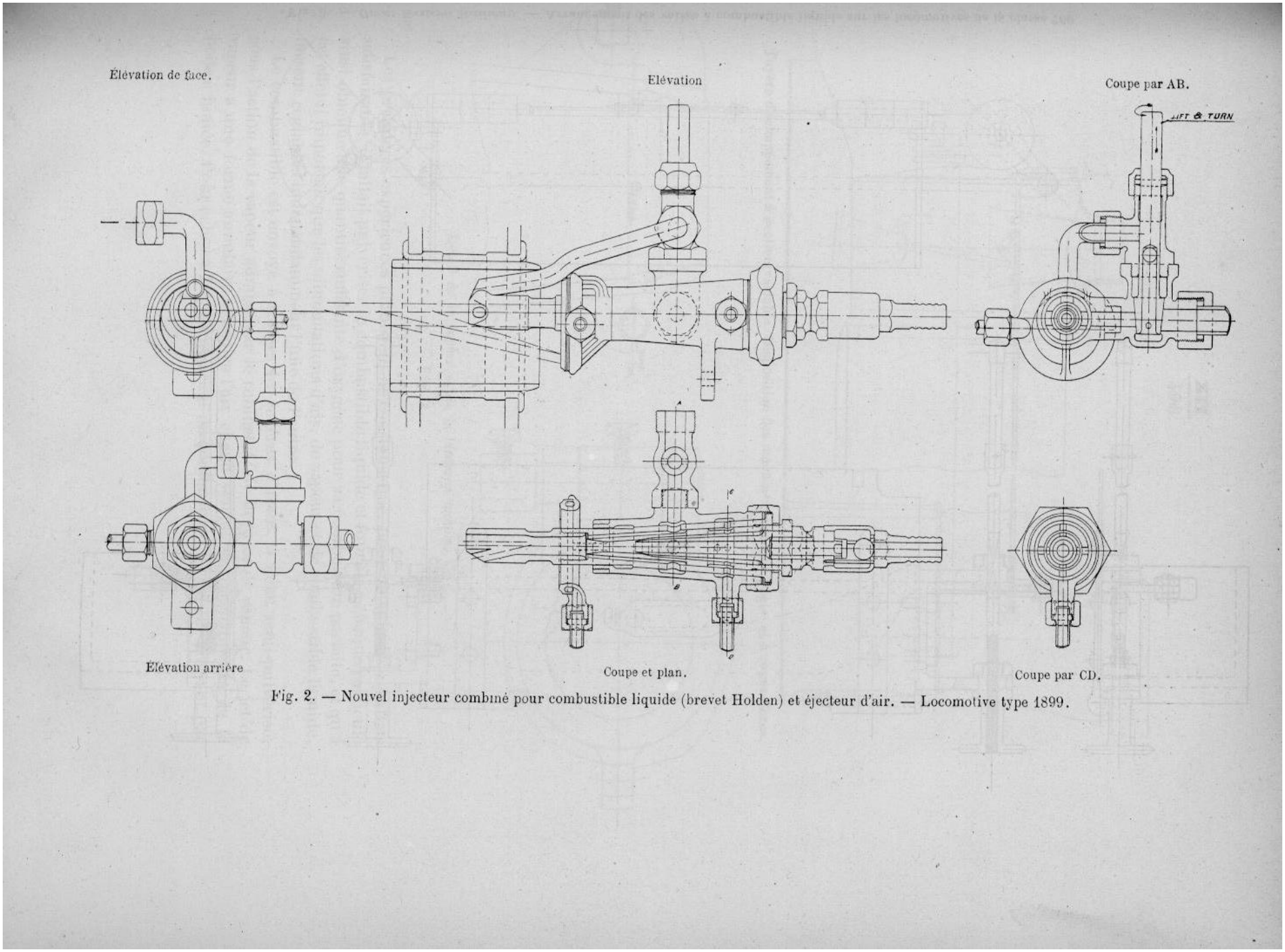


Fig. 2. — Nouvel injecteur combiné pour combustible liquide (brevet Holden) et éjecteur d'air. — Locomotive type 1899.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

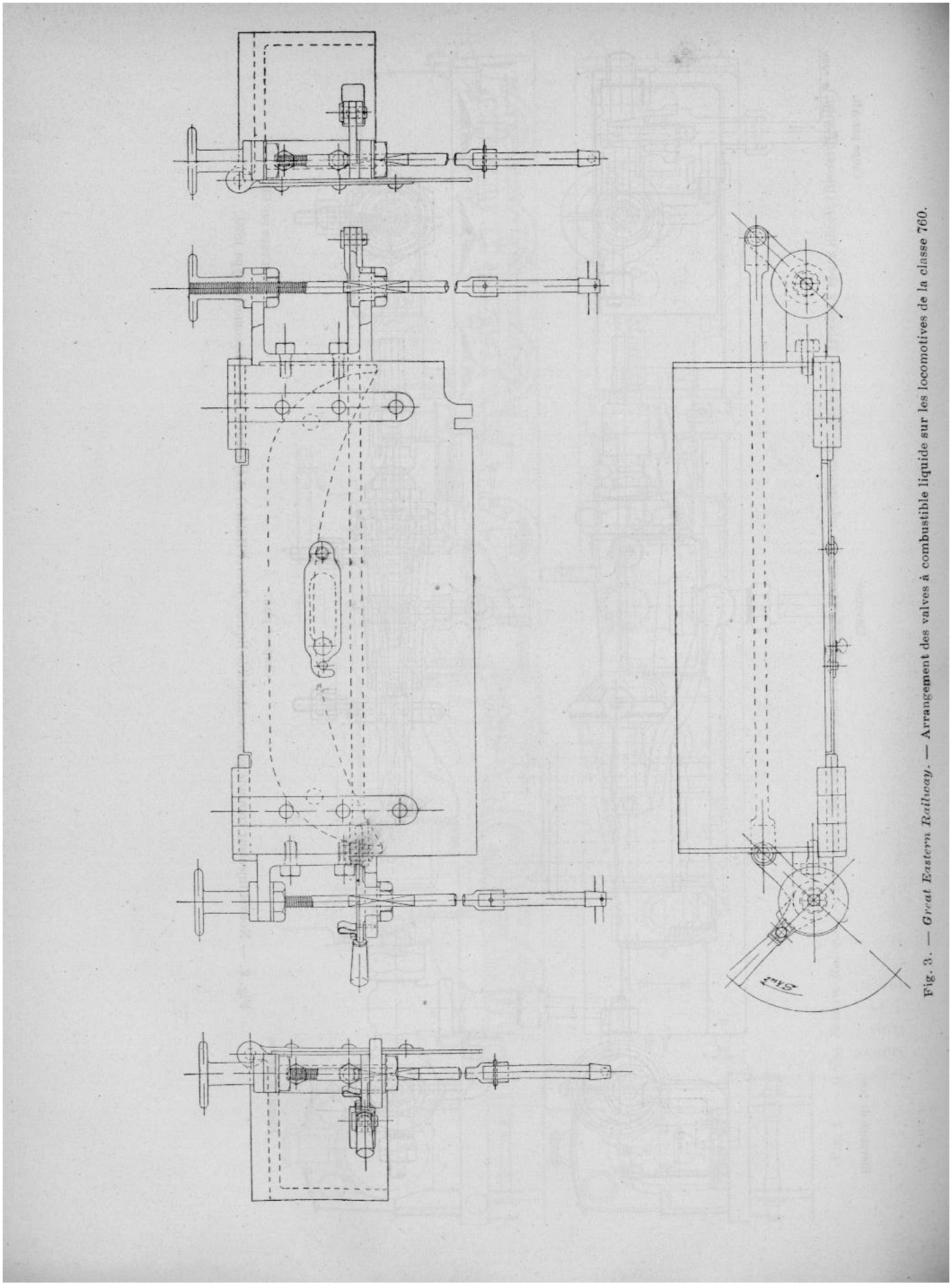
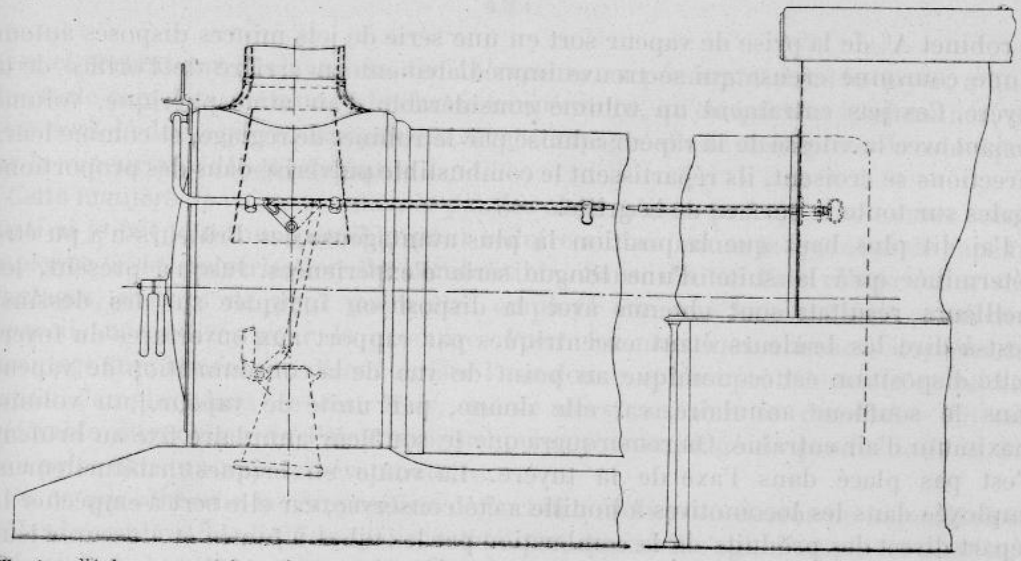
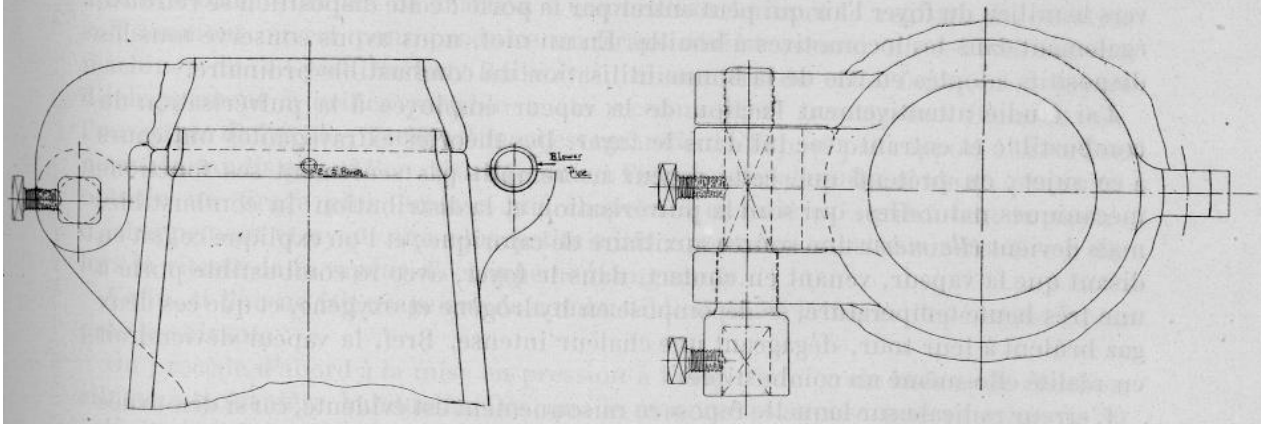


Fig. 3. — *Great Eastern Railway.* — Arrangement des valves à combustible liquide sur les locomotives de la classe 760.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Tuyère d'échappement à section variable. Disposition des machines express à bogie et à roues libres.



Détail de la tuyère et de la lanterne mobile.

Fig. 4.

Les premières expériences permirent de constater que, pour obtenir des résultats satisfaisants, il fallait pulvériser le combustible liquide et fournir à chaque particule ainsi obtenue une quantité suffisante d'oxygène pour sa combustion parfaite, et qu'à cet effet il importait que les alimentations d'air, de vapeur et de combustible liquide, fussent réglables indépendamment l'une de l'autre.

Le combustible est envoyé à travers les tuyères d'avant, à l'état semi-pulvérisé, sous l'action de la vapeur admise par le robinet A′ de la prise de vapeur. Le jet de vapeur a une forme annulaire et aspire l'air chaud venant des réchauffeurs de la boîte à fumée. Pour achever la pulvérisation du combustible, la vapeur arrivant par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le robinet A″ de la prise de vapeur sort en une série de jets minces disposés autour d'une couronne creuse qui se trouve immédiatement en arrière de l'orifice de la tuyère. Ces jets entraînent un volume considérable d'air atmosphérique, volume variant avec la vitesse de la vapeur admise par le robinet de réglage, et comme leurs directions se croisent, ils répartissent le combustible pulvérisé dans des proportions égales sur toute la surface de la grille.

J'ai dit plus haut que la position la plus avantageuse des brûleurs n'a pu être déterminée qu'à la suite d'une longue série d'expériences. Jusqu'à présent, les meilleurs résultats sont obtenus avec la disposition indiquée sur les dessins, c'est-à-dire les brûleurs étant excentriques par rapport aux ouvertures du foyer. Cette disposition est économique au point de vue de la consommation de vapeur dans le souffleur annulaire, car elle donne, par unité de vapeur, un volume maximum d'air entraîné. On remarquera que le souffleur annulaire fixé au brûleur n'est pas placé dans l'axe de la tuyère. La voûte en briques habituellement employée dans les locomotives à houille a été conservée, car elle sert à empêcher le départ direct des produits de la combustion par les tubes à fumée et à assurer leur brassage intime avec l'air. La porte du foyer est munie d'un déflecteur qui renvoie vers le milieu du foyer l'air qui peut entrer par la porte : cette disposition se retrouve également dans les locomotives à houille. En un mot, nous avons conservé tous les dispositifs adoptés en vue de la bonne utilisation du combustible ordinaire.

J'ai étudié attentivement l'action de la vapeur employée à la pulvérisation du combustible et entrant avec lui dans le foyer. Des théories extravagantes ont cours à ce sujet : on prétend que cette vapeur ne remplit pas seulement ses fonctions mécaniques naturelles, qui sont la pulvérisation et la distribution du combustible, mais devient *elle-même* une source auxiliaire de calorique ; et l'on explique ce fait en disant que la vapeur, venant en contact, dans le foyer, avec le combustible porté à une très haute température, se décompose en hydrogène et oxygène, et que ces deux gaz brûlent à leur tour, dégageant une chaleur intense. Bref, la vapeur deviendrait en réalité elle-même un combustible.

L'erreur radicale sur laquelle repose ce raisonnement est évidente, car si détournée que soit la manière dont le fait se produit, il faut, pour décomposer la vapeur en ses éléments : hydrogène et oxygène, *exactement* la même quantité de calorique que celle que ces gaz produiraient en se recombinant pour former de la vapeur. La vapeur mise en contact avec du combustible à une température très élevée est décomposée, on ne saurait le contester, mais tout le calorique nécessaire pour amener cette décomposition est emprunté au combustible qui, par suite, se refroidit considérablement. Cette décomposition de la vapeur se produit surtout dans les parties du foyer où la chaleur atteint sa plus grande intensité, ce qui a pour effet un abaissement de la température en ces points. L'effet thermique total de l'introduction de vapeur dans un foyer ne doit pas être cherché dans les changements chimiques que la vapeur peut subir pendant son parcours, mais se voit le mieux en comparant les conditions physiques : température et pression, de la vapeur entrant dans le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

foyer et sortant par la cheminée. Or, la vapeur, en pénétrant dans le foyer, a une plus forte pression, mais une plus basse température, qu'en quittant la cheminée, et il est hors de doute que ce changement est accompagné d'une absorption de calorique par la vapeur aux dépens du feu.

Cette manière de voir est confirmée par des observations pratiques faites avec soin. Aussi ai-je fait tout mon possible pour réduire au minimum la quantité de vapeur employée à la pulvérisation du combustible. Sans doute, l'air comprimé a ses avantages, mais il ne peut guère être employé sur une locomotive, à cause des appareils nécessaires pour le produire. Pour les machines marines, il présente l'avantage supplémentaire d'économiser l'eau douce, et c'est probablement ce qui en justifie l'emploi dans ce cas. Mais, même alors, on peut se demander s'il est préférable d'employer de l'air comprimé, avec son outillage de production, ou de l'eau prise dans un appareil évaporatoire.

En ce qui concerne la composition de la couche solide au-dessus de laquelle doit brûler le combustible liquide, j'ai constaté que, quand il s'agit d'employer simultanément de la houille et du combustible liquide, on obtient les meilleurs résultats avec une couche mince de charbon à combustion lente et le registre du cendrier suffisamment ouvert pour produire un tirage aisé et assurer un feu vif. Sur les machines du « Great Eastern Railway », alimentées de cette façon, une tuyère d'échappement à orifice variable a été reconnue très avantageuse. Dans ce cas, l'ouverture de l'orifice d'échappement est agrandie de 30 p. c. par rapport à la section normale, tandis que si l'on désire revenir à l'emploi de la houille seule et, par suite, obtenir un tirage plus intense, un chapeau à charnières surmontant la tuyère d'échappement et ayant une plus petite surface peut être rabattu sur l'orifice : dès lors la vitesse de la vapeur d'échappement augmente.

Enfin, si l'on ne fait usage que de combustible liquide, la façon d'opérer est à peu près la suivante :

On procède d'abord à la mise en pression à l'aide d'un feu de bois et de charbon allumé à la manière habituelle. Dès que le manomètre accuse une pression de 30 à 40 livres (2.1 à 2.8 kilogrammes), on égalise le feu et on le recouvre d'une couche de briques cassées en cubes d'au plus 3 pouces (76 millimètres) de côté. Cette couche est répartie de telle sorte qu'elle ait le moins d'épaisseur vers le milieu du foyer et qu'elle en ait le plus le long des parois et dans les coins. On y jette quelques morceaux de résidu ou de bois pour faire jaillir la flamme, puis on ouvre l'amenée de vapeur aux cônes centraux des brûleurs et on admet le combustible liquide par les valves de réglage. Tout d'abord le feu paraît sombre et peu actif, et il est probable qu'à ce moment il dégage beaucoup de fumée. Après avoir approximativement adapté le réglage aux besoins du moment, on ouvre la seconde prise de vapeur afin d'admettre la vapeur dans les souffleurs annulaires en quantité suffisante pour entraîner l'air nécessaire à la combustion parfaite et pour pulvériser et distribuer le combustible liquide. Le feu ne tarde pas à s'éclaircir et la fumée disparaît complètement.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

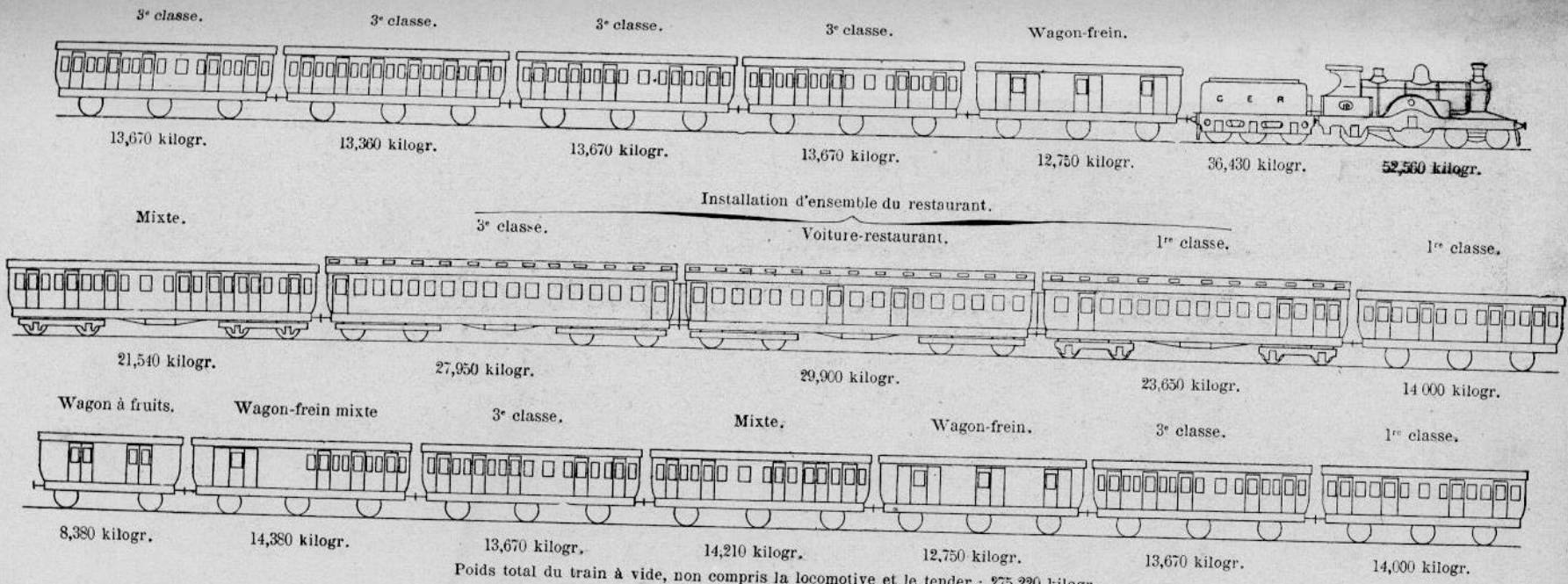
Les hydrocarbures et les résidus à point d'ignition élevé et d'une grande densité ont été reconnus les meilleurs combustibles. Si la matière liquide est relativement légère et volatile, elle se vaporise rapidement et s'échappe par les tubes sans avoir brûlé, s'allumant souvent au haut de la cheminée, tandis que les matières plus denses, à point d'ignition élevé, entrent dans le foyer sous forme de liquide simplement échauffé, se pulvérisent au lieu de se transformer en gaz et peuvent donc être plus efficacement distribuées sur la surface de la grille, avec la proportion voulue d'air atmosphérique entraîné. Une légère buée brunâtre s'échappant de la cheminée est le meilleur indice que la combustion s'effectue au foyer dans des conditions satisfaisantes. Si l'on ne voit pas la moindre fumée, il y a lieu de supposer que l'air est introduit en excès; d'autre part, une fumée épaisse, jaune ou noire, révèle l'insuffisance d'oxygène pour la combustion parfaite.

Le fonctionnement de l'appareil est plus ou moins bruyant suivant la position des brûleurs par rapport à la grille. S'ils sont placés trop haut, l'introduction d'huile pulvérisée et d'air occasionne une série de petites explosions dans les produits de la combustion de la couche inférieure, et il en résulte un bourdonnement insupportable, tandis que si le feu de combustible liquide est maintenu dans le plan du feu de houille le fonctionnement est presque silencieux.

Au « Great Eastern Railway », le goudron de houille et ses sous-produits ont été employés, aussi bien que ceux de l'usine à gaz d'huile et les résidus de la distillation du pétrole, spécialement importés comme combustible. Pour environ cinquante-huit locomotives qui sont maintenant alimentées de cette façon, il faut nécessairement des approvisionnements assez considérables. Les installations faites à Stratford à la suite d'une longue expérience sont les plus complètes qui existent dans la Grande-Bretagne.

A l'origine, tant qu'il n'y avait qu'une ou deux locomotives à pétrole en service, on se servait pour chacune d'elles d'un réservoir provisoire (c'était une caisse de tender réformée, montée sur une estacade d'environ 14 pieds = 4 mètres 25 centimètres de hauteur). Mais nous ne tardâmes pas à reconnaître que, pour avoir le bénéfice de tous les avantages résultant de la distribution et de l'emploi du combustible liquide, il convenait d'établir une installation assez importante. Celle qui est maintenant en service comprend une série de bâches souterraines, d'une capacité totale de 50,000 gallons (227 mètres cubes), disposées de façon que le pétrole y descende sous l'action de son propre poids en s'écoulant des wagons-citernes. Une petite pompe rotative actionnée par une machine à vapeur amène le combustible dans six grands réservoirs cylindriques, placés à 20 pieds (6 mètres) au-dessus du niveau des rails et ayant une capacité totale de 42,000 gallons (191 mètres cubes). Les tuyaux d'écoulement, munis de robinets qui sont manœuvrés depuis une galerie située au-dessus, envoient l'huile de ces réservoirs à niveau élevé dans des colonnes ou conduits de chargement analogues aux grues hydrauliques ordinaires, mais un peu plus petits, pour remplir les caisses des machines venant se ravitailler au dépôt. L'usine entière est desservie par quatre agents dont l'un est exclusivement affecté au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Poids total du train à vide, non compris la locomotive et le tender : 275,220 kilogr.

Fig. 5. — Schéma de l'express spécial Londres et Cromer en 1899.

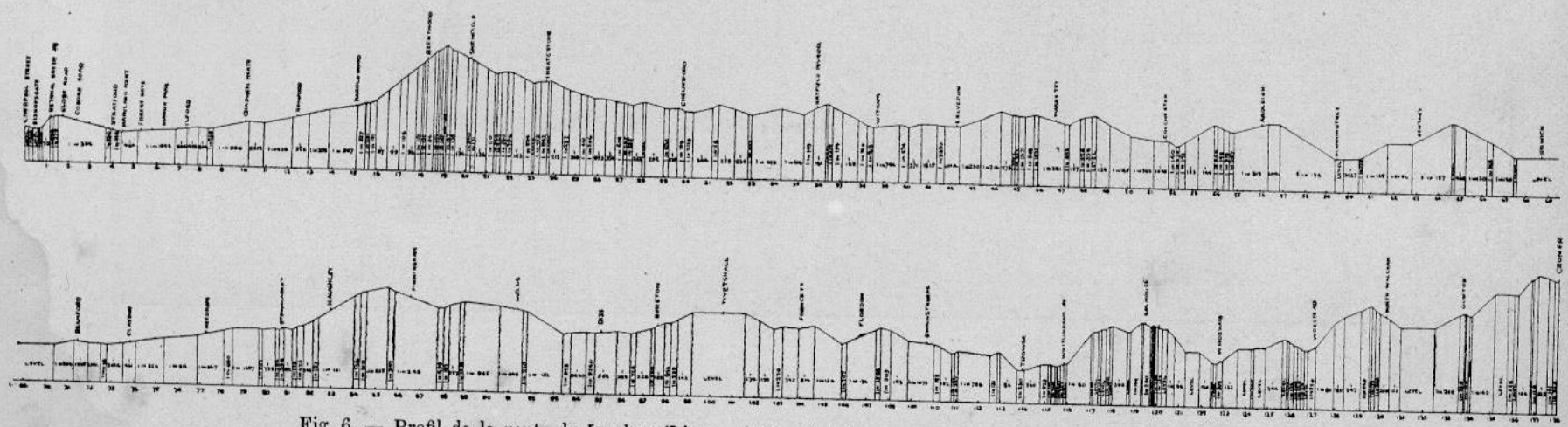


Fig. 6. — Profil de la route de Londres (Liverpool Street) à Cromer par la courbe de Wensum (Norwich).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

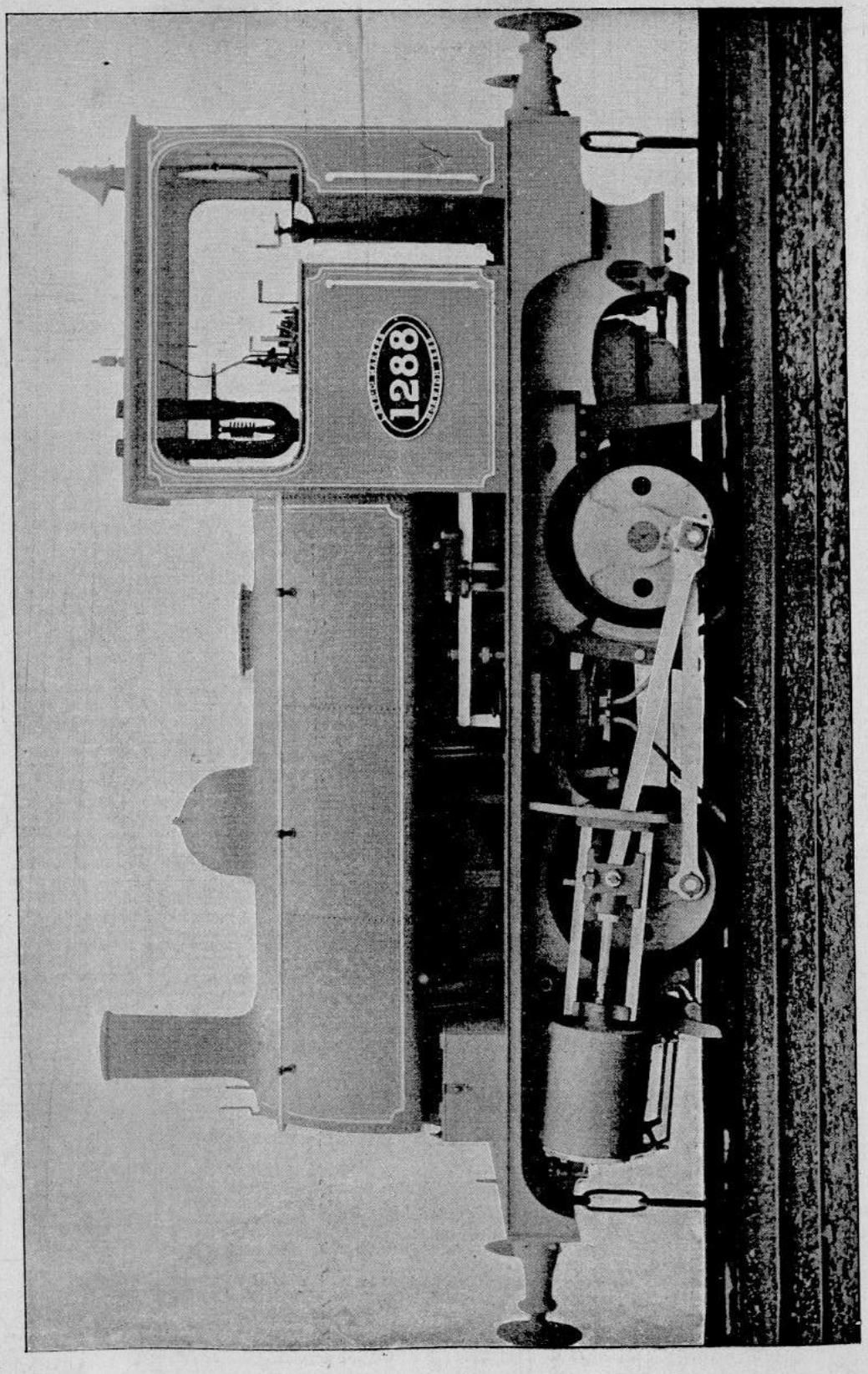


Fig. 7. — Machine de gare du Lancashire & Yorkshire.

Imprimé chez P. Weissenbruch

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

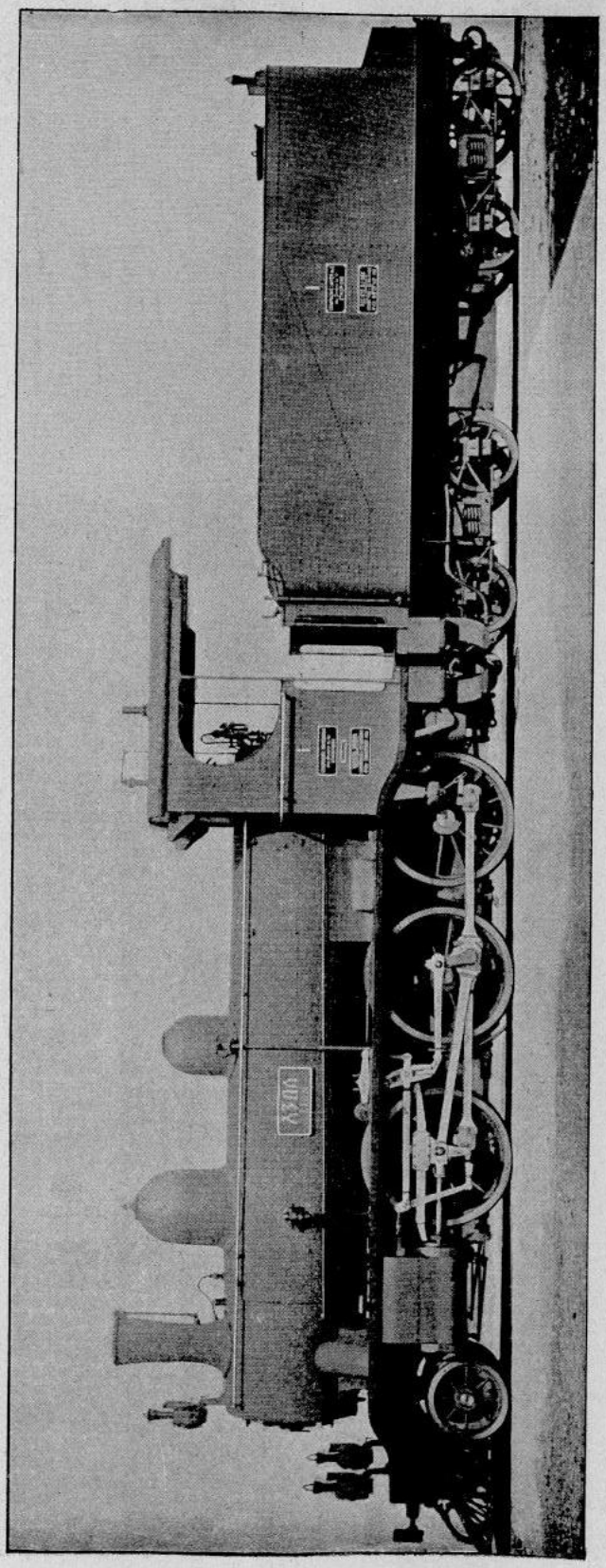


Fig. 8. — Locomotive *Mogul* à six roues couplées des chemins de fer éthiopiens.

Imprimé chez P. Weissenbruch

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

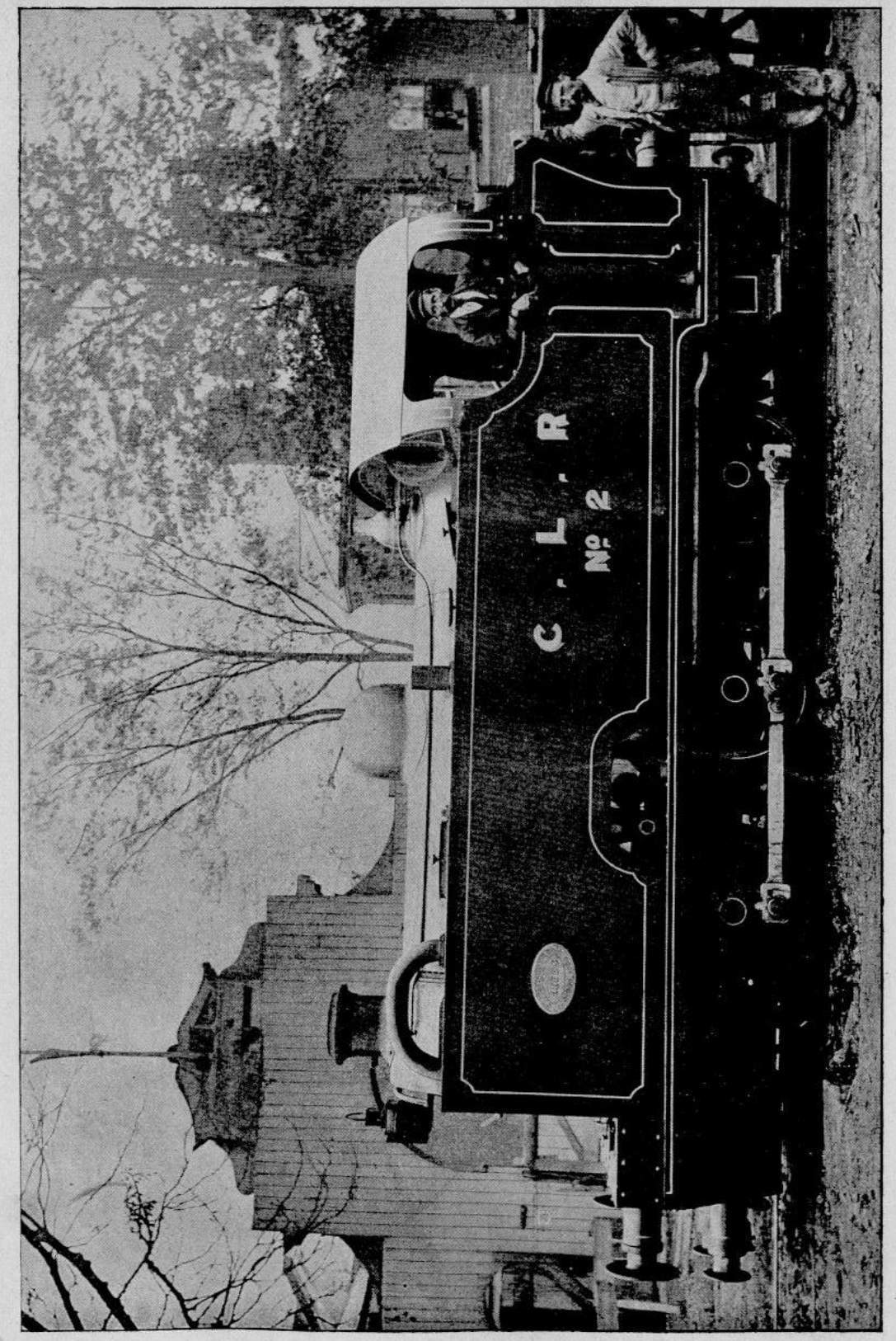


Fig. 9. — Locomotive-tender à six roues couplées du Central London Railway.

Imprimé chez P. Weissenbruch.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

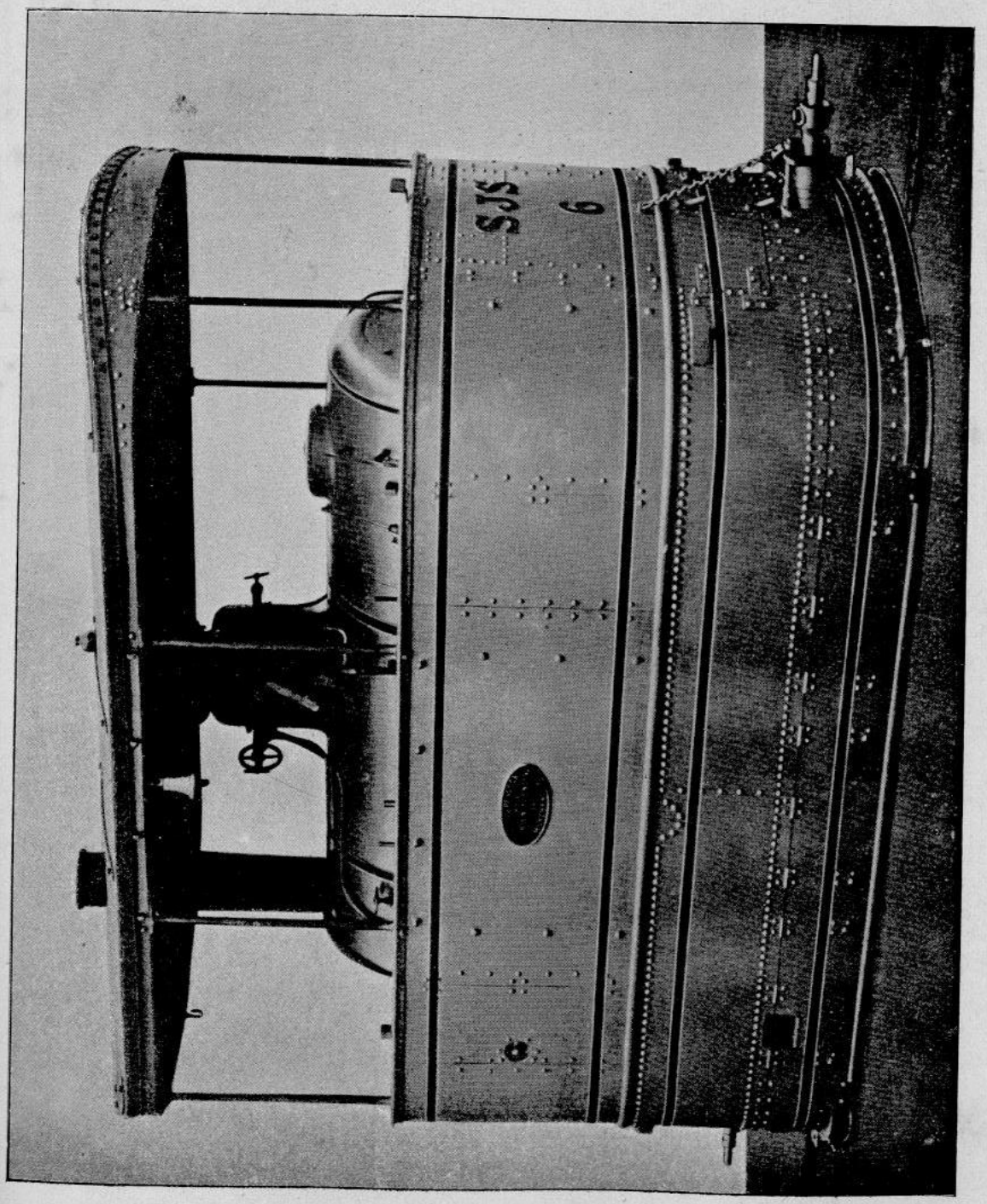


Fig. 10. — *Chemins de fer de Java.* — Tramway à vapeur.

**

Imprimé chez P. Weissenbruch

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

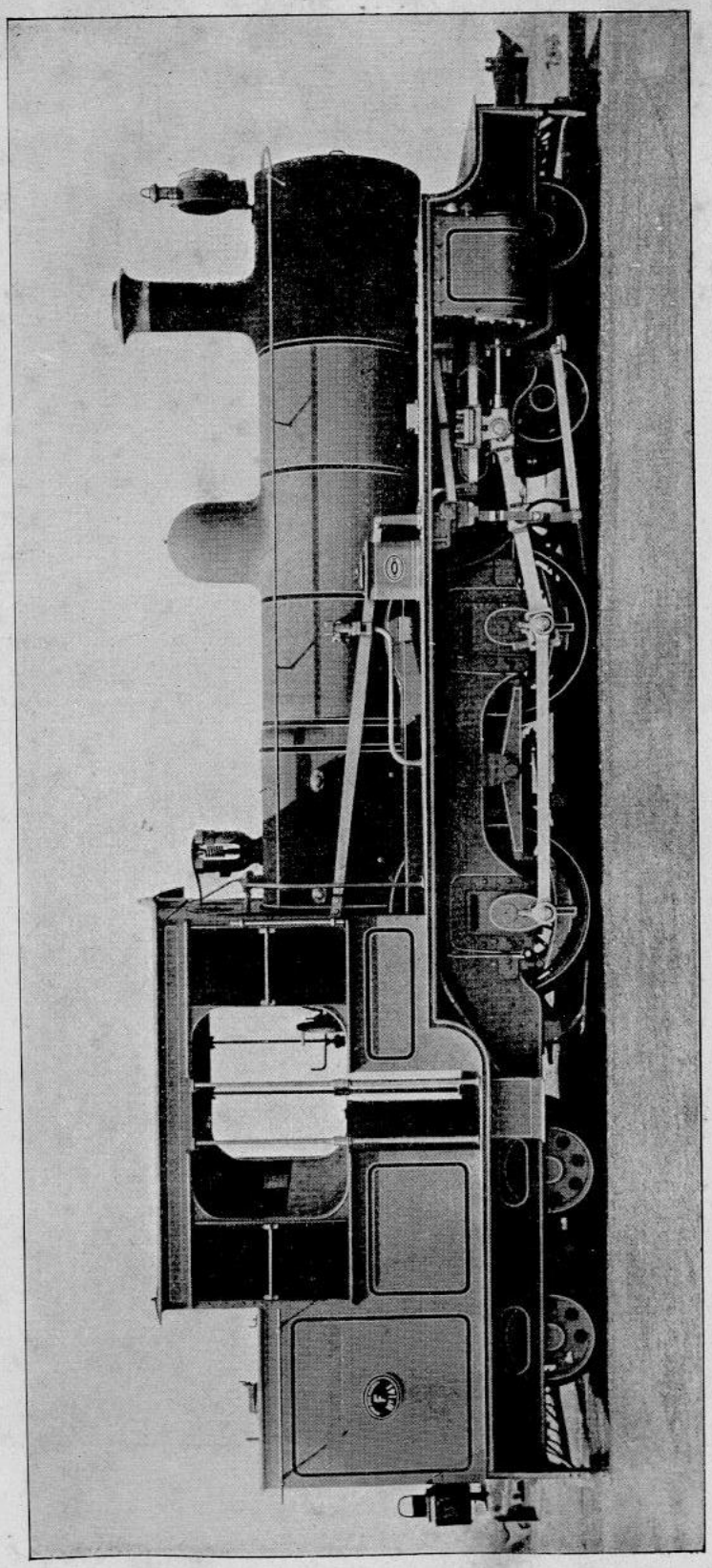


Fig. 11. — Locomotive-tender des chemins de fer de la Birmanie.

Imprimé chez P. Weissenbruch.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

service de nuit pour le chargement des tenders, tandis que les trois autres, un chef d'équipe avec deux hommes, s'occupent dans le jour à faire marcher la pompe, à vider les wagons-citernes et à charger les machines qui arrivent pour le service de jour.

Cinquante machines pourraient facilement et rapidement se ravitailler en ce point, et on pourrait doubler, ou à peu près, l'usine, sans qu'elle nécessitât plus de main-d'œuvre. Une locomotive express de grande ligne peut charger 600 gallons (2.7 mètres cubes) de combustible liquide en quatre à cinq minutes. L'installation entière est éclairée à l'électricité, avec lampes portatives pour les conduits de refoulement. Il est évident que le chargement du combustible liquide se fait plus facilement que celui de la houille, si perfectionné que soit, dans ce dernier cas, le système mécanique employé.

Aux dépôts du réseau où l'on fait usage de combustible liquide, celui-ci est emmagasiné dans des réservoirs souterrains; il est refoulé dans les tuyaux de chargement, et de là dans le tender, par l'air comprimé envoyé dans le réservoir par les pompes du frein à air de la locomotive. Le mécanicien et le chauffeur font marcher les appareils exactement comme pour le remplissage de la soute à eau.

L'entrée des caisses à combustible liquide de la locomotive est munie d'une crépine à fines mailles, protégée par un cylindre perforé en métal mince. Le combustible est donc complètement clarifié et filtré avant de pénétrer dans les caisses, les tuyaux et les brûleurs. En même temps, on pare ainsi à tout danger résultant du voisinage d'une lumière non protégée, au cas où il se trouverait des huiles volatiles ou des vapeurs dans les caisses. Cette précaution est plus nécessaire avec le pétrole brut qu'avec les résidus; aussi sur le « Great Eastern Railway », où l'on consomme ordinairement de ces derniers, la toile métallique est-elle employée plutôt pour le filtrage que pour des raisons de sécurité.

Il est facile de comprendre que le remplacement brusque du combustible employé depuis un demi-siècle sur un chemin de fer organisé dans les conditions normales britanniques entraînerait des difficultés et des inconvénients très graves. En entreprenant mes expériences, je me suis donc cru obligé de disposer les montures et les appareils de telle façon que le combustible liquide puisse à volonté, et facilement, être employé ou supprimé sur la même machine. De plus, pour que les agents qui ne connaissent pas le système aient le temps de se familiariser avec la manœuvre des appareils, il faut introduire lentement et progressivement l'emploi du combustible liquide comme auxiliaire du charbon. Le mécanicien et le chauffeur se rendent, de cette façon, compte par eux-mêmes des avantages du combustible liquide et s'en servent le plus possible. Faisons remarquer ici que la couche solide qui recouvre les barreaux doit rester intacte, afin que le foyer ne puisse pas être localement refroidi par l'air frais arrivant à travers les barreaux de la grille.

Les machines pareilles à celle que nous reproduisons ont souvent fait le trajet de Londres à Cromer, 138 milles (222 kilomètres), en 175 minutes, avec un seul arrêt,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 4 minutes, à 7 milles (11.3 kilomètres) en avant de Cromer, en consommant 190 gallons (863 litres) de résidus goudronneux. La densité de cette matière étant 1.1, la consommation par train-mille a donc été de 14.4 liv. de combustible liquide (4.1 kilogrammes par train-kilomètre). En y ajoutant 6 cwt (305 kilogrammes) de houille pour l'allumage et la mise en pression, soit 5 liv. par mille (1.4 kilogramme par kilomètre), on obtient une dépense totale de 19.4 liv. par mille (5.5 kilogrammes par kilomètre). La grille est recouverte, pour ces parcours, de 5 à 6 cwt (254 à 305 kilogrammes) de briques réfractaires, provenant de voûtes en briques démolies. Les diagrammes (fig. 5 et 6) indiquent la composition de ce train et le profil de la ligne.

Le système employé sur le « Great Eastern Railway » a été beaucoup adopté à l'étranger. L'Administration des chemins de fer de l'État d'Autriche en a muni trente-deux machines affectées à la ligne de l'Arlberg. L'Ouest français l'a appliqué sur plusieurs locomotives faisant le service de la banlieue de Paris ; il en est de même des Compagnies de Lyon et d'Orléans. Dans l'Extrême-Orient, de nombreuses locomotives et chaudières fixes en sont pourvues, surtout dans les pays avoisinant les grandes exploitations de pétrole de Bornéo et de Java. Le combustible liquide est fourni par des sociétés qui livrent le pétrole brut, mais débarrassé de ses éléments volatils.

Dans beaucoup de contrées, le bois devient de plus en plus rare et difficile à obtenir. Nous pouvons citer un cas où on l'a remplacé par le pétrole, avec une différence de 50 p. c. en faveur de ce dernier ; en effet, là où mille trains-milles (1,609 trains-kilomètres) coûtaient, avec le bois, $63.75 (318 fr 75 c.), le même parcours a été fait avec du combustible liquide moyennant une dépense de $41.11 (205 fr. 55 c.) seulement.

Dans l'Afrique du Sud, la difficulté d'obtenir du combustible a quelque peu retardé les moyens de transport modernes, mais le combustible liquide, brûlé dans les conditions décrites plus haut et avec les appareils Holden, a été adopté avec succès et a fourni une solution convenable et satisfaisante du problème.

Le transport du combustible liquide en vrac aux pays pauvres en houille et en bois doit être notablement moins coûteux que celui du combustible solide, car une tonne du premier vaut deux tonnes du second au point de vue du rendement : c'est une des meilleures raisons de la généralisation de son emploi.

Les figures 7 à 11 représentent quelques exemples de locomotives et chaudières munies des appareils Holden :

7. — Machine de gare du Lancashire & Yorkshire ;
8. — *Mogul* à six roues couplées des chemins de fer éthiopiens ;
9. — Locomotive-tender à six roues couplées du Central London Railway ;
10. — Tramway à vapeur. Chemins de fer de Java.
11. — Locomotive-tender des chemins de fer de la Birmanie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SECTION

Séance du 21 septembre 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE Mr FREDRIK ALMGREN.

Mr Herdner, *rapporteur pour tous les pays, sauf les États-Unis, l'Angleterre et les colonies.* — En raison du développement que nous avons été conduits à donner à notre rapport, vous aurez sans doute pensé qu'il eût été désirable qu'il vous fût distribué plus tôt. Malheureusement, nous avons éprouvé de grandes difficultés dans la reproduction des planches, et ces difficultés ont été telles que nous avons même dû, à notre grand regret, en supprimer quelques-unes qu'il eût cependant été intéressant de publier. Nous avons cherché à en sauver le plus grand nombre, de là notre retard. Vous aurez eu pourtant, je l'espère, le temps de parcourir les chapitres les plus importants de notre rapport, ceux que je vais avoir l'honneur de résumer.

D'après le libellé de la question que nous avons été chargés de rapporter, nous avions à nous occuper de trois catégories de trains : la première comprenait les trains à très grande vitesse qui peuvent être légers et circuler sur un profil facile, ces trains étant définis par ces mots : « (90 kilomètres et au delà) » ; la seconde comprenait les trains express et rapides lourdement chargés, pouvant circuler également sur des lignes faciles ; enfin, la troisième comprenait les trains relativement rapides parcourant des lignes accidentées.

Avant d'entreprendre notre travail, nous nous sommes demandé comment il fallait interpréter cette réserve indiquée entre parenthèses « (90 kilomètres et au delà) ». S'agissait-il de la vitesse commerciale? S'agissait-il de la vitesse moyenne de marche, de celle qui sert de base à l'établissement des itinéraires? S'agissait-il seulement de la vitesse maximum atteinte? Enfin, cette réserve s'appliquait-elle également aux trains lourds et aux trains circulant sur des lignes accidentées?

Pour trancher cette difficulté, nous avons consulté un certain nombre d'indicateurs et nous avons constaté qu'à l'époque où nous procédions à cette enquête, c'est-à-dire au cours de l'été 1898, il n'existait qu'un nombre infime de trains circulant en Europe à la vitesse d'itinéraire de 90 kilomètres à l'heure. Du reste, ces trains, je pourrais presque dire ce train, circulait sur un profil facile et ne pouvait pas être précisément considéré comme un train lourdement chargé.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans ces conditions, nous avons décidé de donner à cette réserve l'interprétation la plus large, de considérer comme moteurs de trains à très grande vitesse tous ceux qui sont régulièrement affectés à la conduite de trains express atteignant fréquemment, sur les parties les plus faciles du profil parcouru, une vitesse effective égale ou supérieure à 90 kilomètres à l'heure.

Nous n'avons pas admis d'ailleurs que cette réserve fût applicable aux trains lourdement chargés ni aux trains parcourant des lignes accidentées.

Enfin, nous n'avons pas défini ce qu'il faut entendre ni par « trains lourdement chargés », ni « par profil accidenté ». Nous avons laissé aux administrations consultées le soin de décider elles-mêmes si tel ou tel train qui circule sur leurs lignes doit être rangé dans la seconde ou dans la troisième catégorie ci-dessus définie.

Puisque nous considérons trois catégories de trains, il paraissait logique de considérer aussi trois catégories de machines. Or, nous constatons que pour les trains de la première catégorie, toutes les administrations consultées emploient des machines à deux essieux couplés et que pour les trains de la troisième catégorie, elles emploient presque exclusivement des machines à trois essieux couplés, sauf cependant le Paris-Lyon-Méditerranée qui emploie aussi, dans certains cas, des machines à quatre essieux couplés. Quant aux trains de la seconde catégorie, la plupart des administrations emploient, pour les remorquer, les mêmes machines que pour les trains de la première, et quelques-unes emploient les mêmes machines que pour les trains de la troisième.

Nous avons été ainsi conduits à ne considérer que deux catégories de machines : d'une part, les machines à deux essieux couplés; d'autre part, les machines à trois ou à quatre essieux couplés. Nous avons cependant divisé les machines de l'une et l'autre catégorie en machines compound et en machines non-compound que nous avons traitées séparément.

Enfin, la question XII ayant pour objet essentiel de faire ressortir les progrès réalisés dans la construction des locomotives, nous avons dû choisir une date initiale et nous avons décidé de prendre pour point de départ l'année 1889, qui est celle de la dernière exposition universelle de Paris. On peut critiquer ce choix qui est arbitraire. Cependant, il nous a semblé qu'en fait les progrès réalisés dans ces dix dernières années étaient sensiblement plus importants que ceux réalisés dans la période décennale précédente.

Notre travail comprend par suite deux parties bien distinctes. Dans la première, nous nous occupons des machines en service pendant l'année 1899, c'est-à-dire à l'époque où nous rédigions notre rapport. Dans la seconde, nous nous occupons des locomotives employées en 1889. Nous avons ensuite fait une comparaison entre les moteurs de ces deux époques et nous en avons conclu les progrès réalisés.

Avant d'aller plus loin, messieurs, je tiens à remercier les administrations qui ont bien voulu répondre à notre questionnaire détaillé, et qui, toutes, nous ont adressé des renseignements extrêmement précis et des documents très nombreux qui nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont été fort utiles. Ces administrations sont indiquées à la page 7 de notre rapport (1).

Avant de passer à la description des moteurs employés en 1899, nous avons voulu donner quelques détails sur les trains les plus remarquables qu'ils ont permis d'introduire dans les horaires. Nous avons cherché à définir autant que possible les conditions de circulation de ces trains. Ainsi, nous avons toujours donné un profil ou, à son défaut, la description de la ligne, parfois même nous avons donné l'un et l'autre. Nous avons indiqué en tonnes et en essieux les charges remorquées normalement, ainsi que celles qui ont pu l'être exceptionnellement sans perte de temps. Pour les horaires, nous avons toujours donné la distance franchie sans arrêt entre deux stations consécutives, le temps accordé pour la franchir et la durée des stationnements dans chaque station.

Enfin, les vitesses ont été établies de deux manières : nous avons calculé, d'une part, les vitesses moyennes brutes entre deux points d'arrêt, d'autre part, les vitesses moyennes de pleine marche. Pour établir ces dernières, nous avons fait le quotient de la distance kilométrique par le temps écoulé depuis le moment de la mise en marche jusqu'à celui de l'arrêt complet, en déduisant deux minutes perdues ou censées perdues au démarrage et à l'arrêt. Ces deux minutes ne représentent pas toujours la perte exacte, mais elles permettent d'éliminer dans une certaine mesure l'influence du démarrage et du ralentissement qui précède l'arrêt.

On remarquera que, parmi les trains de la première catégorie, un grand nombre atteignent des vitesses moyennes de pleine marche de 80 à 90 kilomètres à l'heure, que quelques-uns dépassent la vitesse de 90 kilomètres et qu'un ou deux atteignent la vitesse de 100 kilomètres.

En ce qui concerne les trains lourdement chargés qui forment la seconde catégorie, nous en trouvons dont la charge atteint et dépasse 300 tonnes, machine et tender non compris, et qui, malgré cette charge, atteignent des vitesses moyennes de pleine marche de 60 à 70 kilomètres à l'heure.

Enfin, en ce qui concerne les lignes accidentées, les plus remarquables au point de vue de l'importance des déclivités sont les lignes de l'Etat hongrois, notamment celle de Cameral-Moravicza à Fiume, la ligne du Saint-Gothard et, enfin, la ligne de Béziers à Neussargues, sur le réseau du Midi français.

Tous les détails relatifs aux charges et aux vitesses des trains circulant sur ces lignes sont donnés dans le rapport. Je ne m'étendrai donc pas davantage sur ce chapitre.

Je passe maintenant à la description des moteurs. Nous ne nous sommes occupés exclusivement dans notre rapport que des moteurs sur lesquels nous avons été renseignés par les administrations consultées et nous n'avons même généralement donné sur ces moteurs que les renseignements fournis en réponse à notre questionnaire. Dans deux ou trois cas seulement, nous nous sommes permis de les compléter par des indications puisées soit dans la *Revue des chemins de fer*, soit dans l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*.

(1) Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, année 1900, p. 5007.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les machines *non-compound* à deux essieux accouplés ont été rangées dans l'ordre chronologique de leur création, comme il est indiqué au tableau XXVII, page 50 du rapport (1).

Les types de machines à deux essieux accouplés compound sont, dans le même ordre chronologique, ceux figurant dans le tableau XXVIII, page 51 du rapport.

Nous avons donné la monographie détaillée de toutes ces machines; je me bornerai à signaler ici que certaines d'entre elles ont été soumises à des essais sur lesquels nous avons donné quelques renseignements. Ceux qui ont été entrepris sur la machine compound à deux essieux accouplés du Nord français, ont montré que par un train de marchandises de 690 tonnes et en rampe de 5 millimètres par mètre, cette machine a pu réaliser d'une manière soutenue un effort de 5,000 kilogrammes, mesuré au crochet du tender. Par un train de voyageurs de 225 tonnes, la même machine a pu fournir un travail utilisé de 700 chevaux à la barre d'attelage et un travail indiqué de 1,200 chevaux.

La Compagnie de l'Est français a, de son côté, fait des essais comparatifs sur une machine à grande vitesse non-compound lui appartenant et sur une machine compound de la Compagnie du Midi français. Il a été rendu compte de ces essais dans la *Revue des chemins de fer* et dans une note complémentaire de Mr Salomon annexée à notre rapport.

Enfin, divers essais ont eu lieu sur le réseau de l'État français. On a constaté au cours de ces essais que l'emploi de formes de moindre résistance pour l'avant de la machine procure une réduction de l'effort de traction d'environ 100 kilogrammes à la vitesse de 85 kilomètres à l'heure. On a également procédé au chemin de fer de l'État à une comparaison entre une locomotive compound et une locomotive non-compound, mais nous reviendrons plus loin sur ces expériences.

Après les machines à deux essieux accouplés, nous passons aux machines à trois ou quatre essieux accouplés. Celles sur lesquelles nous avons été renseignés ne comprennent qu'une seule machine non-compound, savoir la machine à trois essieux accouplés de l'État belge qui, d'ailleurs, date déjà de 1886; toutes les autres sont compound et se classent chronologiquement comme il est indiqué dans le tableau XXXVIII, page 119 (sauf 1re ligne) de notre rapport (2).

Je ne m'arrêterai pas à décrire ces machines dont vous trouverez les monographies, avec de nombreux croquis, dans notre rapport, et je passe immédiatement aux chapitres d'ensemble pour lesquels nous avons réservé un certain nombre de renseignements qui ne pouvaient trouver place dans ces monographies. Ces renseignements ont été groupés dans une série de tableaux synoptiques dont plusieurs concernent les chaudières.

Dans un premier tableau, nous avons groupé les renseignements qui intéressent la puissance de vaporisation, savoir : le timbre de la chaudière, la surface de la grille

(1) Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, nº 8, août 1900 (1er fasc.), p. 5050.
(2) — — — — — (1er —), p. 5119.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et la surface de chauffe en contact avec les gaz. Nous avons ensuite rapporté la surface de chauffe en contact avec les gaz au mètre carré de grille. Nous avons également donné la valeur, par mètre carré de grille, de la section de passage des gaz par le faisceau tubulaire et celle du périmètre de frottement des gaz. On remarquera que les surfaces totales de chauffe par mètre carré de grille sont assez généralement comprises entre 50 et 70 mètres carrés.

Dans les trois tableaux suivants, nous avons donné des renseignements concernant la construction des corps cylindriques, des boîtes à feu et des foyers. Les plus essentiels de ces renseignements consistent dans l'indication de la forme générale, des dimensions des tôles et de la qualité du métal employé. Dans un cinquième tableau, relatif aux tubulures, nous faisons connaître pour chaque machine le type des tubes (lisses ou à ailettes), la nature de leur métal, leur diamètre extérieur, leur épaisseur, leur longueur entre les plaques tubulaires et leur nombre. Enfin, nous avons réuni dans deux autres tableaux quelques renseignements sur les dimensions, l'écartement, la nature et la qualité du métal des entretoises, des parois et des tirants d'armature des foyers. Ces renseignements sont complétés par diverses indications relatives aux modes d'assemblage des tôles. Nous constatons, par exemple, que les assemblages à double couvre-joint sont de plus en plus employés pour les clouures longitudinales.

Nous avons aussi dit quelques mots des accessoires de la chaudière. Ainsi, nous constatons que le bouilleur est généralement abandonné aujourd'hui et qu'on en revient à la voûte. Nous constatons également qu'en ce qui concerne la prise de vapeur, il ne semble pas que les anciens errements aient subi d'importantes modifications. Le dôme unique est toujours d'un emploi général. Cependant, il y a des administrations, notamment en Autriche, qui emploient deux dômes réunis par un tuyau de connexion. Il y a même une machine autrichienne qui possède un collecteur de vapeur constitué par un réservoir cylindrique placé au-dessus du corps cylindrique de la chaudière et qui est réuni à ce corps par deux cuissards. Nous avons également donné, entre autres renseignements, un tableau des longueurs des boîtes à fumée de la plupart des machines décrites ; mais je touche ici à une question que la section a déjà examinée.

Je passe maintenant aux renseignements divers concernant le mécanisme, qui font également l'objet de tableaux synoptiques. Le premier tableau fait connaître les dimensions des cylindres et, pour les machines compound, le rapport du volume des cylindres de basse pression à celui des cylindres de haute pression. Nous y donnons également les espaces nuisibles en pour cent du volume engendré par les pistons. Enfin, nous avons eu l'idée de rapporter la somme des volumes des cylindres à la surface de grille et nous avons trouvé que, pour les machines non-compound, le volume des cylindres par mètre carré de grille ne s'écarte généralement pas beaucoup de 100 litres. Le chiffre le plus élevé est de 113 litres. Il se rapporte à une machine de la Compagnie d'Orléans et son élévation s'explique par le type de foyer adopté. Par contre, le volume en question descend à 70 litres à la « Kaiser Ferdinands-Nordbahn ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour les locomotives compound, la somme des volumes des cylindres H. P. ne s'écarte pas notablement de 50 litres par mètre carré de grille, et celle des volumes des cylindres B. P. de 120 litres, en général. Ici encore les chiffres les plus bas sont donnés par des machines autrichiennes ou hongroises. Cela s'explique par la grande surface de grille qu'on donne aux locomotives en Hongrie et en Autriche en raison de la qualité du combustible employé qui souvent ne vaporise pas plus de 5 litres d'eau par kilogramme de charbon.

Dans un autre tableau, nous donnons des renseignements relatifs aux dimensions des lumières des cylindres. Il y a là une question qui prend depuis quelque temps une certaine importance. Nous voyons, en effet, que la plupart des compagnies cherchent à augmenter considérablement les dimensions des lumières d'admission des cylindres.

Enfin, dans un dernier tableau nous nous occupons des mécanismes de distribution. Nous faisons connaître les types de ces mécanismes, les types des tiroirs, la largeur des recouvrements extérieurs et intérieurs, les avances linéaires, enfin la course minimum des tiroirs.

En ce qui concerne les mécanismes de distribution, nous constatons une préférence très marquée pour le mécanisme de distribution Walschaert ou Heusinger von Waldegg. Cette préférence semble s'expliquer par ce fait que ce système de distribution se prête plus particulièrement à l'emploi de tables de distribution parallèles à l'axe des cylindres et placées soit au-dessus soit au-dessous de ceux-ci. Il présente un autre avantage : c'est qu'il permet de contre-balancer la perturbation due à l'obliquité de la bielle motrice. En raison de cette obliquité, il arrive, avec une distribution Stephenson par exemple, qui est en somme assez symétrique par elle-même, que les admissions sont très différentes à l'avant et à l'arrière du piston. Le mécanisme de Walschaert présente cette particularité que pour donner son mouvement au tiroir il utilise celui de la petite tête de la bielle motrice, par conséquent le mouvement du piston lui-même, et cette circonstance permet de rétablir l'équivalence des phases, qui sont, en fait, très sensiblement égales, à l'avant et à l'arrière du piston. Cette équivalence n'est pas seulement obtenue pour les admissions, mais également pour les autres phases et notamment pour les contre-pressions.

Nous constatons en ce qui concerne les autres éléments de la distribution des différences assez grandes, non pas en ce qui concerne les machines non-compound, mais en ce qui concerne les machines compound, et ces différences semblent s'expliquer par les dispositions prises par les différentes administrations pour éviter des contre-pressions trop fortes aux cylindres de haute pression des machines compound. Dans une machine ordinaire, la vapeur, avant d'être comprimée, est à une pression voisine de la pression atmosphérique ; on peut la comprimer jusqu'à la pression de la chaudière, entre 10 et 12 kilogrammes ; par conséquent, la période de compression peut sans inconvénient commencer assez tôt, et le rapport du volume initial au volume final de la compression peut être assez fort. Si on applique sans modifications aux cylindres H. P. d'une machine compound une distribution faite

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour une machine non-compound, on se réserve évidemment des mécomptes, attendu que la pression initiale et par suite aussi la pression finale de la vapeur comprimée seront notablement plus élevées dans la machine compound que dans la machine non-compound. C'est ce qui est arrivé à l'origine. Les premiers constructeurs ne se sont pas suffisamment méfiés; ils ont eu des contre-pressions qui empêchaient leurs machines de courir et c'est de là que vient la mauvaise réputation, absolument imméritée, des machines compound qui, lorsque les précautions nécessaires ont été prises, peuvent courir aussi bien que les autres.

Je vais entrer dans quelques détails au sujet des dispositions prises pour éviter qu'il ne se produise dans les cylindres H. P. des contre-pressions exagérées. Un examen sommaire de la question montre que, pour arriver à réduire leur importance, on peut: ou bien augmenter le volume final de la compression, ce à quoi on arrive en augmentant les espaces nuisibles, et accessoirement les avances linéaires; ou bien réduire le volume initial, ce à quoi on arrive par l'emploi de recouvrements intérieurs négatifs; ou bien, enfin, chercher à abaisser la pression au réservoir intermédiaire, et pour cela il y a encore deux méthodes : la première consiste à augmenter le rapport des volumes des cylindres de basse pression à celui des cylindres de haute pression ; la seconde, à disposer les organes de la distribution et combiner les appareils de relevage de façon à donner une très grande valeur à l'admission aux cylindres de basse pression.

Nous avons donc au total quatre procédés distincts; toutefois, nous constatons que la plupart des administrations ont eu simultanément recours à plusieurs de ces procédés, mais dans une mesure très différente, et c'est ce qui explique les divergences que nous constatons dans les mécanismes de distribution.

En ce qui concerne les espaces nuisibles qui constituent la presque totalité du volume final de la vapeur comprimée, nous constatons qu'en général ils représentent à peu près les 12 p. c. du volume engendré par le piston de haute pression. Cependant à la Compagnie du Nord et à celle du Midi on a récemment porté ces espaces à 14 p. c. et, si nous sommes bien renseignés, ils ont même été portés à 18 p. c. à la Compagnie de l'Est. Seulement la Compagnie de l'Est n'a pas recours au deuxième procédé, qui consiste à avoir un recouvrement intérieur négatif, et il est de règle à cette compagnie de faire les recouvrements intérieurs nuls.

A l'État autrichien, on fait l'inverse. L'espace nuisible n'est que de 8 p. c.; seulement on a alors recours à des découvrements intérieurs assez forts; ils atteignent 8 millimètres. En outre, on ménage un écart assez fort entre les degrés d'admission à la haute pression et à la basse pression. Cet écart est de 15 p. c., c'est-à-dire que, s'il y a 40 p. c. d'admission à la haute pression, il y aura en même temps 55 p. c. d'admission à la basse pression.

L'emploi de forts recouvrements intérieurs négatifs se présente surtout sur les machines compound à deux cylindres. C'est pour le cylindre H. P. de ces machines que Mr von Borries, le propagateur du système compound en Allemagne, recommande d'employer des découvrements intérieurs d'environ 20 à 25 p. c. de la valeur

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du recouvrement extérieur, des avances linéaires d'environ 10 p. c. du même recouvrement extérieur, enfin des espaces nuisibles de 12 p. c. du volume engendré par le piston, le tout avec un rapport des volumes des cylindres d'environ 2.25 et des distributions liées de manière à maintenir entre les degrés d'admission à la haute et à la basse pression un écart n'excédant pas 10 p. c.

Nous trouvons cependant cette formule appliquée également à des machines à quatre cylindres. C'est notamment le cas de la machine du Saint-Gothard, qui a des espaces nuisibles d'environ 11 p. c., des découvrements intérieurs de 8 millimètres (un peu plus du quart du recouvrement extérieur), et un écart entre les admissions de haute et de basse pression qui varie entre 5 et 8 p. c.

En ce qui concerne le rapport des volumes des cylindres, les idées paraissent s'être un peu modifiées. Au début, lorsqu'on faisait surtout des machines compound à deux cylindres, on s'attachait, peut-être à tort, à avoir des travaux égaux à droite et à gauche. De là des rapports de volumes des cylindres généralement compris entre 2 et 2.25. Il y a même eu à cette époque des machines (et parmi elles des machines à quatre cylindres), par exemple la machine n° 701 du Nord français et la machine de même numéro de l'État néerlandais, dans lesquelles ce rapport était inférieur à 2. Aujourd'hui, il dépasse le plus souvent 2.25 et se maintient assez généralement entre 2.30 et 2.40. Il a même atteint, pour les machines à six roues accouplées de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, 2.69 et pour les dernières machines à grande vitesse du Nord français, 2.71. Même pour des machines à deux cylindres, nous trouvons aujourd'hui des rapports qui excèdent 2.25.

Pour ce qui est des écarts à ménager entre les admissions à la haute et à la basse pression, ils seront déterminés une fois pour toutes, ou variables au gré du mécanicien suivant la disposition adoptée pour l'appareil de changement de marche. En général, on emploie soit un appareil unique comportant la liaison des distributions à la haute et à la basse pression (ces appareils uniques sont plutôt l'apanage des machines compound à deux cylindres), soit deux appareils de changement de marche distincts permettant de faire varier à volonté l'admission tant à la haute qu'à la basse pression et indépendamment l'une de l'autre.

Lorsque les distributions sont liées, la liaison est généralement telle que pour tous les crans, du moins pour tous ceux de la marche avant, l'admission à la basse pression est plus prolongée qu'à la haute pression. L'écart, qui est naturellement variable avec les degrés d'admission, peut s'obtenir de différentes façons. A l'origine, Mr von Borries se bornait à suspendre les organes de la distribution au moyen de bielles de relevage de longueurs différentes. On peut aussi donner des positions angulaires différentes aux bras de l'arbre de relevage. Enfin, on peut employer également, suivant le cas, des poulies de distribution différentes, ou des leviers d'avance différents.

Le principe de l'indépendance des appareils de changement de marche a été admis plus particulièrement en France pour les machines à quatre cylindres. Dans ce cas rien n'est plus facile que d'établir à chaque instant l'écart le plus convenable

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entre les admissions à la haute et à la basse pression. Mais l'écart ne doit pas être constant pour un même cran d'admission : il doit varier avec la vitesse. A la Compagnie du Nord on a constaté qu'aux grandes vitesses, il faut augmenter le degré d'admission à la basse pression par rapport au degré d'admission à la haute pression. A la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, on a même trouvé que, dans tous les cas et à toutes les vitesses, il y avait intérêt à faire fonctionner les cylindres de basse pression à leur admission maximum.

Seulement il faut bien remarquer que les mécanismes de distribution employés par la Compagnie du Nord et par le Paris-Lyon-Méditerranée ne sont pas semblables : les uns ont des recouvrements intérieurs négatifs, tandis que les autres ont des recouvrements intérieurs nuls.

Sur la ligne du Saint-Gothard, on a renoncé, après l'avoir essayé, au système de l'indépendance des mécanismes de distribution et on a adopté une disposition tout à fait analogue à celle appliquée aux machines à deux cylindres.

Il me reste à dire quelques mots des appareils de démarrage. Au début, les machines compound à deux cylindres étaient assez souvent pourvues d'appareils à fonctionnement automatique comportant un organe appelé *intercepting valve*. Aujourd'hui ces appareils ont à peu près disparu et on leur préfère soit des dispositifs à la main du mécanicien, qui permettent à celui-ci de transformer à son gré la machine compound en machine simple, soit des appareils automatiques qui ne comportent pas d'organes d'interception au réservoir intermédiaire, tels que le système Lindner ou le système Gölsdorf.

Pour les machines à quatre cylindres on s'est contenté parfois d'un robinet permettant d'envoyer la vapeur vive au réservoir intermédiaire ; mais, en France tout au moins, la plupart de ces machines ont été pourvues non seulement d'un organe d'admission directe aux cylindres B. P. mais encore d'un appareil permettant de mettre en échappement direct les cylindres H. P.

Nous disons plus loin quelques mots du graissage des pistons et des tiroirs. Vous remarquerez qu'en France on préfère généralement les graisseurs mécaniques des systèmes Mollerup et Bourdon. Dans les autres pays on préfère les appareils à condensation, dits appareils à goutte visible.

Il nous a paru intéressant de rechercher, dans les machines que nous avons eu à étudier, de quelle façon on avait équilibré les organes animés de mouvements relatifs. Nous n'avons cependant dit que peu de chose des machines à deux cylindres, compound et non-compound. Partout, en effet, il est de règle d'équilibrer la totalité des masses en rotation en ayant soin, bien entendu, d'équilibrer séparément chaque paire de roues et de tenir compte dans la répartition des contrepoids entre les deux roues, de ce que les centres de gravité des différents organes se meuvent dans des plans différents. Mais en ce qui concerne les organes animés d'un mouvement alternatif, il ne semble pas qu'on soit bien d'accord sur la fraction du poids de ces organes qu'il convient d'équilibrer. Ainsi, à l'État français on équilibre 5 p. c. seulement de ces masses ; à l'État autrichien, 10 p. c. ; à l'Est français, 25 p. c. ; au Nord

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

français, 33 p. c.; à la « Kaiser Ferdinands-Nordbahn », à l'Ouest français et aux chemins de fer de l'Adriatique, 50 p. c.; enfin, à l'État néerlandais on va jusqu'à 66 p. c. Évidemment, la détermination de l'équilibre qui convient le mieux à une machine est toujours une question d'espèce et il faudrait se garder d'énoncer des règles absolues. Toutefois on ne peut qu'être frappé de la grande diversité des chiffres que je viens d'indiquer.

En ce qui concerne les machines à quatre cylindres, bien des systèmes ont été appliqués. Dans les premières machines de la Compagnie du Nord, on a considéré séparément l'attirail de haute pression et l'attirail de basse pression et on les a équilibrés séparément, comme si chacun d'eux était seul, et sans tenir compte de l'espèce d'auto-équilibre qui résulte de l'orientation réciproque des manivelles, orientation qui est maintenue constante par les bielles d'accouplement. Le poids de celles-ci a été bien entendu réparti par moitié entre les deux attirails. Quant aux masses en translation, elles ont été équilibrées, pour chaque attirail, dans la proportion de 33 p. c. Toutefois, comme à cause du calage des manivelles à 162 degrés, on arrivait à avoir des contrepoids différents pour les deux roues motrices B. P., on leur a effectivement appliqué, pour pouvoir les forger à l'aide d'une même matrice, des contrepoids identiques, dont le poids et l'orientation ont été obtenus en prenant la moyenne arithmétique des éléments similaires des contrepoids calculés. On a ainsi volontairement introduit des perturbations qui s'ajoutent à celles que les contrepoids calculés laissaient subsister.

Ce système a été abandonné dans les machines à six roues accouplées de la même Compagnie, dans lesquelles on a tenu compte de l'auto-équilibre partiel résultant du calage réciproque à 162° des manivelles de haute et de basse pression, tout en équilibrant 33 p. c. des masses en translation.

A la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, dans les machines de laquelle les manivelles sont également orientées à 180°, on s'est dit ceci :

Puisque nos pistons s'équilibrent à peu près, et qu'il s'en faut de peu de chose pour que l'équilibre horizontal soit complet, nous pouvons nous passer des contrepoids supplémentaires qui compléteraient cet équilibre. Par suite, on s'est borné à appliquer l'équilibre vertical.

Au Saint-Gothard, on a tenu un raisonnement tout opposé. Puisqu'il n'y a que peu de chose à ajouter aux contrepoids de l'équilibre vertical pour réaliser l'équilibre horizontal complet, il n'y a aucun inconvénient à le faire. On a donc réalisé l'équilibre horizontal complet.

A la Compagnie du Midi français, on a trouvé le moyen de faire encore autrement. On a été conduit depuis longtemps, à cette Compagnie, à une époque où on n'y employait que des machines à deux cylindres, à faire une distinction entre l'équilibre horizontal au point de vue du recul et l'équilibre horizontal au point de vue du lacet et c'est de ce dernier seul qu'on s'occupe. On sait, en effet, que le lacet tel qu'il se produit sur la voie n'a absolument rien de commun avec les masses en translation. Ce mouvement paraît avoir pour causes principales, la conicité des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bandages, le jeu et les inégalités de la voie. En tout cas, l'action alternative de la vapeur et l'inertie des organes en translation n'ont qu'une influence tout à fait secondaire. Il en résulte que pour combattre le mouvement de lacet, le seul procédé efficace consiste à augmenter les empattements et à supprimer les masses en porte-à-faux. Ce remède, très efficace contre le lacet dû aux causes étrangères à l'inertie des masses en mouvement relatif, l'est évidemment *a fortiori* contre le faible mouvement de lacet qui peut résulter de l'inertie de ces masses. Il était donc rationnel d'admettre qu'il vaut mieux diriger tout l'effort des contrepoids contre le recul, pour lequel il n'existe pas d'autre remède et qui est parfois très gênant.

Je n'entrerai pas dans les détails de la méthode suivie pour l'application de ces contrepoids qui, symétriquement disposés de part et d'autre du plan méridien de la machine, n'ont aucune action sur le lacet, mais en ont une très sensible sur le recul. Cette méthode est surtout avantageuse lorsque les cylindres sont extérieurs, auquel cas elle permet d'équilibrer, au point de vue du recul seul, une même fraction du poids des masses en translation, en employant des contrepoids plus légers de 40 p. c. que ceux du système ordinaire. Au point de vue du lacet, les machines auxquelles nous avons appliqué cet équilibre se trouvaient dans les mêmes conditions que si elles avaient reçu tout simplement les contrepoids de l'équilibre vertical.

C'est ce même système d'équilibre qui a été appliqué aux machines compound à quatre cylindres de la Compagnie du Midi, avec cette seule différence qu'on a profité de l'auto-équilibre partiel résultant du calage des manivelles à 162°, pour équilibrer la totalité des forces de recul dues à l'inertie des organes. On peut donc dire que les machines compound à quatre cylindres de la Compagnie du Midi se trouvent, au point de vue du lacet, exactement dans les mêmes conditions que les machines du Paris-Lyon-Méditerranée, et, au point de vue du recul, exactement dans les mêmes conditions que les machines de la Compagnie du Saint-Gothard.

Nous avons encore consacré un tableau aux efforts de traction maximum, c'est-à-dire aux efforts de traction théoriques calculés au moyen de la formule générale

$$\frac{(P - p)\, d^2 l}{D}$$

dans laquelle P et p désignent les pressions absolues qui s'exercent sur chaque face du piston.

Pour les machines à simple expansion, on a pris $P - p$ égal au timbre de la chaudière.

Pour les machines compound à quatre cylindres, on a appliqué la formule successivement à chacun des deux groupes de cylindres H. P. et B. P. et on a totalisé les résultats ainsi obtenus. On a opéré de même pour les machines compound à deux cylindres; seulement, les résultats ont été divisés par deux.

Trois cas ont été considérés : le fonctionnement ordinaire en compound, le fonctionnement ordinaire avec admission de vapeur vive au réservoir et, enfin, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les machines qui le comportent, le fonctionnement en non-compound avec échappement direct.

Mais le temps presse et je passe, messieurs, aux renseignements concernant le véhicule des locomotives.

Nous donnons d'abord quelques renseignements sur les châssis et nous constatons qu'ils sont généralement intérieurs. On semble n'avoir adopté des châssis extérieurs que dans les cas où on y était conduit par la nécessité de placer entre les deux longerons des cylindres volumineux, ou encore, comme par exemple, à l'État hongrois, par celle de placer un bogie au-dessous de quatre cylindres extérieurs en tandem.

Nous nous étendons un peu sur la question des bogies et nous les avons considérés à différents points de vue, en donnant autant que possible les motifs des diverses dispositions adoptées. Leur entre-axes est généralement compris entre 1.800 et 2.200 ; en Autriche, il est généralement plus fort. Certains bogies présentent un léger décentrement, le pivot étant ramené à l'arrière.

Les suspensions peuvent se ramener à deux types : la suspension américaine et la suspension à quatre ressorts. La suspension à quatre ressorts est généralement employée lorsque les surfaces d'appui sont latérales. Au contraire, on semble employer de préférence les ressorts équilibrés lorsqu'on a des surfaces d'appui centrales.

Nous constatons généralement en France un jeu latéral du pivot. Dans certaines machines des autres pays, ce jeu est supprimé.

Quant au rappel, il comporte généralement l'emploi de ressorts à lames ou à boudin. Le Paris-Lyon-Méditerranée seul emploie un système à plans inclinés. Quelques administrations ont recours au système de rappel américain constitué par des bielles de suspension. Nous avons relevé quelques différences dans l'application de ces bielles. Il y en a qui convergent vers le haut, d'autres qui convergent vers le bas, d'autres enfin qui sont parallèles. Ces dernières sont souvent pourvues à leur extrémité supérieure d'une double articulation qui permet d'avoir un effort de rappel initial tout en conservant les avantages de la suspension parallèle.

Nous avons encore dit un mot de la hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus du niveau des rails. Sous ce rapport, nous avons fait des progrès ; ainsi, je trouve dans le rapport de Mr Aspinall, qu'en 1895, la cote de 2.59 mètres n'était atteinte en Europe que par une seule machine : celle à six roues couplées du chemin de fer de Vladicaucase. Aujourd'hui, cette cote est dépassée dans beaucoup de machines, notamment dans celles à grande vitesse de l'Ouest français (2.501 mètres), du Nord français (2.520 mètres), de l'État autrichien (2.590 mètres) et de l'État néerlandais (2.667 mètres).

Nous terminons ce chapitre par quelques indications sur les attelages.

Pour les moteurs à grande vitesse employés en 1889, nous avons suivi exactement la même marche que dans la première partie de notre travail. Nous avons donné d'abord quelques renseignements sur les services assurés par ces machines ; ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

renseignements sont naturellement beaucoup moins complets que ceux donnés pour l'année 1899, beaucoup de compagnies n'ayant pas conservé les documents se rapportant à l'année 1889. Nous voyons qu'à cette époque, les express ne dépassaient guère la vitesse de 70 kilomètres et qu'on pouvait considérer comme trains très lourds les trains pesant 230 et 235 tonnes.

Nous donnons plus loin les monographies de quelques-unes des machines en usage en 1889 ainsi que des tableaux d'ensemble semblables à ceux fournis dans la première partie.

J'en arrive maintenant, messieurs, aux conclusions qui se dégagent de la comparaison des moteurs usités en 1889 et en 1899. D'abord, en ce qui concerne les services assurés, nous constatons qu'il y a dix ans les vitesses de marche ne dépassaient pas 75 kilomètres. Aujourd'hui, elles atteignent 95 et 100 kilomètres. Les trains les plus lourds, pesant de 230 à 250 tonnes, étaient tracés à des vitesses n'excédant pas 65 kilomètres à l'heure; aujourd'hui, nous avons des trains de 300 tonnes remorqués à des vitesses de 70 et de 75 kilomètres. Enfin, les charges susceptibles d'être remorquées à une vitesse déterminée, sur certaines rampes, ont pu être accrues depuis dix ans dans une proportion qui, dans certains cas, n'a pas été inférieure à 70 p. c.

Ces résultats supposent à la fois une augmentation notable de la puissance des chaudières, une meilleure utilisation de la vapeur produite et enfin une amélioration de la stabilité des moteurs.

Nous avons donc à considérer les progrès réalisés à trois points de vue : au point de vue de la chaudière, au point de vue du mécanisme et au point de vue du véhicule.

La puissance d'une chaudière résulte à la fois de la quantité et de la qualité de la vapeur produite. La quantité est surtout fonction de la surface de grille; il était, par conséquent, logique que cette surface fût augmentée généralement. C'est, en effet, ce qu'on constate. Mais l'augmentation des dimensions de la grille devait avoir une répercussion inévitable sur le mode de construction des boîtes à feu. C'est cette augmentation des dimensions de la grille qui a motivé l'abandon des fermes de foyer et leur remplacement par des tirants verticaux. C'est elle aussi qui a conduit à choisir pour les entretoises une matière plus résistante et, enfin, dans une certaine mesure, à employer des jette-feu, des voûtes ou des bouilleurs.

La quantité de vapeur produite est également fonction des dimensions du faisceau tubulaire et nous savons, depuis les expériences de Mr Henry, que les tubulures relativement courtes, moins économiques que les tubulures de grande longueur, sont néanmoins plus avantageuses au point de vue de l'intensité de la vaporisation. Mais la perte ainsi consentie de prime abord sur l'utilisation du combustible a été récupérée, en grande partie, par l'emploi de plus en plus répandu des tubes à ailettes.

La qualité de la vapeur résulte de la pression sous laquelle elle est produite et de son degré de siccité. En ce qui concerne la pression, nous avons fait des progrès considérables. En 1889, les chaudières timbrées à plus de 12 kilogrammes étaient

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'exception. Aujourd'hui, nous trouvons des pressions effectives de 14, 15 et même 16 kilogrammes. Des pressions aussi élevées auraient évidemment entraîné une augmentation notable du poids des chaudières si les progrès réalisés par la métallurgie n'avaient permis de substituer l'acier au fer. En 1889, en effet, l'emploi du fer était encore général ou à peu près. Aujourd'hui, on n'emploie plus guère que l'acier doux.

Pour ce qui concerne le degré de siccité de la vapeur, il ne semble pas qu'on ait fait beaucoup de progrès. Nous en sommes toujours à l'ancien dôme ou à peu près. Sur le réseau du Paris-Lyon-Méditerranée, on emploie, il est vrai, des tuyaux collecteurs et des diaphragmes; seulement, si je suis bien renseigné, ces tuyaux collecteurs et ces diaphragmes étaient déjà en service il y a dix ans.

J'arrive, messieurs, au chapitre concernant les progrès réalisés au point de vue du mécanisme. Ici, l'événement le plus important de ces dix dernières années, c'est la grande extension prise par les applications de la disposition compound. La plupart des administrations qui ont été conduites à porter le timbre de leurs chaudières à 12 et 13 kilogrammes et au delà l'ont successivement adoptée, et celles-là même qui, pour des motifs divers, sont restées fidèles à la simple expansion, sont néanmoins d'accord pour reconnaître que la disposition compound est un moyen très économique, peut-être le plus économique d'utiliser la détente de la vapeur lorsque celle-ci a été produite à une pression élevée. Toutes choses égales d'ailleurs, elle permet soit de produire un travail déterminé avec une moindre dépense de charbon, soit, avec la même dépense de charbon, d'obtenir un travail plus considérable.

Ici, cependant, l'Administration des chemins de fer de l'État français, qui seule paraît être d'un avis différent, nous signale qu'elle a procédé à des essais comparatifs d'où il résulterait qu'aux vitesses supérieures la simple expansion pourrait reprendre l'avantage et que même avec des trains s'arrêtant en moyenne tous les 25 kilomètres, cet avantage pourrait devenir assez sensible pour compenser l'infériorité qui résulterait pour elle de démarrages plus onéreux.

Les conclusions que l'Administration de l'État a cru pouvoir formuler à la suite de ces essais comparatifs sont les suivantes :

« A toutes les vitesses pratiquement réalisables, depuis 0 jusqu'à 120 kilomètres à l'heure, l'effort de traction maximum susceptible d'être développé, à un instant donné, par la machine à simple expansion est supérieur à celui que peut développer la machine compound.

« Aux vitesses modérées, les machines à simple expansion ne peuvent soutenir longtemps l'effort maximum dont elles sont capables, en raison de la grande quantité de vapeur que nécessite cet effort et que la chaudière est impuissante à produire. Il en résulte que les machines compound, par suite d'une meilleure utilisation de la vapeur qui leur est fournie, sont effectivement plus puissantes à ces vitesses que celles à simple expansion.

« Cet avantage des machines compound va en s'atténuant au fur et à mesure que la vitesse augmente. Aux très grandes vitesses, le mécanisme de ces machines devient moins apte à transformer en travail utile toute l'énergie que lui apporte la vapeur, et cela au point qu'à une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

admission plus grande aux cylindres de haute pression ne correspond plus, lorsqu'une certaine vitesse est atteinte, un travail effectif plus considérable.

« Si aux grandes vitesses considérées la machine ordinaire ne développe pas un effort supérieur à celui constaté aux expériences, cela tient exclusivement à l'insuffisance de sa chaudière. Une chaudière plus puissante ne permettrait, au contraire, aucun accroissement de l'effort développé par la machine compound, la quantité supplémentaire de vapeur qui serait fournie à son mécanisme n'étant plus susceptible d'être employée utilement. »

Ces conclusions ne sauraient évidemment s'appliquer qu'aux machines soumises à l'essai et nous ne pensons pas qu'elles soient susceptibles d'être généralisées, d'autant moins que ces machines présentent d'autres différences que celles résultant du mode de fonctionnement de la vapeur.

Si maintenant nous laissons de côté le principe de la double expansion pour la considérer dans ses applications, nous constatons une préférence marquée pour la disposition à quatre cylindres actionnant deux essieux moteurs différents. Les avantages de cette disposition sont connus; ce sont : le placement plus facile des cylindres, la plus grande régularité du moment moteur, le meilleur équilibre des masses en mouvement, enfin, la facilité spéciale qu'elle offre pour le démarrage et la moindre fatigue qu'elle impose au mécanisme.

Les partisans de la disposition à deux cylindres invoquent en sa faveur la complication moindre, la dépense moindre de premier établissement, les frais d'entretien et de graissage moins élevés, la possibilité de n'employer que des essieux droits. Ces avantages sont à peine atténués par l'emploi de quatre cylindres disposés en tandem, disposition qui offre, en outre, plus de facilités pour le démarrage.

En ce qui concerne le véhicule, je me bornerai à signaler l'emploi général du bogie. En 1889, il n'y avait guère, parmi les administrations qui ont bien voulu nous renseigner, que la Compagnie du Nord français qui eût des locomotives à bogie; l'Ouest français commençait à en construire. Aujourd'hui, toutes les administrations en ont.

On peut donc résumer comme suit les progrès réalisés depuis dix ans : en ce qui concerne la chaudière, augmentation du timbre et de la puissance de vaporisation; en ce qui concerne le mécanisme, application du système compound qui permet une meilleure utilisation de la vapeur, et, enfin, en ce qui concerne le véhicule, généralisation de l'emploi du bogie. (*Applaudissements.*)

Mr le Président. — Messieurs, le rapport dont vous venez d'entendre le résumé me semble être ni plus ni moins qu'un cours complet de construction moderne des locomotives à grande vitesse et nous devons de chaleureux remerciements aux auteurs de ce remarquable travail.

La question ne semble pas cependant susceptible de se résumer en une conclusion; c'est plutôt la constatation des progrès réalisés dans la construction des locomotives à grande vitesse. Mais il serait intéressant de connaître, messieurs, votre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

opinion sur les machines compound, sur les plus grandes vitesses possibles avec ces locomotives, etc. J'ouvre donc la discussion sur ces points.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Messieurs, je demanderai la permission de faire une réflexion ou plutôt une constatation qui résulte de l'ensemble du rapport, mais qu'il n'est cependant pas inutile d'exprimer. Elle est justifiée par le titre même de la question : locomotives des trains à très grande vitesse.

Il me semble résulter du rapport cette constatation qu'il n'y a pas de locomotives pour les trains à très grande vitesse et qu'au contraire la tendance, d'ailleurs bien naturelle, des chemins de fer, c'est d'avoir aussi peu de types de locomotives que possible et, par conséquent, d'avoir un type de locomotive à grande vitesse pouvant faire aussi bien les trains à grande vitesse que les trains à vitesse moyenne.

Je sais qu'il y a cependant quelques exceptions. En Angleterre, notamment, on trouve encore quelques locomotives à essieux indépendants qui, par suite de leur faible adhérence, semblent, en effet, plutôt construites pour une marche très rapide avec un poids modéré. Mais, d'une façon générale, les chemins de fer préfèrent, je crois, ne pas créer de ces types spéciaux qui fonctionneraient très bien dans des conditions tout à fait particulières, mais qui se prêteraient mal à entrer dans le roulement du service.

Nous pouvons donc constater que la création de locomotives tout à fait spéciales, de type particulier, par exemple avec des diamètres de roue très grands, en vue de réaliser de grandes vitesses, n'entre pas dans le programme des administrations de chemins de fer; bien que la vitesse moyenne de marche semble augmenter dans d'assez fortes proportions, il n'y a guère tendance à augmenter le diamètre des roues. On pourrait même citer dans quelques constructions récentes de légères réductions de ce diamètre.

Mr le Président. — La remarque de Mr le Secrétaire principal est très juste. Je crois cependant que son opinion sur ce point est discutable et il serait intéressant, messieurs, d'avoir votre avis à ce sujet. Il doit y avoir évidemment sur cette matière des manières de voir différentes. Devons-nous chercher à créer des types de locomotives différents pour les trains de très grande vitesse, de grande vitesse et de vitesse moyenne, ou devons-nous chercher à n'avoir qu'un type unique? Jusqu'à quelles limites devons-nous augmenter le diamètre des roues et la puissance des chaudières pour arriver à avoir une locomotive à grande vitesse répondant à l'usage spécial auquel elle est destinée? Voilà les questions qu'il serait intéressant de vous entendre discuter.

Mr Gerstner, Société austro-hongroise privilégiée des chemins de fer de l'État. — Le remarquable rapport dont nous venons d'entendre un exposé succinct, résume parfaitement les progrès réalisés pendant dix ans en cette matière, en signalant l'emploi du bogie qui permet de passer dans des courbes de faible rayon, l'augmentation de la surface de grille et de la capacité de la chaudière. Mais on pourrait encore, me semble-t-il, signaler un point intéressant : c'est la tendance à généra-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

liser l'emploi de trois ou quatre cylindres, tendance qui existe partout où il s'agit d'obtenir des efforts de traction très considérables.

En Autriche, nous sommes partisans du système de Gölsdorf que vous connaissez tous, mais nous avons reconnu que, lorsqu'il s'agit de locomotives à trois ou quatre essieux accouplés et surtout à trois essieux accouplés pour les trains de grande vitesse, il y a un grand avantage à passer des deux cylindres inégaux au système des deux paires de cylindres égaux.

Je crois devoir encore signaler un point que j'ai eu à plusieurs reprises l'occasion de constater à l'Exposition : c'est la tendance très marquée à l'abandon du système compound en tandem, pour arriver plutôt à un système de cylindres intérieurs et extérieurs pour les locomotives à quatre cylindres et, même avec le système à deux cylindres, d'arriver aux cylindres intérieurs.

Il serait peut-être intéressant de signaler cette tendance à l'abandon du système en tandem et à son remplacement par des cylindres multiples, c'est-à-dire par quatre cylindres au lieu de deux lorsqu'il s'agit d'obtenir de très grands efforts de traction.

Mr du Bousquet, *rapporteur*. — Nous sommes tout à fait d'accord.

Je désirerais dire un mot de ce qu'on devrait entendre par machine à très grande vitesse. Les ingénieurs de la traction sont toujours très heureux de pouvoir dire : J'ai une machine qui peut faire tant de kilomètres à l'heure. On pourra donc voir un ingénieur faire une machine ayant de très grandes roues qui, sur une partie déterminée du parcours, pourra marcher à très grande vitesse, mais qui, par contre, ne pourra monter une rampe — même faible — avec un train — même pas bien lourd — qu'à 60 kilomètres à l'heure. Mais le service de l'exploitation et les voyageurs trouvent ce système absolument déplorable.

Mr Blagé, Ch. de f. du Midi français. — Ils ont absolument raison.

Mr du Bousquet, *rapporteur*. — Ce qu'il leur faut, c'est une machine qui puisse marcher en rampe aussi bien qu'en palier.

De tout temps, nous avons eu au Nord et ailleurs, des machines qui permettaient d'atteindre la vitesse-limite fixée par le contrôle. De tout temps, nos machines Crampton de l'Est et du Nord sont arrivées à faire, sur certains points de ces réseaux, 120 kilomètres à l'heure. N'empêche que ces machines avec lesquelles nous faisions nos grands trains rapides mettaient 4 heures 50 minutes pour faire le trajet Lille-Paris que nous effectuons aujourd'hui en 3 heures. Nous avons donc gagné 1 heure 50 minutes, et comment cela s'est-il fait? Nous avons employé des machines de plus en plus puissantes qui nous ont permis de monter les rampes de plus en plus vite, de telle sorte qu'aujourd'hui, avec un train de 200 tonnes, nous arrivons à franchir, à 90 kilomètres à l'heure, des rampes qu'autrefois nous ne montions qu'à 60 kilomètres.

La véritable machine à grande vitesse, permettant de faire des trains commerciaux rapides, est celle qui est assez puissante pour pouvoir marcher par exemple à la vitesse moyenne de 120 kilomètres à l'heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voilà, je crois, ce qu'il était bon de dire, car je crois que faire des machines à très grande vitesse avec des roues de 2.50 mètres et tout cela pour être obligé quelquefois de marcher en double traction sur les rampes, ce n'est véritablement pas bon.

Mr Chapuy, Compagnie royale des ch. de f. portugais. — Messieurs, je puis vous citer une expérience assez intéressante que nous n'avons pas pu signaler à Mrs les rapporteurs parce qu'elle est assez récente : c'est l'application sur les lignes de la Compagnie royale des chemins de fer portugais de locomotives compound très puissantes, à bogie et trois essieux accouplés, roues de 1.75 mètre de diamètre, chaudière timbrée à 15 kilogrammes. Ces machines ont une très grande analogie avec celles du Nord français; seulement, elles sont établies pour la largeur de la voie espagnole et présentent quelques petites différences de construction à raison de la plus grande largeur de cette voie.

C'est, il y a trois ans environ, que j'ai pris la direction des chemins de fer portugais. Nous n'avions alors comme locomotives à grande vitesse que des machines d'un type assez ancien à grandes roues atteignant environ 2 mètres, avec chaudière timbrée à 9, 10 ou 11 kilogrammes.

Comme toutes les lignes espagnoles, nos lignes sont à profil assez accidenté; il y a des rampes qui, sur des longueurs de plusieurs kilomètres, atteignent 15 et 18 millimètres.

J'ai pensé immédiatement qu'avec des locomotives plus puissantes ayant même des diamètres de roues plus faibles, on pourrait atteindre une vitesse commerciale beaucoup plus grande, tout en remorquant des trains plus lourds. C'est ce qui nous a amenés à employer les locomotives compound à quatre cylindres, avec bogie et trois essieux couplés, qui étaient déjà en complète exploitation aussi bien sur le Midi que sur le Nord.

Nous avons obtenu avec ces locomotives des résultats très intéressants, tant au point de vue de l'exploitation qu'au point de vue de la consommation de combustible. Au point de vue de l'exploitation, elles nous ont permis d'augmenter nos vitesses commerciales dans des proportions considérables. C'est ainsi que les trains entre Lisbonne et Porto n'arrivaient à faire ce trajet de 350 kilomètres qu'en 9 heures. Nous le faisons maintenant en 6 heures, c'est-à-dire à la vitesse commerciale de 60 kilomètres avec des trains de 160 tonnes, sur des profils difficiles présentant des rampes de 15 millimètres.

Au point de vue de la consommation de combustible et de l'usage, j'ai à signaler deux faits intéressants qui répondent à certaines objections qu'on a une tendance à formuler contre le système compound. On objecte parfois qu'avec sa complication de mécanisme, ce système doit entraîner des complications d'entretien et que, mis entre les mains d'agents du service du matériel et de la traction sans expérience, les machines compound peuvent donner lieu à des difficultés. Notre expérience est caractéristique à ce point de vue : voilà un an et demi que nous avons de ces loco-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

motives en service et jamais nous n'avons eu le moindre ennui, jamais nous n'avons eu la moindre avarie en cours de route du fait du mécanisme.

Au point de vue de la consommation du combustible, notre expérience présentait ce côté intéressant que nous faisions une grande enjambée et que nous passions de locomotives d'un type assez arriéré à des locomotives très perfectionnées. Les résultats ont dépassé nos espérances. Comparativement à nos trois types antérieurs à grande vitesse, nous avons réalisé, en moyenne, une économie de plus de 30 p. c. sur la consommation du charbon et même de plus de 40 p. c. si nous considérons le moins avantageux de ces trois types. Il est vrai que la consommation de nos locomotives anciennes était un peu élevée peut-être. Pour citer un chiffre précis, notre consommation par tonne kilométrique, avec nos nouvelles locomotives, est descendue à 53 grammes. Vous le voyez, avec des rampes de 15, c'était là un résultat très satisfaisant. Cette expérience nous a mis sur la voie de certaines améliorations à apporter à nos anciennes locomotives ; mais aujourd'hui encore nos locomotives compound avec chaudière timbrée à 15 kilogrammes réalisent, comparativement à nos anciennes locomotives modifiées, des économies de 20 et de 25 p. c.

Quant à des difficultés d'exploitation, nous n'en avons eu aucune. Ces locomotives plus puissantes nous ont permis de réaliser des progrès considérables au point de vue de la marche rapide des trains et, par conséquent, une amélioration considérable dans les horaires.

J'ai cru intéressant de signaler ces observations au Congrès. Si nous n'avons pas fourni de renseignements aux rapporteurs, c'est que ces locomotives ne sont en service que depuis un an et demi ; nous n'avions donc pas, il y a quelques mois, des données suffisantes.

Mr Lancrenon, Ch. de f. de l'Est français. — En dehors du rapport de Mrs du Bousquet et Herdner, nous avons encore d'autres rapports dont il serait intéressant de parler, ne fût-ce que pour remercier leurs auteurs des renseignements très intéressants et très complets que contiennent leurs travaux.

M^r le Président. — Nous avons encore, en effet, les deux rapports de Mrs Riches et Slack, et la note de Mr Holden. Malheureusement aucun de ces messieurs n'est ici.

Le rapport de Mr Riches est un exposé très complet et contient beaucoup de renseignements extrêmement utiles, mais il ne me paraît pas possible d'en tirer une conclusion et je crois pouvoir en dire autant du rapport de Mr Slack. Dans tous les cas, ces trois rapports feront partie de la discussion.

Mr Clérault, Ch. de f. de l'Ouest français. — Je désirerais répondre deux mots à ce que vient de dire Mr Chapuy. Il me paraît, en effet, très difficile de laisser passer sans un mot de réplique l'observation qu'il vient de faire au sujet de l'économie des locomotives compound.

Je ne doute nullement que l'on ait constaté sur les chemins de fer portugais des économies de 25 et de 30 p. c., mais en comparaison de quelles machines ces économies ont-elles été réalisées ? Quel était le timbre des chaudières de ces machines ?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On ne peut raisonnablement comparer une machine compound timbrée à 15 ou 16 kilogrammes à une machine ordinaire timbrée à 7 ou 8 kilogrammes.

Sur les chemins de fer français, nous avons aussi établi des comparaisons entre des machines compound et des machines ordinaires; pour cela nous n'avons pas toujours eu à notre disposition des types absolument équivalents, mais ils étaient en tout cas très similaires; nous avons constaté des économies de 8, 9, 10 et 11 p. c., mais on n'a jamais enregistré de chiffres analogues à ceux que Mr Chapuy vient de citer.

Je suis d'ailleurs convaincu que Mr Chapuy est absolument de mon avis, mais je crois utile d'insérer au procès-verbal qu'on ne peut arriver à de pareilles économies que lorsqu'on compare des machines compound à des machines ordinaires ayant une consommation exceptionnellement forte.

Mr Chapuy. — Évidemment. J'ai d'ailleurs bien indiqué tout à l'heure que nous avions fait la comparaison avec des machines d'un type très ancien, timbrées à 9 et 10 kilogrammes. Il est évident qu'avec des machines timbrées à 15 kilogrammes, la comparaison aurait été tout autre. J'ai simplement voulu montrer les progrès réalisés par l'adoption du type compound par rapport à nos anciennes machines.

Mr le Président. — Messieurs, Mr Herdner veut bien nous donner un résumé des rapports de Mrs Riches et Slack.

Mr Herdner, *rapporteur*. — Messieurs, je vais essayer de résumer le rapport de Mr Riches, que je n'ai reçu que ce matin et que je n'ai pas eu le temps d'étudier longuement.

Comme vient de le dire Mr le Président, ce rapport est surtout un recueil de renseignements qui ne sont accompagnés ni de réflexions ni de conclusions. Il s'y trouve cependant quelques indications intéressantes.

En Angleterre, les vitesses réglementaires de plus de 56 milles ou 90 kilomètres à l'heure sont extrêmement rares et, dans la pratique, on se contente de cette vitesse. Le type de machine à grande vitesse le plus répandu dans ce pays est toujours la machine à deux essieux accouplés avec bogie. On emploie également des machines à roues motrices indépendantes sur les lignes à profil facile; mais l'auteur du rapport croit pouvoir spécialement recommander le type à quatre roues accouplées, qui ne le cède guère à aucun autre, pourvu qu'il soit bien étudié au point de vue de la chaudière, des cylindres et du poids adhérent.

Mr Riches signale l'importance de la puissance de vaporisation au point de vue des vitesses à soutenir dans les rampes, et fait remarquer que la réduction du diamètre des roues paraît être en faveur en Angleterre. Les hautes pressions se généralisent. On commence à employer en Angleterre les chaudières Belpaire, mais cet emploi est encore trop récent pour qu'on puisse formuler un jugement quant à ses résultats; néanmoins, à la connaissance personnelle de l'auteur du rapport, ces chaudières sont satisfaisantes au point de vue de la production de vapeur.

Les machines employées sur les différents chemins de fer diffèrent beaucoup dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leurs détails, mais très peu dans leurs principes, et l'auteur se demande pourquoi, à l'exemple de l'Amérique, on n'adopte pas pour ces machines un type identique. Aucune des machines faisant l'objet du rapport n'offre de particularités nécessitant une mention spéciale, mais on trouve dans les dessins des détails qui peuvent être notés.

L'auteur termine en exprimant la pensée qu'en raison de l'augmentation continuelle de la vitesse et du poids des trains, il se produira, tant en Angleterre qu'à l'étranger, une révolution en matière de traction des trains express, et que, dans cette révolution, l'électricité jouera probablement un rôle important. Voici quel serait le rôle de l'électricité, d'après Mr Riches :

« Ce n'est guère qu'on puisse transformer les chemins de fer actuels en lignes électriques, « mais peut-être la locomotive pourra-t-elle, tout en produisant le courant nécessaire pour sa « propre propulsion, alimenter en même temps des moteurs placés sur les voitures; de la sorte, « le poids de celles-ci serait utilisé pour la traction, la machine pourrait être portée sur plusieurs « bogies constituant une base d'appui parfaitement flexible, et la puissance de traction déve- « loppée par un certain nombre d'essieux du train pourrait dépasser sensiblement celle qu'il est « possible d'obtenir maintenant avec l'adhérence des quelques roues que l'on peut placer sous « une locomotive d'un des types actuels. »

L'auteur considère donc surtout la nécessité d'avoir une très grande adhérence. Il faut aussi une grande puissance dynamique et par conséquent une puissante chaudière.

Le rapport de Mr Riches est extrêmement documenté, il contient un nombre considérable de dessins et de renseignements de toute nature. Mr Riches a envoyé aux différentes administrations anglaises un questionnaire détaillé calqué absolument sur celui que nous avons envoyé nous-mêmes aux administrations des autres pays, et il reproduit les réponses qu'il a reçues des administrations anglaises.

Dans son rapport relatif à l'Amérique, Mr Slack donne des diagrammes des principaux types en usage, de ceux qu'il considère comme représentant le mieux la pratique américaine. Ces types sont le type américain bien connu à deux essieux couplés et bogie à l'avant, le type *Atlantic*, le type *Mogul*, le type *Columbia*, qui dérive du type *Atlantic* par la substitution d'un bissel au bogie, et aussi le *Bicycle*, c'est-à-dire la machine à un seul essieu moteur.

Mr Slack relève des vitesses considérables. En 1889, la vitesse la plus élevée entre les points extrêmes, arrêts déduits, était, pour les trains légers, de 48 milles (77.2 kilomètres) à l'heure. Dix ans plus tard, en 1899, cette vitesse était, sur la même ligne, de 50.7 milles (81.6 kilomètres). La vitesse la plus élevée pour les trains de cette catégorie sur toutes les lignes américaines a été, en 1899, de 62.2 milles sur le « Philadelphia & Reading », soit 100.1 kilomètres; mais cette vitesse n'était réalisée que sur un parcours de 90 milles (144.8 kilomètres), et les deux trains à long parcours les plus rapides de cette catégorie paraissent être le train nº 15 du « Chicago, Burlington & Quincy » et le train nº 51 du « New York Central & Hudson River Railroad ». La vitesse réelle maximum indiquée par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'horaire de ce train est de 68 1/2 milles, soit 110.2 kilomètres. Cependant, sur cette ligne, le mille a été couvert à la vitesse de 102 milles à l'heure, lisez 164.2 kilomètres! Cette vitesse aurait été soutenue sur une longueur de 1,609 mètres, et même la vitesse maximum atteinte aurait été de 112 1/2 milles, soit 181 kilomètres! C'est le double de nos vitesses de 90 kilomètres.

Mr Slack signale l'emploi de plus en plus courant de pressions élevées, 200 livres par pouce carré, ce qui correspond à peu près à 14 kilogrammes par centimètre carré. Enfin, à propos des machines compound, il signale qu'elles ont été fort employées en 1899 pour les trains à grande vitesse et, en particulier, que le train le plus rapide du « Philadelphia & Reading », indiqué au tableau B, est remorqué par une machine compound. Ce train fait une vitesse, entre les points extrêmes, de 107 kilomètres à l'heure, en remorquant 170 tonnes et en parcourant un profil dans lequel se trouve une rampe de 10 millimètres. Il est vrai que cette rampe maximum ne règne que sur deux dixièmes de mille, c'est-à-dire sur 320 mètres.

D'après Mr Slack, les tiroirs équilibrés Richardson sont de plus en plus en faveur; on commence cependant aussi à employer des tiroirs cylindriques qui permettent d'augmenter les sections des lumières et de réduire le travail du frottement.

Enfin, Mr Slack constate encore la tendance existant en Amérique à supprimer l'avance linéaire à fond de course et même, dans bien des cas, à régler les tiroirs avec une avance négative à fond de course. Cette disposition paraît avantageuse, car la locomotive marche rarement à fond de course et on sait que, lorsque la course du tiroir est réduite, avec la coulisse de Stephenson telle qu'elle est appliquée en Amérique, l'avance augmente si rapidement qu'aux crans de marche ordinaires elle devient suffisante, même lorsque le tiroir est réglé avec une légère avance négative à fond de course. On emploie aussi le découvert intérieur, c'est-à-dire le découvrement.

Mr Slack ne fournit sur la consommation que très peu de renseignements. Enfin, il signale ce fait : sur un grand nombre de lignes, l'emploi de l'écope Ramsbottom, prenant de l'eau en marche dans une rigole placée dans l'axe de la voie, a été abandonné et l'on a donné au tender une capacité suffisante pour qu'il puisse fournir toute l'eau nécessaire entre les points d'arrêt.

Voici, d'après Mr Slack, quels sont, en résumé, les changements apportés, de 1889 à 1899, dans la construction des locomotives destinées au service à grande vitesse :

« 1° Les machines les plus récentes sont plus lourdes et plus puissantes ;

« 2° La pression dans la chaudière a été augmentée et la disposition, ainsi que la construction des chaudières, ont été perfectionnées ;

« 3° La locomotive compound est employée dans une plus grande mesure ;

« 4° Le rapport de la surface de chauffe au volume des cylindres a été augmenté ;

« 5° La capacité en charbon et en eau des tenders a été augmentée ;

« 6° Il y a tendance à employer une plus longue course de piston dans les dernières locomotives ;

« 7° L'emploi des tiroirs cylindriques s'étend ;

« 8° On a adopté des vitesses de piston plus élevées que celles qui étaient antérieurement admises. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la suite de ce rapport figurent des tableaux analogues à ceux que nous avons établis nous-mêmes et donnant des renseignements sur les services effectués par les locomotives, ainsi que des diagrammes.

Le rapport de Mr Slack est enfin suivi d'une note de Mr Holden sur l'emploi des combustibles liquides dans les locomotives.

Mr Riches, *rapporteur pour l'Angleterre et les colonies*. (En anglais.) — Malheureusement, je ne comprends pas et je ne parle pas le français ; je regrette vivement d'être ainsi privé de prendre part à la discussion.

Je dois cependant présenter mes excuses au sujet du rapport que j'ai eu l'honneur de présenter au Congrès. Ce rapport ne contient pas tous les tableaux et les diagrammes des profils des différentes lignes qu'il aurait dû contenir ; mais j'ai été dans l'impossibilité de recueillir des renseignements complets sur tous les chemins de fer. Ceux qui désirent les avoir les trouveront dans le rapport de Mr Aspinall, présenté à la dernière session.

Mr le Président. (En anglais.) — Nous aurions été très heureux de lire votre rapport, Monsieur Riches, mais nous l'avons malheureusement reçu trop tard. Mr Herdner qui vient de le résumer, n'a eu que quelques heures pour en prendre connaissance, nous le regrettons vivement.

Mr Souschinsky, ministère des voies de communication, Russie. — Je crois que la dépense de vapeur par tonne de charge utile pour les machines à grande vitesse est de plus en plus défavorable. Je lis, en effet, que par kilomètre vous dépensez 15 kilogrammes de charbon.

Mr Herdner, *rapporteur*. — A la suite de la monographie de chaque machine, nous avons donné les indications sur la dépense, mais ces indications ont été données sous des formes très différentes ; les unes ont été relevées dans des essais, d'autres, au contraire, représentent des moyennes par roulement et se rapportent par suite à des trains de toute espèce. Le renseignement n'a plus évidemment alors la même valeur, mais nous avons cependant cru devoir le donner.

Mr Souschinsky. — Il faudrait avoir des renseignements sur la dépense du combustible par tonne de charge utile.

Mr Herdner. — Nulle part nous n'avons rapporté la dépense à la tonne de charge utile. Nous avons donné la dépense kilométrique correspondant à la charge moyenne remorquée.

Mr Souschinsky. — Je signale que la construction des locomotives à grande vitesse fait des progrès, mais que ces progrès coûtent très cher et que la dépense de vapeur par unité de charge utile est de plus en plus défavorable. C'est ainsi que je vous signale la consommation notable sur les chemins de fer autrichiens qui emploient des houilles d'Ostrau.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr Herdner, *rapporteur*. — Il s'agit là de houilles d'une espèce particulière qui ne vaporisent peut-être que 5 kilogrammes d'eau par kilogramme de charbon. Ces houilles renferment 10 à 25 p. c. de cendres. C'est ce que nous signalons dans le § 82 de notre rapport où il est dit : « Les houilles de Mærisch-Ostrau, distribuées en menus, renfermant environ 33 p. c. de grêle, contiennent de 10 à 25 p. c. de cendres. »

Mr Chapuy. — Dans les essais dont j'ai parlé tout à l'heure, nous consommions des charbons de Cardiff, et avec des trains dont la charge variait entre 150 et 250 tonnes, la dépense par train-kilomètre a varié entre 9 et 10 kilogrammes.

Mr Herdner, *rapporteur*. — La consommation très élevée dont parle Mr Sous-chinsky est celle d'une machine NON-COMPOUND de la « Kaiser Ferdinands-Nordbahn ».

Mr Chapuy. — Pour avoir un chiffre tout à fait exact, il faut rapporter cette consommation à la tonne kilométrique. Eh bien, nous avons eu une consommation de 53 grammes par tonne kilométrique, ce qui est évidemment une consommation plus avantageuse que celle des locomotives d'il y a quinze ou vingt ans.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Messieurs, j'ai encore à faire une constatation qui me semble ressortir des documents qui nous ont été fournis et qui rentre dans le même ordre d'idées que celle que je présentais tout à l'heure.

Il y a une quarantaine d'années, on n'avait guère comme locomotives à très grande vitesse que des locomotives à essieux indépendants, et l'on a considéré à cette époque comme très hardi d'accoupler deux essieux en vue de les faire tourner ensemble. Aujourd'hui, cette idée nous paraît toute naturelle et nous voyons même depuis un certain nombre d'années que ce n'est plus seulement deux, mais trois essieux qu'on accouple; il semble que l'emploi des machines à trois essieux accouplés avec bogie se répande de plus en plus pour les grandes vitesses.

Depuis un certain nombre d'années on emploie ces machines pour les trains dits « rapides », non seulement sur des lignes de montagne où les vitesses ne peuvent pas être très grandes, mais même sur des lignes peu accidentées. Nous pouvons donc constater, je crois, que les locomotives à trois essieux accouplés avec des roues de grand diamètre, approchant quelquefois de 2 mètres, servent à la traction des trains à grande vitesse.

Il y a donc intérêt à résoudre la question qui suit. On a constaté que, pour porter une locomotive suffisamment puissante, ayant par conséquent une très grande chaudière avec un très grand foyer, les deux essieux couplés et les deux essieux du bogie ne suffisaient plus et qu'il fallait ajouter un cinquième essieu. On est arrivé ainsi à un type extrêmement intéressant dont certains chemins de fer offrent des spécimens très remarquables, qu'on a baptisé du nom américain de type *Atlantic* et dans lequel un essieu porteur a été ajouté à l'arrière.

On peut se demander si ce type n'est pas, jusqu'à un certain point, l'équivalent de l'ancienne machine à essieux indépendants qui a fait un service admirable, mais

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui a dû céder la place à la locomotive à deux essieux accouplés et si, par conséquent, à ces locomotives à cinq essieux, dont deux accouplés, nous ne verrons pas succéder une locomotive ayant la même chaudière, mais trois essieux accouplés.

L'essieu porteur à l'arrière donne certainement un peu plus de facilité pour l'installation du foyer, mais étant donnée la grande hauteur à laquelle on n'hésite plus aujourd'hui à placer la chaudière, on arrive assez facilement à loger le troisième essieu accouplé.

C'est peut-être là une question un peu prématurée, mais cependant j'ai cru bon de la mentionner; c'est en quelque sorte la comparaison du type de locomotive à deux essieux couplés et essieu porteur à l'arrière avec le type à trois essieux accouplés qui serait accepté pour les plus grandes vitesses.

Mr le Président. — La comparaison que signale Mr Sauvage est très juste et je crois comme lui que nous verrons augmenter de plus en plus le nombre des locomotives à grande vitesse à trois essieux couplés. Mais il ne faut pas oublier qu'en augmentant le diamètre de la troisième roue, on augmentera l'empattement total et l'empattement rigide.

Mr du Bousquet, *rapporteur*. — Dans les locomotives que nous venons de construire, il y a moyen de placer une grande roue sans augmenter l'empattement.

Mr Souschinsky. — C'est seulement au démarrage que nous avons besoin d'un troisième essieu couplé pour augmenter la puissance de traction, car en marche et avec nos chaudières ayant 160 mètres de surface de chauffe, deux essieux suffisent. Sur le chemin de fer de Varsovie-Vienne, nous avons des machines à trois essieux porteurs et deux essieux accouplés, et cela nous suffit; c'est seulement au démarrage que la résistance augmente. Le troisième essieu accouplé ne me paraît pas nécessaire pour les trains de grande vitesse.

Mr du Bousquet. — D'après les essais que je fais en ce moment sur la machine-type *Atlantic* dont a parlé Mr Sauvage, ce qui pourrait nous arrêter actuellement, c'est l'adhérence. Par conséquent, il faudra fatalement en arriver à charger les deux essieux moteurs de 18 ou 19 tonnes, ou bien arriver à avoir trois essieux couplés. Telle est mon opinion qui corrobore absolument celle de Mr Sauvage.

Avec ces machines *Atlantic*, nous arrivons à faire en palier des trains de 350 tonnes à des vitesses de 100 à 105 kilomètres. Vous comprenez qu'il faut là un effort de traction considérable et qu'alors la question d'adhérence se pose tout naturellement.

Mr Clérault. — Je crois, Monsieur le Président, que plusieurs considérations nous conduisent à la conclusion que nous en arriverons plus tard à faire des machines express à trois essieux accouplés et bogie à l'avant, et j'insiste sur ce point que, du moment qu'on doit mettre trois essieux et un bogie, il vaut mieux utiliser le troisième essieu autrement que comme support.

Nous n'avons pas seulement à exploiter les grandes lignes construites à l'origine

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des chemins de fer, alors que les constructeurs étaient beaucoup plus sévères qu'actuellement au point de vue des rampes. A cette époque, des rampes de 2 et 3 millimètres étaient considérées comme un maximum; aujourd'hui on construit des lignes qui s'embranchent sur les grandes lignes et qui ont des rampes de 6, 8, 10 millimètres par mètre et plus. On en est donc arrivé tout d'abord à l'accouplement de deux essieux, puis on a envisagé l'accouplement de trois essieux, même pour des trains express. De plus, comme on ne peut pas gagner indéfiniment sur la vitesse de pleine marche ou très peu, il est absolument indispensable avec ces trains de grande vitesse de trouver à gagner ailleurs. Or, les machines à trois essieux couplés démarrent très rapidement, et c'est là un gain de temps qui n'est pas négligeable.

Actuellement, à l'Ouest français, nous avons déjà bon nombre de machines à trois essieux accouplés et à bogies, les unes qui sont des machines-tenders avec roues de 1.51 mètre de diamètre, les autres qui sont des machines à tenders séparés; ces dernières ont des roues de 1.72 mètre de diamètre. Enfin, nous avons en construction toute une série de machines à trois essieux couplés et bogie avec roues de 1.91 mètre de diamètre; je suis convaincu que, pour certaines lignes et certains trains lourds qualifiés express, cette solution s'impose, comme l'ont senti les Américains, qui déjà, lors de l'exposition de Chicago, avaient des machines assez analogues pour des trains assez rapides.

Mr Chapuy. — Pour rester dans le même ordre d'idées, je dirai que ces machines dont je parlais tout à l'heure nous servent aussi à faire des trains courriers qui ont parfois des charges considérables atteignant 280 et 300 tonnes et que nous devons faire passer sur des rampes qui s'élèvent jusqu'à 15 et 18 millimètres. Si nous n'avions pas trois essieux accouplés, nous serions obligés de recourir à la double traction. Donc, en dehors du service d'express des trains de 150 à 160 tonnes, ces machines nous permettent aussi de faire des trains très lourds que nous ne pourrions pas faire avec des locomotives à deux essieux couplés. Ces locomotives remplissent le double but dont on parlait.

Mr le Président. — Messieurs, je crois qu'après la discussion intéressante qui vient d'avoir lieu, nous pourrions nous mettre d'accord sur cette conclusion, qui est d'ailleurs une simple constatation :

« La section prend acte des constatations importantes contenues dans les rapports. Elle estime que la très grande vitesse exige l'emploi de locomotives extrêmement puissantes, permettant de ne pas trop ralentir sur les rampes. Les dimensions et le poids de la chaudière de ces locomotives modernes de grande vitesse demandent, outre les deux essieux accouplés et les deux essieux du bogie, un cinquième essieu porteur. La section constate que l'emploi de ce cinquième essieu comme troisième essieu accouplé va en croissant. »

Mr du Bousquet, *rapporteur*. — En France, on ne constate pas cet emploi crois-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sant et cela n'est pas encore vrai pour notre pays. Nous avons pour les trains de vitesse des locomotives à deux essieux accouplés; seulement, je crois que nous sommes d'accord pour prévoir l'emploi de locomotives à trois essieux couplés. Il vaudrait donc mieux employer le mot « prévoir ».

Mr Clérault. — Il serait indispensable de constater qu'aujourd'hui les trains à grande vitesse, même à charges assez lourdes, sont faits par des machines à deux essieux accouplés, mais qu'on entrevoit dans l'avenir, et à raison de la nécessité d'avoir des trains plus lourds, la possibilité et la nécessité de faire remorquer ces trains par des machines à trois essieux couplés et bogie.

On ne peut que faire entrevoir la chose, car, actuellement, il n'y en a pas d'exemple.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Il y en a eu à l'étranger. Le projet de conclusions ne s'applique pas à la France seule.

Mr Clérault. — A l'étranger je n'en connais pas beaucoup.

Mr Souschinsky. — En Russie, il y en a une quantité considérable sur les chemins de fer d'État et sur les lignes privées.

Mr Sauvage. — La rédaction serait alors : « La section prévoit l'emploi croissant des locomotives à trois essieux accouplés. »

Mr Clérault. — Je n'ai pas d'objection à cette rédaction. Mais, avant cela, il faut constater l'emploi général, en ce moment, des autres machines.

Mr Souschinsky. — Il faut seulement noter que ces machines à trois essieux couplés s'inscrivent dans les courbes un peu plus difficilement que les autres.

Mr Sauvage. — Nous dirions donc : « Elle constate l'emploi général de locomotives à deux essieux couplés. »

Mr Solacroup, Ch. de f. de Paris à Orléans. — Je crois que, jusqu'à présent, le Congrès s'est toujours abstenu d'émettre des prévisions sur les dispositions qui seraient prises dans l'avenir. Nous constatons actuellement que les trains les plus rapides du monde sont faits par des machines à deux essieux couplés; nous constatons aussi que, pour des trains de moins grande vitesse, ne dépassant pas la vitesse maximum de 80 kilomètres en marche, l'emploi des machines à trois essieux couplés s'est sensiblement développé depuis quelques années. De là, cependant, à tirer cette conclusion que les trains les plus rapides, ceux faits actuellement par des machines à deux essieux couplés, seront, dans un avenir plus ou moins éloigné, faits par des machines à trois essieux couplés, il y a loin, me semble-t-il.

Bornons-nous à constater ce qui existe, sans chercher à prévoir ce qui se fera dans quelques années.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — En tenant compte uniquement des faits actuels,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais en sortant de France, en tenant compte des faits signalés dans le rapport américain et de ce que nos collègues russes nous ont affirmé, je constate l'emploi général de locomotives à deux essieux couplés pour les trains de grande vitesse et même, dans certains cas, de locomotives à trois essieux couplés.

Mr Souschinsky. — Je suis de l'opinion de Mr Sauvage.

Mr Clérault. — Je serais obligé à Mr Souschinsky de nous dire quelles sont les vitesses atteintes par les trains remorqués par ces machines à trois essieux couplés.

Mr Souschinsky. — Jusqu'à 75 kilomètres.

Mr Clérault. — Votre réponse confirme ce que j'ai dit tout à l'heure, car ce n'est pas là ce qu'on peut appeler des trains à très grande vitesse ou des trains rapides. Il faudrait donc dire : « et pour des trains de vitesse moindre et lourds, des machines à trois essieux couplés ».

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Je propose de dire : « et même, dans certains cas, une tendance à l'emploi de locomotives à trois essieux couplés ».

Mr Clérault. — Je n'ai pas d'objection au mot tendance, mais alors se présente l'objection de Mr Solacroup.

Mr du Bousquet, *rapporteur*. — Il y a une tendance qui est certaine : c'est celle du service de l'exploitation à transformer tous les trains rapides en trains lourds. (*Rires.*)

Mr Clérault. — Cette tendance existe, je crois, un peu partout.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Je crois fondée cette objection que ces locomotives ne sont guère employées pour les trains les plus rapides; c'est pourquoi je dis : « dans certains cas ».

Mr Clérault. — C'est déjà une atténuation. Mais, en voyant le titre bien spécial de la question posée au Congrès, on n'en croira pas moins, même avec les mots « dans certains cas », qu'il s'agit de trains à très grande vitesse ou rapides — et ce n'est pas cela que nous entendons exprimer.

Mr Salomon, Ch. de f. de l'Est français. — Il me semble que, dans nos conclusions, nous ne devons constater que des faits généraux absolument acquis par l'expérience. Or, il est bien certain qu'en Europe nous n'avons pas des trains à très grande vitesse faits par des machines à trois essieux couplés. On n'en trouve qu'en Amérique.

Nous pouvons d'autant mieux en parler, Mr du Bousquet et moi, que tous les deux nous avons en ce moment de ces machines qui n'ont que des roues de 1.75 mètre et que nous faisons marcher à 90 et quelquefois à 100 kilomètres. Seulement, nous savons ce que cela nous coûte. Il est vrai que si ces machines avaient

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des roues de 2 ou 2.100 mètres de diamètre, leur fonctionnement à ces vitesses élevées serait plus satisfaisant.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Voici la nouvelle rédaction que je vous soumets : « Elle constate l'emploi général de locomotives à deux essieux accouplés pour les trains de grande vitesse et même, dans certains cas, une tendance à l'emploi des locomotives à trois essieux accouplés. »

Mr Salomon. — Dans des cas exceptionnels!

Mr Sauvage. — On pourrait ajouter : « et dans certains pays ».

Mr Chapuy. — Mais, toutefois, pour des trains de vitesse un peu moindre.

Mr Solacroup. — Messieurs, j'ai eu l'occasion d'aller, il y a deux ans, en Amérique, et d'y voir les trains les plus rapides, ce qu'on appelle les trains à très grande vitesse. Ces trains ne sont pas fort nombreux : il y en a un sur le réseau du « New York Central & Hudson River Railroad », il y en a un autre sur le « Pennsylvania », entre Philadelphie et Atlantic City. Ces deux trains, qui ont une vitesse commerciale supérieure à 80 kilomètres et une vitesse effective de marche de 95, 100, 105 et 110 kilomètres, sont remorqués par des machines à deux essieux couplés.

Certes, l'emploi des machines à trois essieux couplés s'est beaucoup développé, depuis quelques années, pour les trains de voyageurs, et l'on voit aujourd'hui beaucoup de ces machines faire des trains qu'elles ne faisaient pas auparavant; mais il n'en est pas moins vrai que les trains qu'elles remorquent sont des trains dont la vitesse de marche maximum ne dépasse pas, ordinairement, 80 ou 85 kilomètres.

Je crois donc qu'on peut faire une distinction entre les trains qui ont une vitesse exceptionnelle, remorqués par des machines à deux essieux couplés, et les trains express marchant déjà à une grande vitesse, mais pas à une vitesse exceptionnelle, et qui sont remorqués par des machines à trois essieux couplés.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — La rédaction suivante donnerait satisfaction à cette observation : « et même, pour certains trains encore assez rapides, une tendance à l'emploi de locomotives à trois essieux couplés ». (*Marques d'assentiment*.)

Voici donc, messieurs, quelle serait la conclusion :

« La section prend acte des constatations importantes contenues dans les rapports. Elle estime que la très grande vitesse exige l'emploi de locomotives extrêmement puissantes, permettant de ne pas trop ralentir sur les rampes. Elle constate l'emploi général des locomotives à deux essieux couplés pour les trains de très grande vitesse, et même, pour certains trains encore assez rapides, une tendance à l'emploi de locomotives à trois essieux couplés. »

Mr Lancrenon. — Il me semble qu'il serait utile, dans les conclusions, de dire un mot des machines compound, dont il est fait mention dans le texte de la question.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr le Président. — Il ne peut guère s'agir ici d'une conclusion, mais plutôt de la simple constatation des progrès réalisés dans la construction des locomotives à très grande vitesse. Reste alors la question de la disposition compound, question grave qui pourrait donner lieu à discussion; mais le temps dont nous disposons est très court et je ne crois pas que nous puissions songer à entamer sur ce point une longue discussion. Nous pourrions donc nous en tenir aux constatations indiquées par Mr le secrétaire principal.

Mr Lancrenon. — Sans pour cela discuter la question, on pourrait, me semble-t-il, ajouter que l'emploi de la disposition compound tend à se répandre et à se développer.

Mr Salomon. — Et, en outre, qu'elle se prête à la réalisation des plus grandes vitesses autorisées. C'est un fait absolument constaté sur le Nord, sur l'Est, sur l'Ouest, sur le Midi. Lorsque nous avons suffisamment de vapeur, nous pouvons, quand nous le voulons, marcher à 120 et à 125 kilomètres.

Mr du Bousquet, *rapporteur*. — C'est d'autant plus utile à indiquer que, dans une publication spéciale, on a semblé dire que la machine compound ne pouvait pas marcher aux grandes vitesses que permet la machine non-compound.

Mr Salomon. — Un point très important a été acquis depuis la session du Congrès tenue à Paris en 1889. C'est que, pour produire un travail de traction déterminé, on peut, en employant une machine compound bien combinée, arriver à une économie de combustible de 10 p. c. Ces 10 p. c., nous pouvons les conserver comme économie sur la dépense de combustible ou les transformer en 10 p. c. de puissance supplémentaire à consommation égale. Voilà le premier point qui est absolument constaté et sur lequel nous nous appuyons pour faire des machines compound à grande vitesse.

Un second point est celui-ci. A la suite de résultats de service qui pouvaient être réels, mais que je ne m'explique pas et que je ne discute pas, on a dit que la machine compound ne se prêtait pas à la remorque des trains de grande vitesse; mais il faudrait d'abord savoir ce que nous entendons dire dans une question semblable par le terme : train de grande vitesse.

S'agit-il de vitesses qu'on n'a jamais réalisées, de 150 ou de 200 kilomètres? S'agit-il des vitesses qui nous sont permises? Mais vous savez qu'en Allemagne la vitesse maximum est fixée à 90 kilomètres. En France, où l'on est un peu plus libéral, nous allons souvent entre 100 et 120 kilomètres; je crois même être encore dans les limites légales en faisant 137 $^1/_2$ kilomètres.

Nous atteignons donc, avec des machines compound, des vitesses qui dépassent 120 kilomètres. Tous les jours, sur mon réseau, les trains rapides, sur les pentes, il est vrai, atteignent des vitesses de 110 et de 115 kilomètres. Je crois donc nécessaire de constater ce fait, qui a son importance, que la machine compound donne une économie de consommation ou, à consommation égale, une augmentation de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puissance, et qu'en second lieu la disposition compound peut se prêter aux plus grandes vitesses autorisées.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Nous pourrions ajouter à la conclusion que je viens de lire : « Elle constate, en outre, que le système compound est de plus en plus employé pour les trains de grande vitesse. »

Mr le Président. — Croyez-vous pouvoir répondre oui à cette question?

Mr Solacroup. — C'est la vérité.

Mr Clérault. — C'est une simple constatation parfaitement justifiée par les faits.

Mr Herdner, *rapporteur*. — C'est de la pure statistique.

Mr le Président. — Si nous sommes tous d'accord, le projet de conclusion ainsi complété est adopté.

— La séance est levée à 4 $^1/_2$ heures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE

Séance du 29 septembre 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE Mr ALFRED PICARD.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : Mr L. WEISSENBRUCH.

Mr Sauvage, *secrétaire principal de la 2e section*, donne lecture du

Rapport de la 2e section.

(Voir *Bulletin* quotidien de la session, n° 5, p. 4.)

« Les exposés très détaillés et la note présentés au Congrès, accompagnés de nombreuses figures et de tableaux des dimensions des locomotives, de la vitesse des trains et des profils des lignes, forment un véritable cours sur la matière, ainsi que l'a fait remarquer le président Mr ALMGREN.

« Sauf en Angleterre et aux États-Unis, où l'on trouve encore quelques locomotives à essieux indépendants, les rapports constatent l'emploi général, pour les trains rapides, de locomotives à deux essieux couplés, et même, sur les profils accidentés, à trois essieux couplés. La plupart des locomotives récentes sont munies d'un bogie à l'avant, et le système compound reçoit des applications de plus en plus nombreuses, surtout avec quatre cylindres. Cependant, en Angleterre, c'est plutôt la locomotive à deux cylindres intérieurs, non-compound, qui domine encore.

« Les chaudières sont remarquables par leurs grandes dimensions; on n'hésite pas à en placer l'axe à 2.50 et 2.60 mètres au-dessus du rail; cette cote est même dépassée. Les pressions effectives atteignent 14, 15 et 16 kilogrammes par centimètre carré. L'emploi de tôles d'acier, avec des rivures bien étudiées, se prête à la réalisation de ces hautes pressions, sans épaisseurs excessives.

« En ce qui concerne la distribution de la vapeur, une préférence marquée se manifeste, sur le continent d'Europe, pour le mécanisme Walschaert ou Heusinger von Waldegg. Le rapport de Mrs DU BOUSQUET et HERDNER étudie les dispositions destinées à éviter une compression excessive dans les cylindres des compound, grâce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

auxquelles elles peuvent atteindre des vitesses aussi grandes que les locomotives non-compound.

« Les conditions d'équilibre des pièces à mouvement alternatif et les avantages que donne à cet égard l'emploi de quatre cylindres, sont spécialement étudiés dans ce rapport.

« Une intéressante comparaison des services actuels avec ceux de 1889 met en relief les progrès réalisés depuis cette époque.

« Mr Riches renvoie au rapport de Mr Aspinall sur les locomotives à grande vitesse à la précédente session du Congrès, pour les profils des lignes qui n'ont pas été reproduits dans le sien.

« Mr Chapuy (*Compagnie royale des chemins de fer portugais*) signale les excellents résultats donnés en Portugal par les compound à quatre cylindres.

« Un membre fait remarquer que, sauf l'exception, en somme assez rare, des locomotives à essieux indépendants, on ne fait pas de machines spéciales pour les trains à très grande vitesse, mais que les mêmes types, pourvu que la puissance en soit assez grande, peuvent remorquer la plupart des trains de voyageurs. Le diamètre des roues n'a pas augmenté, en général, dans les constructions les plus récentes; on constate même dans certains cas une réduction du diamètre, qui se tient aux environs de 2 mètres. Mr du Bousquet ajoute que les grandes vitesses des trains exigent surtout l'emploi de machines très puissantes, pouvant soutenir une vitesse élevée sur toutes les parties du profil. Il y a très longtemps que des machines anciennes, sur pentes, ont réalisé des maximums de vitesse à peu près aussi grands que les machines actuelles.

« La question des locomotives à trois essieux couplés donne lieu à un échange de vues entre plusieurs membres. Quelques-uns croient constater une tendance bien marquée à l'emploi de ces machines pour les trains de grande vitesse. On fait remarquer que le type récent, dit *Atlantic*, employé par quelques administrations, où un cinquième essieu porteur est ajouté à l'arrière, risque de manquer parfois d'adhérence, à moins de donner une charge excessive aux deux essieux moteurs, et qu'il pourrait y avoir avantage à rendre moteur le cinquième essieu. D'autres objectent qu'actuellement, sauf exceptions, les locomotives à trois essieux couplés ne sont pas utilisées pour les très grandes vitesses, mais servent plutôt à la remorque des trains lourds sur profils difficiles.

« La section adopte enfin les conclusions suivantes qu'elle soumet à l'assemblée plénière. »

Mr le Président. — Voici les

CONCLUSIONS.

« Le Congrès prend acte des constatations importantes contenues dans les « rapports. Il estime que la très grande vitesse exige l'emploi de locomotives extrê-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« mement puissantes, permettant de ne pas trop ralentir sur les rampes. Il constate « l'emploi général des locomotives à deux essieux couplés pour les trains de très « grande vitesse, et même, pour certains trains encore assez rapides, une tendance « à l'emploi de locomotives à trois essieux couplés.

« Il constate, en outre, que le système compound est de plus en plus employé « pour les trains de grande vitesse. »

— Ces conclusions sont ratifiées par l'assemblée plénière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE

Errata à l'exposé n° 1 par Mrs du Bousquet et Herdner.

Page XII-7 du tiré à part n° 53 et du *Compte rendu* (page 5007 du *Bulletin* de 1900), *ajoutez*, en tête de la liste des administrations françaises qui ont répondu, *les mots :* « Administration des chemins de fer de l'État ».

Page XII-30 (page 5030 du *Bulletin*), 10e et 11e lignes du haut, *au lieu de :* « Ceux de 217 et 242 tonnes ont été remorqués par les trains nos 7 et 34 par les machines compound nos 1 et 13 », *lisez :* « Ceux de 217 et 242 tonnes des trains nos 7 et 34 ont été remorqués par les machines compound nos 1 et 13 ».

Page XII-51 (page 5051 du *Bulletin*), tableau XXVIII, 3e ligne du haut, *au lieu de :* « Est néerlandais », *lisez :* « État néerlandais ».

Page XII-55 (page 5055 du *Bulletin*), 5e ligne du tableau XXX, *au lieu de :*

« Entre-axes des essieux. . . . . 3 3 { 2,400 / 1,350 »,

lisez :

« Entre-axes des essieux. . . . . 3 mètres. 3 mètres. { 2.400 mètres / 1.350 — ».

Page XII-56 (page 5056 du *Bulletin*), 6e ligne du haut, *au lieu de :* « l'essieu devra faire place... », *lisez :* « l'essieu d'avant devra faire place... ».

Page XII-68 (page 5068 du *Bulletin*), 14e ligne du haut, *au lieu de :* « Tableau XXXIX », *lisez :* « Tableau XXXIV ».

Page XII-79 (page 5079 du *Bulletin*), 11e ligne du bas, *au lieu de :* « 100 kilogrammes à l'heure », *lisez :* « 100 kilogrammes à la vitesse de 85 kilomètres à l'heure ».

Page XII-93 (page 5093 du *Bulletin*), sous les figures 61 à 64, *au lieu de :* « Tender de 20 mètres cubes ... », *lisez :* « Tender de 18 mètres cubes ... ».

Page XII-119 (page 5119 du *Bulletin*), dernière ligne de la 4e colonne du tableau XXXVIII, *au lieu de :* « 1889 », *lisez :* « 1899 ».

Page XII-131 (page 5131 du *Bulletin*), 1re ligne du haut, *au lieu de :* « Les manivelles B. P. », *lisez ;* « Les manivelles H. P. ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Page XII-151 (page 5151 du *Bulletin*), 11e ligne du haut, *au lieu de :* « Surface de grille. . . 2.480 », *lisez :* « Surface de grille . . . 2.48 mètres carrés ».

Page XII-156 (page 5156 du *Bulletin*), tableau XLIII, dernière colonne, en trois endroits, *au lieu de :* « m² », *lisez :* « m. ».

Page XII-173 (page 5173 du *Bulletin*), 9e ligne du haut, *au lieu de :* « (ou Heusinger von Waldeck) », *lisez :* « (ou Heusinger von Waldegg) ».

Page XII-180 (page 5180 du *Bulletin*), 3e ligne du bas, *au lieu de :* « 503 à 570 », *lisez :* » 503 à 522 ».

Page XII-183 (page 5183 du *Bulletin*), 15e ligne du bas, *au lieu de :* « un angle de 45° au lieu de 45.5° », *lisez :* un angle de 45° au lieu de 44.5° ».

Page XII-192 (page 5192 du *Bulletin*), tableau LVII, colonne observations, *au lieu de :* « La composition des coussinets comporte une tolérance de 5 p. c. », *lisez :* « La composition du bronze des coussinets comporte une tolérance de 5 p. c. pour impuretés et métaux étrangers ».

Page XII-203 (page 5203 du *Bulletin*), sous les figures, *au lieu de :* « Attelage d'avant des tendeurs... », *lisez :* « Attelage d'avant des tenders... ».

Page XII-231 (page 5231 du *Bulletin*), 3e ligne du bas, *au lieu de :* « période décadaire », *lisez :* « période décennale ».

Page XII-239 (page 5239 du *Bulletin*), tableau LXXXII, en tête de la 5e colonne, *au lieu de :* « de l'essieu ar. au bogie ou de... », *lisez :* « de l'essieu ar. du bogie ou de... ».

Idem, tableau LXXXII, en tête de la 12e colonne, *au lieu de :* « porteuses », *lisez :* « porteuses ar. ».

Page XII-247 (page 5247 du *Bulletin*), 1re et 2e lignes du § 232, *au lieu de :* « Les conclusions qui paraissent se dégager de l'ensemble des observations faites ... », *lisez :* « Les conclusions que l'Administration des chemins de fer de l'État a cru pouvoir tirer de l'ensemble des observations faites au cours de ces expériences ... ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

[621.135.(01)] **QUESTION XIII.**

STABILITE DES ESSIEUX DES LOCOMOTIVES

Moyens d'augmenter la stabilité des essieux des locomotives en marche. Influence combinée des ressorts à grande flexibilité et des balanciers compensateurs sur la conservation des charges statiques.

Rapporteur :

Tous les pays. — Mr Dassesse, ingénieur principal aux chemins de fer de l'État belge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUESTION XIII.

TABLE DES MATIÈRES

Page.

Exposé, par Mr Ch. Dassesse. (Voir le *Bulletin* de mars 1900, p. 892.) . . . XIII — 3
Discussion en section. . . . . XIII — 143
Rapport de la 2e section. . . . . XIII — 160
Discussion en séance plénière . . . . . XIII — 160
Conclusions . . . . . XIII — 161
Annexe : Errata à l'exposé . . . . . XIII — 162

N. B. — Voir aussi le tiré à part (à couverture brune) nº 13.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621.135.(01)]

EXPOSÉ

Par Ch. DASSESSE,
INGÉNIEUR PRINCIPAL A L'ADMINISTRATION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

Planches I à XXXIV, p. XIII-104 à XIII-141.

AVANT-PROPOS.

La question sur laquelle j'ai été chargé de présenter un rapport au Congrès est libellée comme suit :

« Moyen d'augmenter la stabilité des essieux des locomotives en marche. Influence « combinée des ressorts à grande flexibilité et des balanciers compensateurs sur la « conservation des charges statiques. »

Fallait-il envisager cette question comme s'étendant à l'examen de tous les moyens d'augmenter la stabilité des essieux des locomotives ou devait-elle être limitée à la recherche de ce que pourraient donner, comme moyens d'augmenter cette stabilité, les ressorts à grande flexibilité et les balanciers compensateurs ?

Dans une note à M. le Président de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer, j'ai exposé les raisons pour lesquelles, à mon sens, la question devait s'entendre comme restreinte à la détermination de l'influence combinée des ressorts flexibles et des balanciers, et M. le Président m'a répondu qu'il se rangeait à mon avis.

Un questionnaire détaillé a été envoyé à 103 administrations de chemins de fer adhérentes au Congrès.

De ce nombre, quarante-trois ont répondu.

Ce sont :

Buenos-Ayres Great Southern Railway.
Central Argentine Railway.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chemins de fer de l'État autrichien.
— — du Sud de l'Autriche.
— — du Nord Empereur Ferdinand.
— — Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande.
— — de l'État hongrois.
— — — belge.
Southern Pacific Railroad.
Illinois Central Railroad.
New York, New Haven & Hartford Railway.
Lehigh Valley Railroad.
Chemins de fer de l'État français.
— — de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
— — de l'Ouest (France).
— — de l'Est (France).
— — du Nord (France).
Great Western Railway.
North Eastern Railway (1).
Midland Railway.
Caledonian Railway.
Great Eastern Railway.
— Northern Railway.
London & South Western Railway.
Lancashire & Yorkshire Railway.
Great Central Railway.
— Northern Railway (Ireland).
Glasgow & South Western Railway.
Great North of Scotland Railway.
Furness Railway.
New South Wales Government Railways.
Cape Government Railways.
New Zealand Government Railways.
Western Australian Government Railways.
Natal Government Railways.
East Indian Railway.
Chemins de fer de la Méditerranée (Italie).
— — méridionaux (réseau de l'Adriatique).
— — du Nord de Milan.
— — de l'État (Norvège).
Société pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais.
Chemins de fer Central suisse.
— — du Gothard.

Quatre d'entre les administrations énumérées ci-dessus m'ont fait connaître qu'elles regrettaient, pour des motifs divers, de ne pouvoir fournir de renseignements.

(1) Les réponses au questionnaire ont été rédigées par M. Worsdell.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les autres ont transmis des réponses plus ou moins complètes à certaines demandes de renseignements descriptifs, mais généralement brèves en ce qui concerne les résultats pratiques acquis.

C'est donc en somme faiblement documenté que j'entame la rédaction de mon rapport, lequel se ressentira forcément du peu d'éléments obtenus.

PROGRAMME GÉNÉRAL.

Le travail a été subdivisé en trois chapitres.

Le chapitre I est consacré à la description détaillée des suspensions sur ressorts à lames ou en spirale des types les plus récents, avec ou sans balanciers.

Accessoirement figurent à ce chapitre les conditions de réception imposées par diverses administrations pour la fourniture de leurs ressorts ainsi que la relation de certains essais spéciaux de flexibilité sur divers types de ressorts.

Le chapitre II est réservé à la détermination de l'influence des ressorts flexibles et des balanciers compensateurs sur la stabilité des locomotives en marche.

Il examine d'abord l'influence des ressorts flexibles sur les mouvements de roulis et de galop, sur l'écrasement anormal qui pourrait affecter la file extérieure des ressorts en courbe.

Il rend compte ensuite des résultats des essais qui ont été faits en vue d'établir comment les ressorts flexibles remplissent leurs fonctions d'amortir les chocs dus aux inégalités de la voie.

Il examine, en dernier lieu, l'influence isolée des balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux, puis l'influence combinée des balanciers et des ressorts flexibles sur la stabilité des locomotives en marche.

Au chapitre III sont réunis et coordonnés les renseignements obtenus sur l'influence des suspensions des divers systèmes et des balanciers compensateurs au point de vue des dépenses d'entretien, de l'usure des pièces du mécanisme, de la durée des bandages, etc.

CHAPITRE PREMIER.

Description des systèmes de suspension les plus récents sur ressorts à lames ou à spirale, avec ou sans balanciers compensateurs. — Résultats d'essais de flexibilité de ressorts à lames. — Conditions spéciales de fourniture des ressorts à lames et en spirale.

Ressorts à lames et ressorts en spirale. — J'ai réuni dans l'annexe I les renseignements obtenus sur les dimensions essentielles des suspensions les plus récentes sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ressorts à lames : ces renseignements donnent, sous forme de tableau, pour chaque essieu et par type de locomotive, le nombre de feuilles du ressort, la section des feuilles, la corde de fabrication, la longueur développée de la première feuille entre les axes de suspension, la flèche de fabrication, la flexibilité par tonne, la charge normale que le ressort porte en service, le poids du ressort monté et le nombre de locomotives qui en sont munies.

Pour faciliter les recherches, ces renseignements ont été classés suivant l'ordre alphabétique des pays.

En parcourant les tableaux de l'annexe I, on constate rapidement que la flexibilité moyenne des ressorts employés ne dépasse guère 8 à 9 millimètres, que souvent même elle est inférieure à ce taux, principalement en Angleterre où les ressorts sont les plus rigides possible. On constate aussi que la tendance générale est de donner aux ressorts d'avant, et spécialement aux bogies, une flexibilité quelque peu supérieure au restant de la suspension.

En fait de ressorts extra-flexibles, il n'y a à signaler que ceux en service dans quatre administrations.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a adopté pour les essieux moteurs de ses locomotives express à bogie des ressorts composés de 11 feuilles de $1^{m}580 \times 0^{m}090 \times 0^{m}017$, d'une flexibilité de $0^{m}0124$. Cette application a été faite à 92 locomotives.

Les chemins de fer autrichiens Nord Empereur Ferdinand ont mis en service 27 locomotives express à 4 roues couplées avec bogie à l'avant et roues porteuses à l'arrière. Les essieux moteurs de ces locomotives ont été suspendus sur des ressorts formés de 19 feuilles de $200 \times 100 \times 10$, d'une flexibilité de 12 millimètres. Ce qui caractérise cette suspension, c'est que ces ressorts sont, comme ceux introduits en Belgique par M. Belpaire, fabriqués droits, sans flèche, et qu'ils prennent la forme renversée sans charge.

La Société pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais possède deux types à grande vitesse, comprenant ensemble 40 locomotives dont les essieux, moteur et accouplé, sont suspendus sur ressorts à grande flexibilité. Les ressorts de l'essieu couplé sont faits de 23 feuilles de 101.6×11.1 d'une flexibilité de 14.3 millimètres. Les ressorts de l'essieu moteur sont doubles ; l'extérieur comprend 12 feuilles de 9.5×101.6, l'intérieur, 9 feuilles de 9.5×88.9. Le premier a une flexibilité de 15.9 et le second, de 19 millimètres par tonne. Une particularité de ces locomotives, c'est que les ressorts du bogie sont rigides : leur flexibilité n'est que de 5.6 millimètres dans un type et de 4 millimètres dans l'autre. Il y a encore à signaler que les ressorts de suspension à lames de l'essieu couplé sont combinés avec des ressorts à hélice Timmis, ainsi que le montre la planche spéciale à cette administration.

Enfin, les ressorts extra-flexibles sont d'un emploi quasi général aux chemins de fer de l'État belge aux locomotives construites par M. Belpaire : ils sont constitués par 23 feuilles de $1,500 \times 100 \times 10$ et donnent une flexibilité de 17 millimètres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par tonne. Ces ressorts présentent cette autre particularité qu'ils ne comportent aucune flèche de fabrication et qu'ils se cintrent vers le bas en charge. Ils ont été introduits en 1885 par M. Belpaire, qui non seulement les a adoptés pour son matériel neuf, mais en a pourvu, après essais, certains types anciens de machines à voyageurs.

Il était intéressant de connaître les raisons qui avaient amené feu M. l'administrateur Belpaire à s'écarter des dimensions généralement admises pour les suspensions. Ces raisons, il les expose comme suit dans une note qu'il écrivait en réponse à une demande de renseignements qui lui était adressée à ce sujet :

« La forme renversée des ressorts n'a pas été adoptée *a priori ;* elle résulte de l'aug-
« mentation de longueur et de hauteur.

« Afin de donner à la suspension des locomotives plus d'élasticité et de diminuer
« ainsi les chocs nuisibles à la conservation de la voie et du matériel, la longueur
« des ressorts a été portée à 1.50 mètre. Cette augmentation de longueur entraînait
« un accroissement correspondant du nombre de feuilles et, par suite, de hauteur.

« Si l'on eût conservé aux ressorts leur forme ordinaire, ou même si l'on eût admis
« que, sous charge, ils prissent la forme rectiligne, ils auraient manqué de stabi-
« lité. Le triangle formé par leurs extrémités et leur point d'appui sur la boîte aurait
« eu une hauteur exagérée. Pour éviter cet inconvénient et réduire la hauteur, nous
« les avons fait fabriquer sans flèche initiale. Sous charge, ils prennent alors une
« courbe renversée et leurs extrémités s'abaissent par rapport à leur point d'appui.

« La forme renversée est donc une conséquence de l'allongement du ressort. Ce
« mode de construction a d'ailleurs un avantage indirect qui est la mise en œuvre
« des feuilles sans qu'elles doivent subir un pliage ou un travail préalables. Or, le
« cintrage exige que le métal subisse un travail qui ne peut qu'être défavorable à
« l'homogénéité des feuilles et prépare des ruptures.

« La forme résultant de l'allongement des feuilles a donc conduit à une fabrica-
« tion plus rationnelle, plus simple et susceptible d'assurer des produits plus
« réguliers. »

Depuis une couple d'années, l'Administration des chemins de fer de l'État belge n'a plus donné d'extension aux ressorts extra-flexibles : elle a conservé en service ceux qui avaient été adaptés aux locomotives et en est revenue pour son matériel neuf aux ressorts de flexibilité modérée.

On rencontre encore une application de ressorts droits, sans flèche de fabrication, prenant sous charge la forme renversée, à certain type de locomotive-tender du réseau de l'Adriatique; mais il s'agit, dans l'espèce, de ressorts de 10 millimètres de flexibilité par tonne.

Les ressorts hélicoïdaux, à fil rond, carré, etc., les ressorts à spirale, en volute, sont d'un usage très répandu en Angleterre, principalement pour la suspension des essieux moteurs. L'Amérique les emploie aussi, mais à un degré moindre; on les y rencontre notamment dans la suspension des bissels des locomotives *Mogul*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Leur application est plus rare sur le continent : il n'y a guère que le chemin de fer du Gothard, le Central suisse qui les aient adoptés, ce dernier à titre d'essai aux bogies de 5 locomotives.

Ces ressorts offrent l'avantage d'être peu encombrants, légers, de coûter moins cher que les ressorts à lames et de donner une grande facilité pour le graissage ; leur emploi semble résulter parfois aussi du manque de place pour loger des ressorts à lames.

Ils sont associés par couple, parfois même par quatre, sous les boîtes et chargés par les entretoises des plaques de garde. On rencontre cependant des dispositifs où les dits ressorts sont au-dessus des boîtes.

La flexibilité des ressorts hélicoïdaux, etc., est souvent supérieure, et même parfois de beaucoup, à celle des ressorts à lames des autres essieux. Ainsi, les ressorts des roues motrices des locomotives express du « Caledonian Railway » ont 0.58 pouce (14.73 millimètres) de flexibilité ; ceux de l'essieu moteur de la locomotive à marchandises du « London & South Western Railway » $^{9}/_{16}$ de pouce (14.29 millimètres), les ressorts à lames des autres essieux ne donnant que $^{5}/_{16}$ de pouce (7.94 millimètres) ; au « Southern Pacific Company » (Amérique), les ressorts à lames de la locomotive compound à marchandises à 10 roues, dont 6 couplées, accusent $^{1}/_{4}$ de pouce (6.35 millimètres) de flexibilité, tandis que celle des ressorts à spirale placés à l'essieu accouplé d'arrière s'élève à 1.4 pouce (35.56 millimètres).

Les ressorts à hélice sont parfois combinés avec les ressorts à lames d'un même essieu ; ils sont alors placés à l'extrémité des colonnes. Parfois même, le ressort auxiliaire est en caoutchouc, comme au « Great Eastern Railway » et au « New Zealand Government Railway ».

Dispositions générales des ressorts à lames et en spirale. — De nombreuses planches montrent tous les dispositifs intéressants de suspension rencontrés sur ressorts à lames ou sur ressorts à spirale, avec ou sans balanciers.

Comme à l'annexe I toutes les planches sont classées par ordre alphabétique des administrations qui ont bien voulu me fournir des éléments, les recherches sont ainsi rendues faciles.

Les planches sont aussi complètes que possible : elles donnent la disposition générale des ressorts, le mode d'appui du ressort sur la boîte, l'articulation des tiges de pression avec le ressort et le châssis, le réglage des tiges de pression ; y figurent également les principaux types de maîtresses lames (à couteaux, à rouleaux, à couteaux rapportés, etc.,) avec le nombre de lames de même longueur, la liaison transversale des feuilles (étoquiaux, nervure longitudinale, etc.).

Des renseignements analogues sont fournis en ce qui concerne les ressorts à hélice, spirale ou volute, avec dispositifs de montage, plan coté du ressort libre et monté, charge normale, flexibilité moyenne par tonne, etc.

Enfin, les divers systèmes rencontrés d'application de balanciers longitudinaux et transversaux ont été reproduits *in extenso*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'importance considérable donnée à cette partie du travail dispense d'entrer dans des détails descriptifs fastidieux.

Comme particularité de construction des ressorts, il y a cependant à signaler le dispositif ci-après, très usité, que plusieurs administrations indiquent comme étant le meilleur pour assurer la liaison transversale des feuilles. Chaque feuille porte des tetons larges et plats entrant dans la feuille voisine inférieure. La dernière feuille porte des tetons entrant dans l'étrier; une feuille supérieure est prévue pour faciliter l'entrée et la sortie des lames. Elle est maintenue au moyen d'une vis qui la traverse complètement; la pointe de la vis sert de teton à la première lame.

Au « New York, New Haven & Hartford Railway », les feuilles sont assemblées les unes aux autres par l'intermédiaire de la bride sans autre liaison entre elles. En outre, il n'existe pas de procédé pour le réglage des tiges de pression : quand les machines vont en réparation, des plaques sont intercalées sous les supports des tirants pour la reprise du jeu.

Enfin, une disposition originale est celle du ressort à pincettes du « Lancashire & Yorkshire Railway » et du chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée. Les planches spéciales à ces administrations donnent le mode d'appui, de réglage, etc.

Résultats d'essais de flexibilité de ressorts à lames. — Il m'a paru intéressant de rechercher comment les ressorts à lames s'écrasent sous les charges successives de 1, 2, 3, etc., tonnes et ce, jusqu'à la charge d'emploi, d'établir l'influence au point de vue de la flexibilité, de la section de la lame (plane ou rainurée), de l'état des lames en contact (brutes, polies, graissées, etc.).

Les renseignements obtenus sur ces divers points figurent à l'annexe II.

Il semblerait que la flexibilité va décroissant, à mesure que le chargement augmente. D'autre part, le polissage, de même que le graissage des lames de ressorts neufs, accroît leur flexibilité d'au moins 10 p. c. Toutefois, cet effet ne persiste pas; les aspérités ou rugosités qui rendent le ressort moins flexible pendant les premiers temps de service ne tardent pas à disparaître; les lames se polissent par l'usage et la flexibilité du ressort s'en ressent. A ce sujet, l' « East Indian Railway » signale que les ressorts placés sous les boîtes et qui sont lubrifiés par l'huile des boîtes résistent plus longtemps et travaillent mieux que ceux placés de façon à ne pas recevoir de lubrifiant.

Cette observation se trouve confirmée par des renseignements analogues de l'État belge, au sujet de ressorts dont les feuilles ont été polies extérieurement, au lieu de recevoir une couche de couleur noire; de temps à autre, le machiniste graisse l'extérieur de ces ressorts à l'aide de déchets de coton imbibés d'huile dont une partie s'introduit entre les feuilles. Les ressorts ainsi graissés ont un meilleur fonctionnement et ont pu rester à la même locomotive, sans devoir être remplacés pour bris, pendant neuf à dix ans, tandis qu'il n'est pas rare de constater aux autres locomotives des ressorts qui doivent être renouvelés pour bris de feuilles au bout de deux ou trois ans.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il résulte encore des résultats d'essais, que les ressorts à lames rainurées sont plus rigides que leurs similaires à lames plates; c'était d'ailleurs bien indiqué.

Conditions de fourniture des ressorts à lames et des ressorts à spirale. — Les conditions spéciales de fourniture des ressorts à lames sont insérées à l'annexe III et celles des ressorts à spirale à l'annexe IV.

CHAPITRE II.

Les ressorts flexibles et les mouvements de roulis et de galop. — Comment les ressorts flexibles remplissent leurs fonctions d'amortir les chocs dus aux inégalités de la voie. — Influence des balanciers compensateurs, longitudinaux et transversaux sur la stabilité des locomotives en marche. — Influence combinée des balanciers et des ressorts à grande flexibilité sur la stabilité des locomotives en marche.

Influence de la flexibilité des ressorts sur les mouvements de roulis et de galop, sur la stabilité en courbe et sur le fonctionnement de la distribution. — Les renseignements recueillis sur ces divers points sont reproduits ci-après :

Chemins de fer de l'État (Belgique).

L'expérience n'a pas fait constater d'accentuation des mouvements de roulis et de galop par suite de l'application aux machines de ressorts à grande flexibilité.

Les locomotives, à suspension souple, sont très douces sur la voie.

Toutefois, il convient d'ajouter que les locomotives qui ont reçu les ressorts de 1.50 mètre sont à cylindres intérieurs, horizontaux ou légèrement inclinés, suivant que les machines sont à quatre ou à six roues couplées. De plus, les longerons sont extérieurs aux roues; l'empattement des essieux extrêmes est, pour certains types, de 6.50 à 7 mètres, et les cylindres placés à l'arrière des roues porteuses à déplacement.

Les effets dus à l'action statique du mécanisme sur les mouvements de roulis et de galop sont aussi atténués par la disposition même des organes et du bâti. En outre, la composante verticale des forces perturbatrices est totalement équilibrée, ce qui explique que le roulis et le galop ne sont guère affectés par une suspension flexible, les causes qui les provoquent ayant été autant que possible annihilées. Avec des machines à cylindres extérieurs, à longerons intérieurs, à faibles empattements, n'ayant pas aux roues un équilibrage complet des mouvements perturbateurs verticaux, les résultats eussent sans doute été tout autres.

De même, on n'a pas constaté de surcharge anormale sur la file extérieure des ressorts au passage dans les courbes des locomotives à grande vitesse, munies de ressorts de 1.50 mètre : il y a lieu de considérer que le centre de gravité de ces locomotives est à hauteur normale et que les ressorts appuient sur le dessus des boîtes. L'effort de renversement en courbe n'est pas aussi directement transmis au rail par l'entremise de la suspension que dans les locomotives à centre de gravité élevé et avec ressorts en dessous; il prend plus l'allure d'une poussée latérale. Les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ressorts à grande flexibilité placés sous les boîtes de locomotives très hautes aideraient notablement à la décharge sur le rail intérieur. (*Voir* à ce sujet le mémoire présenté au Congrès des chemins de fer de 1895 par M. Aspinall, ingénieur du « Lancashire & Yorkshire Railway ».)

Les tableaux I, II et III ci-après donnent les variations maximums des flèches des ressorts, relevées pendant une série d'essais. Les chiffres y renseignés comprennent l'ensemble des influences qui altèrent la stabilité des locomotives en marche : il serait impossible d'en déduire la mesure de chacune d'elles.

Les essais résumés dans les tableaux I et II ont été faits avec des locomotives de même type, circulant sur les mêmes voies, en rails de 38 kilogrammes et aux mêmes vitesses : la seule différence consiste en ce que la locomotive du tableau II avait des balanciers compensateurs entre les roues d'avant. La locomotive du tableau III est identique à celle du tableau II, mais elle a circulé sur des voies en rails Goliath, de 52 kilogrammes.

Les plus grandes amplitudes de flexion constatées ont été :

Pour le tableau I, de 72 et 69 millimètres, atteintes respectivement par les ressorts avant-gauche et avant-droite;

Pour le tableau II, de 51 et 50 millimètres, par les mêmes ressorts;

Pour le tableau III, de 39 millimètres, par le ressort avant-gauche.

Les conclusions qui découlent des essais sont :

1° Les amplitudes maximums de flexion affectent principalement l'essieu d'avant;

2° Elles diminuent d'importance avec l'application des balanciers longitudinaux;

3° Le tableau III montre l'amélioration qui résulte de la raideur de la nouvelle voie et établit que c'est de la voie que viennent à la locomotive les forces perturbatrices les plus importantes et les plus nuisibles à sa stabilité.

Southern Pacific Company (États-Unis d'Amérique).

Nous avons observé une augmentation des mouvements de roulis et de galop quand les ressorts étaient trop flexibles : mais nous n'avons pas de données à ce sujet.

Dans le cas où les locomotives ont des ressorts extra-flexibles, nous les remplaçons par d'autres moins flexibles : nous avons trouvé que les ressorts extra-flexibles tendent à produire de l'usure extraordinaire des articulations ainsi que le bris des ressorts et des attaches des balanciers compensateurs.

Illinois Central Railroad Company (États-Unis d'Amérique).

Nous avons constaté une augmentation du roulis due à la flexibilité extra des ressorts; mais nous n'avons pas de données à ce sujet. La stabilité de la machine à ressorts flexibles sera influencée en courbe par les mouvements de roulis, proportionnellement à la vitesse de la machine. Dans bien des cas, nous avons rejeté les ressorts extra-flexibles et placé des ressorts plus rigides pour réduire les mouvements de roulis.

Avec le centre de gravité élevé comme dans nos nouvelles locomotives et particulièrement avec des ressorts placés en dessous, les ressorts extra-flexibles sont nuisibles à la bonne marche de la machine et à la voie.

Chemins de fer de l'Ouest (France).

On s'est toujours attaché à donner une certaine raideur aux ressorts des machines en vue d'atténuer autant que possible les effets du galop et du roulis. La flexibilité par tonne des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Variations-limites de la position des boîtes dans leurs guides d'une locomotive à voyageurs à 6 roues couplées de 1m70, sans roues porteuses; ressorts de 23 feuilles de 1,500 × 100 × 10, d'une flexibilité moyenne d'environ 17 millimètres. Pas de balanciers compensateurs.

Tableau I.

Numéro de l'essai.	AVANT.		MILIEU.		ARRIÈRE.		PARCOURS ET VITESSES.	*Observations.*
	Gauche.	Droite.	Gauche.	Droite.	Gauche.	Droite.		
I.	+ 17 − 25	+ 20 − 28	+ 10 − 21	+ 10 − 26	+ 24 − 22	+ 19 − 21	Parcours : 56 kilomètres. Vitesse maximum : 60 kilom.	Les chiffres affectés du signe + donnent en millimètres la quantité maxima dont la locomotive s'est abaissée pendant l'essai : ceux affectés du signe — correspondent au maximum de son soulèvement.
II.	+ 25 − 27	+ 25 − 23	+ 12 − 33	+ 19 − 19	+ 8 − 33	+ 14 − 19	Parcours : 17 kilomètres. Vitesse maximum : 71 kilom.	
III.	+ 21 − 27	+ 21 − 31	+ 17 − 27	+ 13 − 22	+ 18 − 28	+ 22 − 14	Parcours : 56 kilomètres. Vitesse maximum : 80 kilom.	
IV.	+ 27 − 27	+ 23 − 35	+ 20 − 27	+ 13 − 23	+ 18 − 28	+ 22 − 15	Idem.	
V.	+ 33 − 32	+ 33 − 34	+ 22 − 24	+ 21 − 27	+ 10 − 28	+ 16 − 22	Parcours : 56 kilomètres. Vitesse maximum : 65 kilom.	Parcours effectués sur voie en rails de 38 kilogrammes.
VI.	+ 40 − 32	+ 34 − 35	+ 27 − 27	+ 22 − 32	+ 13 − 28	+ 17 − 34	Idem.	
Moyenne des essais.	+ 27 − 28	+ 26 − 31	+ 18 − 25	+ 16 − 25	+ 15 − 28	+ 18 − 21		

Tableau II.

Même type de locomotive que la précédente, même suspension, mais avec balanciers compensateurs entre les roues d'avant.

I.	+ 19 − 26	+ 19 − 26	+ 19 − 21	+ 18 − 21	+ 19 − 24	+ 20 − 25	Parcours : 57 kilomètres. Vitesse : 75 kilomètres.	Parcours effectués sur voie en rails de 38 kilogrammes.
II.	+ 25 − 26	+ 19 − 31	+ 20 − 20	+ 19 − 19	+ 18 − 21	+ 21 − 23	Idem.	
Moyenne.	+ 22 − 26	+ 19 − 28	+ 19.5 − 20.5	+ 18.5 − 20	+ 18.5 − 22.5	+ 20.5 − 24		

Tableau III.

Même type de locomotive qu'au tableau II, mais circulant sur voie Goliath en rails de 52 kilogrammes.

I.	+ 30 − 9	+ 26 − 2	+ 24 − 2.5	+ 18 − 7	+ 18 − 3	+ 28 − 9	Parcours : 57 kilomètres. Vitesse maximum : 75 kilomètres.	Parcours effectués sur voie Goliath en rails de 52 kilogrammes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ressorts des machines des derniers types est de 8 à 9 millimètres en moyenne; on n'a pas essayé de ressorts à grande flexibilité.

Avec les ressorts habituels (8 à 9 millimètres de flexibilité moyenne), les oscillations qu'ils subissent du fait des variations de poids sur les essieux occasionnées par le passage dans les courbes sont relativement peu importantes et on n'a pas été amené à constater que la stabilité de la machine pouvait être affectée de ce chef.

Caledonian Railway (Grande-Bretagne et Irlande).

Nous avons un type de locomotives avec boîtes extérieures aux roues : les cylindres sont extérieurs, inclinés et en porte-à-faux. La stabilité de cette machine est affectée si on fait usage de ressorts très flexibles. En voie droite, le roulis est le résultat des mouvements alternatifs des organes du mécanisme et l'emploi de ressorts très flexibles l'accentue. Pour l'arrêter, nous avons eu recours à des ressorts rigides. C'est le seul type que nous ayons avec coussinets et ressorts extérieurs, et nous estimons que les ressorts très flexibles sont inadmissibles pour cette locomotive.

En règle générale, les ressorts à grande flexibilité ne sont pas employés : les parties suspendues sont tenues aussi rigides que possible.

North Eastern Railway (Grande-Bretagne et Irlande).

Signale une accentuation des mouvements de roulis et de galop par suite de l'application de ressorts flexibles.

East Indian Railway (empire des Indes et colonies).

Nous avions placé des ressorts hélicoïdaux sous les essieux d'avant de certaines machines à marchandises, mais nous avons été obligés de les enlever, car les oscillations étaient fortement augmentées. Toutefois, nous n'avons pas constaté qu'en courbe la stabilité de la locomotive fut affectée par la plus grande flexibilité des ressorts.

Pour ce qui concerne l'influence des ressorts flexibles sur le fonctionnement de la distribution, les seuls renseignements obtenus sont :

The Buenos-Ayres Great Southern Railway Company (République Argentine).

A l'exception de certaines machines-tenders pourvues de la distribution Joy, on n'a pas observé, avec les ressorts à grande flexibilité, de tendances du mécanisme de distribution à se déranger. Dans le cas de ces machines toutefois, on a constaté que la déflexion des ressorts, avec réservoirs pleins, a considérablement modifié la distribution de vapeur.

Chemins de fer de l'État (Belgique).

De l'ensemble des observations, il résulte que la quantité maximum dont le châssis de la locomotive suspendue sur ressorts de 1.50 mètre s'est déplacé, soit au-dessus, soit en dessous de la position moyenne au repos, n'a pas dépassé 33 millimètres pour l'essieu moteur et 40 millimètres pour l'essieu d'avant (*voir* tableau I ci-avant); le déplacement du tiroir qui en est la conséquence n'atteint pas 1 millimètre; ce déplacement est sans influence appréciable sur la distribution.

Illinois Central Railroad Co. (États-Unis d'Amérique).

Les ressorts extra-flexibles doivent affecter le mécanisme de distribution.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Comment les ressorts flexibles remplissent leurs fonctions d'amortir les chocs dus aux inégalités de la voie. — Les ressorts sont destinés à amortir les chocs dus aux inégalités de la voie et à arrêter leur transmission en emmagasinant le travail produit.

Le pouvoir d'absorber sous forme de travail moléculaire l'action dynamique résultant de l'imperfection de la voie, dépend de l'élasticité du ressort, c'est-à-dire de sa flexibilité. *A priori*, les ressorts les plus flexibles se prêtent le mieux à remplir leur fonction qui est d'amortir et, en s'appropriant une plus large part du travail développé par le choc, ils semblent devoir assurer une meilleure stabilité de la partie suspendue.

Afin de contrôler expérimentalement ce que la théorie ou tout au moins le sentiment indique au sujet de la capacité d'absorption des ressorts, j'ai demandé aux administrations adhérentes qu'elles me fournissent tous les résultats d'essais spéciaux ou d'observations courantes qu'elles auraient recueillis sur la question. Malheureusement, peu d'essais pratiques ont été faits dans cet ordre d'idées; en outre, les renseignements obtenus mêlent, le plus souvent, l'influence des ressorts et celle des balanciers, sans indiquer la part revenant à chacun d'eux dans chaque cas particulier.

Je renvoie le lecteur, pour l'examen plus complet de la question, au chapitre des balanciers, dans lequel est plus spécialement envisagée l'influence combinée des balanciers et des ressorts flexibles sur la conservation des charges statiques en marche.

Les quelques renseignements recueillis sur l'influence de la flexibilité envisagée isolément sont consignés ci-après :

The Buenos-Ayres Great Southern Railway Co. (République Argentine).

L'emploi de ressorts à grande flexibilité a été trouvé bon pour obtenir une plus grande stabilité de la marche à cause de la facilité qu'ont les essieux de suivre les inégalités de la voie sans charger excessivement les essieux voisins.

État belge.

Résultats obtenus par la substitution de ressorts composés de 25 feuilles de 1,500 × 100 × 10 millimètres à d'autres composés de 13 feuilles de 900 × 100 × 10 millimètres.

SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse normale de marche.	Désignation de l'essieu	RÉPARTITION DES CHARGES A L'ÉTAT STATIQUE.		VARIATIONS DE CHARGE RELEVÉES EN MARCHE.		VARIATION TOTALE.		SUSPENSION.	
			Gauche.	Droite.	Gauche.	Droite.	Gauche.	Droite.	Nombre et dimensions des feuilles.	Flexibilité.
Locomotive à voyageurs à 6 roues couplées de 1m70, *sans balanciers*.	70 kilom.	1er essieu.	6,000	6,100	Max. 8,350 Min. 4,120	8,100 4,040	4,230	4,060	23 feuilles de 1,500 × 100 × 10	17
		2e —	6,600	6,500	Max. 8,180 Min. 4,660	7,790 4,620	3,520	3,170		
		3e —	5,900	5,900	Max. 6,680 Min. 3,550	6,900 3,900	3,130	3,000		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les annotations ont été relevées sur un parcours de 180 kilomètres environ.

Les deux locomotives comparées sont du même type ; elles ont assuré la remorque des mêmes trains ; par conséquent, même vitesse et même voie.

Avec la machine pourvue des ressorts de 1,500 × 100 × 10, la différence entre la pression maximum et la pression minimum s'exerçant sur une même fusée a été de 4,230 kilogrammes et a affecté l'essieu d'avant.

Pour la locomotive munie de ressorts de 900 × 100 × 10 d'une flexibilité moyenne de 8.4, cette différence s'élevait à 5,000 kilogrammes.

Il y a donc environ 18 p. c. d'écart en faveur de la machine suspendue sur longs ressorts.

Dans les deux essais, les locomotives étaient dépourvues de balanciers compensateurs.

Résultats comparatifs obtenus par la substitution de ressorts de 1,500 × 100 × 10 à des ressorts de 900 × 100 × 10.

SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse normale de marche.	Désignation de l'essieu	RÉPARTITION DES CHARGES A L'ÉTAT STATIQUE. Gauche.	Droite.	VARIATIONS DE CHARGE RELEVÉES EN MARCHE. Gauche.	Droite.	VARIATION TOTALE. Gauche.	Droite.	SUSPENSION. Nombre et dimensions des feuilles.	Flexibilité.
Locomotives à voyageurs à 6 roues couplées de 1m70, sans roues porteuses. . . . . Balanciers compensateurs longitudinaux entre les essieux d'avant . . . . . Suspension sur ressorts de 900 × 100 × 10	70 kilom.	1er essieu.	5,800	6,100	Max. 7,210 Min. 3,800	7,810 4,690	3,410	3,120	13 feuilles de 900 × 100 × 10	8.4
		2e —	6,600	6,500	Max. 7,840 Min. 4,600	8,030 4,780	3,240	3,240		
		3e —	5,700	5,800	Max. 7,940 Min. 3,230	8,150 3,330	4,710	4,820		
Même type que ci-dessus. Balanciers longitudinaux entre les roues d'avant; mais suspension sur ressorts de 1,500 × 100 × 10.	70 kilom.	1er essieu.	6,200	6,000	Max. 7,670 Min. 4,580	7,110 4,180	3,090	2,930	23 feuilles de 1,500 × 100 × 10	17
		2e —	6,700	6,700	Max. 7,880 Min. 5,520	7,810 5,590	2,360	2,220		
		3e —	6,100	6,200	Max. 7,160 Min. 4,870	7,330 4,850	2,290	2,480		
Idem.	70 kilom.	1er essieu.	Répartition des poids sensiblement la même que ci-dessus.		...	...	2,500	2,500	Idem.	17
		2e —			...	...	2,220	2,160		
		3e —			...	...	2,400	2,500		

Ici encore, les locomotives comparées ont circulé sur les mêmes voies et aux mêmes vitesses.

Ces machines avaient toutes trois les balanciers compensateurs longitudinaux entre les essieux d'avant.

La différence entre elles consiste en ce que la première était pourvue de ressorts de 900 × 100 × 10, tandis que les deux autres (celles ayant servi aux essais nos 2 et 3) étaient suspendues sur ressorts de 1,500 × 100 × 10.

On peut se rendre rapidement compte de l'influence des ressorts flexibles sur les variations de charge en cours de marche par l'examen des colonnes 8 et 9. L'essieu d'arrière, qui n'est pas relié à aucun autre essieu par balanciers, éprouve une variation de charge de 4,820 kilogrammes environ dans l'essai no 1, c'est-à-dire quand il est chargé par ressorts de 900 × 100 × 10, alors

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que l'écart maximum relevé dans les essais nos 2 et 3 descend à 2,500 kilogrammes avec les suspensions extra-flexibles

Influence des balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux sur la stabilité des locomotives en marche. Influence combinée des balanciers et des ressorts à grande flexibilité sur la stabilité des locomotives en marche. — Les balanciers compensateurs, longitudinaux et transversaux, sont d'un usage presque général en Amérique, en Belgique et en Suisse; leur application est moins étendue en France et en Autriche-Hongrie. Dans la République Argentine et en Italie les locomotives sont munies de balanciers longitudinaux seulement. En Angleterre, les balanciers sont pour ainsi dire inconnus, si ce n'est aux bogies; il en est de même dans la plupart des colonies anglaises.

L'usage des balanciers transversaux est le plus souvent restreint aux essieux extrêmes des locomotives.

Les avantages que l'on s'accorde généralement à reconnaître aux balanciers compensateurs sont résumés brièvement ci-après :

1° En établissant une relation fixe entre les charges portées par deux essieux consécutifs, les balanciers longitudinaux permettent d'obtenir tel rapport de poids que l'on désire avoir sur deux essieux voisins.

De même, les balanciers transversaux assurent l'égalité aussi parfaite que possible des charges sur les fusées d'un même essieu et cet avantage est surtout appréciable pour les essieux extrêmes et surtout celui d'avant;

2° Si les balanciers ne permettent pas de commander comme on veut la répartition, au moins celle-ci une fois établie, ils la rendent invariable et préviennent les surcharges permanentes de l'un des essieux;

3° En marche, les essieux subissent des variations de charge résultant des dénivellations de la voie et des effets du mécanisme. Les balanciers ont pour résultat d'empêcher les surcharges d'un essieu en faisant intervenir l'essieu conjugué dans la répartition;

4° Ils permettent encore, dans certains cas, d'améliorer sans grands frais toute répartition de poids jugée défectueuse, par un simple déplacement de leur axe d'oscillation.

Je me suis préoccupé, dans le présent chapitre, d'établir, à l'aide des renseignements obtenus, dans quelle mesure ces avantages sont pratiquement réalisés.

En ce qui concerne le 1°, la démonstration n'est pas à faire : abstraction faite des frottements, la distribution du poids suspendu sur les essieux solidarisés résulte des longueurs respectives des bras des balanciers.

Les machines pourvues de balanciers ne se dérèglent guère et leur réglage à l'atelier est rapide et facile. A citer à ce sujet la circulaire suivante de l'Administration des chemins de fer de l'État belge :

« Le réglage des machines sur les ponts à peser peut être supprimé pour celles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« munies de balanciers compensateurs : l'application des balanciers ayant eu pour « résultat de fixer presque *ne varietur* la répartition des poids sur les essieux, le « réglage peut être réalisé pour ce matériel en rétablissant horizontaux les balan- « ciers et les ressorts de suspension, ce qui peut être obtenu sur une voie bien « de niveau. »

D'un autre côté, la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest (France) signale avoir relevé les variations de charge qui se produisaient sur les essieux entre deux levages consécutifs après un certain temps de service. Il résulte des relevés de pesages faits dans ces conditions que dans les machines munies de balanciers longitudinaux, la moyenne de variation de charge par essieu ne dépasse pas $^1/_2$ p. c. de la charge sur roues de ces machines, alors qu'elle atteint 3 p. c. dans les machines à balancier transversal et qu'elle dépasse cette proportion dans les machines à ressorts indépendants.

L'influence des balanciers compensateurs sur la conservation des charges statiques en marche sera expérimentalement établie à l'aide des essais dont les résultats sont consignés plus loin ; mais cette influence variera nécessairement avec la nature de la voie et le type de locomotive. Il n'est pas douteux *a priori* (et les essais le prouvent), qu'une bonne voie ôte aux balanciers une grande part de leur importance. De même, le dispositif général de la locomotive est à considérer : les résultats se modifieront d'une machine à l'autre, suivant l'amplitude des forces perturbatrices et le *quantum* équilibré. Ainsi, par exemple, les cylindres extérieurs inclinés, en porte-à-faux, les hautes pressions, etc., sont favorables aux mouvements perturbateurs, tandis que les longs empattements, les longerons extérieurs en atténuent les effets. Les essais ne peuvent donc fournir que des indications toutes relatives, spéciales à une locomotive d'un type donné, dans des conditions bien définies de vitesse et de voie.

Ces réserves posées au sujet de la valeur à assigner aux expériences, je rends compte ci-après des renseignements et résultats d'essais qui me sont parvenus au sujet de l'influence exercée par les balanciers compensateurs sur la stabilité des locomotives en marche. Les expériences ont consisté à relever l'amplitude de la trace gravée sur le longeron par un pointeau fixé à la bride de chacun des ressorts. Ces amplitudes ont été traduites en charges en les divisant par la flexibilité des ressorts.

La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest (France) fait usage d'un appareil à disque, dont la description est donnée en annexe V, pour enregistrer les oscillations relatives de la roue par rapport au tablier de la machine pendant la marche.

The Buenos-Ayres Great Southern Railway Co. (République Argentine).

L'emploi des balanciers compensateurs a fait réaliser un très grand perfectionnement dans la marche des locomotives : l'expérience a prouvé que l'on obtient une plus grande stabilité avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des ressorts flexibles et des balanciers compensateurs qu'avec des ressorts comparativement rigides et sans balanciers. Ces résultats ont été obtenus précisément sur les mêmes machines, avant et après placement de pareils ressorts, travaillant dans des conditions similaires de charge et de vitesse et sur les mêmes districts.

Chemins de fer du Sud de l'Autriche.

Nos essais relatifs à la variation des charges en marche, par rapport à celles à l'état de repos, ont montré que, selon l'état de la voie, la vitesse et le type de locomotive, les ressorts non reliés par des balanciers oscillent entre 15 et 20 millimètres, en deçà ou au delà de leur position normale sous charge, ce qui correspond à une variation de la charge de 2 tonnes en plus ou en moins.

Aux machines dont les ressorts sont reliés par des balanciers, ces oscillations sont généralement plus faibles.

Glasgow & South Western Railway (Angleterre).

Nous employons des leviers compensateurs entre les essieux du bogie de nos machines à voyageurs, et nous les disposons comme c'est indiqué sur la figure. Nous avons constaté que l'emploi de leviers compensateurs entre les essieux du bogie a une influence importante sur la marche douce et le travail aisé de la machine.

Chemins de fer de l'État (Belgique).

Résultats obtenus par le déplacement entre les roues d'avant des balanciers compensateurs se trouvant entre les roues motrices et couplées d'une locomotive à voyageurs à quatre roues couplées de 2 mètres et essieu porteur fixe à l'avant.

Toutes les locomotives de ce type avaient, dans le principe, des balanciers longitudinaux entre les deux essieux accouplés, l'essieu porteur étant indépendant. A la suite d'un déraillement de ce dernier essieu, les balanciers furent reportés entre l'essieu moteur et l'essieu porteur, à titre d'essai, sur une locomotive assurant la traction des trains entre Ostende et la frontière allemande, et pouvant atteindre, en certains endroits du parcours, la vitesse de 100 kilomètres en pleine voie.

Avant comme après la transformation, les ressorts de l'essieu d'avant étaient constitués de 13 feuilles étagées de 100 × 10, de 90 centimètres de long et d'une flexibilité moyenne de 8.4 millimètres.

Le tableau ci-après donne les résultats obtenus avant et après la transformation :

ESSIEU D'AVANT-COTÉ GAUCHE.			ESSIEU D'AVANT-COTÉ DROIT.		
Poids sur rails au repos.	VARIATION DE LA CHARGE.		Poids sur rails au repos.	VARIATION DE LA CHARGE.	
	Avant transformation.	Après application des balanciers compensateurs.		Avant transformation.	Après application des balanciers compensateurs.
4,750.	Allégement : 3,330 Surcharge : 2,850	Allégement : 1,660 Surcharge : 950	4,750.	Allégement : 3,330 Surcharge : 2,730	Allégement : 1,660 Surcharge : 1,070

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Alors que l'essieu d'avant est dépourvu de balanciers longitudinaux, la charge statique sur les roues porteuses, qui est de 9,500 kilogrammes, oscille entre 2,840 kilogrammes et 15,200 kilogrammes en marche. Après application des balanciers entre cet essieu et l'essieu voisin, la variation de la pression de l'essieu sur le rail est limitée entre 6,180 kilogrammes et 11,470 kilogrammes.

Mais si le déplacement des balanciers a donné de la stabilité à l'essieu porteur et, par conséquent, assuré la sécurité de la marche, en revanche l'essieu couplé d'arrière, dégarni de ses leviers compensateurs, a perdu de sa douceur de roulement : les écarts de poids, sur cette paire de roues, sont devenus plus grands, conséquence rationnelle de la suppression de ses balanciers en même temps que preuve nouvelle de l'influence de ces organes sur la conservation des charges statiques.

Une amélioration a été cherchée dans l'emploi de ressorts plus flexibles : les ressorts d'arrière, composés comme ceux d'avant de 13 feuilles étagées de 900 × 100 × 10, ont été remplacés d'abord par des ressorts comprenant 18 feuilles lisses de 100 × 10 et mesurant 1.20 mètre d'axe en axe des tringles de suspension. Ceux-ci ont amélioré, dans une certaine mesure, la stabilité de l'essieu accouplé en réduisant l'amplitude des oscillations des poids, mais ils n'ont pas encore rendu son ancienne douceur au roulement. La substitution des nouveaux ressorts, plus flexibles encore, mesurant 1.50 mètre entre les axes et comprenant 21 feuilles de 100 × 10, a donné des résultats favorables : le roulement a été aussi doux que celui des autres locomotives qui avaient conservé les balanciers entre les essieux moteurs.

Depuis le déplacement des balanciers, on ne constate plus de déraillement d'essieu porteur.

Résultats obtenus par l'application de balanciers compensateurs aux locomotives-tenders à voyageurs à cinq essieux.

SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse normale de marche.	Désignation des essieux.	RÉPARTITION DES POIDS A L'ÉTAT STATIQUE. Gauche.	Droite.	VARIATIONS DE CHARGE RELEVÉES EN MARCHE. Gauche.	Droite.	VARIATION TOTALE. Gauche.	Droite.	SUSPENSION. Nombre et dimension des feuilles.	Flexibilité.
Locomotive-tender à voyageurs à 6 roues couplées de 1m70, avec roues porteuses à boites rayonnantes à chaque extrémité. Balanciers compensateurs longitudinaux entre les essieux d'avant et double jeu de balanciers entre les trois essieux d'arrière	60 kilom.	1er essieu.	5,000	5,000	Max.6,800 Min. 3,500	6,900 3,300	3,300	3,600	13 feuilles de 900 × 100 × 10	8,4
		2e —	6,000	6,000	Max.8,500 Min. 4,200	8,100 4,800	4,100	3,300		
		3e —	6,800	6,800	Max.8,200 Min. 5,400	8,600 5,200	2,800	3,400		
		4e —	6,300	6,300	Max.8,700 Min. 4,500	8,600 4,500	3,200	4,100		
		5e —	5,500	5,500	Max.7,800 Min. 3,500	7,500 3,700	4,300	3,800		

Avant l'application de balanciers compensateurs, la pression s'exerçant sur une même fusée d'essieu porteur a varié en cours de route, sur la même voie et à la même vitesse, de 7,000 kilogrammes, tandis que d'après le relevé ci-dessus, la variation de la pression oscille entre 3,300 et 4,300 kilogrammes.

Antérieurement à l'application de balanciers aux locomotives de ce type, on constatait d'assez fréquents bris de ressorts et parfois même le déraillement de l'essieu porteur d'avant, principale-

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment à l'entrée et à la sortie des courbes à dévers un peu brusquement rachetés. Depuis la transformation, les bris de ressorts ne sont pas plus nombreux à ces locomotives qu'aux autres types et les déraillements d'essieux rayonnants ont cessé : la machine circule avec stabilité dans les courbes de petit rayon, présentant des changements de niveau brusques dans les files de rails.

Résultats obtenus par l'application de balanciers compensateurs aux locomotives à voyageurs à six roues couplées.

SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse normale de marche.	Désignation des essieux.	RÉPARTITION DES POIDS A L'ÉTAT STATIQUE. Gauche.	Droite.	VARIATIONS DE CHARGE RELEVÉES EN MARCHE. Gauche.	Droite.	VARIATION TOTALE. Gauche.	Droite.	SUSPENSION. Nombre et dimension des feuilles	Flexibilité.
Locomotive à voyageurs à 6 roues couplées de 1m70, sans roues porteuses. Balanciers compensateurs longitudinaux entre les essieux d'avant . .	70 kilom	1er essieu.	5,800	6,100	Max. 7,210 / Min. 3,800	7,810 / 4,690	3,410	3,120	13 feuilles de 900 × 100 × 10	8.4
		2e —	6,600	6,500	Max. 7,840 / Min. 4,600	8,080 / 4,780	3,240	3,240		
		3e —	5,700	5,800	Max. 7,940 / Min. 3,230	8,150 / 3,330	4,710	4,820		

La variation maximum de la pression sur une fusée atteint 4,820 kilogrammes pour l'essieu d'arrière dont les ressorts sont dépourvus de balanciers compensateurs, tandis qu'elle ne dépasse pas 3,410 kilogrammes pour les deux autres essieux dont les ressorts sont rendus solidaires. En même temps, on constate une amélioration de la douceur de marche de la machine, principalement aux traversées de voies et sur les excentriques.

Résultats obtenus par l'application de balanciers compensateurs entre les roues d'avant d'une locomotive à voyageurs à six roues couplées.

Numéros de l'essai.	SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse normale de marche.	Désignation des essieux.	RÉPARTITION DES POIDS A L'ÉTAT STATIQUE. Gauche.	Droite.	VARIATIONS DE CHARGE RELEVÉES EN MARCHE. Gauche.	Droite.	VARIATION TOTALE. Gauche.	Droite.	SUSPENSION. Nombre et dimension des feuilles.	Flexibilité.
1	Locomotive à voyageurs à 6 roues couplées de 1m70 *sans balanciers*	70 kilom.	1er essieu.	6,000	6,100	Max. 8,350 / Min. 4,110	8,100 / 4,040	4,230	4,060	23 feuilles de 1,500 × 100 × 10	17
			2e —	6,600	6,500	Max. 8,180 / Min. 4,660	7,790 / 4,620	3,520	3,170		
			3e —	5,900	5,900	Max. 6,680 / Min. 3,550	6,900 / 3,900	3,130	3,000		
2	Même type que ci-dessus mais avec balanciers longitudinaux entre les roues d'avant.	70 kilom.	1er essieu.	6,200	6,000	Max. 7,670 / Min. 4,580	7,110 / 4,180	3,090	2,930	Idem.	17
			2e —	6,700	6,700	Max. 7,880 / Min. 5,520	7,810 / 5,590	2,360	2,220		
			3e —	6,100	6,200	Max. 7,160 / Min. 4,870	7,330 / 4,850	2,290	2,480		
3	Idem.	70 kilom.	1er essieu.	Répartition des poids sensiblement la même que ci-dessus.		...	...	2,500	2,500	Idem.	17
			2e —			...	...	2,220	2,160		
			3e —			...	...	2,400	2,500		
4	Idem.	70 kilom.	1er essieu.	6,300	6,400	Max. 7,900 / Min. 5,700	7,950 / 6,400	2,200	1,550	Idem.	17
			2e —	6,400	6,300	Max. 7,200 / Min. 6,300	7,300 / 5,900	900	1,400		
			3e —	6,300	6,400	Max. 7,200 / Min. 6,050	8,050 / 6,000	1,050	2,050		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les essais ci-dessus montrent bien l'influence des balanciers compensateurs sur la conservation des charges en marche.

En effet, les 4 locomotives comparées avaient toutes la même suspension sur ressorts de 1.50 mètre.

Les annotations ont été relevées sur les mêmes trains dans les mêmes conditions de vitesse et de charge. Les trois premiers essais ont eu lieu sur une voie en rails de 38 kilogrammes; l'essai n° 4 postérieur aux précédents a eu lieu sur la voie Goliath en rails de 52 kilogrammes.

La surcharge de 4,230 kilogrammes, constatée sur la roue avant droite (essai n° 1, machine sans balanciers), descend à 3,090 maximum quand la machine est munie de balanciers compensateurs entre les essieux d'avant.

L'essai n° 4 accuse non seulement l'amélioration due aux balanciers, mais aussi celle qui résulte de la raideur de la nouvelle voie.

A signaler encore les tableaux des variations de charge relevées en marche sur des locomotives des chemins de fer du Nord-Ouest autrichien et des chemins de fer de l'Est français.

Mais ces documents sont incomplets au point de vue de la démonstration à faire : ils ne fournissent pas les éléments comparatifs, avant et après l'application des balanciers. Je les reproduis néanmoins ci-dessous, parce qu'ils indiquent dans quelle mesure les écarts de charge peuvent être atteints en marge.

Au surplus, l'essai fait au Nord-Ouest autrichien avec la locomotive express à 5 essieux, dont 3 accouplés (essai n° 3), montre que les essieux n°s 4 et 5, qui sont réunis par des balanciers compensateurs longitudinaux, subissent moins de variation de charge en marche que l'essieu n° 3 lequel est indépendant.

Chemin de fer Nord-Ouest autrichien.

SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse normale de marche.	Désignation des essieux.		RÉPARTITION DE LA CHARGE A L'ÉTAT STATIQUE. Gauche.	Droite.	VARIATIONS DES CHARGES RELEVÉES PENDANT LA MARCHE. Gauche.	Droite.	Variation totale. (Tonnes.)	Flexibilité des ressorts par tonne.
Locomotive express à 4 essieux dont deux accouplés et bogie (pas de balanciers)	66	Essieux du bogie.	1	5.0	5.0	+ 1.34 — 1.20	+ 1.30 — 1.50	2.54 — 2.80	6.7
			2	5.0	5.0	+ 1.04 — 1.50	+ 1.34 — 1.34	2.54 — 2.68	6.7
		Essieux moteur et accouplé	3	7.0	7.0	+ 3.40 — 2.20	+ 3.40 — 2.10	5.60 — 5.50	6.7
			4	7.0	7.0	+ 2.10 — 1.60	+ 2.10 — 1.60	3.70 — 3.70	6.7
Locomotive à marchandises à 3 essieux couplés (pas de balanciers) . .	34	Essieux moteur et accouplés	1	6.9	6.9	+ 2.85 — 3.25	+ 2.70 — 3.10	6.10 — 5.80	7.7
			2	6.9	6.9	+ 0.90 — 1.80	+ 1.30 — 1.95	2.70 — 3.25	7.7
			3	6.9	6.9	+ 1.42 — 1.80	+ 1.16 — 3.00	3.22 — 4.16	7.7

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse normale de marche.	Désignation des essieux.		RÉPARTITION DE LA CHARGE A L'ÉTAT STATIQUE. Gauche.	Droite.	VARIATIONS DES CHARGES RELEVÉES PENDANT LA MARCHE. Gauche.	Droite.	Variation totale. (Tonnes.)	Flexibilité des ressorts par tonne.
Locomotive express à 5 essieux dont trois accouplés et bogie (balanciers compensateurs entre les essieux 4 et 5)	66	Bogie.	1	4.90	4.90	+ 2.10 — 2.10	+ 2.10 — 1.86	4.20 — 3.96	5.4
			2	4.90	4.90	+ 2.10 — 3.95	+ 1.63 — 2.80	6.05 — 4.43	5.4
		Essieu moteur.	3	7.00	7.00	+ 3.27 — 3.64	+ 4.37 — 2.00	6.91 — 6.37	9.3
			4	7.00	7.00	+ 2.18 — 3.46	+ 2.55 — 2.91	5.64 — 5.46	9.3
			5	7.00	7.00	+ 2.91 — 2.91	+ 2.18 — 2.91	5.82 — 5.09	9.3
Locomotive à marchandises à 4 essieux accouplés (pas de balanciers) .	30	Essieux moteur et accouplés	1	5.63	5.63	+ 2.00 — 1.76	+ 1.66 — 2.20	3.76 — 3.86	9.0
			2	5.63	5.63	+ 2.22 — 1.11	+ 1.76 — 2.10	3.33 — 3.86	9.0
			3	5.63	5.63	+ 1.54 — 1.66	+ 1.54 — 1.66	3.20 — 3.20	9.0
			4	5.63	5.63	+ 1.33 — 1.49	+ 2.00 — 0.89	2.82 — 2.89	9.0

Chemins de fer de l'Est (France).

En ce qui concerne les variations de charge et de décharge, la Compagnie n'a fait qu'une série d'essais sur la locomotive-tender de banlieue n° 636 à 8 roues dont 6 accouplées et 2 porteuses.

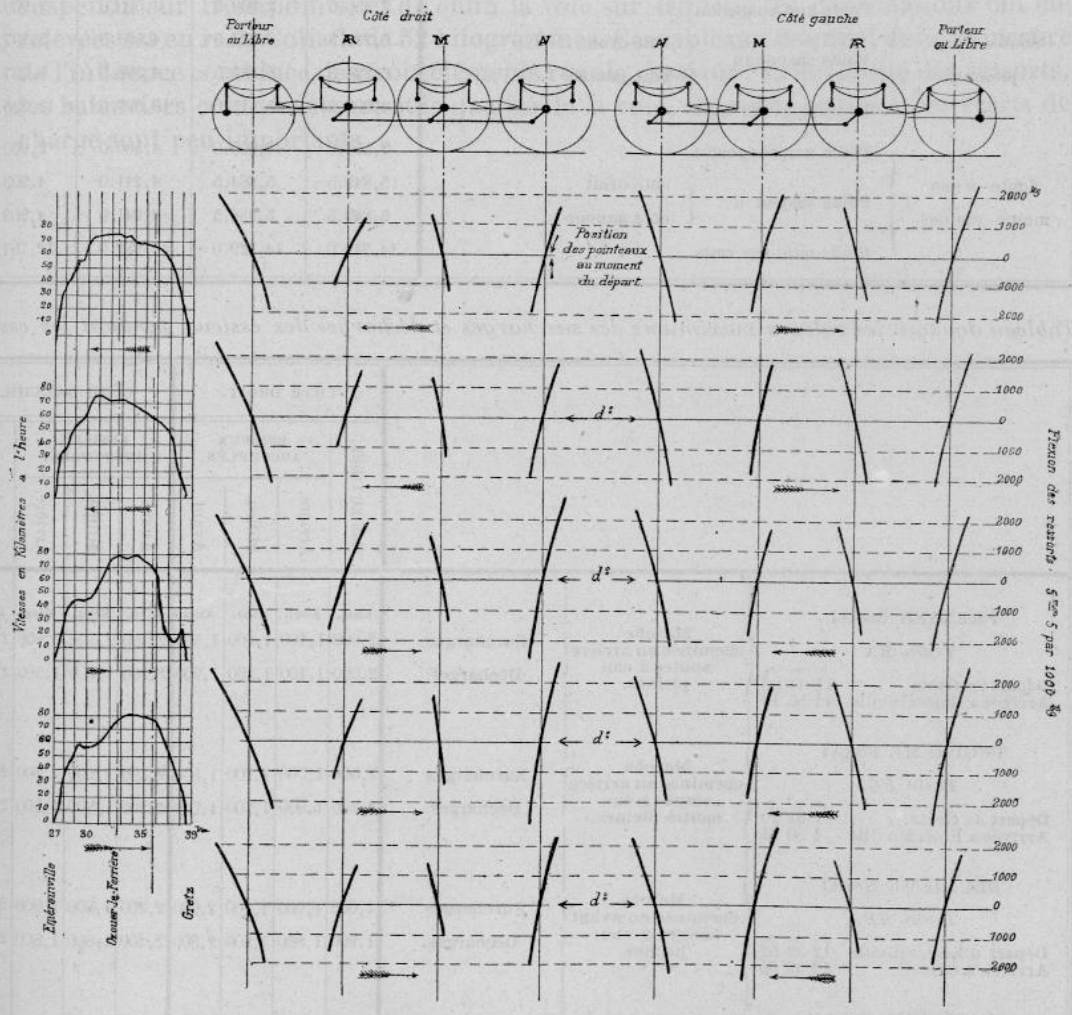
Les résultats ont été sensiblement les mêmes avec les soutes à eau pleines ou à demi pleines et la machine marchant cheminée en arrière ou cheminée en avant.

Les essais ont consisté à relever l'amplitude de la trace gravée sur le longeron par un pointeau fixé à la bride de chacun des ressorts ; ces amplitudes ont été traduites en charges en les divisant par la flexibilité du ressort.

Nous donnons dans le graphique et dans les deux tableaux ci-après les résultats ainsi constatés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Variations de charge relevées en marche sur la locomotive-tender n° 636 appartenant à la série des locomotives n°s 613 à 683 dont ci-dessous le diagramme.



NOTA. — Les flèches indiquent le sens de la marche de la locomotive.
Les traits forts ——— sont la reproduction des traits gravés sur les longerons par les pointeaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Répartition à l'état statique avec 5 centimètres d'eau au-dessus du ciel du foyer, 3,000 kilogrammes de combustible dans les soutes et 260 kilogrammes sur la grille.

CONDITIONS DE LA PESÉE.			Essieu porteur ou libre.	ESSIEUX ACCOUPLÉS. Arrière.	Milieu.	Avant.
			Kilogrammes.	Kilogrammes.	Kilogrammes.	Kilogrammes.
Soutes à eau pleines.	Poids non suspendu		2,550.0	2,960.0	4,500.0	2,960.0
	Poids suspendu	côté droit	6,224.5	6,227.5	4,593.5	5,137,5
		côté gauche	6,224.5	6,227.5	4,598.5	5,137.5
	Poids total sur rails		14,999.0	15,415.0	13,697.0	13,235.0
Soutes à eau moitié pleines.	Poids non suspendu		2,550.0	2,960.0	4,500.0	2,960.0
	Poids suspendu	côté droit	5,849.5	5,884.5	4,241.0	4,903.5
		côté gauche	5,849.5	5,884.5	4,241.0	4,903.5
	Poids total sur rails		14,249.0	14,729.0	12,982.0	12,767,0

Tableau donnant les valeurs maximums des surcharges et décharges des essieux pendant les essais.

			CÔTÉ DROIT. ESSIEU LIBRE.	ESSIEUX ACCOUPLÉS. Arrière.	Milieu.	Avant.	CÔTÉ GAUCHE. ESSIEUX ACCOUPLÉS. Avant.	Milieu.	Arrière.	ESSIEU LIBRE.
			Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.
PREMIER ESSAI. *Train EA* Départ de Gretz. . . 11 h. 44 m. 00 s. Arrivée à Emérainville 11 56 13	Marche cheminée en arrière soutes à eau pleines.	Surcharges.	2,000	1,100	1,200	1,500	2,100	2,100	1,800	2,300
		Décharges.	2,000	1,100	1,200	1,900	2,100	1,900	1,500	2,100
TROISIÈME ESSAI. *Train EG.* Départ de Gretz. . . 1 h. 37 m. 20 s. Arrivée à Emérainville 1 50 41	Marche cheminée en arrière soutes à eau moitié pleines.	Surcharges.	2,500	1,200	1,200	1,800	2,200	1,900	2,100	2,200
		Décharges.	2,200	1,000	1,200	1,900	2,200	1,800	2,100	2,200
DEUXIÈME ESSAI. *Train EB.* Départ d'Emérainville 12 h. 32 m. 52 s. Arrivée à Gretz . . . 12 49 00	Marche cheminée en avant soutes à eau pleines.	Surcharges.	2,000	1,900	1,200	2,900	2,200	1,800	1,900	2,100
		Décharges.	1,900	1,800	1,200	2,800	2,200	1,800	1,800	2,200
QUATRIÈME ESSAI. *Train ED.* Départ d'Emérainville 3 h. 24 m. 12 s. Arrivée à Gretz . . . 3 36 15	Marche cheminée en avant soutes à eau moitié pleines.	Surcharges.	2,600	1,500	1,500	2,900	2,100	1,900	2,100	2,800
		Décharges.	2,200	1,200	1,300	2,600	2,000	1,900	2,100	2,800
Marche H. P. de la locomotive 636 entre La Villette et Gretz.	Marche cheminée en avant soutes à eau pleines au départ.	Surcharges.	2,000	1,200	1,300	2,200	2,200	2,700	1,600	1,800
		Décharges.	2,000	1,500	1,100	2,000	2,200	2,500	1,500	1,900

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Avant de quitter le chapitre spécial des essais des balanciers et des ressorts, il me reste à reproduire deux tableaux d'expériences faites aux chemins de fer de l'État belge sur des locomotives du type Belpaire.

Ces essais ont ceci de particulier que les locomotives qui ont servi aux expériences sont suspendues sur des ressorts flexibles de 1.50 mètre, qu'elles sont munies de balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux, laissant reposer le poids suspendu sur trois points, et qu'enfin la voie sur laquelle les constatations ont été relevées est en rails Goliath de 52 kilogrammes. Ces tableaux donnent donc la mesure de l'influence combinée des trois éléments réunis, à savoir : la flexibilité des ressorts, les balanciers compensateurs et la qualité de la voie. On verra combien les écarts de charge sont peu importants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Variations de charge survenues en marche sur chaque fusée d'essieu d'une locomotive express :

SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse de marche.	Désignation des essieux.	RÉPARTITION DES POIDS A L'ÉTAT STATIQUE.		VARIATIONS DE CHARGE RELEVÉES EN MARCHE.		VARIATION TOTALE.		SUSPENSION.		*Observations.*
			Gauche.	Droite.	Gauche.	Droite.	Gauche.	Droite.	Nombre et dimensions des feuilles.	Flexibilité moyenne.	
Locomotive express à voyageurs à quatre roues couplées de 2m10 avec essieu porteur à l'avant et essieu porteur à l'arrière. Balanciers compensateurs longitudinaux entre les deux essieux d'arrière et aussi entre les deux essieux d'avant; balancier compensateur transversal entre les roues de l'essieu porteur d'avant.	100 kilomètres à l'heure.	1er essieu.	5,000	5,000	Max.: 5,480 Min.: 4,140	6,000 3,950	1,340	2,050	Les ressorts sont constitués de 23 feuilles de 1,500 × 100 × 10.	0m017	Les annotations ci-contre ont été relevées sur le parcours de Bruxelles à Ostende et retour, soit 244 kilomètres au total sur voie en rails Goliath de 52 kilogrammes.
		2e —	7,000	7,000	Max.: 8,610 Min.: 7,090	8,420 6,810	1,610	1,560			
		3e —	8,000	8,000	Max.: 8,900 Min.: 6 910	8,710 7,050	1,990	1,660			
		4e —	5,200	5,400	Max.: 5,960 Min.: 4,110	5,970 4,160	1,850	1,810			

Variations de charge survenues en marche sur chaque fusée d'essieu d'une locomotive à marchandises :

SYSTÈME DE LA LOCOMOTIVE.	Vitesse de marche.	Désignation des essieux.	RÉPARTITION DES POIDS A L'ÉTAT STATIQUE.		VARIATIONS DE CHARGE RELEVÉES EN MARCHE.		VARIATION TOTALE.		SUSPENSION.		*Observations.*
			Gauche.	Droite.	Gauche.	Droite.	Gauche.	Droite.	Nombre et dimensions des feuilles.	Flexibilité moyenne.	
Locomotive à marchandises à six roues couplées de 1m30. Balanciers compensateurs longitudinaux entre les deux essieux d'avant; balancier compensateur transversal entre les roues de l'essieu accouplé d'arrière	40 kilomètres à l'heure.	1er essieu.	7,200	7,400	Max.: 8,230 Min.: 6,920	8,260 7,200	1,310	1,060	23 feuilles de 1,500 × 100 × 10	0m017	Annotations relevées entre Namur et Jemelle et retour, soit 114 kilomètres au total sur voie en rails Goliath de 52 kilogrammes.
		2e —	8,300	8,200	Max.: 9,000 Min.: 8,140	9,050 7,950	860	1,100			
		3e —	6,900	7,000	Max.: 7,680 Min.: 6,740	7,140 6,900	940	240			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Motifs du non-emploi des balanciers par certaines administrations. — Ainsi que je l'ai indiqué ci-avant, il se rencontre des administrations de chemins de fer qui n'emploient pas les balanciers compensateurs; à celles-ci j'ai demandé de faire connaître les raisons qui les avaient décidées à ne pas en faire usage. Ces raisons se trouvent développées dans l'exposé ci-après :

Caledonian Railway.

Nous n'employons pas de balanciers compensateurs sur nos locomotives : les balanciers sont une complication inutile dans notre cas.

Comme nous avons adopté un rail de forte section et que nous entretenons notre voie dans les meilleures conditions avec un bon ballast concassé, un choc dû aux petites inégalités de la ligne ou aux croisements est facilement absorbé par les ressorts.

Les balanciers compensateurs sont certainement nécessaires là où on fait usage de rails à faible section et quand les voies sont mal entretenues, vu que le ressort ne pourrait absorber les chocs sans se tendre d'une façon excessive.

Le bogie réduit considérablement les mouvements de galop et de roulis.

Lancashire and Yorkshire Railway, Great Central Railway, Great Northern Railway, Great Eastern Railway et Midland Railway (Angleterre).

déclarent qu'ayant de bonnes voies, ils n'ont pas trouvé nécessaire d'employer des leviers compensateurs.

East Indian Railway.

Nous ne faisons usage de balanciers que pour les bogies.

La raison pour laquelle nous n'employons pas, d'une manière générale, les balanciers compensateurs est que nous avons trouvé qu'ils abrègent la durée des ressorts; à notre avis, ils ne contribuent pas à la stabilité de la locomotive.

Dans les cas où les colonnes de suspension travaillent par compression, les balanciers ont provoqué l'usure plus rapide des guides et des boîtes, ainsi que le déplacement longitudinal des feuilles dans les étriers.

Chemins de fer de l'Est (France).

La Compagnie de l'Est possède 356 machines-locomotives munies de balanciers, dont 173 machines à voyageurs et 183 à marchandises.

Ces machines sont les suivantes :

40 machines nos 501 à 507 — 510 à 542, munies de balanciers entre les deuxièmes et troisièmes roues AR, qui sont accouplées;

80 machines, nos 613 à 683 et nos 734 à 742, munies de deux balanciers, le premier entre les premières et deuxièmes roues AV accouplées; le deuxième entre les troisièmes et quatrièmes roues, les troisièmes étant accouplées aux premières, les quatrièmes simplement porteuses;

50 machines B nos 684 à 733, munies d'un seul balancier entre les premières et deuxièmes roues accouplées entre elles et aux troisièmes;

3 machines L. S., nos 20 à 22, munies de balanciers entre les deuxièmes et troisièmes roues accouplées;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

128 machines nos 0564 à 0691, munies de balanciers entre les premières et deuxièmes roues, et entre les troisièmes et quatrièmes, toutes accouplées;

7 machines L. S., nos 43, 44, 48 à 52, munies de balanciers entre les premières et deuxièmes roues AV accouplées entre elles et aux troisièmes.

La plupart de ces séries de machines sont déjà anciennes.

Aucun fait ne nous faisant désirer ajouter des balanciers aux locomotives qui n'en sont pas pourvues et ne nous en montrant l'utilité sur les machines qui en ont, la complication et l'augmentation de poids assez importantes qu'entraînent les balanciers nous ont décidés à ne pas en appliquer aux locomotives récemment construites.

CHAPITRE III.

Influence des ressorts de grande flexibilité et des balanciers compensateurs sur les dépenses d'entretien, l'usure des pièces du mécanisme, la durée des bandages, etc.

Au chapitre I, j'ai signalé que quatre administrations de chemins de fer seulement, l'État belge, le Paris-Lyon-Méditerranée, le Nord Empereur Ferdinand et la Société pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais m'avaient renseigné faire usage de ressorts extra-flexibles.

On peut voir à l'annexe I le poids de ces organes; il est de 127 kilogrammes au Nord Empereur Ferdinand, de 167 kilogrammes au Paris-Lyon-Méditerranée, de 171 kilogrammes à l'État belge, de 188 kilogrammes à l'État néerlandais. Tous ces poids dépassent notablement ceux des ressorts usuels.

Les ressorts pesants sont d'un maniement difficile dans les remises, ils exigent une main-d'œuvre importante pour leur mise en place et leur démontage, voire même l'installation d'appareils spéciaux de levage. Leur grande longueur entrave, dans certaines applications, le facile accès aux organes du mouvement.

Quant aux balanciers, ils constituent, avec leurs supports, un mécanisme additionnel de construction souvent ouvragée et coûteuse, ils sont parfois, comme les longs ressorts, une gêne pour les opérations de visite, de graissage et de petit entretien.

Les balanciers et les ressorts extra-flexibles ont, sur le poids et le coût de la locomotive, une influence qui n'est pas négligeable. Les deux exemples ci-après l'établissent à suffisance.

La suspension sur ressorts de 1.50 mètre de la locomotive à voyageurs type 12 de l'État belge (locomotives à 4 roues couplées avec une paire de roues porteuses à l'avant et une paire de roues porteuses à l'arrière) pèse exactement (ressorts, colonnes, supports de colonnes) 1,965.80 kilogrammes; les balanciers longitudinaux entre les roues porteuses et motrices d'avant, celui entre les deux roues porteuses d'arrière et les roues accouplées et le balancier transversal de l'essieu d'avant, pèsent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ensemble 452.300 kilogrammes, soit au total pour la suspension, 2,418.10 kilogrammes. Ce poids serait réduit à 713.6 kilogrammes environ par la suppression des balanciers et la substitution de ressorts ordinaires de 90 centimètres aux ressorts existants de 1.50 mètre. L'écart de poids est aussi de 1,715 kilogrammes ; il représente, sur le pied de 1 fr. 65 c. le kilogramme, une augmentation dans le prix d'achat de la locomotive de 2,830 francs.

Autre exemple : à la locomotive à marchandises à 6 roues couplées de 1.30 mètre de l'État belge (type 25), les suspensions sur ressorts de 1.50 mètre et balanciers compensateurs longitudinaux entre les deux essieux d'arrière et transversal entre les roues de l'essieu d'arrière pèsent :

Ressorts, tiges, etc.	1,409.9 kilogrammes.
Balanciers et accessoires	272 —
Total. . .	1,681.9 kilogrammes.

Sur ressorts de 90 centimètres sans balanciers, le poids eût été de 575 kilogrammes; différence, 1,106 kilogrammes à 1 fr. 65 c. = 1,824 fr. 90 c.

En résumé, les ressorts extra-flexibles et les balanciers compensateurs présentent entre autres les inconvénients ci-après résultant du fait même de leur adaptation aux machines :

1° Augmentation appréciable du poids et du prix de la locomotive provenant principalement de l'usage des ressorts très flexibles;

2° Complication dans le système de la locomotive par l'emploi de pièces de grand encombrement;

3° Accroissement des frais de montage et de démontage dans les ateliers et remises dus à l'augmentation du poids et du nombre d'organes.

Les balanciers compensateurs et les ressorts flexibles ont-ils une influence sur la durée du service des organes du mécanisme, sur l'usure des bandages et, d'une façon générale, sur les dépenses d'entretien ?

La question a été posée et les réponses qui me sont parvenues à ce sujet sont consignées ci-après :

The Buenos-Ayres Great Southern Railway Company (République Argentine).

La substitution de ressorts plus flexibles à ceux qui garnissaient précédemment nos machines a eu pour effet de réduire largement le nombre d'essieux pliés, de bris de ressorts et de boîtes, en même temps qu'on constatait une diminution de l'usure des organes.

Pour ce qui regarde les bandages, on n'a pas enregistré en détail l'usure de chaque bandage. Cependant, les défectuosités observées dans d'autres parties et résultant de l'usage de ressorts rigides doivent avoir affecté également les bandages.

En général, on peut dire que l'expérience montre que l'emploi de ressorts flexibles et de balanciers compensateurs aux locomotives travaillant constamment de façon similaire aux nôtres, est suivi d'un accroissement notable de la durée des ressorts eux-mêmes, des essieux et des boîtes et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

probablement aussi la durée des pièces du mouvement, des bandages et même du châssis de la machine. La machine, ainsi équipée, roule plus régulièrement et maintient mieux sa répartition du poids.

État belge.

Il y a plusieurs années, l'Administration des chemins de fer de l'État belge a entrepris de longues expériences en vue de rechercher, si possible, l'influence de la flexibilité des ressorts et des balanciers compensateurs sur l'usure des bandages et la conservation des pièces du mouvement.

Les essais comparatifs ont porté sur 70 locomotives à voyageurs du même type, à 6 roues couplées de 1.70 mètre, sans roues porteuses.

Vingt de ces locomotives furent pourvues de ressorts de 90 centimètres sans balanciers; huit de ces locomotives furent pourvues de ressorts de 90 centimètres avec balanciers longitudinaux entre les roues motrices et les roues accouplées d'avant. Onze étaient suspendues sur ressorts de 1.50 mètre sans balanciers et trente et une avaient des ressorts de suspension de 1.50 mètre et des balanciers compensateurs longitudinaux entre les deux essieux d'avant.

Les locomotives, mises en expérience parallèle, fournirent un parcours total de 3,185,243 kilomètres.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-après :

MODE DE SUSPENSION de la LOCOMOTIVE.	Particularités relatives aux ressorts.					Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	Parcours total (kilomètres).	Usure moyenne des bandages en millimètres par 10,000 kilomètres de parcours.	Pourcentage.
	Nombre de feuilles	Longueur d'axe en axe des colonnes.	Flèche de fabrication	Section des lames.	Flexibilité par tonne.				
1° Ressorts de 0.90, sans balanciers.	13	0m900	61	100×10	8.4	20	714,840	0.59	135
2° — de 0.90, avec balanciers entre les essieux d'avant.	13	0.900	61	100×10	8.4	8	365,356	0.45	103
3° — de 1.50, sans balanciers.	23	1.500	...	100×10	17	11	670,396	0 556	127
4° — de 1.50, avec balanciers entre les roues d'avant.	23	1.500	...	100×10	17	31	1,435,021	0.438	100

Au point de vue de la conservation des bandages, ce sont les suspensions sur ressorts de 1.50 mètre avec balanciers qui l'emportent, suivies de très près par les ressorts de 90 centimètres, également avec balanciers; l'écart n'est que de 3 p. c.; c'est la part d'influence qui revient à la suspension à grande flexibilité.

Ce même écart se retrouve sensiblement, si on compare les suspensions sur ressorts de 90 centimètres et de 1.50 mètre sans balanciers; il est exactement de 6 p. c.

Viennent ensuite dans le classement, mais bien derrière les précédentes, les suspensions sur ressorts de 1.50 mètre sans balanciers, et, en dernier lieu, les suspensions sur ressorts de 90 centimètres sans balanciers.

Sur l'ensemble, la grande flexibilité des ressorts a prolongé de $\frac{3 \text{ p. c.} + 6 \text{ p. c.}}{2}$ ou 4 ½ p. c., en moyenne, la durée de service de bandages.

Les balanciers se sont montrés à ce point de vue plus favorables : les bandages des locomo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tives à ressorts de 90 centimètres sans balanciers, ont eu une durée de 31 p. c. inférieure à ceux des mêmes locomotives pourvues de balanciers; ceux des locomotives à ressorts de 1.50 mètre, sans balanciers, se sont usés dans la proportion de 27 p. c. en plus que ceux des mêmes locomotives pourvues de balanciers; les balanciers auraient donc prolongé de 29 p. c., en moyenne, la durée des bandages.

Toutefois, malgré l'étendue des essais, ces résultats ne sauraient être considérés comme donnant la mesure de l'influence des ressorts flexibles et des balanciers sur la conservation des bandages: d'autres facteurs, étrangers à la suspension, interviennent pour une grande part. Il y a à tenir compte des duretés différentes des bandages et des blocs de frein, des profils des lignes parcourues qui nécessitent l'application plus ou moins prolongée des freins, de l'état des voies des diverses lignes, des vitesses et charges des trains remorqués, du patinage, de l'habileté du machiniste, etc.; ces éléments échappent à tout contrôle.

On ne pourrait donc tirer de conclusions absolues du tableau ci-avant. Les seules indications qu'il fournit sont que les suspensions sur ressorts à grande flexibilité n'auraient qu'une influence modérée sur la durée des bandages; les balanciers seraient, eux, plus efficaces.

Au point de vue de l'usure du mouvement, les différences d'une machine à l'autre ont échappé à l'examen le plus minutieux.

En ce qui concerne l'entretien des suspensions proprement dites sur ressorts de 1.50 mètre et de 90 centimètres, on constate, en faveur des premiers, une diminution dans le nombre de feuilles brisées, conséquence indiquée des moindres surcharges en marche.

Les services n'ont pas observé de différence dans les bris de colonnes de suspension des deux types, tandis qu'ils signalent une usure un peu plus rapide des articulations des colonnes et des balanciers, des machines à ressorts flexibles, attribuable, apparemment, à la plus grande amplitude d'oscillation.

Les ressorts de 1.50 mètre étant beaucoup plus lourds que ceux de 90 centimètres, leur maniement pour les mettre en place est plus difficile et exige une main-d'œuvre plus importante.

Southern Pacific Co. (États-Unis d'Amérique).

Il n'a pas été observé que les ressorts extra-flexibles aient exercé d'influence sur la conservation des pièces du mécanisme des locomotives et des bandages; toutefois, leur tension excessive détermine une usure plus rapide des ressorts et de leurs attaches, tiges de pression, etc., ce qui affecte les frais de réparation. En outre, leur effet est d'augmenter les mouvements de roulis et de galop, et il en résulte une allure incommodante pour le personnel.

Ces observations ont été faites sur la première catégorie de machines dont nous avons graduellement remplacé les premiers ressorts très flexibles par d'autres plus forts, qui conviennent mieux pour notre service et diminuent les frais de réparation. La catégorie moderne est munie de ressorts rigides.

Illinois Central Railroad Co. (États-Unis d'Amérique).

Les ressorts extra-flexibles, en inclinant les suspensions et les leviers compensateurs, doivent produire une plus grande usure de ces organes. La Compagnie estime que le mécanisme égalisateur souffrira d'une usure excessive, tandis que l'effet nuisible sur les bandages sera diminué, en raison du temps plus long qu'il faut pour transférer les variations de charge sur la roue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

New York, New Haven & Hartford Railway (États-Unis d'Amérique).

Les ressorts extra-flexibles sont en usage général sur cette ligne et sont considérés comme contribuant à la conservation des organes des locomotives. La Compagnie ne peut fournir de constatations, ne possédant pas de données sur les dépenses comparatives.

Chemins de fer de l'Est (France).

Nous n'avons jamais constaté que les balanciers aient exercé une influence favorable sur la conservation des pièces de mouvement, sur la durée des bandages et, par conséquent, sur les dépenses d'entretien.

Parmi les machines munies de balanciers, une seule série se prête à une comparaison, c'est la série des locomotives mixtes à G.V., nos 501 à 562.

Les machines nos 511 à 522 *munies de balanciers* ont des roues motrices et accouplées qui leur sont spéciales, en raison de la course plus longue de leurs pistons.

Les machines nos 523 à 542 *munies de balanciers* ont les mêmes roues motrices et accouplées que le groupe des machines nos 543 à 562, *non munies de balanciers*. Les mêmes roues peuvent donc être placées indifféremment sous des machines à balanciers ou sous des machines sans balanciers.

Toutes ces machines sont, à très peu près, du même type, pèsent sensiblement le même poids et remorquent à peu près les mêmes trains.

Depuis que ces machines sont en service, on n'a jamais constaté de différences dans l'usure des pièces de mouvement.

En ce qui concerne l'usure des bandages, nous avons fait un relevé des parcours des bandages placés sous ces machines et retirés du service après usure. Ce relevé a été fait exclusivement sur les bandages de provenance Vichers, ayant au moment de la pose 62 millimètres d'épaisseur.

Le parcours moyen a été de :

265,071	kilomètres	pour les machines	nos 511 à 522 à balanciers.
254,379	—	—	nos 523 à 542 à balanciers.
231,755	—	—	nos 543 à 562 sans balanciers.

Il semble résulter de cette comparaison un léger avantage au point de vue de l'usure des bandages par l'emploi des balanciers, mais cet avantage n'a jamais été constaté en service d'une façon effective, et nous croyons que la faible différence observée dans les parcours des bandages peut être attribuée soit à des levages plus fréquents dans certains dépôts que dans d'autres, soit à un excès de matière enlevée lors des tournages successifs.

Dans la série nos 0525 à 0691, qui comprend 128 machines munies de balanciers, nos 0564 à 0691, on n'a jamais constaté de différences sensibles dans l'usure des pièces de mouvement et des bandages.

Chemins de fer de l'Ouest (France).

Nous n'employons pas les ressorts à grande flexibilité pour la suspension de nos derniers types de locomotives.

On n'a pas constaté jusqu'à présent si les balanciers compensateurs exerçaient une influence sur a durée et la conservation des pièces du mouvement et des bandages.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Western Australian Government Railways (Grande-Bretagne, Irlande et colonies).

Nous n'avons pas recueilli de renseignements à ce sujet. Cependant il n'y a pas de doute que l'emploi de balanciers compensateurs sur une voie comparativement légère, est avantageux à la fois pour la conservation des bandages, suspensions, etc., de la machine et également pour les rails et leurs attaches.

New South Wales Government Railways (Grande-Bretagne, Irlande et colonies).

Nous employons des ressorts de flexibilité raisonnable et des leviers compensateurs en vue de prolonger la durée des organes du mouvement et des rails.

CONCLUSIONS.

En résumé, les ressorts à grande flexibilité sont d'un usage très restreint. En dehors des administrations que j'ai indiquées et qui sont le Paris-Lyon-Méditerranée, le chemin de fer autrichien Nord Empereur Ferdinand, la Compagnie pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais et l'État belge (et encore cette administration les abandonne-t-elle depuis environ deux ans et les autres ne les ont adoptés que pour leurs locomotives express), on ne trouve ailleurs que des ressorts d'une flexibilité modérée.

Les balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux sont d'un emploi répandu : on les rencontre principalement en France, en Belgique, en Autriche et surtout en Amérique. En Angleterre, ils sont pour ainsi dire inconnus.

Sur des voies quelconques, les ressorts à grande flexibilité absorbent mieux que les autres les inégalités de la voie; ils empêchent les surcharges des essieux, favorisent la stabilité et la douceur de marche de la machine en même temps qu'ils aident à la conservation des organes, principalement des bandages.

Les balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux fournissent les mêmes résultats; leur emploi est surtout recommandable pour les roues porteuses et plus particulièrement pour celles à boîtes rayonnantes.

Les ressorts extra-flexibles ne donnent pas naissance à des mouvements de roulis, si on équilibre la composante verticale des forces perturbatrices.

Les balanciers et principalement les ressorts flexibles, compliquent la locomotive en l'embarrassant d'organes généralement encombrants et volumineux qui en augmentent le poids d'une façon appréciable.

Sur de bonnes voies bien soignées, les avantages énumérés ci-dessus diminuent rapidement selon le degré de solidité et d'entretien : les ressorts de flexibilité modérée sont alors préférables et les balanciers semblent avoir perdu une grande partie de leur utilité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE I.

Dimensions principales des ressorts à lames.

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.		Corde de fabrication.	
				Pouces.	Millim.	Pieds et pouces.	Millim.
République Argentine.							
Buenos-Ayres Great Southern Railway	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées	Essieu d'avant	1 à 16 / 15 à 16	4 × 1/2 / 4 × 3/8	102 × 12.7 / 102 × 9.5	2. 8	812
		— moteur	1 à 15 / 14 à 15	4 × 1/2 / 4 × 3/8	102 × 12.7 / 102 × 9.5	2. 8	812
		— couplé	1 à 17 / 16 à 17	4 × 1/2 / 4 × 3/8	102 × 12.7 / 102 × 9.5	3. 0	914
	Locomotive à voyageurs à 4 roues couplées	Essieu moteur	1 à 18	4 × 1/2	102 × 12.7	3. 4	1,016
		— couplé	17 à 18	4 × 3/8	102 × 9.5		
	Locomotive à voyageurs à 4 roues couplées	Essieu du bogie (2 ressorts)	11	5 × 9/16	127 × 14.3	3.11 1/4	1,200
		— moteur	10	4 1/2 × 1/2	115 × 12.7	3. 2 1/4	971
		— couplé	10				
Central Argentine Railway Company	Locomotive mixte à 6 roues couplées	Essieu du bogie	12	5 × 1/2	127 × 12.7	3.10 3/4	1,187
		Essieux d'avant, moteur et d'arrière	10	4 1/2 × 1/2	115 × 12.7	3. 4 3/4	1,035
	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées	Essieu du bogie	10	5 × 1/2	127 × 12.7	3.10 3/4	1,187
		Essieux d'avant, moteur et d'arrière	10	4 1/2 × 1/2	115 × 12.7	3. 4 3/4	1,035
Autriche.				Millimètres.		Millimètres	
Chemins de fer de l'État	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	18	90 × 10		900	
	Locomotive express à bogie	Essieu du bogie	18	90 × 10		900	
		Essieux moteur et couplé	17	90 × 10		950	
	Locomotive express à 4 roues couplées, bogie à l'avant, roues porteuses à l'arrière.	1er essieu porteur	15	100 × 10		1,000	
		2e — —	15	100 × 10		1,000	
		Essieu moteur	19	100 × 10		1,200	
		— accouplé	19	100 × 10		1,200	
Chemin de fer Nord Empereur Ferdinand		— porteur d'arrière	17	100 × 10		1,164	
	Locomotive à marchandises express à 3 essieux couplés et roues porteuses à l'avant.	Essieu porteur	12	100 × 10		972	
		1er essieu accouplé	16	100 × 10		972	
		2e — moteur	16	100 × 10		972	
		3e — accouplé	16	100 × 10		972	
Chemin de fer Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande	Locomotive express à 4 essieux, dont 2 essieux accouplés (séries nos I et II)	Essieu du bogie	11	90 × 10		790	
		Essieux moteur et couplé	16	90 × 10		936	
	Locomotive express à 4 essieux, dont 2 essieux accouplés	Essieu du bogie	12	90 × 10		765	
		Essieux moteur et accouplé	18	90 × 10		940	

ANNEXE I.

Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.		Flèche de fabrication.		Flexibilité moyenne par tonne.		Charge normale.	Poids du ressort.	Nombre de lames de rechange pourvues de la suspension.	*Observations.*
		Pouces.	Millim.			Tonnes.	Kilogrammes.		
...		2	51	...		4 1/5	...		
...		1 3/4	44	...		4 1/5	...	65	
...		2 1/2	64	...		4 1/5	...		
...		3 1/8	79	...		4 1/2	...	58	
Pieds et pouces	Millim.			Pouces.	Millim.				
4	1,219	4	102	1/4	6.3	8	144	8	
3. 3	991	3 1/8	79	1/4	6.3	6	91		
3.11 1/2	1,207	4 1/2	115	3/8	9.5	6 1/2	147	25	
3. 6	1,067	3 7/8	98	1/4	6.3	6	94		
3.11 1/2	1,207	4 1/2	115	3/8	9.5	6	127	40	
3. 6	1,067	3 7/8	98	1/4	6.3	6	94		
Millimètres.		Millimètres.		Millimètres.		Kilogrammes.			
1,010		75		8.23		5,000	82	700	
1,010		75		8.23		5,000	82	...	
1,055		68		10		5,000	...	...	
1,000		...		9. 2		4,600	88.5		
1,000		...		9. 2		4,600	88.5		
1,200		...		12. 0		4,900	129	27	
1,200		...		12. 0		4,900	129		
1,200		150		17. 2		4,500	109.5		
980		60		11. 2		4,500	75		
980		60		8. 5		5,700	94	83	Les poids désignés pour les ressorts comprennent l'étrier.
980		60		8. 5		5,400	94		
980		60		8. 5		5,150	94		
806		70		8. 0		4,000	42.4	32	
950		70		9. 1		4,700	67.4	...	
807		60		7. 5		4,420	46	24	
952		65		8. 2		5,400	75	...	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.	Corde de fabrication.	Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.	Flèche de fabrication.	Flexibilité moyenne par tonne.	Charge normale.	Poids du ressort.	Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	*Observations.*
				Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Kilogrammes.	Kilogrammes.		
Chemins de fer Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande. (Suite.)	Locomotive express à 5 essieux, dont 3 essieux accouplés (série n° XIV).	Essieu du bogie	13	90 × 10	800	801	15	5.4	4,320	53	7	
		Essieux moteur et accouplé.	21	90 × 10	1,090	1,104	75	9.3	5,600	98		
	Locomotive à marchandises, à 3 essieux accouplés, séries : XI et XIII	Essieux moteur et accouplé.	18	90 × 10	940	950	60	8.2	5,540	75	34	
	IV.		13	90 × 10	900	912.5	65	10.0	4,400	59	12	
	V.		15	90 × 10	936	950	70	9.7	4,520	65	58	
	Locomotive à marchandises à 4 essieux accouplés	Essieux moteur et accouplé.	16	90 × 10	936	952	75	9.1	5,540	67.4	...	
	Locomotive à grande vitesse.	1er et 2e essieux	12	100 × 90	1,188	800	80	5.1	4,200	50.25	130	
		3e et 4e —	17	100 × 90	1,208	970	96	6.4	5,200	80		
Hongrie.	Locomotive à vitesse pour fortes rampes	1er et 2e essieux	8	130 × 90	...	900	...	5.7	3,400	58.3	15	
		3e, 4e et 5e essieux	13	130 × 90	...	1,000	...	4.6	5,640	96.6		
Chemins de fer de l'État	Locomotive à marchandises.	1er, 2e et 3e essieux	16	100 × 90	1,278	900	80	5.8	4,500	76	497	
	Locomotive à marchandises.	1er, 2e et 3e essieux	12	130 × 90	...	900	...	3.5	5,750	80.45	40	
	Locomotive pour fortes rampes.	1er, 2e, 3e et 4e essieux	12	130 × 90	...	900	...	3.5	5,270	78	35	
	Locomotive pour les lignes d'intérêt local	1er, 2e et 3e essieux	11	130 × 80	...	800	38	3.0	4,000	49.3	374	
	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées (type 29)	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	13	100 × 10	875	900	61	8.4	4,600	70	769	
		Essieu du milieu (boîte centrale)	5	100 × 8	610	660	30	21.0	1,250	...		
Belgique.	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées, pour fortes rampes (type 25)	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	23	100 × 10	1,500	1,500	...	17.0	6,500	171	454	Lames rainurées.
		Essieu du milieu (boîte centrale)	6	100 × 8	778	780	30	...	1,250	...		
Chemins de fer de l'État	Locomotive à voyageurs à 6 roues couplées pour trains légers (type 11)	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	14	100 × 10	1,210	1,210	...	...	4,500	78	102	— —
	Locomotive à voyageurs à 6 roues couplées (type 2).	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	23	100 × 10	1,500	1,500	...	17.0	4,600	171	172	— —
		Essieu du milieu (boîte centrale)	5	100 × 8	...	660	30	...	1,250	...		
	Locomotive express à voyageurs, pour fortes rampes, à 6 roues couplées et essieu porteur à l'avant (type 6).	Essieux d'avant, du milieu, moteur et d'arrière	23	100 × 10	1,500	1,500	...	17.0	6,500	171	32	— —
		Essieu moteur (boîte centrale)	16	80 × 8	...	1,500	90	...	1,300	...		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.	Corde de fabrication.
				Millimètres.	Millimètres.
Chemins de fer de l'État. (Suite.)	Locomotive express à voyageurs, à 4 roues couplées et 4 roues porteuses, pour lignes de niveau (type 12)	Essieux d'avant, du milieu, moteur et d'arrière	23	100 × 10	1,500
		Essieu du milieu (boite centrale)	16	80 × 8	...
	Locomotive express à voyageurs à bogie	Essieu du bogie	1	127 × 15.87	...
		— moteur.	11	127 × 12.7	...
		— d'arrière	1	127 × 12.7	...
			18	127 × 9.52	...
États-Unis d'Amérique.				Pouces. Millim.	Pouces. Millim.
Southern Pacific Company.	Locomotive compound à marchandises à 10 roues, dont 6 couplées de 63 pouces (1m 600 de diamètre)	Essieu d'avant	15	3.5 × 375	89 × 9.5	32 × 75	832
		— du milieu	14	4 × 1/2	102 × 12.7	42 × 5	1,079
		— d'arrière		Ressort à spirale P′ (*voir* le croquis).	
		— du bogie	15	4 × 7/8	102 × 9.5	34	864
Illinois Central Railroad Company.	Classe I.	Pour tous essieux	17	4 × 3/8	102 × 9.5	35 1/4	895
	— U	—	18	3 1/2 × 3/8	89 × 9.5	35 1/8	892
	— F	—	15	3 1/2 × 3/8	89 × 9.5	35 3/8	899
	Locomotive n° 919	—	20	4 1/2 × 5/8	115 × 9.5	41	1,041
	Classe M	—	19	4 × 5/8	102 × 9.5	42 1/2	1,080
New York, New Haven & Hartford Railway.	Locomotive à marchandises *Mogul*	Derrière l'essieu couplé d'arrière	8	3 1/4 × 3/8	82 × 9.5	23	584
		Devant l'essieu moteur principal	...	...	...	...	...
		Entre l'essieu moteur et l'essieu couplé d'arrière	11	5 × 1/2	127 × 12.7	41	1,041
		Au-dessus de l'essieu couplé d'avant	17	4 × 3/8	102 × 9.5	35	889
		Bissel (*voir* le croquis)		Ressorts en spirale (*voir* le croquis).	
Lehigh Valley Railroad Company.	Locomotive à marchandises, à 6 roues couplées	1er, 2e et 3e essieux	16	4 × 3/8	102 × 9.5	33 13/16	884
		Essieux du bogie (2 ressorts pour les 4 roues)	16	4 × 3/8	102 × 9.5	33 13/16	884
	Locomotive à voyageurs, à bogie, à 4 roues couplées, essieu porteur à l'arrière	Essieux moteur et accouplé	16	4 1/2 × 7/16	115 × 11.1	41 3/8	1,057
		Essieu porteur d'arrière (2 ressorts par boite)	10	3 × 3/8	76 × 9.5	29 23/32	735
				Millimètres.	Millimètres.
France. *Chemins de fer de l'État*	Locomotive à voyageurs, à 3 essieux, dont deux accouplés	Essieu d'avant	11	12 × 90	867
		— moteur.	13	12 × 90	1,000
		— d'arrière	13	12 × 90	950
	Locomotive à voyageurs, à 4 essieux, dont deux accouplés	Essieu d'avant	12	12 × 90	867
		— moteur.	13	12 × 90	1,000
		— accouplé	13	12 × 90	950
		— d'arrière	7	12 × 90	867

Longueur développée de la première feuille entre les coussinets de suspension.	Flèche de fabrication.	Flexibilité moyenne par tonne.	Charge normale.	Poids du ressort.	Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	*Observations.*
Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Kilogrammes.	Kilogrammes.		
1,500	...	17.00	6,500	171		
1,500	45.00	...	1,300	...	115	
...	...	8.38	6,100	...	...	
Ressorts hélicoïdaux (*voir* planche).			3,900	...	45	
...	...	...	6,100	...	...	
Pouces. Millim.	Pouces. Millim.	Pouces. Millim.	Livres. Kilog.	Livres. Kilog.		
34 864	4.5 114	1/4 6.3	13,000 5,897	140 63.5		
43 1,092	3.875 98	1/5 5.1	17,000 7,711	242 109.8	39	
Ressort à spirale P′ (*voir* le croquis).			... ...	... ...	...	
... ...	4 5/8 118	... ...	... ...	162 73.5	...	
36.30 922	4.45 113	32 8.1	20,000 9,072	195 88.5	10	
36.19 919	4.13 104.9	31 7.9	19,000 8,618	177 80.3	47	
36.48 927	4.15 105	30 7.6	16,000 7,258	151 68.5	114	
42.29 1,074	4.92 125	38 9.7	18,000 8,165	3.4 142.4	10	
44.18 1,122	5.88 149	44 11.2	16,351 7,507	263 119.3	33	
24 610	6 1/2 165	1/12 2.1	18,650 8,460	72 32.7	...	
... ...	... ...	... ...	... ...	... ...	...	
42 1/2 1,079	11 279	1/10 2.5	41,000 18,597	762 118.8	20	
36 914	12 305	1/5 5	20,500 9,299	207 93.9	...	
Ressorts en spirale (*voir* le croquis).			... ...	... ...	...	
34 1/4 870	2 11/16 69	1/4 6.3	14,000 6,350	166 75.3	139	
34 1/4 870	2 11/16 69	1/4 6.3	... .	166 75.3		
42 11/16 1,069	3.0 76	1/4 6.3	17,000 7,711	261 118.4	9	
30 11/32 764	2 1/4 57	1/4 6.3	7,000 3,175	70 31.8		
Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Kilogrammes.	Kilogrammes.		
884	65	6.6	4,750	53.7		
1,023	85	8.5	4,700	70	80	
967	70	7	4,700	74		
884	65	5.8	5,900	61.2		
1,023	85	8.5	5,500	70		
967	70	7	5,650	74	40	
883.5	65	9.8	1,800	37.5		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.	Corde de fabrication.	Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.	Flèche de fabrication.	Flexibilité moyenne par tonne.	Charge normale.	Poids du ressort.	Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	*Observations.*
				Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Kilogrammes.	Kilogrammes.		
Chemins de fer de l'État. (Suite.)	Locomotive à voyageurs compound, à bogie à l'avant et à 2 essieux moteurs accouplés	Essieu du bogie	11	10 × 90	800	805	40.	8.1	4,000	42.5	6	
		— moteur.	13	12 × 90	987	1,000	60	7.5	5,800	75.5		
	Locomotive à voyageurs, à bogie à l'avant et à 2 essieux accouplés	Essieu du bogie	14	12 × 125	1,157	1,200	130	9	8,800	133	4	
		— moteur et accouplé.	13	12 × 90	950	967	70	7	5,650	74		
	Locomotive mixte, à 3 essieux accouplés	Essieux d'avant, moteur et d'arrière	11	12 × 90	867	884	65	6.6	4,500	53.5	110	
	Locomotive à marchandises, à 3 essieux accouplés	Essieux d'avant, moteur et d'arrière	11	12 × 90	860	884	80	6	5,000	59	60	
	Locomotive à marchandises à 4 essieux accouplés	Essieu d'avant (2e d'avant)	12	12 × 90	860	875	65	5.5	5,500	62	40	
		Essieux moteur et d'arrière										
	Locomotives les plus récentes.											
	Locomotive des trains rapides, à 4 cylindres, à 2 essieux couplés et à bogie (C-21-60).	Essieu du bogie (ressort unique de chaque côté pour les deux essieux)	11	15 × 150	1,360.4	1,350	65	8.6	7,675	155	40	
		3e et 4e essieux (2 ressorts par essieu)	19	9 × 90	858	880	85	8.6	5,790 (3e essieu). 5,962 (4e —).	80		
	Locomotive des trains de voyageurs, express ou autres, à 2 cylindres, à 2 essieux couplés et à bogie (B-111-400)	Essieu du bogie (ressort unique de chaque côté pour les deux essieux)	11	15 × 120	1,360.4	1,350	65	8.6	7,843	155	92	
		3e et 4e essieux (2 ressorts par essieu)	11	17 × 90	1,541	1,580	150	12.4	5,610 (3e essieu). 5,739 (4e —).	167		
	Locomotive des trains de marchandises des grandes lignes à 4 cylindres et à 4 essieux couplés (séries n°s 3211 à 3260)	2e et 3e essieux (2 ressorts par essieu)	12	12 × 90	860	880	80	5.5	5,109 (2e essieu). 4,780 (3e —).	68	50	
		1er et 4e essieux (2 ressorts par essieu.	12	12 × 90	860	880	80	5.5	5,449 (1er essieu). 5,254 (4e —).	68		
Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée	Locomotive des trains de marchandises des lignes accidentées, à 4 cylindres et à 4 essieux couplés (série n°s 4501 à 4510)	1er, 2e et 4e essieux (2 ressorts par essieu)	11	12 × 90	860	880	80	5.7	5,576 (1er essieu). 5,007 (2e —). 4,936 (4e —).	68	10	
		3e essieu (2 ressorts superposés de chaque côté de l'essieu)	10	9 × 90	550	556	36	4.08	4,935	66		
	Locomotives de types anciens dont il reste d'importantes séries en service.											
	Locomotive des trains de voyageurs non express et des trains de messageries, à 4 essieux dont 2 couplés (série n°s 111 à 400)	1er essieu (un ressort de chaque côté)	18	9 × 90	858	880	85	9	5,277	67	194	
		2e et 3e essieux (ressort unique de chaque côté pour les 2e et 3e essieux)	16	15 × 90	1,130	1,147	85	5.04	10,241	150		
		4e essieu (un ressort de chaque côté)	12	9 × 90	858	880	85	13	3,795	52		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.	Corde de fabrication.	Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.	Flèche de fabrication.	Flexibilité moyenne par tonne.	Charge normale.	Poids du ressort.	Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	*Observations.*
				Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Kilogrammes.	Kilogrammes.		
Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. (Suite.)	Locomotive des trains de marchandises des grandes lignes et des trains de voyageurs des lignes accidentées, à 4 essieux dont 3 couplés (série nos 3001 à 3.40)	1er, 2e et 3e essieux (2 ressorts par essieu)	12	12 × 10	860	880	80	5. 5	5,693 (1er essieu). 5,313 (2e —). 5,710 (3e —).	68	140	
		4e essieu (1 ressort de chaque côté)	12	10 × 90	867	880	65	9. 5	3,966	57		
	Locomotive des trains de marchandises et de voyageurs des lignes de montagnes, à 4 essieux couplés (sér. nos 4001 à 4159)	1er, 2e, 3e et 4e essieux (2 ressorts par essieu)	12	12 × 90	860	880	80	5. 5	5,325 (1er essieu). 5,365 (2e —). 5,654 (3e —). 6,015 (4e —).	68	159	
	Locomotive des trains de marchandises sur les lignes secondaires, à 3 essieux couplés (série nos 1513 à 2457)	1er et 2e essieux (2 ressorts par essieu)	11	12 × 90	860	880	80	5. 7	4,353 (1er essieu). 4,629 (2e —).	68	891	
		3e essieu (2 ressorts superposés de chaque côté de l'essieu	10	9 × 90	550	556	36	4.08	4,855	66		
	Locomotive à 6 roues accouplées et à cylindres extérieurs	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	16	90 × 10	800	850	70	6. 5	4,900 4,500 5,125	61	366	
	Locomotive à voyageurs grande vitesse, à cylindres intérieurs, à 4 roues accouplées et bogie à l'avant	Essieu du bogie	14	125 × 12	1,140	1,200	100	9. 6	6,400	145	46	
		Essieux du milieu et d'arrière	18	90 × 10	900	950	80	8	4,550 5,000	81		
	Locomotive à voyageurs grande vitesse compound, à 4 cylindres, à 4 roues accouplées et bogie à l'avant	Essieux du bogie, du milieu et d'arrière	Mêmes ressorts que ci-dessus, sauf la flèche de fabrication			de 100 millimètres pour le milieu et l'arrière.			2,000 5,800 5,850	81	20	
Chemins de fer de l'Ouest	Locomotive à 6 roues accouplées, bogie à l'avant et cylindres extérieurs (marchandises et voyageurs)	Essieux du bogie, d'avant, du milieu et d'arrière	Mêmes ressorts que ci-dessus, sauf la flèche de fabrication			de 100 millimètres pour le milieu et l'arrière.			5,300 5,600 5,070 5,545	81	4	80
	Locomotive-tender à bogie à l'avant, cylindres extérieurs et 6 roues accouplées (marchandises et voyageurs)	Essieux du bogie, d'avant, du milieu et d'arrière	Mêmes ressorts que ci-dessus, sauf la flèche de fabrication			de 100 millimètres pour le milieu et l'arrière.			5,500 6,250 5,540 6,300	81	10	
	Locomotive-tender à 6 roues accouplées et cylindres intérieurs, service de banlieue	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	18	90 × 10	800	Millimètres. 880	Millimètres. 60	Millimètres. 6. 5	5,500 5,300 6,850	71	102	
	Locomotive à 2 cylindres ordinaires, à 4 roues accouplées et bogie, nos 801 à 840, pour trains rapides et express	Essieux du milieu et d'arrière	14	120 × 11	994	1,000	52	6.63	6,707	101.3	40	Pas de balanciers.
		Essieu du bogie	15	100 × 9	798	800	27	6.84	5,117	62.1		
Chemins de fer de l'Est	Locomotive à 6 roues dont 4 accouplées et roues portenses à l'avant, nos 501 à 562, pour trains rapides et express légers ou pour trains lourds de voyageurs de vitesse moyenne	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	12	90 × 12	893.3	900	50	6.95	5,812	62.0	62	501 à 542, balanciers entre les roues accouplées. 543 à 562, pas de balanciers.
	Locomotive à 6 roues dont 4 accouplées et roues portenses à l'arrière, nos 441 à 485, pour trains-omnibus	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	12	90 × 12	890	905.6	35	6.30	5,227	62.0	45	Pas de balanciers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.	Corde de fabrication.	Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.	Flèche de fabrication.	Flexibilité moyenne par tonne.	Charge normale.	Poids du ressort.	Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	*Observations.*
				Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Kilogrammes.	Kilogrammes.		
Chemins de fer de l'Est. (Suite.)	Locomotive compound à 4 cylindres, à 6 roues accouplées et à bogie, n°s 3401 à 3430, pour trains lourds de voyageurs de vitesse moyenne et pour trains de marchandises à vitesse accélérée	Essieux accouplés	12	120 × 11	987.5	1,000	68	7.52	6,300	92.1	30	Pas de balanciers.
		Essieu du bogie	14	100 × 9	798	800	27	6.68	3,800	57.8		
	Locomotive-tender à 8 roues dont 6 accouplées, essieu porteur à l'arrière, n°s 613 à 683, pour le service des trains de la banlieue de Paris	Essieux d'avant, 2e d'avant, du milieu et d'arrière.	12	90 × 12	875	888.7	85	5.54	6,841	63.0	71	Balanciers entre essieux d'avant, 2e, 3e et d'arrière.
	Locomotive à 6 roues accouplées, n°s 3001 à 3015, pour trains de marchandises	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	13	120 × 11	994	1,002	52	7.00	6,692	103.5	10	Pas de balanciers.
	Locomotive à 6 roues accouplées, n°s 0250 à 0500 et 0701 à 0766, pour trains de marchandises	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	12	90 × 12	875	806	85	6.25	5,611	63.0	307	Pas de balanciers.
	Locomotive à 8 roues accouplées n°s 0564 à 0601, pour trains lourds de marchandises	Essieux d'avant, 2e d'avant, du milieu et d'arrière.	12	90 × 12	893.3	900	50	6.90	5,486	62.0	128	Balanciers entre les roues d'avant, 2e, 3e et d'arrière.
	Locomotive compound à 3 essieux accouplés	Essieu d'avant	13	90 × 12	995	1,002	60	9.1	5,360	86	50	
		— du milieu	13	90 × 12	995	1,002	60	9.1	5,360	86	...	
		— d'arrière	13	90 × 12	995	1,002	60	9.1	5,360	86	...	
		— du bogie	11	90 × 10	800	812	40	9.6	4,000	49	...	
	Locomotive compound à grande vitesse	Essieu d'avant	15	90 × 12	995	1,002	60	6.5	6,150	96	60	
		— d'arrière	15	90 × 12	995	1,002	60	6.5	6,150	96	...	
		— du bogie	14	90 × 10	800	807	30	5.8	4,100	55	...	
Chemins de fer du Nord.	Locomotive à grande vitesse dite *Outrance*	Essieu d'avant extérieur	13	90 × 12	900	915	80	7.0	5,700	76	102	
		— d'avant intérieur	8	75 × 10	800	820	80	9.0	2,000	35	...	
		— d'arrière	13	90 × 12	900	915	80	7.0	5,700	76	...	
		— du bogie	9	90 × 12	800	812	40	4.5	3,800	48	...	
	Locomotive de tramways	Essieu d'avant	15	90 × 12	995	1,002	60	6.5	6,150	96	70	
		— d'arrière	15	90 × 12	995	1,002	60	6.5	6,150	96	...	
		— du bogie	8	90 × 10	700	709	30	9.0	2,720	34	...	
	Locomotive mixte	Essieu d'avant	12	90 × 12	892	897	40	6.6	5,500	68	181	
		— du milieu	12	90 × 12	892	897	40	6.6	5,500	68	...	
		— d'arrière	12	90 × 12	892	897	40	6.6	5,500	69	...	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.		Corde de fabrication.		Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.		Flèche de fabrication.		Flexibilité moyenne par tonne.		Charge normale.		Poids du ressort.		Nombre de locomotives pourvues de ce système de suspension.	Observations.
				Millimètres.		Millimètres.		Millimètres.		Millimètres.		Millimètres.		Kilogrammes.		Kilogrammes.			
Chemins de fer du Nord	Locomotive de banlieue	Essieu d'avant	17	90 × 10		936		952		70		9.5		5,300		83		65	
		— du milieu	17	90 × 10		936		952		70		9.5		5,300		83		...	
		— d'arrière	17	90 × 10		936		952		70		9.5		5,300		83		...	
	Locomotive à 3 essieux accouplés, dite *Mammouth*	Essieu d'avant	18	75 × 10		940		958		55		9.5		3,880		71		105	
		— du milieu	17	75 × 10		940		958		55		10		3,680		68		...	
		— d'arrière	12	90 × 12		985		1,004		65		7.6		4,320		89		...	
	Locomotive à 3 essieux accouplés (type Nord)	Essieu d'avant	13	90 × 12		900		915		80		7		5,700		76		40	
		— du milieu extérieur	13	90 × 12		900		915		80		7		5,700		76		...	
		— du milieu intérieur	8	75 × 10		800		820		80		19		2,000		35		...	
		— d'arrière	13	90 × 12		900		915		80		7		5,700		76		...	
	Locomotive à marchandises	1er essieu d'avant	11	90 × 12		872		873		50		6		5,000		63		426	
		2e —	11	90 × 12		872		878		50		6		5,000		63		...	
		3e —	11	90 × 12		872		878		50		6		5.000		63		...	
		4e — d'arrière	11	90 × 12		872		878		50		6		5,000		63		...	
				Pouces.	Millim.	Pieds et pouces	Millim.	Pieds et pouces	Millim.	Pouces.	Millim.	Pouces.	Millim.	Ton. Cwts.	Kilog.	Cwts. Qrs. Liv.	Kilog.		
	Locomotive à roues libres de 7 pieds 8 pouces (2m337) de diamètre et à bogie. Cylindres de 19 × 24 pouces (483 × 610 millimètres)	Essieu du bogie	7	4 de 4 × 5/8 3 de 4 × 1/2	102 × 15.9 102 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.6 1/2	1,080	4	102	5/16	7.94	4.15	4,826	1.2.0	76.2	...	
		Essieu moteur (ressorts intérieurs)	9	5 de 4 × 5/8 4 de 4 × 1/2	102 × 15.9 102 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.8	1,118	6	152	1/4	6.35	4.12	4,674	1.3.23	99.3	...	
		Essieu moteur (ressorts extérieurs)	9	5 de 4 × 5/8 4 de 4 × 1/2	102 × 15.9 102 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.8	1,118	6	152	1/4	6.35	4.12	4,674	1.3.23	99.3	...	
		Essieu d'arrière (ressorts intérieurs)	Spirale n° 22	1 3/16 × 9/16	30 × 14.3	...	...	8 1/2 de hauteur	216	...	...	12/16	20.64	2.00	2,032	15 1/2	7	...	
		Essieu d'arrière (ressorts extérieurs)	10	6 de 4 × 5/8 4 de 4 × 1/2	102 × 15.9 102 × 12.7	3.10 1/2	1,181	4.0 7/8	1,241	6	152	5/16	7.94	4.13.0	4,725	2.0.21	111.1	...	
Grande-Bretagne et Irlande (Royaume-Uni).																			
Great Western Railway	Locomotive à voyageurs, à 4 roues couplées de 6 pieds 6 pouces (1m981) de diamètre, à bogie. Cylindres de 18 × 26 pouces (457 × 660 millimètres)	Essieu du bogie	7	4 de 4 × 5/8 3 de 4 × 1/2	102 × 15.9 102 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.6 1/2	1,080	4	102	5/16	7.94	Ton. Cwts. 4.16 3/4	4,890	1.2.0	76.2	...	
		Essieu moteur (ressorts intérieurs)	8	4 de 4 × 5/8 4 de 4 × 1/2	102 × 15.9 102 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.8	1,118	6	152	1/4	6.35	4.1 3/4	4,153	1.3.2	89.8	...	
		Essieu moteur (ressorts extérieurs	8	4 de 4 × 5/8 4 de 4 × 1/2	102 × 15.9 102 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.8	1,118	6	152	1/4	6.35	4.1 3/4	4,153	1.2.23	86.6	...	
		Essieu d'arrière (ressorts intérieurs)	Ressort spirale.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2.0	2,032	26	11.8	...	
		Essieu d'arrière (ressorts extérieurs)	8	4 de 4 × 5/8 4 de 4 × 1/2	102 × 15.9 102 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.8	1,118	6	152	1/4	6.35	5.12 1/4	5,703	1.2.23	86.6	...	
	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées de 5 pieds (1m524) de diamètre. Cylindres de 17 × 24 pouces (432 × 610 millimètres)	Essieu d'avant	10	5 de 5 × 5/8 5 de 5 × 1/2	127 × 15.9 127 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.8	1,118	6	152	5/16	7.94	6.10	6,604	2.2.18	135.2	...	
		Essieu moteur	10	5 de 5 × 5/8 5 de 5 × 1/2	127 × 15.9 127 × 12.7	3.5 1/2	1,054	3.8	1,118	6	152	5/16	7.94	6.10	6,604	2.2.18	135.2	...	
		Essieu d'arrière (chaque boîte à 4 ressorts ; 2 au-dessus et 2 en dessous.)	Spirale.	11/16 × 1 3/8	17.5 × 35	...	...	10 1/2 de hauteur	267	...	...	5/8	15.87	5.10	5,588	26	11.8	...	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.		Corde de fabrication.		Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.		Flèche de fabrication.		Flexibilité moyenne par tonne.		Charge normale.		Poids du ressort.		Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	Observations.
				Pouces.	Millim.	Pieds et pouces.	Millim.	Pieds pouces.	Millim.	Pouces.	Millim.	Pouces.	Millim.	Tons. Cwts.	Kilog.	Livres.	Kilog.		
North Eastern Railway. . .	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées. . . .	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	12	5 × 1/2	127 × 12.7	3.1 7/16	93	3.2 7/8	987	4 1/2	115	0.1614	4.09	7.15	7,874	227	103	263	
Midland Railway.	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	1 17	4 × 7/16 4 × 3/8	102 × 11.1 102 × 9.5	3.2 1/2	978	3.11	889	5 1/4	133	1/4	6.35	Tonnes. 5 1/2	5,500	Cwts. Qrs. Liv. 2.2.12	132.4	...	
						Non chargé.	Non chargé.			Non chargé.	Non chargé.			T. Cwts. Qrs.		T. Cwts. Qrs.			
		Essieu d'avant intérieur . .	7	4 × 1/2	102 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 1/8	1,083	4 3/4	121	19/32	15.08	1.10.0	1,524	1.0.27	1,359		
		— d'avant extérieur . .	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	5. 0.0	5,080	2.2.11	2,273		
	Locomotive-tender à 4 roues couplées	— moteur	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	5. 3.3	5,271	2.2.14	2,312	40	
		— intermédiaire . . .	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	5. 9.1	5,550	2.2.14	2,312		
		— couplé intérieur . .	7	4 × 1/2	102 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 1/8	1,083	4 3/4	121	19/32	15.08	1.10.0	1,524	1.0.27	1,359		
		— couplé extérieur . .	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	5. 2.2	5,207	2.2.11	2,273		
		Essieu d'avant intérieur . .	7	4 × 1/2	102 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 1/8	1,083	4 3/4	121	19/32	15.08	1.10.0	1,524	1.0.27	1,350		
	Locomotive express à 4 roues couplées	— d'avant extérieur . .	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	4. 7.3	4,458	2.2.11	2,273	110	
		— moteur	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	4. 5.2	4,344	2.2.14	2,312		
		— couplé	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	4.16.1	4,890	2.2.14	2,312		
		Essieu d'avant intérieur . .	7	4 × 1/2	102 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 1/8	1,083	4 3/4	121	19/32	15.08	1.10.0	1,524	1.0.27	1,359		
	Locomotive express à roues libres	— d'avant extérieur . .	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	4. 1.3	4,153	2.2.11	2,273	21	
		— moteur.	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	5. 7.0	5,436	2.2.14	2,312		
		— couplé	12	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 1/8	1,070	3 1/2	89	1/4	6.35	4. 2.3	4,303	2.1.20	2,337		
Great Eastern Railway. . .		Essieu d'avant intérieur . .	7	4 × 1/2	102 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 1/8	1,083	4 3/4	121	19/32	15.08	1.10.0	1,524	1.0.27	1,359		
	Locomotive mixte à 4 roues couplées	— d'avant extérieur . .	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	4. 0.3	4,102	2.2.11	2,273	90	
		— moteur	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	4.11.2	4,648	2.2.14	2,312		
		— couplé	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	4.13.3	4,763	2.2.14	2,312		
		Essieu d'avant	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	5. 9.2	5,563	2.2.14	2,312		
	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées. . . .	— du milieu.	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	4.18.2	5,004	2.2.14	2,312	62	
		— d'arrière	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,086	5	127	1/4	6.35	3.15.0	3,810	2.2.14	2,312		
		Essieu d'avant	11	5 × 1/2	127 × 12.7	2.11 1/4	955	3.0 3/8	930	3 3/8	86	3/16 B	4.76 B	5. 3.3	5,271	1.3.16	1,372		
	Locomotive-tender à 6 roues couplées	— du milieu	11	5 × 1/2	127 × 12.7	2.11 1/4	955	3.0 3/8	930	3 3/8	86	3/16 B	4.76 B	5. 3.0	5,233	1.3.16	1,372	100	
		— d'arrière	11	5 × 1/2	127 × 12.7	2.11 1/4	955	3.0 3/8	930	3 3/8	86	3/16 B	4.76 B	6. 0.0	6,096	1.3.16	1,372		
		Essieu d'arrière intérieur . .	7	4 × 1/2	102 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 1/8	1,083	4 3/4	121	19/32	15.08	2. 0.0	2,032	1.0.27	1,359		
		— d'arrière extérieur. .	10	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,083	4 3/4	121	25/64	9.92	3.15.3	3,848	1.3.27	1,511		
	Locomotive express à roues libres et à bogie	— moteur intérieur . .	13	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 3/4	1,076	5	127	1/4	6.35	4.10.3	4,610	2.2.14	2,312	10	
		— moteur extérieur . .	9	5 × 1/2	127 × 12.7	3.5 1/4	1,067	3.6 7/8	1,080	4 5/8	118	13/32	10.32	2. 9.0	2,489	1.3.25	1,486		
		— du bogie	15	5 × 1/2	127 × 12.7	4.2 3/4	1,289	5.4 1/8	1,324	5 1/4	133	13/32	10.32	6. 3.3	6,287	3.1. 3	3,137		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.		Corde de fabrication.	Longueur développée de la première feuille entre les bandes de suspension.		Flèche de fabrication.		Flexibilité moyenne par tonne.		Charge normale.			Poids du ressort.		Nombre de locomotives pourvues de la suspension	*Observations.*
				Pouces.	Millimètres	Pieds et pouc.	Millim.		Pouces.	Millim.	Pouces.	Millim.	T. Cwts. Qrs.		Kilog.	Cwts. Qrs. Lb.	Kilog.		
	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées.	Essieux d'avant, moteur et d'arrière	16	1 lame de $4 \times 1/2$ 15 lames de $4 \times 3/8$	102×12.7 102×9.5	2.6 3/4	2.9	898	4 3/4	121	...	...	...	...	...	...	...	...	
		Essieu du bogie	9	$4 \times 3/8$	102×9.5	...	2.0	610	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Great Northern Railway (Ireland)	Locomotive à voyageurs, express à bogie	— moteur	Ressorts hélicoïdaux																
		— couplé	15	$4 1/2 \times 1/2$	115×12.7	...	3.6	1,067	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées	Essieu d'avant	16	1 lame de $4 \times 1/2$ 15 lames de $4 \times 3/8$	102×12.7 102×9.5	2,6 3/4	2.9	898	4 3/4	121	...	...	...	...	...	...	...	...	
		Essieux moteur et couplé	Ressorts en volute.																
London & South Western Railway	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées.	Essieux d'avant et d'arrière	19	1 de $1/2 \times 5$ 18 de $3/8 \times 5$	127×12.7 127×9.5	...	3.6 1/2	1,080	...	...	5/16	7.94	7	...	3.0. 3	153.8	30		
		Essieu moteur	Ressorts en spirale (*voir* le croquis).			...	...	...	...	...	9/16	14.29	4	...	0.0.36	16.3			
	Locomotive à voyageurs à bogie	Essieux moteur et accouplé	2 ressorts de 6 feuilles disposés en ellipse.	1 lame de $3 1/2 \times 1/4$ 5 lames de $3 1/2 \times 5/8$	89×12.7 89×15.9	2.5 5/8	2.6 1/4	768	2 3/16	56	2/16	4.76	T. C. Q. Lb. 6. 2.0	6,198	1.3.10	93.4	276		Les renseignements quant à la flexibilité, à la charge normale et au poids sont relatifs aux 2 ressorts.
		Essieu du bogie	Ressorts en volute.																
Lancashire & Yorkshire Railway	Locomotive à marchandises à 6 roues couplées.	Essieux d'avant, moteur et d'arrière	12	2 lames de $4 1/2 \times 5/8$ 10 lames de $4 1/2 \times 1/2$	115×15.9 115×12.7	3.0 1/2	3.2 1/4	971	4 1/8	105	5/32	3 97	5.11.0.0 Tonnes.	5,639	2.1.13 Livres.	120.2	390		
		Essieux porteurs et accouplés	13	1 de $5 \times 5/8$ 12 de $5 \times 1/2$	127×15.9 127×12.7	3.5 1/4	...	...	4 1/4	108	...	...	5 1/2	...	308	139.7	66		
Great Central Railway	Locomotive à marchandises avec essieu porteur	Essieu moteur	4 ressorts hélicoïdaux																
		Essieu d'avant	14	$4 \times 1/2$	102×12.7	3.0	3.0 1/2	927	3	76	5/32	3.97	...	...	280	127			
Glasgow & South Western Railway	Machine à marchandises à 6 roues couplées	— du milieu	14	$4 \times 1/2$	102×12.7	3.0	3.0 1/2	927	3	76	5/32	3.97	...	...	...	...	90		
		— d'arrière	14	$4 \times 1/2$	102×12.7	3.0	3.0 1/2	927	3	76	5/32	3.97	...	...	...	...			
	Locomotive à voyageurs à bogie	Essieu du bogie	18	1 de $4 1/2 \times 1/2$ 17 de $4 1/2 \times 3/8$	115×12.7 115×9.5	3	3.1 1/2	953	4 3/4	121	0.368	9.35	4 3/4	...	Cwts. Qrs. Lb. 2.1. 9	118.4			
		— moteur	2 ressorts hélicoïdaux par boîte.			...	...	...	...	...	0.307	7.80	5 1/4	...	35 lb. chacun.	15.9	6		
Furness Railway		— couplé	20	1 de $4 1/2 \times 1/2$ 19 de $4 1/2 \times 3/8$	115×12.7 115×9.5	3.3	3.5 1/2	1,064	4 1/2	115	0.316	8.03	4 3/4	...	2.3. 0	139.7			
	Locomotive à marchandises	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	17	16 de $4 1/2 \times 3/8$ 1 de $4 1/2 \times 1/2$	115×9.5 115×12.7	3.0	3.1 1/2	953	4 1/2	115	0.366	6.76	5 1/4	...	2.0.15	108.4	15		
		Essieu du bogie	12	1 de $1/2 \times 5 1/2$ 11 de $7/16 \times 5 1/2$	140×12.7 140×11.1	2.11 1/2	3.0 3/8	917	2 7/8	73	3/16	4.76	T. Cwts. Qrs. 5.14.2	5,817	1.4.12	107			
New South Wales Government Railways	Locomotive à voyageurs à 6 roues couplées et bogie	— moteur	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5. 5.2	5,360	...	...	50		
		Essieux couplés	13	1 de $1/2 \times 5 1/2$ 12 de $7/16 \times 5 1/2$	140×12.7 140×11.1	...	...	...	...	...	...	...	4.16.0	4,877	...	...			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.		Cote de fabrication.		Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.		Flèche de fabrication.		Flexibilité moyenne par tonne.		Charge normale.		Poids du ressort.		Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	*Observations.*
				Pouces.	Millim.	Pieds.	Millim.	Pieds et pouces	Millim.	Pouces.	Millim.	Pouces.	Millim.	Tonnes.		Cwts. Qrs. Liv.	Kilog.		
Cape Government Railways.	Locomotive à marchandises, à 6 roues couplées.	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	16	4 1/2 × 3/8	115 × 9.5	3		...	...	4 1/2	115	0.31	7.87	4 3/4		...	...	...	
New-Zealand Government Railways.	Locomotive à voyageurs, à 6 roues couplées et bogie	Essieu de bogie		Ressorts en spirale (*voir* le croquis).				Ressorts en spirale (*voir* le croquis).				5/16	7.94	2 1/4		...	...	6	
		Essieux moteur et couplés.	12	3 3/4 × 3/8	95 × 9.5	2.5 5/8		2.6 3/8	772	3 1/4	82	9/32	7.14	3 1/4		0.0.122	55.3		
	Locomotive à 6 roues couplées et bogie (classe B).	Essieu du bogie	15	1 de 3 × 1/2 14 de 3 × 3/8	76 × 12.7 76 × 9.5	2.11 3/16		3.0 1/4	920	3 1/4	82	29/64	11.51	Tons-Cwts. 3.15	Kilog. 3,810	Livres. 137	62.1	11	
		Essieux d'avant, moteur et d'arrière	8	1 de 5 × 1/2 7 de 5 × 3/8	127 × 12.7 127 × 9.5	2.3		2.4	711	3 1/4	82	19/128	3.77	4.5	4,318	112	50.8		
Western Australian Government Railways	Locomotive à 8 roues couplées et bogie (classe 46).	Essieu du bogie	8	1 de 4 × 7/16 7 de 4 × 3/8	102 × 11.1 102 × 9.5	1.11 1/8		1.11 7/16	595	1 3/4	44	9/64	3.57	2.13	2,693	71	32.2	46	
		Essieux moteur et couplés.	9	1 de 4 × 7/16 8 de 4 × 3/8	102 × 11.1 102 × 9.5	2.2 1/2		2.3 5/16	694	2 7/8	73	3/16	4.8	3.6 à 4.6 1/2	3,658 à 4,725	93	42.2		
	Locomotive à 4 roues couplées à bogie	Essieu du bogie	11	5 × 1/2	127 × 12.7	3.6 1/4		3.7 3/4	1,111	4 3/4	121	17/64	6.74	4.17	4,928	263	119.3	24	
		Essieux moteur et couplés.	16	1 de 4 × 1/2 15 de 4 × 3/8	102 × 12.7 102 × 9.5	2.7 3/8		2.8 3/8	823	3 1/2	89	3/16	4.8	5 1/2	5,588	175	79.4		
Natal Government Railways	Locomotive mixte à 8 roues couplées, bogie à l'avant, 2 roues porteuses à l'arrière.	Essieu du bogie (2 ressorts)	17	1 de 3 3/4 × 7/16 16 de 3 3/4 × 3/8	95 × 11.1 95 × 9.5	2.8 1/4		2.9 3/8	848	3 1/4	82	0.23	5.84	Tonnes. 4		129	58.5	76	
		Essieux couplés	7	3 3/4 × 1/2	95 × 12.7	2.3 7/8		2.4 1/2	724	2 5/8	67	0.16	4.06	4 1/4		94	42.6		
		Essieu d'arrière	11	3 × 3/8	76 × 9.5	1.11 3/4		2.0 1/4	616	2 1/2	64	0.16	4.06	2 1/2		68	30.8		
	Locomotive à marchandises, à 6 roues couplées.	Essieux d'avant et d'arrière	13	1 de 5/8 × 4 1/2 12 de 1/2 × 4 1/2	115 × 15.9 115 × 12.7	35 1/4		36	914	3 3/4	95	5/32	3.97	Tons-Cwts. 14.7	Kilog. 14,580	Cwts. Qrs. Liv. 2.1.16	121.6	...	
		Essieu moteur		Ressort helicoïdal (*voir* le croquis).				Ressort hélicoïdal (*voir* le croquis).				5/32	3.97	15.0	15,241	...	...	...	
East Indian Railway.	Locomotive express à voyageurs, à 4 roues couplées et bogie	Essieu du bogie (2 ressorts)	16	1 de 5/8 × 4 1/2 15 de 1/2 × 4 1/2	115 × 15.9 115 × 12.7	...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
		— moteur		Ressort hélicoïdal identique à celui des locomotives à marchandises.															
		— d'arrière	13	1 de 5/8 × 4 1/2 12 de 1/2 × 4 1/2	115 × 15.9 115 × 12.7	35 1/4		36	914	3 3/4	95	5/32	3.97	14.7	14,580	2.1.16	121.6		
Italie.				Millimètres.		Millimètres.		Millimètres.		Millimètres.		Millimètres.		Kilogrammes.		Kilogrammes.			
Chemins de fer de la Méditerranée	Locomotive à 6 roues couplées à cylindres extérieurs (série 3201 à 3600).	Essieux moteur et couplés.	19	90 × 10		900		918		80		8.2		5,150		83		...	
	Locomotive à voyageurs (série 1701 à 1800)	Essieu porteur	13	75 × 10		720		800		55		9.75		...		...		...	
		Essieux moteur et couplés.	21	105 × 10		990		...		90		...		...		...		...	
	Locomotive à voyageurs, à 4 roues accouplées et bogie (de la série 180).	Essieu du bogie	17	90 × 12.7		1,780		1,204		100		10		6,950		112			
		Au 3e essieu	12	90 × 12.7		990		1,003		70		8		5,250		78		100	La suspension du bogie est faite par deux ressorts.
		— 4e —	12	90 × 12.7		990		1,003		70		8		5,300		78			Reliées deux à deux par balancier.
Chemins de fer méridionaux (réseau de l'Adriatique)	Locomotive à voyageurs et à marchandises, à 6 roues accouplées (de la série 350).	Essieu d'avant	12	90 × 12.7		870		890		80		5.5		5,800		64			
		— du milieu	12	90 × 12.7		870		890		80		5.5		5,670		67		160	Reliées deux à deux par un balancier.
		— d'arrière	12	90 × 12.7		870		890		80		5.5		5,550		67			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	Système de la locomotive.	Désignation des ressorts.	Nombre de feuilles.	Section des feuilles.	Corde de fabrication.	Longueur développée de la première feuille entre les points de suspension.	Flèche de fabrication.	Flexibilité moyenne par tonne.	Charge normale.	Poids du ressort.	Nombre de locomotives pourvues de la suspension.	*Observations.*
				Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.	Kilogrammes.	Kilogrammes.		
Chemins de fer méridionaux (réseau de l'Adriatique). (Suite.)	Locomotive-tender à voyageurs et marchandises, à 6 roues accouplées (de la série 270).	Essieu d'avant	13	90 × 12.7	1,100	1,100	...	10	6,000	94		
		— du milieu	13	90 × 12.7	1,100	1,100	...	10	5,770	94	30	Reliées deux à deux par un balancier.
		— d'arrière	13	90 × 12.7	1,100	1,100	...	10	5,870	94		
	Locomotive à grande vitesse A^2, à 4 roues couplées	Essieu du bogie	15	105 × 13	1,170	1,200	128	9	9,600	127		
		Essieux d'avant et d'arrière	11	105 × 13	1,000	1,008	50	7	7,500	78	15	
	Locomotive à grande vitesse, à 4 cylindres A^2T à 4 roues couplées	Essieu du bogie	...	Ressorts hélicoïdaux.		Ressorts hélicoïdaux.		Ressorts hélicoïdaux.		...		
		Essieux d'avant et d'arrière	11	105 × 13	1,000	1,008	50	7	7,500	78	5	
	Locomotive à grande vitesse A^2T, à 6 roues couplées	Essieu du bissel	7	105 × 13	850	855	40	7	4,800	44		
		— d'avant	11	105 × 13	1,000	1,008	50	7	6,500	78	15	
Suisse.		— du milieu							6,500	78		
Chemins de fer Central suisse		— d'arrière							7,150	78		
	Locomotive à marchandises C^4, système Mallet, à 2 × 4 roues couplées	Les mêmes pour tous les essieux	10	105 × 13	900	907	50	5.5	7,350	70	10	
	Locomotive à marchandises C^4T, système Mallet, à 2 × 4 roues couplées	Les mêmes pour tous les essieux	11	105 × 13	900	907	50	5	7,200	72	6	
	Locomotive à manœuvres F^2, à 6 roues couplées	Les mêmes pour tous les essieux	10	105 × 13	1,070	1,007	42	3.8	5,500	76	10	
Chemin de fer du Gothard	Locomotive à marchandises, à 6 roues couplées	Essieux d'avant, du milieu et d'arrière	11	100 × 13	896	901	45	5	5,700	82	40	
	Locomotive à grande vitesse (nos 801 à 835)	Essieu d'avant A (bogie)	11	152.4 × 12.7	1,054.1	1,066.8	101.6	5.6	7,100	138		
		Essieux moteur :										
		a) Extérieur B	12	101.6 × 9.5	968.4	1,006.5	117.5	15.9	2,540	67.5	35	
Pays-Bas.		*b*) Intérieur C	9	88.9 × 9.5	889	933.4	114.3	19	2,030	44		
		Essieu d'arrière accouplé D	23	101.6 × 11.1	1,336.6	1,384.3	149.2	14.3	5,080	188		
Société pour l'exploitation des chemins de fer de l'Etat néerlandais		Essieu d'avant A (bogie)	17	152.4 × 12.7	1.054	1,066.8	101.6	4	11,170	214		
		Essieux moteur :										
	Locomotive à grande vitesse pour trains express (nos 995 à 999)	*a*) Extérieur B	12	101.6 × 9.5	968.4	1,006.5	117.5	15.9	2,540	67.5	5	
		b) Intérieur C	9	88.9 × 9.5	889	933.4	114.3	19	2,030	44		
		Essieu accouplé D	23	101.6 × 11.1	1,336.6	1,384.3	149.2	14.3	5,080	188		
		Essieu porteur (arrière) E	23	101.6 × 11.1	1,336.6	1,384.3	149.2	14.3	4,570	188		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Résultats d'essais de flexibilité de ressorts à lames.

DÉSIGNATION des ADMINISTRATIONS.	DIMENSIONS COMMUNES AUX RESSORTS. Corde de fabrication.	Flèche de fabrication.	Section des lames.	Nombre de lames.	PARTICULARITÉS RELATIVES AUX LAMES.	ÉCRASEMENT SOUS LES CHARGES SUCCESSIVES DE : 1 tonne.	2 tonnes.	3 tonnes.	4 tonnes.	5 tonnes.	6 tonnes.	7 tonnes.	8 tonnes.	9 tonnes.	10 tonnes.	11 tonnes	12 tonnes	FLEXIBILITÉ MOYENNE PAR TONNE.	*Observations.*
	Millimètres.	Millimètres.	Millimètres.			Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.			Millim.	
Belgique. *Chemins de fer de l'État.*	1,500	...	100 × 10	23	Plane, feuilles brutes	13	32.5	52	71.5	90.5	108	124.5	140	155	...	...	...	17.3	Les quatre essais ont été pratiqués sur le même ressort.
					— — graissées	19.5	43	65	87.5	108	127	145	161.5	...	...	...	...	20.2	
					— — polies	27	53	78	100.5	121.5	141.5	160	177.5	...	...	...	...	22.2	Feuilles blanchies à la meule.
					— — polies et graissées	25	50	75	98	119.5	139.5	158	176	...	...	...	...	22	
	1,500	...	100 × 10	23	Feuilles rainurées, brutes	14	34	55	75	92.5	110	126	141	155	168.5	...	...	16.85	Essais pratiqués sur un même ressort.
					— — graissées	21	44	66	87	103.5	123.5	140.5	156	171	185	...	...	18.50	
					— — polies	16	36	56	75	93	110	126	141	156	170	...	...	17	
					— — polies et graissées	23	47	69	90	108	126	143	159	173	189	...	...	18.9	
	1,500	...	100 × 10	23	Feuilles rainurées, brutes	11	27	46	65	83	101	116	131	...	...	...	...	16.3	Essais pratiqués sur un même ressort.
					— — graissées	20	43	65	87	106	125	142	157	...	...	...	...	19.6	
					— — polies	13	31	51	71	89.5	105.5	122	136	...	...	...	...	17	L'anomalie constatée quant aux résultats (2) et (4) n'a pu être expliquée.
					— — polies et graissées	16	38	62	80	101	117.5	134	151	...	...	...	...	18.9	
	1,500	...	100 × 10	23	Feuilles rainurées, brutes	11	29	47.5	65	82	97	110.5	125	139.5	151	...	...	15.1	Les aspérités ou rugosités qui rendent le ressort moins flexible pendant les premiers temps de service ne tardent pas à disparaître.
					— après 4 mois de service.	18	36	54	71	87	102	116.5	128.5	143.5	157	...	...	15.7	
	1,500	...	100 × 10	23	Feuilles rainurées, brutes	10	30	50	69	87	103	119	135	149	163	...	...	16.3	
					— après 4 mois de service.	15	35	54	72	90	107	122	140	159	175	...	...	17.5	
États-Unis d'Amérique.	Pouces. Millim.	Pouces. Millim.	Pouces. Millim.			Pouc. Mill.	Pouc. Mill.	Pouc. Mill.	Pouc. Mill.	Pouc. Mill.	Pouc. Mill.	Pouc. Mill.	Pouc. Mill.	Pouc. Mill.	Pouc. Mill.			Pouc. Mill.	
Southern Pacific Company	32.75 832	4.5 115	3.5 × 3/8 89 × 9.5	15	Plane brute	0.23 5.84	0.46 11.6	0.75 19.05	1.00 25.40	1.30 33.00	1.56 39.62	1.89 48.01	2.16 54.86	2.43 61.72	2.70 68.58	...	...	0.25 6.35	
	42.5 1,080	3 7/8 98	4 × 1/2 102 × 12.7	14	— —	0.17 4.32	0.35 8.9	0.58 14.73	0.74 18.80	0.98 24.89	1.20 30.48	1.49 37.84	1.84 46.74	2.12 53.85	2.40 60.96	...	...	0.2 5.08	
Grande-Bretagne et Irlande (Royaume-Uni). *North Eastern Railway*	3.17/16 951	4 1/2 115	5 × 1/2 127 × 12.7	12	Ressort neuf	1/16 1.59	1/4 6.3	13/32 10.32	19/32 15.08	25/32 19.84	15/16 23.81	1 3/32 27.78	1 1/4 31.75	1 7/16 36.51	... ...	...	...	0.1614 4.10	
					— poli par l'usage	3/16 4.76	3/8 9.5	9/16 14.20	25/32 19.84	31/32 24.61	1 5/32 29.37	1 3/8 34.92	1 9/16 39.69	1 3/4 44.45	... ...	...	...	0.1927 4.89	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION des ADMINISTRATIONS.	DIMENSIONS COMMUNES AUX RESSORTS.							PARTICULARITÉS RELATIVES AUX LAMES.	1 tonne.		2 tonnes.		ÉCRASEMENT SOUS LES CHARGES SUCCESSIVES DE :														FLEXIBILITÉ MOYENNE PAR TONNE.		*Observations.*
	Corde de fabrication.		Flèche de fabrication.		Section des lames.		Nombre de lames.						3 tonnes.		4 tonnes.		5 tonnes.		6 tonnes.		7 tonnes.		8 tonnes.		9 tonnes.		10 tonnes.		11 tonnes	12 tonnes			
	Pieds, Pouces.	Millim.	Pouces.	Millim.	Pouces.	Millim.							Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.			Pouc.	Mill.	
	2.5 3/8	747	3 3/4	95	1 de 4×7/16 14 de 4×3/8	102×11.1 102×9.5	15	Ressort neuf	...	...	...	...	1/8	3.17	17/64	6.75	27/64	10.72	39/64	15.48	25/32	19.84	61/64	24.26	1 7/64	28.18	1 19/64	32.94	...	...	11/64	4.37	
								— poli par l'usage	...	...	...	...	7/64	2.78	19/64	7.54	1/2	12.70	23/32	18.26	59/64	23.47	1 5/64	27.38	1 17/64	32.15	1 33/64	37.70	...	...	12/64	5.16	
Empire des Indes et colonies.								1. Ressort poli par l'usage et essayé à sec.	...	...	...	...	21/64	8.33	25/64	13.89	49/64	19.45	63/64	25.00	1 13/64	30.56	1 13/32	35.72	...	...	...	...	...	...	7/32	5.56	
Western Australian Government Railways.								2. Feuilles polies et lubrifiées. .	...	...	...	...	13/64	5.95	13/32	10.32	5/8	15.87	13/16	20.64	1	25.40	1 5/32	29.37	...	...	...	...	...	...	3/16	4.76	
	2.2 1/2	673	2 7/8	73	1 de 4×7/16 8 de 4×3/8	102×11.1 102×9.5	9	3. — — non lubrifiées.	...	...	...	...	5/16	4.76	11/32	8.73	1/2	12.70	21/32	16.67	51/64	20.24	31/32	24.61	...	...	...	...	...	...	5/32	3.97	
								4. — brutes — — .	...	...	...	...	11/64	4.37	5/16	7.94	29/64	11.51	41/64	16.27	13/16	20.64	29/32	23.02	...	...	...	...	...	...	9/64	3.57	
								5. — — lubrifiées. . .	...	...	...	...	11/64	4.37	11/32	8.73	9/16	14.29	47/64	18.65	57/64	22.62	1 3/64	26.59	...	...	...	...	...	...	11/64	4.37	
	Millimètres.		Millimètres.		Millimètres.				Millim.		Millim.		Millim.		Millim.		Millim.		Millim.		Millim.		Millim.		Millim.		Millim.		Mill.	Mill.	Millim.		
	986.5		68		120 × 11		12	Feuilles brutes, non graissées .	7		14		21.5		28.5		36		43		50		56.5		63		69.5		76	82	6.83		
								— — graissées . . .	8.5		16		24		32		39		47		55		62		69		76		82	90	7.5		9.8 p. c. en plus.
	987		66.5		120 × 11		12	Feuilles brutes, non graissées .	7		14.5		22		29		36		43		50.5		57		63.5		70		77	85	7.08		
								— — graissées . . .	7.5		16.5		24		31		38.5		46		53.5		60.5		67.5		75		84	91.5	7.64		7.6 p. c. en plus.
France.	987.5		67.5		120 × 11		12	Feuilles brutes, non graissées .	7		14.5		22		29		36		43		50		56.5		63		70		76	82	6.83		
Chemins de fer de l'Est.								— — graissées . . .	8		16		23		32		40		46		53		61		67.5		74		82	90	7.5		9.8 p. c. en plus.
	987		63		120 × 11		12	Feuilles brutes, non graissées .	7		14		21.5		27.5		35.5		42.5		50		56		63.5		69.5		76.5	82.5	6.87		
								— — graissées . . .	8		16		24.5		31.5		39		46		54		61		68.5		76		82	91.5	7.62		11.0 p. c. en plus.
	986		67.5		120 × 11		12	Feuilles brutes, non graissées .	6.5		13.5		20.5		28		35		42		49.5		56		62.5		69.5		76	83	6.91		
								— — graissées . . .	8.5		15.5		23.5		31		39.5		46.5		52.5		60.5		67.5		74.5		82	89.5	7.46		9.3 p. c. en plus.
	986.5		68.5		120 × 11		12	Feuilles brutes, non graissées .	6.5		13.5		20.5		27.5		34.5		41.5		48.5		55.5		62		68.5		75	83	6.91		
								— — graissées . . .	7.5		16		23		31		39		46		54		62		69		77		82	93	7.75		11.2 p. c. en plus.
																													Moyenne générale. . .				9.8 p. c. en plus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE III.

Conditions spéciales de fourniture de ressorts à lames.

AUTRICHE.

Chemin de fer du Sud de l'Autriche.

PRESCRIPTIONS RELATIVES A LA FOURNITURE DE RESSORTS POUR LOCOMOTIVES ET TENDERS.

Métal. — Acier rainuré de la meilleure qualité; le métal non trempé doit accuser la résistance suivante :

Résistance par millimètre carré	75 à 82 kilogrammes.
Contraction en pour cent de la section transversale initiale	20.
Allongement en pour cent de la distance des marques.	10.

Exécution du travail. — Les ressorts doivent dans toutes leurs dimensions répondre parfaitement au plan et le fabricant ne peut s'écarter des indications de ce plan qu'avec l'assentiment de la Compagnie.

Quand les ressorts ont des œillets, ceux-ci sont enroulés, et il faut veiller à ce que les trous des œillets soient parfaitement ronds et qu'ils soient normaux à l'axe longitudinal du ressort.

Les lames doivent toutes s'appliquer parfaitement les unes sur les autres.

Surveillance du travail. — Les agents de la Compagnie ont l'entrée libre dans l'usine du fabricant et peuvent effectuer les essais qu'ils jugent convenables en vue de s'assurer de la valeur du métal et de celle du travail.

Cette surveillance n'affranchit pas le fabricant de la garantie.

Essais. — Tous les ressorts sont essayés à l'usine; les essais consistent à les charger avec ou sans flexions :

1° La charge d'essai, sans flexions, atteint les $^4/_3$ de celle avec flexions;

2° La charge d'essai, avec flexions, est égale à la charge du ressort sous le matériel en repos;

3° Pendant l'essai, avec flexions, on va jusqu'au tassement correspondant à la charge d'essai sans flexions.

A l'essai des ressorts, le tassement moyen par tonne ne peut aller en deçà ou au delà de plus de 1 millimètre de celui indiqué au fabricant.

La perte de flèche, après le premier essai, ne peut être supérieure à 2 millimètres; ce tassement ne peut augmenter après essais répétés.

De plus, la Compagnie se réserve le droit d'établir la résistance du métal par des essais de rupture.

Marques. — Chaque feuille porte la marque du fabricant, le mois et l'année de fourniture.

Fourniture. — Le fabricant doit fournir, à ses frais et à ses risques et périls, les ressorts dans une station ou un atelier de la Compagnie à désigner par celle-ci.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Garantie. — Une garantie de deux années est imposée à partir du jour de fourniture ; pendant ces deux ans, le fabricant doit remplacer à ses frais les ressorts avariés ou rembourser à la Compagnie les frais des réparations exécutées dans ses ateliers.

Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand.

CONDITIONS POUR LA FOURNITURE DE RESSORTS A LAMES.

Le métal sera de la meilleure qualité ; les lames seront en acier fondu au creuset ; les colonnes et l'étrier en fer soudé.

Les lames auront des nervures pour éviter les déplacements latéraux ; elles seront conformes aux plans.

Les feuilles doivent s'adapter parfaitement les unes sur les autres.

La trempe doit être parfaitement uniforme.

Chaque lame doit porter sur le côté extérieur les marques de fabrique et l'année de fourniture.

La Compagnie se réserve le droit de faire surveiller la fabrication dans l'atelier du constructeur et de s'assurer spécialement de la constitution du métal.

Tous les ressorts sont soumis à des essais de charge :

1° Essai de charge mobile égale au chargement stipulé ;

2° Essai de charge au repos pendant lequel le ressort ne peut pas accuser un affaissement supérieur à celui indiqué ;

3° Si on le juge utile, la charge mobile peut atteindre une fois et demie le chargement stipulé.

Les chargements et les affaissements correspondants sont donnés par la description accompagnant les plans.

Pour l'essai des ressorts, les lames doivent être reliées convenablement.

Les frais d'essais sont à charge du fournisseur.

Le fournisseur doit rembourser, en argent comptant, le prix d'acquisition de tous les ressorts à retirer du service endéans le temps de garantie, soit pour défaut du métal, soit pour défaut de construction.

Le délai de garantie expire avec la *seconde* année *suivant* celle de fourniture.

La fourniture se fera aux frais et sous la responsabilité du fournisseur dans le délai fixé.

La réception se fait par les agents de la Compagnie dans l'usine même après qu'un certain nombre des ressorts à fournir seront achevés.

Les ressorts rebutés doivent rester à l'usine jusqu'après fourniture complète.

Chemin de fer Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande.

CONDITIONS SPÉCIALES POUR LA FOURNITURE DE RESSORTS A LAMES.

1° Les ressorts ne peuvent être fabriqués que dans certaines usines indiquées dans les cahiers des charges et la commande ne peut être passée ni en totalité ni en partie à une autre usine ;

2° Les ressorts doivent être fabriqués au moyen d'acier fondu au creuset, de la meilleure qualité obtenue par la meilleure méthode ;

3° Les ressorts doivent être entièrement conformes aux plans qui accompagnent la commande.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La forme des ressorts, la flèche du ressort libre, le tassement sous la charge normale sont indiqués sur les plans.

Toutes les lames sont réunies entre elles par des nervures et par un boulon de dimensions indiquées qui passe exactement par le centre de chaque feuille et qui se termine en haut et en bas par une tête de rivet fraisée. Les arrêtes supérieures des extrémités des lames doivent être arrondies. Si, lors de la commande, on fixe des poids normaux, on n'indemnisera pas les excédents au delà de 5 p. c.;

4° Chaque lame, ainsi que chaque ressort volute, doit porter, de façon bien apparente, les marques de la fabrique, l'année et le semestre de fourniture.

Après réception, les ressorts à lames doivent être couverts d'une couche de peinture noire à l'huile, et les ressorts volute d'une couche de graisse;

5° Les délégués de la Compagnie doivent avoir libre accès, en tout temps, dans l'usine pour surveiller la fabrication des ressorts et faire les essais qu'ils jugent nécessaires.

On fait des essais de rupture, de flexion et de trempe, ensuite des essais de charge.

Les essais de rupture avec du métal non trempé doivent, au minimum, accuser une résistance de. . . . . kilogrammes par millimètre carré, une contraction de. . . p. c. et donner ensemble au moins la somme. . . . .

Les essais de flexion et de trempe sont indiqués pour chaque cas particulier.

En dehors de ces essais, chaque ressort est soumis à un essai de charge (épreuve statique) :

a) Au moyen d'une charge oscillante où la hauteur correspond à la charge maximum du ressort sous le matériel;

b) Au moyen d'une charge double, à l'état de repos, après laquelle il ne peut se produire au maximum qu'un tassement permanent de 2 p. c. de la flèche; aucun tassement permanent ne peut se produire pour le ressort volute.

Les frais d'essais sont à charge du fournisseur.

Les essais faits par le fournisseur peuvent être suivis par le délégué, mais n'engagent en rien quant à la réception;

6° Les ressorts qui ont subi les épreuves susdites sont, après examen de l'état extérieur, considérés provisoirement comme admis.

Les ressorts refusés doivent rester dans l'usine, jusqu'après la fourniture de la commande, à la disposition du délégué;

7° La fourniture se fait au lieu indiqué dans le contrat.

Les ressorts refusés doivent être remplacés endéans les quatre semaines;

8° Si l'adjudicataire n'observe pas le délai de fourniture ou ne remplace pas en temps voulu les ressorts refusés, la Compagnie peut refuser toute la fourniture et faire fournir la commande ailleurs aux frais de l'adjudicataire nonobstant les pénalités prévues;

9° Le fournisseur garantit les ressorts à tous égards et doit rembourser la valeur des ressorts trouvés défectueux pendant la période de garantie ou remplacer ceux-ci sans aucune indemnité.

La garantie est de deux ans dans le sens suivant :

a) Ceux fournis dans le premier semestre d'une année sont garantis deux ans après le 1er juillet de l'année de fourniture;

b) Ceux fournis dans le deuxième semestre, deux ans après le 1er janvier de l'année suivant celle de fourniture.

La Compagnie fait une retenue de 10 p. c. de la valeur comme caution à conserver pendant les deux années de garantie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

HONGRIE.

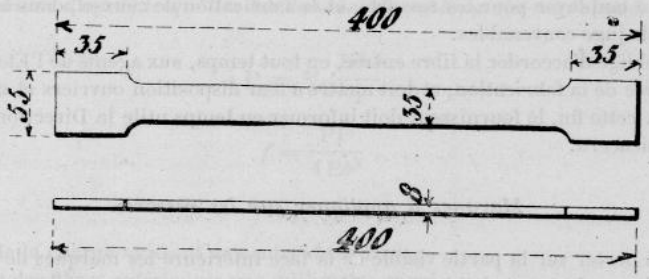
Chemins de fer de l'État.

CONDITIONS SPÉCIALES POUR LA FOURNITURE DE RESSORTS DE SUSPENSION.

Qualités des matériaux.

Les lames de ressort seront en acier fondu, les colonnes en fer pour rivets, et les deux en métal d'excellente qualité.

L'essai des métaux se fait, d'après décision de la Direction, soit dans des ateliers des chemins de fer de l'État, soit dans la fabrique du fournisseur ou dans un laboratoire d'essais public; les éprouvettes, conformes aux croquis ci-dessous, seront prises dans les lames à froid.



La capacité de résistance à la rupture, à établir au moyen du banc d'épreuve, sera au minimum, par millimètre carré de la section originale, de 80 kilogrammes; la contraction minimum par contre, rapportée à la section originale, sera d'au moins 15 p. c. Pour établir la qualité, on se rapporte à la somme des deux nombres ainsi obtenus, laquelle doit donner 100.

La colonne du milieu qui relie les lames doit être façonnée au moyen d'un fer dont la résistance à la rupture, par millimètre carré de la section initiale, est de 38 kilogrammes et la contraction de 40 p. c. par rapport à cette section.

Mode de fabrication.

Les ressorts doivent être conformes aux plans annexés au cahier des charges.

Les feuilles sont reliées entre elles par leurs nervures, s'il s'agit de feuilles à nervures, ou par un étrier en fer forgé, si elles ne sont pas à nervures, en vue d'éviter le déplacement latéral, et, dans les deux cas, par une colonne passant exactement par le centre de chaque feuille, et dont les deux extrémités se terminent en tête de rivet noyé (fraisé).

L'espèce d'acier pour les lames (à nervures et sans nervures), l'épaisseur, la largeur, la longueur et le nombre des lames, la hauteur de flèche du ressort non chargé, après les essais prescrits, ainsi que la hauteur de flèche du ressort pendant la charge normale, la distance des centres des œillets, éventuellement des trous des vis de ressort et leurs dimensions sont données par les plans et doivent être parfaitement observées.

Pour les commandes de ressorts avec étriers, il est indiqué, dans chaque cas, s'ils doivent être fournis avec ou sans les étriers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les ressorts d'une même catégorie doivent être confectionnés au moyen de feuilles laminées de la même façon et exemptes de porosités et de soufflures ; elles doivent être trempées d'après la même méthode.

Le métal employé doit être d'une seule et même qualité et les lames doivent présenter la même section transversale.

Quand le ressort est monté, les côtés doivent présenter une surface parfaitement unie.

Les lames des ressorts rivées ensemble doivent adhérer les unes aux autres dans toute la longueur.

Quand la colonne est retirée, il faut que l'espace entre les différentes feuilles, de la supérieure à l'inférieure, diminue proportionnellement de 3 millimètres à 0.6 millimètre.

Avant de les river ensemble, les lames doivent être graissées au moyen d'un mélange d'huile de colza et de graphite.

Lieu de fabrication.

Le fournisseur est obligé de faire fabriquer les ressorts de suspension dans un atelier à déterminer de commun accord avec la Direction des chemins de fer de l'État hongrois.

Si le fournisseur n'est pas en même temps fabricant, il est obligé d'indiquer dans sa soumission le fabricant dans les ateliers duquel les ressorts seront confectionnés.

Contrôle de la fabrication.

La Direction des chemins de fer de l'État hongrois se réserve le droit de faire contrôler par ses agents la qualité de l'acier à employer pour les ressorts, et la fabrication de ceux-ci, dans la fabrique, et de faire faire les essais qu'elle juge convenables.

Le fabricant est obligé d'accorder la libre entrée, en tout temps, aux agents de l'État chargés du contrôle pendant toute la durée de la fabrication, et doit mettre à leur disposition ouvriers et matériaux sans aucun dédommagement. A cette fin, le fournisseur doit informer en temps utile la Direction de la date à laquelle la fabrication commencera.

Marques à appliquer sur les ressorts.

Chaque lame doit porter sur la partie visible de la face inférieure les marques de la fabrique et l'année et le mois de fourniture, de façon visible et durable.

Epreuves statiques.

A la demande du délégué des chemins de fer de l'État, le fournisseur est obligé de faire des épreuves statiques avec les ressorts montés ou avec les feuilles d'acier servant à leur fabrication.

Les pièces d'essai doivent, en général, être coupées sur une longueur d'un mètre, être pliées suivant un arc de 100 millimètres de flèche, être trempées et adoucies selon la meilleure méthode.

Les feuilles d'essai ainsi constituées doivent être placées sur deux points d'appui mobiles et chargées au milieu des poids indiqués au tableau ci-annexé.

Si pour ces essais on employait des feuilles plus courtes, il faudrait déterminer les charges et les flèches d'après les formules indiquées en dessous du tableau.

Sous la charge de 80 kilogrammes par millimètre carré, la lame de ressort ne peut ni briser ni accuser une augmentation permanente de flèche de plus de 5 p. c. de la flèche initiale. Ces charges seront renouvelées plusieurs fois.

Les ressorts reconnus éventuellement comme ne pouvant convenir sont mis à la disposition du fournisseur sans aucun dédommagement.

Le fournisseur paie tous les frais des essais et ce contrôle ne le délie pas de sa responsabilité quant à la bonne qualité des ressorts ; il répond de la résistance et du bon fonctionnement de ceux-ci.

Il sera dressé procès-verbal des résultats des essais, signé par le fournisseur et le délégué du gouvernement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau relatif aux essais des lames de ressort de 1 mètre de long et 100 millimètres de flèche.

Charges et variations des flèches qui en résultent.

DIMENSIONS DES LAMES.		Chargement des lames pour une fatigue des fibres extérieures de 80 kilogrammes par millimètre carré.	Changements des flèches produits par les chargements en admettant les coefficients d'élasticité suivants :				
Largeur *b*.	Épaisseur *h*.		E = 20,000.	E = 21,000.	E = 22,000.	E = 23,000.	E = 24,000.
Millim.	Millim.	Kilogrammes.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.
80	13	721	51.3	48.8	46.6	44.6	42.7
90	10	480	66.6	63.5	60.6	57.9	55.5
90	13	811	51.2	48.8	46.6	44.5	42.7
100	12	768	55.5	52.9	50.5	48.3	46.2

Formules d'après lesquelles les données du tableau ont été calculées :

$$P = {}^2/_3 \frac{Jbh^2}{I} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad [1]$$

$$f = \frac{PI^3}{4Eb^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad [2]$$

dans lesquelles :

P représente la charge agissant au centre de la lame;
J, la fatigue des fibres extérieures par millimètre carré;
b, la largeur de la lame;
h, l'épaisseur de la lame;
I, l'écart entre les deux points d'appui mobiles;
f, la flèche se produisant sous la charge P;
E, le coefficient d'élasticité de l'acier employé pour la lame.

A la réception, les ressorts sont d'abord examinés au point de vue des dimensions, de la forme et de l'aspect extérieur et seuls ceux qui répondent aux prescriptions y relatives sont soumis aux épreuves de charge; ils ne peuvent accuser une augmentation de flèche permanente supérieure à 1 p. c. de la flèche initiale.

La hauteur de flèche donnée par les plans a été calculée en admettant un coefficient d'élasticité de E = 20,000.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

BELGIQUE.

Chemins de fer de l'État.

PRESCRIPTIONS RELATIVES A LA MISE EN ŒUVRE DES RESSORTS ET CONDITIONS IMPOSÉES POUR LA RÉCEPTION DES RESSORTS MONTÉS.

1° *Epreuves de réception des aciers fondus en feuilles pour ressorts.*

Désignation des qualités.	ESSAIS DE TRACTION. Résistance minimum en kilogrammes par millim. carré dans le sens du laminage.	ESSAIS DE TRACTION. Allongement minimum sur 200 millim. dans le sens du laminage.	ESSAIS A CHAUD.	ESSAIS AU CHOC.	DISPOSITIONS COMPLÉMENTAIRES.
Acier fondu en feuilles pour ressorts.	70 kilog.	12 p. c.	L'acier prendra parfaitement la trempe.	Placé sur deux appuis istants de 25 centimètres, un échantillon d'environ 40 centimètres de longueur trempé et recuit au bois flambant, devra pouvoir supporter, sans rupture ni crique, le choc d'un mouton de 50 kilogrammes, tombant d'une hauteur H donnée par la formule $H = \frac{be^2}{43}$, b étant la largeur en millimètres, e l'épaisseur en millimètres, H la hauteur de chute en millimètres.	L'acier sera dur et de premier choix. Chaque barre devra être frappée à chaud à l'une des extrémités du numéro de la coulée dont elle provient. A la réception, les barres seront groupées par séries de 50 pièces de même coulée ; dans chaque série on choisira une barre sur laquelle on fera un essai de traction et un essai de choc. La barrette à soumettre à l'épreuve de traction sera complètement recuite.

2° *Epreuves de réception des ressorts à lame.*

Les ressorts seront en acier fondu de premier choix, répondant aux conditions prescrites ci-dessus pour l'acier fondu en feuilles pour ressorts.

Par séries de 50 pièces, il sera prélevé un ressort dont les feuilles seront soumises aux essais prévus pour cet acier.

Les lames devront présenter une surface unie, exempte de pailles, stries ou tout autre défaut. Tous les ressorts devront être parfaitement droits dans le sens transversal, sans aucun gauche, et les lames devront porter l'une sur l'autre dans toute leur étendue et sans aucune tolérance.

Après enlèvement du rivet d'assemblage et du collier, les lames des ressorts cintrés devront porter les unes sur les autres par leurs extrémités. Le jeu entre les feuilles, mesuré au milieu du ressort, devra décroître uniformément à partir de la maîtresse feuille.

Le plus grand intervalle entre les deux premières feuilles ne pourra être supérieur à 8 millimètres par mètre de longueur de la corde.

Le ressort démonté pour vérifier le bon étayement des feuilles servira également à effectuer les divers essais prévus pour déterminer la qualité de l'acier.

Toutes les maîtresses feuilles cintrées seront soumises à des flexions vivement réitérées qui les amèneront à la ligne droite. Elles résisteront à ces flexions sans rupture ni déformation. Après ces flexions, elle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

devront avoir conservé leur flèche. Il sera toutefois accordé une tolérance de 2 millimètres en plus ou en moins sur la cote du plan. Elles devront fléchir uniformément, c'est-à-dire subir des déformations proportionnelles aux charges.

Les ressorts seront en outre soumis à des flexions vivement réitérées, dont les flèches sont données par le tableau ci-dessous; les flèches sont considérées comme positives lorsqu'elles vont en décroissant vers la ligne droite, et comme négatives lorsqu'elles croissent au delà de la ligne droite.

Désignation des ressorts.	Longueur développée du ressort.	Nombre et dimensions des feuilles.	Flèche de fabrication.	Flèche à laquelle le ressort sera amené par l'essai de flexion.
			Millimètres.	Millimètres.
Ressort extérieur pour locomotive à marchandises à 6 roues couplées (type 29).	0.900	13 feuilles de 100 × 10	61	0 (ligne droite).
Ressort intérieur pour la même machine	0.660	5 — de 100 × 8	30	— 11
Ressort extérieur pour locomotives (types 6, 12 et 25).	1.500	23 feuilles de 100 × 10	0	— 170
Ressort intérieur pour locomotive (type 6)	1.500	16 — de 80 × 8	90	— 120
Ressort intérieur pour locomotive (type 12).	1.500	16 — de 80 × 8	45	— 165
Ressort intérieur pour locomotive (type 25).	0.780	6 — de 100 × 8	30	— 27
Ressorts de locomotives à voyageurs pour trains légers (type 11).	1.210	14 feuilles de 100 × 10	0	— 108

Après ces flexions, les ressorts doivent avoir conservé leur flèche de fabrication, avec une tolérance en plus ou en moins de 3 millimètres.

Dans le cas où le ressort doit être muni d'un collier, celui-ci sera en fer forgé, d'une barre, de façon à n'avoir qu'une seule soudure; cette soudure devra se faire au milieu de la face supérieure du collier; les coins de ce collier seront vifs, de section pleine, et obtenus en faisant venir sur ladite barre, à l'endroit des plis, une surépaisseur qui sera obtenue par martelage et non par soudure.

Le collier sera appliqué à chaud et aura un serrage suffisant pour ne pas se déplacer sous l'action d'un marteau à main, du poids d'environ 1 kilogramme.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

Southern Pacific Company.

Les ressorts complets sont essayés quand ils sont neufs ou qu'ils ont été réparés. L'application de la charge-limite ne doit pas laisser une déflexion permanente excédant $^1/_{16}$ de pouce (1.59 millimètre).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FRANCE.

Chemins de fer de l'État.

Les ressorts de suspension doivent provenir des usines de premier ordre pour ce genre de fabrication. Les aciers pour ressorts à lames devront fournir les résistances et les allongements ci-après, savoir :

	Charge minimum de rupture.	Allongement minimum correspondant.
Acier non trempé	80 kilog.	15 p. c.
— trempé et recuit	140 —	7 —

Toutes les barres provenant d'une même coulée sont soumises à l'agent des Chemins de fer de l'État avant tout travail. Ces barres sont visitées avec soin, elles ne doivent présenter aucun défaut de laminage, pailles, criques, etc., pouvant nuire à leur aspect ou à leur solidité; les dimensions, le profil sont exactement ceux indiqués par les dessins.

Les barres ayant été coupées à la longueur nécessaire, les extrémités des feuilles sont amincies pour arriver au profil indiqué sur les dessins; les barres sont ensuite ébarbées et assemblées parfaitement. Il sera néanmoins accordé pour la fabrication une tolérance de $^2/_{10}$ de millimètre en plus sur l'épaisseur et la largeur des feuilles (rien en moins) et de 1.5 millimètre par mètre en plus ou en moins sur la longueur des feuilles.

Les lames des ressorts, en dehors des brides, seront réunies par un rivet en acier.

Le trou destiné au passage du rivet d'assemblage sera percé avec soin, à la mèche, exactement au milieu de la largeur et de la longuenr de chaque feuille, et rigoureusement à la cote du rivet.

La fabrication doit être conduite avec assez de soin pour que tous les ressorts de même type puissent être substitués les uns aux autres, et pour que toutes les parties du ressort puissent être substituées aux parties similaires des autres ressorts semblables; tous les ressorts seront d'une régularité parfaite.

Essai des barres.

La ténacité, l'allongement et l'élasticité du métal seront constatés par trois épreuves à froid : deux à la traction et une à la flexion. Sur chaque série de vingt-cinq barres, il sera prélevé une barre pour ces essais qui se feront de la manière suivante :

Epreuves à la traction. — Deux éprouvettes seront essayées à la traction, l'une trempée et recuite comme les lames de ressorts et l'autre non trempée. Ces éprouvettes devront donner les résultats indiqués au tableau des matières.

Epreuves à la flexion. — On prendra dans la barre prélevée un morceau de 1 mètre de longueur que l'on cintrera en lui donnant une flèche de 100 millimètres.

Ce morceau sera ensuite trempé et recuit dans les meilleures conditions d'un ressort fabriqué, puis posé par ses extrémités sur des supports à chariots et soumis en son milieu à l'action d'un poids $P = \frac{4\,M\alpha}{eL}$ (1), suffisant pour déterminer des effets de flexion correspondant à un allongement de fibres de sept millimètres et demi (0^m0075) par mètre.

(1) Voir note (1) page suivante.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La rainure de l'acier devra se trouver sur la face concave, de façon que la languette saillante travaille toujours à la compression.

Après cette première flexion, la perte de flèche permanente ne devra pas être supérieure à $^1/_{100^e}$ de la perte de flèche correspondant à l'allongement exigé.

Chargée de nouveau de la même quantité et déchargée ensuite, la barre ne devra plus accuser de nouvelle perte de flèche.

La charge sera ensuite augmentée progressivement jusqu'à la rupture, qui ne devra avoir lieu que sous un effort au moins double de la charge d'épreuve.

La flèche f donnant l'allongement d'une barre isolée sera déterminée par la formule suivante :

$$f = \frac{2}{3} \times \frac{L^2 a}{e}.$$

Essai des ressorts complets.

Tous les ressorts sans exception seront soumis au travail de flexion nécessaire pour épuiser la perte de flèche due au rapprochement des lames, et pour que ces ressorts ne présentent plus, dans les épreuves ci-après, aucune perte permanente de flèche supérieure à la limite fixée.

Première épreuve. — Le ressort, posé par ses extrémités sur des supports à chariot permettant son redressement pendant la flexion est soumis à un poids $P = \frac{4nMa}{eL}$ calculé de manière à produire par le redressement un allongement de fibres de six millimètres et demi (0^m0065) par mètre à la surface des lames.

Chaque ressort devra rester sous l'action de ce poids pendant cinq minutes au moins.

Première perte de flèche. — Cette charge enlevée, la perte de flèche ne devra pas excéder deux pour cent (2 p. c.) de la flèche correspondant à l'application de la charge d'essai.

Deuxième épreuve. — Replacé sous l'appareil, le ressort est soumis aux charges partielles correspondant successivement à un cinquième ($^1/_5$), deux cinquièmes ($^2/_5$), quatre cinquièmes ($^4/_5$) et à la totalité de la flexion d'essai de la première épreuve.

Les pertes de flèches dues à ces charges devront être sensiblement proportionnelles.

Deuxième perte de flèche. — Après cette seconde épreuve, la perte de flèche ne devra pas excéder un pour cent (1 p. c.) de la flèche correspondant à la charge d'essai.

Troisième épreuve. — Rechargé d'un poids égal aux quatre cinquièmes ($^4/_5$) de celui qui aura produit

---

(1) Dans les formules relatives aux ressorts à lames, les lettres ont la signification suivante :

P = charge à appliquer au milieu des ressorts ou des feuilles pour les essais ;
L = demi-longueur développée du ressort ou des feuilles détachées entre les points d'appui ;
L′ = demi-longueur de la partie prismatique de la dernière feuille ;
n = nombre total de feuilles composant le ressort ;
n^1 = nombre de feuilles de longueur 2 L et non amincies ;
e = épaisseur des feuilles ;
α = allongement de l'acier ;
f = perte de flèche sous la tension P ;
M = moment d'élasticité $= \frac{Ea e^3}{12}$;
E = coefficient d'élasticité = 20,000,000,000 ;
a = largeur des feuilles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la flexion d'essai, on imprimera au ressort au moins cinquante (50) oscillations dont les amplitudes seront réglées, par une cale, aux limites de la flexion d'essai.

Troisième perte de flèche. — Si le ressort déchargé a subi une troisième perte de flèche, quelle qu'elle soit, il sera refusé.

Les flexions d'épreuve seront calculées, pour les ressorts montés, par la formule suivante :

$$f = \frac{2naL^2}{3e}\left(\frac{2L^3 + (L - L')^3}{2nL^3 + n^4 (L - L')^3}\right).$$

En outre, sur chaque lot de 50 ou fraction de 50, un ressort sera soumis à une nouvelle charge d'essai P′ égale à la charge P augmentée de moitié (P′ = 1.5 P). Sous cette charge, le ressort devra seulement se déformer sans qu'il se produise de rupture.

Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE DES RESSORTS EN ACIER A LAMES PARALLÈLES POUR MACHINES, TENDERS, VOITURES ET WAGONS, ET DES BARRES EN ACIER POUR LAMES DE RESSORTS.

Objet du cahier des charges.

ARTICLE PREMIER. — Le présent cahier des charges a pour objet la fourniture des ressorts en acier à lames parallèles pour machines, tenders, voitures et wagons, et des barres en acier pour lames de ressorts.

Définition de l'entreprise.

ART. 2. — Moyennant les prix indiqués sur la soumission ou la commande, le fournisseur est chargé, à ses frais, risques et périls :

De la fabrication des ressorts et des barres dans les conditions définies par les articles ci-après;

De l'expédition, du transport et de la livraison des ressorts et des barres au lieu de livraison défini à l'article 13;

De la construction de tous les appareils et gabarits nécessaires pour la réception et les épreuves, et des dépenses de toute nature relatives à ces opérations.

Description générale des ressorts.

ART. 3. — La forme, les dimensions et les conditions d'établissement des ressorts sont définies, pour chaque type, par les dessins remis au fournisseur.

Les lames des ressorts bridés sont réunies par un rivet fraisé en fer de (8) huit millimètres de diamètre.

Les lames des ressorts non bridés sont réunies par un rivet à tête bouterollée en fer de (8) huit millimètres de diamètre.

Les ressorts à rainures et languettes sont munis d'une cale à rainure en fer, placée sous la plus petite lame et réunie aux lames par le rivet commun en fer de (8) huit millimètres de diamètre.

On donne le nom de garniture de ressorts à l'ensemble des ressorts nécessaires pour constituer le système de choc et de traction et la suspension d'un véhicule quelconque : machine, tender, voiture ou wagon. Lorsque les ressorts sont commandés par garnitures complètes, des nomenclatures indiquent le type de chacun des ressorts composant les garnitures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dessins.

Art. 4. — Le fournisseur doit se conformer exactement aux indications qui précèdent, ainsi qu'aux dessins d'ensemble et de détails et aux nomenclatures qui lui sont remis par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée; néanmoins, avant de commencer l'exécution, il doit revoir et vérifier tous ces dessins et nomenclatures pour s'assurer qu'il n'y a pas d'erreurs sur les dispositions ou les cotes de détails. En cas de difficulté, il s'adresse à l'ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie, qui donne la suite convenable.

Les épures, grandeur d'exécution, établies dans les ateliers du fournisseur doivent être approuvées, avant l'exécution, par les agents de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Droit de modification.

La Compagnie se réserve le droit de modifier la forme et les dimensions des ressorts pendant l'exécution du marché, sauf à prendre livraison des ressorts déjà exécutés ou seulement ébauchés sur les dessins antérieurs; le fournisseur exécute, sur le nouveau modèle arrêté, les ressorts restant à fabriquer, sans aucune indemnité; il lui est tenu compte seulement, soit en plus, soit en moins, de la différence de valeur, estimée au prix de revient, entre les ressorts anciens et les ressorts nouveaux.

Poids normaux.

Art. 5. — Les poids normaux des divers ressorts et des barres pour lames de ressorts sont indiqués sur les dessins remis au fournisseur par l'ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Il est accordé sur ces poids normaux une tolérance de (3) trois pour cent en plus ou en moins.

Qualité des matières.

Art. 6. — Les barres pour lames de ressorts doivent être, suivant les indications des soumissions ou des commandes, en acier fondu au creuset ou en acier fondu sur sole par le procédé Martin-Siemens ou par le procédé Martin-Pernot. Les aciers doivent être fabriqués avec des matières provenant exclusivement des minerais magnétiques de Mokta-el-Hadid, des hématites de la Tafna, d'Espagne ou des Pyrénées, des minerais spathiques des Pyrénées ou des Alpes, des oligistes de l'île d'Elbe, etc., ou de tous autres minerais similaires donnant des produits d'une qualité reconnue équivalente. L'emploi des produits déphosphorés est formellement interdit. Les lingots sont coulés spécialement en vue de la confection des lames de ressorts; ils sont triés avec soin, pièce par pièce, et classés par numéros de dureté; on n'emploie que les numéros dont l'acier est le plus convenable pour le travail des ressorts.

Les rivets doivent être en fer fin de première qualité, dit « fer fin au bois ».

Conditions de fabrication.

Art. 7. — Les barres en acier pour lames de ressorts doivent être laminées avec le plus grand soin; les sections des barres laminées sont exactement conformes, pour la forme et les dimensions, aux indications des dessins; elles ne présentent aucune crique, ni autre défaut pouvant nuire à leur aspect ou à leur résistance.

Les feuilles, coupées à la longueur nécessaire, sont étirées au laminoir excentrique. Les bouts amincis ainsi obtenus doivent avoir rigoureusement, en chaque point de leur longueur, l'épaisseur correspondante indiquée sur les dessins.

Les rainures, les languettes, les étoquiaux et les entailles sont établis rigoureusement dans la forme et suivant la position indiquées sur les dessins.

Les bavures sont enlevées soigneusement à la meule.

Le trou de chaque lame de ressort destiné au passage du rivet est percé avec soin, rigoureusement à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

coté du rivet, au milieu de la longueur et de la largeur de la feuille. Le trou des rivets d'assemblage de tous les ressorts est fait au foret; il est expressément défendu de le faire au poinçon.

L'étagement, lors de l'assemblage provisoire du ressort, doit être d'une régularité parfaite.

La courbure est donnée aux lames du ressort au moyen d'une machine à cintrer et suivant des calibres établis à cet effet.

Tous les ressorts de même espèce sont parfaitement identiques, de telle sorte que les feuilles de même rang puissent être substituées l'une à l'autre sans aucun ajustage.

Le chauffage des lames pour la trempe ou le recuit a lieu dans un four.

Les ressorts sont construits avec une flèche de fabrication supérieure à la flèche indiquée sur les dessins, de la quantité utile pour compenser la perte initiale de flèche nécessaire pour faire joindre les lames.

Le fournisseur les soumet au travail de flexion nécessaire pour épuiser la perte de flèche due au rapprochement des lames et pour que les ressorts ne présentent plus, dans les épreuves indiquées à l'article 8 ci-après, aucune autre perte permanente de flèche.

Épreuves.

ART. 8. — Toutes les barres, qu'elles soient destinées à être livrées à l'état de barres, ou qu'elles soient préparées en vue d'une commande de ressorts, doivent satisfaire aux épreuves indiquées ci-après. Les ressorts une fois fabriqués subissent d'ailleurs d'autres épreuves indépendantes de celles qu'ont subies les barres destinées à leur confection.

Épreuves des barres.

Les barres d'acier pour lames de ressorts présentées à la réception sont partagées en lots de (1,000) mille kilogrammes. Sur chaque lot, les agents chargés de la réception prélèvent une barre, à leur choix, dans laquelle ils découpent une longueur de (1) un mètre qui est soumise à l'épreuve suivante :

Limite d'élasticité.

La barre de (1) un mètre est cintrée à chaud de manière à présenter une flèche supérieure de (40) quarante millimètres à la flèche indiquée au tableau ci-dessous :

ÉPAISSEURS DES BARRES.	FLÈCHES.
(8) huit millimètres.	(142) cent quarante-deux millimètres.
(9) neuf —	(125) cent vingt-cinq —
(10) dix —	(113) cent treize —
(11) onze —	(103) cent trois —
(12) douze —	(94) quatre-vingt-quatorze —
(13) treize —	(87) quatre-vingt-sept —
(14) quatorze —	(81) quatre-vingt-un —
(15) quinze —	(76) soixante-seize —
(16) seize —	(71) soixante-onze —
(17) dix-sept —	(67) soixante-sept —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les flèches indiquées dans ce tableau représentent les flexions qu'il faudrait faire subir aux barres pour que les fibres, dans leur partie la plus fatiguée, aient un allongement proportionnel de 0.0068) soixante-huit dix millièmes et sont calculées en partant de la formule

$$\alpha = \frac{6he}{1{,}000{,}000}$$

dans laquelle :

α représente l'allongement proportionnel ;
h représente la flexion exprimée en millimètres ;
e représente l'épaisseur de la barre exprimée en millimètres,

et y faisant :

$$\alpha = 0.0068.$$

La barre ainsi cintrée est trempée et recuite d'après les procédés adoptés par l'usine pour la fabrication des ressorts.

On réduit ensuite la flèche de la barre de façon qu'elle ne soit plus supérieure que de (10) dix millimètres à la flèche indiquée au tableau ci-avant ; cette opération se fait au marteau d'abord, puis par flexion, soit au levier, soit à la machine à essayer, mais sans jamais dépasser le redressement.

La barre ainsi préparée est soumise à l'essai préalable : à cet effet, elle est posée par ses extrémités sur deux appuis disposés de telle sorte qu'au redressement ou à la contreflexion ses extrémités ne portent pas sur plus de (50) cinquante millimètres, et il lui est appliqué, en son milieu, un effort suffisant pour produire le redressement complet moins (10) dix millimètres. Elle est ensuite déchargée, et la flèche exactement relevée après cet essai est prise comme flèche de fabrication.

Après cet essai préalable, la barre reposant toujours sur les deux appuis est soumise à des charges progressives, variant entre elles de quantités décroissantes au fur et à mesure qu'on s'approche de la limite d'élasticité.

Chaque charge est maintenue pendant trois minutes après lesquelles on enlève la charge et on mesure la perte de flèche permanente. On considère la limite d'élasticité comme atteinte, lorsque la perte de flèche permanente atteint (0.0005) cinq dixièmes de millimètre.

Au moyen de la formule

$$\alpha = \frac{6he_1}{1{,}000{,}000},$$

on calcule la valeur de α correspondant à la charge-limite d'élasticité, en y remplaçant h par la perte de flèche totale observée pour cette charge (perte comptée en partant de la flèche de fabrication) et e_1 par l'épaisseur réelle (1) de la barre ; cet allongement proportionnel doit être au moins égal à (0.0068) soixante-huit dix millièmes.

La perte de flèche observée ne doit d'ailleurs pas différer de plus de (6) six pour cent en plus ou en moins de celle que l'on calcule par la formule

$$h = \frac{4QL^3}{Eae^3},$$

en y faisant :

$$E = 20{,}000$$

et en y remplaçant :

Q par la moitié de la charge en kilogrammes ;
L par la moitié de la longueur réelle en millimètres (soit 500) ;
a par la largeur en millimètres indiquée par la commande (2) ;
e par l'épaisseur en millimètres indiquée par la commande (2).

---

(1) e_1 est l'épaisseur réelle de la barre qui peut différer légèrement de l'épaisseur e spécifiée par la commande, pourvu que les limites indiquées pour les tolérances à l'article 5 soient respectées.

(2) a et e sont les dimensions spécifiées par la commande et dont les dimensions réelles a_1 et e_1 peuvent différer légèrement, pourvu que les limites pour les tolérances indiquées à l'article 5 soient respectées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Essai de rupture.

L'essai est ensuite poursuivi jusqu'à la rupture, par l'addition de charges successives.

La rupture ne doit pas avoir lieu avant que la flexion totale ait atteint :

($^5/_3$) cinq tiers de la flèche de fabrication, pour les barres ayant au plus (11) onze millimètres d'épaisseur ;

($^3/_2$) trois demis de la flèche de fabrication, pour les barres ayant plus de (11) onze millimètres d'épaisseur.

La fatigue R par millimètre carré au moment de la rupture, calculée par la formule

$$R = \frac{6QL}{a_1 e_1^2},$$

en y remplaçant :

Q par la moitié de la charge en kilogrammes qui a produit la rupture,

L par la moitié de la longueur réelle exprimée en millimètres (soit 500),

a_1 et e_1 par la largeur et l'épaisseur réelles de la barre (1), exprimées en millimètres, doit être supérieure à (200) deux cents kilogrammes.

Essai au choc.

Un morceau de (200) deux cents millimètres de longueur de chacune des barres soumises aux épreuves est découpé complètement à froid, puis trempé et recuit dans les conditions ordinaires du travail des ressorts. Ce morceau, posé sur deux appuis distants de (100) cent millimètres reposant eux-mêmes sur une chabotte non élastique, est soumis en son milieu au choc d'un mouton guidé de (40) quarante kilogrammes.

La hauteur de chute est déterminée par la formule

$$H = \frac{S}{4},$$

H désignant la hauteur de chute en centimètres et S la section de la barre en millimètres carrés.

Chaque morceau doit supporter, sans crique ni rupture, (3) trois coups de mouton sur une face et (3) trois coups sur l'autre.

Épreuves des ressorts.

Tous les ressorts sans exception sont soumis, à l'atelier du fournisseur, à trois épreuves, deux par un poids, l'autre par des oscillations ; une quatrième épreuve de surcharge statique est ensuite faite, s'il y a lieu, sur un ressort de chaque lot présenté.

Dans chacune de ces épreuves, le ressort est posé, par ses deux extrémités, sur des supports à chariot qui permettent l'allongement du ressort pendant sa flexion.

Première épreuve. — Les ressorts, placés comme il vient d'être dit, sont chargés, en leur milieu, d'un poids calculé de manière à produire à la surface des lames, dans la section la plus fatiguée, un allongement proportionnel des fibres de (0.006) six millièmes, s'il s'agit de ressorts de suspension et de (0.0058) cinquante-huit dix millièmes s'il s'agit de ressorts de choc ou de traction, allongements correspondant à des fatigues de (120) cent et vingt kilogrammes ou de (116) cent et seize kilogrammes par millimètre carré.

---

(1) a_1 et e_1 sont les dimensions réelles de la barre qui peuvent différer légèrement des dimensions a et e spécifiées par la commande, pourvu que les limites pour les tolérances indiquées à l'article 5 soient respectées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On calcule ce poids par la formule

$$2Q = \frac{4nM}{eL}\alpha. \qquad (I)$$

dans laquelle :

$2Q$ est la charge supportée par le ressort, en kilogrammes;
n le nombre de lames;
M le moment d'élasticité des lames, $M = \frac{Eae^3}{12}$;
a la largeur des lames en millimètres;
e l'épaisseur des lames en millimètres;
E le coefficient d'élasticité de l'acier;
L la demi-longueur de la maîtresse lame, en millimètres;
α l'allongement proportionnel à la surface des lames dans la section la plus fatiguée;

en y faisant :

$E = 20{,}000$;
$\alpha = 0.0060$, s'il s'agit de ressorts de suspension;
$\alpha = 0.0058$, s'il s'agit de ressorts de choc ou de traction,

et en y remplaçant n par sa valeur et a, e, L, par les dimensions indiquées à la commande.

Chaque ressort doit rester sous l'action de ce poids pendant (5) cinq minutes au moins sans qu'il en résulte aucune déformation permanente.

Deuxième épreuve. — On calcule de même par la formule (I), en partant du coefficient d'élasticité de 20,000 et des dimensions de commande, la charge qui, appliquée au milieu du ressort, produirait à la surface des lames, dans la section la plus fatiguée, un allongement proportionnel des fibres α égal à (0.00300) trois cent cent millièmes correspondant à une fatigue de (60) soixante kilogrammes par millimètre carré, s'il s'agit de ressorts de suspension, et à (0.00290) deux cent quatre-vingt-dix cent millièmes, correspondant à une fatigue de (58) cinquante-huit kilogrammes par millimètre carré, s'il s'agit de ressorts de choc ou de traction.

Cette charge étant désignée sous le titre de charge normale, on soumet le ressort successivement à (3) trois charges égales :

La première aux ($^4/_5$) quatre cinquièmes de la charge normale;
La deuxième à la charge normale;
La troisième aux ($^6/_5$) six cinquièmes de la charge normale,

et on mesure les flèches correspondant à chacune de ces charges. La flèche restante sous la charge normale ne doit pas différer en moins de la flèche restante théorique de plus de (5) cinq millimètres, et en plus de cette flèche, d'un nombre de millimètres T donné par la formule

$$T = 2 + \frac{3c}{1{,}000} + \frac{2.5\,(F - f)}{100},$$

dans laquelle :

c désigne en millimètres la corde de fabrication du ressort;
F — la flèche de fabrication;
f — la flèche théorique sous charge normale.

La différence entre la flèche restante sous la troisième charge et la flèche restante sous la première charge ne doit pas différer de plus de (3) trois pour cent en plus ou en moins de la différence entre les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

flèches restantes théoriques correspondant à ces charges. On calcule d'ailleurs les flèches théoriques par la formule ci-après (1) :

$$f = \frac{L^2}{2r} - \frac{Q}{M}\left[\frac{L^3}{3n} + A(n-n')^3 l^3\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (II)$$

dans laquelle :

Q, L, M, n désignent les mêmes quantités que dans la formule (I);
f est la flèche restante en millimètres;
r le rayon de fabrication du ressort en millimètres;
n' le nombre de feuilles qui doublent la maîtresse lame;
l la longueur d'un étagement en millimètres;
A un coefficient qui ne dépend que de n et de n', et dont la valeur est égale à :

$$A = \frac{1}{2(n-n')} - \frac{n'}{(n-n')^2} - \frac{n'^2}{(n-n')^3} \text{ log. nat. } \frac{n'}{n} - \frac{1}{3n},$$

en y faisant :

$$E = 20{,}000,$$

et en y remplaçant Q, n, n' par leurs valeurs, L, r, a, e par les dimensions indiquées à la commande.

Troisième épreuve. — Après avoir réduit de (25) vingt-cinq pour cent la charge de la première épreuve, on imprime à la charge ainsi réduite un mouvement d'oscillation verticale dont l'amplitude est telle que la flexion du ressort, dans chaque oscillation, soit au moins égale à la flexion sous charge obtenue pendant cette première épreuve.

On imprime ainsi à la charge au moins (50) cinquante oscillations.

Après cette troisième épreuve, comme après la première, le ressort doit reprendre exactement sa flèche primitive de fabrication, sans aucune diminution permanente.

Pour les ressorts à rouleaux, chaque ressort est chargé, en son milieu, d'un poids égal à sa charge statique maximum indiquée par le dessin et l'on mesure, au moyen d'un gabarit à deux tétons, l'écartement des deux rouleaux qui doit être exactement conforme à la cote du dessin.

On rebute tous les ressorts qui, sous la charge statique, présentent des cotes de flèches ou d'écartement des rouleaux autres que celles indiquées sur les dessins, ou qui ne reprennent pas exactement,

---

(1) Cette formule se ramène aisément à la formule :

$$i = \frac{Q}{6nM}\left[2L^3 + (nl)^3\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (VII)$$

indiquée par M. Philipps à la page 214 de son mémoire sur les ressorts en acier, qui a été publié dans les ***Annales des mines***, 5e série, t. Ier, 1852.

Il suffit d'y faire $n' = 0$, c'est-à-dire de supposer qu'aucune lame ne double la maîtresse lame, comme dans le cas des ressorts considérés par M. Philipps; on a en effet, alors :

$$A = \frac{1}{6n}$$

et, par suite :

$$f = \frac{L^2}{2r} - \frac{Q}{6nM}\left[2L^3 + (nl)^3\right]$$

En admettant, comme l'a fait M. Philipps, que la flèche de fabrication du ressort est sensiblement égale à $\frac{L^2}{2r}$, la flexion du ressort est égale à $\frac{L^2}{2r} - f$ et a pour valeur :

$$\frac{Q}{6nM}\left[2L^3 + (nl)^3\right]$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

après chaque épreuve, la flèche primitive de fabrication, ou enfin qui présentent, après les épreuves, des traces quelconques de détérioration.

Quatrième épreuve. — Lorsque les trois épreuves dont il vient d'être question sont terminées, les agents chargés de la réception choisissent à leur gré un ressort dans chaque lot de (200) deux cents ressorts présentés à la réception et lui font subir l'épreuve suivante :

Le ressort est chargé, en son milieu, d'un poids égal aux ($^3/_2$) trois demis du poids calculé comme il est indiqué pour la première épreuve. Il reste sous l'action de ce poids pendant cinq minutes au moins. La diminution de flèche qui résulte de l'action de ce poids peut être en partie permanente, mais aucune lame ne doit rompre ni présenter aucun commencement de crique.

Si le ressort essayé ne satisfait pas à cette épreuve, le lot dont il provient peut être refusé en entier.

Cette dernière épreuve pourra être supprimée, lorsque les ressorts présentés à la réception proviendront d'une fabrication continuée sans interruption, en allure régulière telle que la bonne qualité puisse être considérée comme parfaitement assurée. L'ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée est seul juge de l'application de la présente exception.

Pour les ressorts à rouleaux, dits « à pincettes », les quatre épreuves précédentes sont faites sur les demi-ressorts séparés. Il est procédé ensuite à une épreuve sur les ressorts assemblés.

Les deux demi-ressorts à rouleaux sont réunis au moyen de boulons et de rondelles et essayés sous la charge normale indiquée à la deuxième épreuve ci-dessus. La flèche restante des deux ressorts réunis doit être la somme de celles des deux demi-ressorts essayés séparément.

Objets brevetés.

ART. 9. — Le fournisseur garantit la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée contre toutes les réclamations de porteurs de brevets relatifs à la forme ou à la fabrication des ressorts ou barres ; il est chargé de se pourvoir, s'il y a lieu, auprès des porteurs de brevets d'invention pour en obtenir les autorisations nécessaires et leur payer, sans répétition contre la Compagnie, tous droits et redevances légitimement dus.

Surveillance des travaux.

ART. 10. — La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée se réserve le droit de faire surveiller les travaux par un ou plusieurs agents de son choix ; le fournisseur est tenu de prévenir l'ingénieur de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée chargé du contrôle des travaux extérieurs du jour où commence la préparation des matières ou la fabrication des pièces, afin qu'il puisse faire suivre les travaux. Les agents de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée ont, à cet effet, la libre entrée des ateliers du fournisseur ou des autres ateliers dans lesquels s'exécutent les travaux de détails ou d'ensemble ; tous les dessins remis par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée au fournisseur sont tenus par celui-ci à leur disposition. Ces agents peuvent surveiller la fabrication et procéder à toutes les épreuves et expériences qui leur paraissent nécessaires pour s'assurer de la bonne qualité des matières et de la bonne exécution des pièces. Ils peuvent faire rejeter toutes celles dont la qualité ou l'exécution serait vicieuse. L'exercice de ce droit de surveillance ne peut, en aucune façon, dispenser le fournisseur des réceptions provisoire et définitive.

Les pièces reçues sont poinçonnées à la marque de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. Les pièces rebutées à un moment quelconque de la fabrication sont poinçonnées d'une marque spéciale indélébile et mises de côté pour être représentées aux agents de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée à leur première réquisition, à moins que le fournisseur ne préfère les faire casser immédiatement en présence de ces agents.

Le contrôle à l'usine, les épreuves et autres précautions prescrites ou à prescrire ne diminuent en rien la responsabilité du fournisseur.

Réception provisoire.

ART. 11. — La réception provisoire des ressorts et des barres a lieu dans les usines ou ateliers de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fabrication, par les soins de l'ingénieur de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée chargé du contrôle des travaux extérieurs.

Pesage provisoire.

Un pesage provisoire des ressorts et des barres est fait à l'usine, en présence des agents de la compagnie ; le poids reconnu est constaté sur le procès-verbal de réception provisoire.

Époques des livraisons.

Art. 12. — Les époques des livraisons sont fixées, pour chaque fourniture, par la soumission ou la commande relative à cette fourniture. Le fournisseur est invité à se bien rendre compte, à la réception de la soumission ou de la commande, des époques de livraison qui sont indiquées ; l'acceptation de la soumission ou de la commande emporte l'acceptation des délais de livraison.

Indemnité pour retards.

En cas de retard sur les époques fixées pour les livraisons, il est retenu au fournisseur, à titre d'indemnité et sans préjudice de tous dommages et intérêts, (1) un pour mille, pour chaque jour de retard, de la valeur des ressorts ou barres dont la fourniture a été retardée.

L'indemnité ci-dessus stipulée est due à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée par le seul fait du retard, sans qu'il soit besoin de notifier au fournisseur aucune mise en demeure, ni acte quelconque extrajudiciaire. Les dommages et intérêts ne sont dus à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée que si elle a éprouvé un tort réel. De plus, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée se réserve le droit, si elle le juge convenable, de retirer au fournisseur, en cas de retard, tout ou partie de la fourniture des ressorts ou barres restant à livrer par lui.

Lorsqu'il s'agit de commandes de garnitures de ressorts pour machines, tenders, voitures ou wagons, les livraisons sont effectuées par garnitures complètes, sans que la livraison en retard de certains ressorts d'une garniture puisse être compensée par la livraison en avance d'autres ressorts d'une autre garniture.

Lieu de livraison.

Art. 13. — Les ressorts et les barres sont livrés par le fournisseur, et à ses frais, chargés sur wagons dans l'une des gares du réseau de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée qui lui est désignée par la soumission ou la commande.

Transports.

L'expédition et le transport des ressorts et des barres, depuis les ateliers du fournisseur jusqu'au lieu de livraison, sont exécutés par les soins, aux frais, risques et périls du fournisseur, tous frais de location de wagons sur embranchements particuliers restant à sa charge et devant être acquittés par lui.

L'expédition et le transport des ressorts et des barres, depuis le lieu de livraison jusqu'au lieu d'emploi ou de dépôt, sont exécutés par les soins de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Réception définitive.

Art. 14. — La réception définitive des ressorts et des barres a lieu à leur arrivée dans les magasins de la Compagnie ou dans les ateliers où ils sont mis en œuvre, par les soins de l'ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie qui peut refuser, ou faire remplacer, aux frais du fournisseur, tous les ressorts ou barres qui ne seraient pas conformes aux prescriptions du présent cahier des charges.

Pesage définitif.

Le pesage définitif est fait par les agents de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée lors de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

réception définitive. Les poids constatés au pesage définitif servent de base pour le payement, lors même qu'ils diffèrent des poids constatés au pesage provisoire.

Payements.

ART. 15. — Les ressorts et les barres reçus définitivement, comme il est dit à l'article 14 ci-dessus, sont payés intégralement au fournisseur dans le courant du mois qui suit la réception définitive, sauf déduction, s'il y a lieu, des sommes dues par le fournisseur pour retards ou rebuts, comme il est dit aux articles 12 et 16.

Quand il s'agit de commandes de garnitures de ressorts, les payements se font par garnitures complètes, et il n'est rien payé au fournisseur pour les ressorts détachés qu'il aurait pu livrer tant qu'il n'a pas complété les garnitures dont ils font partie.

Les payements ont lieu à la caisse centrale de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, à Paris, sur des mandats régulièrement ordonnancés et après que le fournisseur a reçu avis de l'établissement de ces mandats.

Délai de garantie.

ART. 16. — Nonobstant les réceptions provisoire et définitive, les ressorts qui, dans un délai de deux années à partir de la réception définitive, présentent à la pose ou en service des défauts ou des avaries imputables à la fabrication sont rebutés.

Les ressorts rebutés à la pose sont refacturés au fournisseur à leur prix d'achat ; en même temps, la Compagnie avise le fournisseur que les ressorts rebutés sont tenus à sa disposition au point où le rebut a eu lieu, pendant un délai de quinze jours à partir de la date de l'avis. Passé ce délai de quinze jours, la Compagnie garde comme vieilles matières les ressorts rebutés qui n'ont pas été enlevés et les paye au fournisseur à un prix fixé par la soumission ou la commande. Mais, soit que le fournisseur reprenne les ressorts rebutés, soit que la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée les garde comme vieilles matières, le fournisseur doit, dans l'un comme dans l'autre cas, rembourser à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée tous les frais que ces ressorts auront pu occasionner à la Compagnie : manutention, main-d'œuvre et transports, y compris les transports effectués sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée et calculés d'après le tarif commercial le plus avantageux pour le fournisseur.

Les ressorts rebutés en service sont de même refacturés au fournisseur à leur prix d'achat ; mais ils restent la propriété de la Compagnie qui les garde sans avoir rien à payer au fournisseur.

Si les défauts constatés à la pose ou en service indiquent un vice général dans la qualité du métal ou dans la fabrication, la Compagnie a le droit de rebuter tous les ressorts faisant partie de la même fourniture ; ces ressorts sont alors refacturés au fournisseur à leur prix d'achat et il est statué à leur égard comme il vient d'être dit pour les ressorts rebutés à la pose, sans préjudice des dommages et intérêts que la Compagnie se réserve en outre de réclamer au fournisseur, s'il y a lieu.

Interdiction de céder.

ART. 17. — Il est formellement interdit au fournisseur de céder à un autre fournisseur, ou de faire exécuter dans d'autres ateliers que les siens, une partie quelconque des ressorts et des barres à fournir, à moins du consentement exprès et écrit de l'ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Jugement des contestations.

ART. 18. — Les contestations qui pourraient s'élever entre la Compagnie et le fournisseur pour l'exécution des soumissions ou commandes et l'application des clauses du présent cahier des charges seront jugées par le tribunal de commerce de la Seine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enregistrement.

En cas de contestation, les frais d'enregistrement du présent cahier des charges et de la soumission ou de la commande seront à la charge de celle des parties qui succombera dans l'instance.

Chemins de fer de l'Est.

CAHIER DES CHARGES POUR FOURNITURE D'ACIER EN BARRES POUR RESSORTS.

CHAPITRE Ier. — PRESCRIPTIONS SPÉCIALES.

Classification. — Les barres d'acier, destinées à la fabrication des ressorts, sont classées en trois qualités :

AO, qualité courante; AS, qualité supérieure; AE, qualité extra-supérieure.

Indication des commandes. — La qualité demandée, les dimensions et formes des barres sont désignées par les commandes auxquelles sont joints, s'il est besoin, des dessins donnant les tracés des sections.

Sigles de fabrication. — Chaque barre livrée portera à chacune de ses extrémités : le numéro de coulée, les marques du fournisseur, du mois et de l'année de fabrication, ainsi que l'indice de qualité de l'acier : Exemple : 260. PG. 2.98. AO.

Ces marques, faites à chaud et rectifiées à froid s'il est besoin, seront très visibles, bien formées et auront uniformément 8 millimètres de hauteur et 1 millimètre de profondeur.

Conditions de fabrication. — Le métal de chaque qualité doit être fabriqué avec les matières les meilleures pour répondre entièrement aux conditions d'essais fixées au chapitre II.

Aspect extérieur. Laminage. — Les barres doivent être laminées avec le plus grand soin ; les surfaces seront lisses, sans criques, bavures, gales, manque de matière, ou défaut quelconque susceptible d'altérer la résistance du métal et la netteté du profil.

Les nervures et cannelures, si le type en comporte, seront bien profilées et au milieu de la largeur.

Affranchissement des barres. — Les bouts seront cisaillés franchement et non égrenés.

Dressage. — Les barres seront bien dressées dans toute leur étendue.

Calibrage du profil. — Les profils, dimensions et position des nervures ou cannelures, ainsi que les concavités des faces, seront vérifiés aux calibres.

Tolérances sur largeurs et épaisseurs. — Il est admis une tolérance maximum en plus ou en moins de $^1/_2$ millimètre sur les largeurs et de $^2/_{10}$ de millimètre sur les épaisseurs.

Longueur minimum. — La longueur de la plus courte des barres ne devra pas être inférieure à 3 mètres.

Les barres sur lesquelles auront été prélevés les morceaux d'essais pourront être admises si elles n'ont pas moins de 2 mètres.

Poids par mètre courant. — Le poids moyen par mètre courant sera relevé pour chaque type.

CHAPITRE II. — VÉRIFICATIONS ET ESSAIS.

Etat des barres à la présentation en recette. — Les barres de chaque coulée seront présentées séparément, groupées par qualités et échantillons différents, suivant les profils et les sections.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Emplacements des prélèvements. — L'agent réceptionnaire désigne, à son choix, les emplacements des divers prélèvements, assure le repérage de ces derniers avec les barres des lots, assiste au découpage.

Série des essais. — La série des essais se compose, pour chaque qualité, de :

Épreuve de flexion sur métal trempé et recuit dans les conditions des lames du ressort monté.
— au choc — — — — —
— par traction sur métal non trempé mais recuit.

Proportion des essais. —

	Qualité AO.	Qualités AS et AE.
Épreuve de flexion	Une par lot de 75 barres.	Une par lot de 50 barres.
— au choc.	— — de 150 —	— — de 100 —
— par traction	— — de 300 —	— — de 200 —

Chaque coulée doit être représentée, au minimum, par une épreuve à la flexion et une épreuve au choc.

Toute fraction de lot supérieure au quart des quantités de barres ci-dessus peut donner lieu à une série d'essais.

Cisaillage des prélèvements. — Les morceaux pour essais sont prélevés par cisaillage. Si, pendant cette opération, des éclats, fentes ou criques se produisent, toutes les barres de la coulée correspondante devront être recuites et les prélèvements d'essais repris à nouveau.

ESSAIS SUR MÉTAL TREMPÉ ET RECUIT.

1° *Épreuve de flexion.*

Prélèvements. — Sur les barres d'acier des trois qualités AO, AS et AE. Les lames d'essai doivent avoir une longueur exacte de 1 mètre, quelles que soient leurs sections qui seront celles des barres dans lesquelles elles ont été prélevées.

Préparation des lames. — La lame d'essai, dont les bouts seront parfaitement d'équerre, est préalablement chauffée et cintrée sur une flèche de fabrication indiquée au tableau ci-après :

	Flèches de cintrage.
Épaisseurs au-dessous de 10 millimètres	150 millimètres.
— de 10 millimètres inclus à 14 millimètres exclus . .	120 —
— de 14 — — et au-dessus	100 —

Exceptionnellement, pour les lames de 6, 7 et 8 millimètres d'épaisseur, des qualités supérieure et extra-supérieure, les flèches de cintrage seront > 150 millimètres, de façon que la limite de période élastique puisse toujours être relevée avant que la lame sous charge ait dépassé l'horizontale.

Dans le cas d'acier rainé, la face comprenant la nervure devra toujours se trouver à l'extérieur du cintrage (1).

Une fois cintrée, la lame d'essai est trempée et recuite dans les conditions de fabrication du ressort monté. Cette opération sera faite d'après les procédés adoptés par l'usine pour la nature de l'acier présenté.

(1) Le couteau de l'appareil d'essai devra porter une encoche pour le passage de la nervure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Epreuve préalable. — Pendant toute la durée de l'expérience, le point d'application des efforts sera maintenu exactement au milieu de la longueur de la lame dont les extrémités reposeront sur les supports libres de l'appareil d'épreuve, de façon que la portée sur chaque point d'appui ne dépasse pas 50 millimètres au moment de l'aplatissement.

La lame, après complet refroidissement, sera tout d'abord soumise à une charge provoquant une flexion calculée suivant la formule :

$$f_1 = \frac{i_1 L^2}{6 e_1} \text{ (1)}.$$

Voir le tableau suivant :

Épaisseur des lames e_1.	FLEXIONS DE L'ÉPREUVE PRÉALABLE POUR		
	acier AO f_1.	acier AS f_1.	acier AE f_1.
6 millimètres	125 millimètres.	180 millimètres.	208 millimètres.
7 —	107 —	155 —	178 —
8 —	94 —	135 —	156 —
9 —	83 —	120 —	139 —
10 —	75 —	108 —	125 —
11 —	68 —	98 —	114 —
12 —	62 —	90 —	104 —
13 —	58 —	83 —	96 —
14 —	53 —	77 —	89 —
15 —	50 —	72 —	83 —
23 —	33 —	47 —	54 —

(1) Dans cette formule et celles qui suivent, les notations représentent :

f_1 = Flexion que prend la lame sous la charge P_1 (épreuve préalable).

f = Flexion que prend la lame sous la charge P précédant immédiatement celle dont l'application a provoqué une perte de flèche maximum de 1 millimètre (épreuve de flexion proprement dite).

i_1 = Allongement proportionnel (épreuve préalable) fixé à 4.5 millimètres pour l'acier AO, à 6.5 millimètres pour l'acier AS, et à 7.5 millimètres pour l'acier AE.

i = Allongement proportionnel (épreuve de flexion proprement dite), *voir* valeurs ci-après :

L = Longueur développée de la lame d'essai (1 mètre).

P_1 = Charge totale correspondant à la flexion f_1.

P = Charge totale correspondant à la flexion f.

e_1 = Épaisseur de commande de la lame d'essai.

e = Épaisseur moyenne relevée de la lame d'essai.

a = Largeur à la lame d'essai.

C = Charge ou tension par millimètre carré de la fibre extrême à la limite d'élasticité.

E = Coefficient d'élasticité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Après être restée en tension pendant cinq minutes, la lame est rendue libre. La flèche définitive de cintrage est exactement relevée et notée. On procède alors à l'épreuve de flexion proprement dite.

Epreuve de flexion proprement dite. — La lame reposant sur les deux appuis, comme il vient d'être dit, est graduellement chargée à une vitesse uniforme d'environ 500 kilogrammes à la minute, sans arrêt ni suppression de charge, jusqu'à une flexion correspondant à l'allongement proportionnel *i*, minimum fixé pour la qualité de l'acier à livrer. Cette flexion est calculée suivant la formule

$$f = \frac{iL^2}{6e},$$

mais en y remplaçant *i* par l'allongement proportionnel fixé à :

5 millimètres pour l'acier courant AO ;
7 — pour l'acier supérieur AS ;
ou 8 — pour l'acier extra-supérieur AE.

La dernière charge, maintenue pendant une minute, est ensuite enlevée pour vérifier si la lame a conservé exactement sa flèche de cintrage.

La perte de flèche permanente ne doit, en aucun cas, atteindre 1 millimètre.

La lame est ensuite remise en tension sous la charge totale précédente augmentée graduellement (par poids de 100, 50 ou 25 kilogrammes), en enlevant chaque fois la charge pour la vérification de la perte de flèche permanente.

La limite d'élasticité sera considérée comme dépassée lorsque la perte de flèche permanente atteindra 1 millimètre maximum.

Allongement proportionnel « i ». — Cet allongement, dans l'essai décrit ci-dessus, sera calculé et noté au moyen de la formule

$$i = \frac{6ef}{L^2},$$

dans laquelle on prendra pour *f* la valeur de la flexion produite par la charge précédant immédiatement celle dont l'application a provoqué une perte de flèche permanente de 1 millimètre.

Charge ou tension C *de la fibre extrême à la limite d'élasticité et coefficient* E. — Ces deux éléments seront calculés d'après les formules

$$C = \frac{6PL}{4ae^2}; \qquad E = \frac{C}{i}.$$

Les tensions C doivent ressortir au minimum à :

100 kilogrammes par millimètre carré pour l'acier courant AO ;
140 — — — supérieur AS ;
150 — — — extra-supérieur AE.

Le coefficient E est noté à titre de renseignement.

2° *Épreuve au choc.*

Prélèvements. — Sur les aciers des trois qualités AO, AS et AE. Morceau brut d'environ 200 millimètres de longueur, trempé et recuit comme il est dit pour la lame ayant servi à l'essai de flexion ci-dessus.

Epreuve. — Le morceau est placé sur deux appuis distants de 100 millimètres, reposant eux-mêmes sur la chabotte non élastique d'un mouton guidé de 50 kilogrammes. (*Voir* au chapitre III le mode d'essai.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La hauteur de chute sera déterminée par la formule

$$H = \frac{S}{4},$$

S représentant la surface moyenne de la section en millimètres carrés, H la hauteur de chute du mouton en centimètres.

Résultats. — Le morceau doit résister sans crique, ni rupture, pour les qualités AO et AS, à six chocs de l'intensité définie ci-dessus, dont trois appliqués successivement sur une face, et les trois autres sur la face opposée du morceau retourné. Pour la qualité extra-supérieure AE, le nombre total de chocs sera d'au moins douze, appliqués comme ci-dessus.

L'essai pourra être poursuivi jusqu'à rupture, par retournements successifs du morceau, au moyen de chocs de même intensité.

Texture. — La texture devra montrer un grain fin bien homogène, avec arrachements fibreux, sans présenter la caractéristique d'une rupture sèche, ni défaut quelconque.

ESSAI SUR MÉTAL NON TREMPÉ MAIS RECUIT.

3° *Épreuve par traction.*

Prélèvements. — Sur les aciers des trois qualités AO, AS et AE. Morceaux non trempés mais recuits.

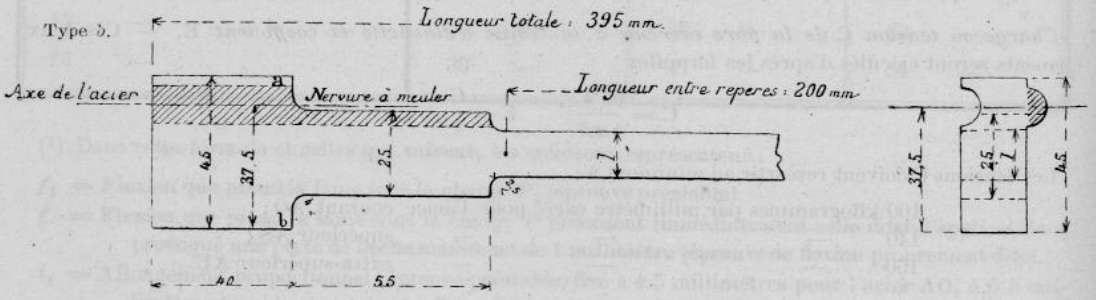
Type de l'éprouvette b. — Partiellement façonnée avec longueur calibrée ajustée de 200 millimètres entre repères.

Finissage. — Le travail de confection doit avoir lieu entièrement à froid, au moyen de machines-outils, sans aucune opération ultérieure de martelage, trempe ni recuit.

Les faces de laminage seront conservées. Les champs seuls seront travaillés; la nervure, si l'acier en comporte, sera meulée.

Dimensions finies. — (Pour les barreaux à essayer sur les machines d'essais de la Compagnie.)

Type b.



La partie *ab* servant de face d'application doit être rigoureusement perpendiculaire à l'axe de l'éprouvette.

La largeur *l* de la partie calibrée sera de 20 millimètres pour les épaisseurs au-dessous de 12 millimètres, et de 16 millimètres pour les épaisseurs de 12 millimètres et au-dessus.

Notation des résultats. — Les charges sont rapportées au millimètre carré de la section primitive. L'allongement relevé après rupture, sur un écartement entre repères déterminé par la formule $L = \sqrt{66.67S}$ est noté en pour cent. La striction est exprimée par : $100\left(\frac{S - S'}{S}\right)$. S section initiale; S′ section réduite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Résultats. — Les résultats permettent de constater si, pendant le cours d'un même marché ou d'une même commande, la fabrication reste régulière et bonne.

CHAPITRE III. — MODES D'ESSAIS.

Poinçons de la Compagnie. — Les barreaux d'essais conserveront à chaque tête les poinçons de la Compagnie.

Essais de flexion et de traction.

(*Voir* indications spéciales au chapitre II.)

Essais par chocs.

Appareil de choc. — L'appareil de choc aura un guidage rigide, plan et vertical, avec masse frappante (mouton) de forme symétrique par rapport au plan de guidage, tombant bien verticalement, sans déviation, avec frottement minimum.

Le jeu de déclic ne produira aucun mouvement influençant la chute libre du mouton.

La chabotte constituera, soit par elle seule, soit avec un massif de maçonnerie solidaire, une masse incompressible d'un poids atteignant au moins vingt fois celui du mouton.

Les couteaux d'appui seront fixés solidement à la chabotte dans un plan horizontal, avec leurs arêtes parallèles au plan de guidage.

La panne, solidement fixée au corps du mouton, sera en acier dur, trempé, indéformable ; elle sera démontable, son axe horizontal dirigé dans le plan du guidage et sa surface frappante terminée par une partie cylindrique d'un développement de 90 degrés.

CHAPITRE IV. — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES.

Surveillance. — L'entrée des usines sera toujours accordée aux agents de la Compagnie de l'Est chargés de suivre toute la fabrication ; ils y pourront faire toutes les vérifications nécessaires pour s'assurer que les clauses du présent cahier des charges sont exactement remplies.

Réception provisoire. — D'après les indications de la Compagnie, les pièces seront reçues provisoirement dans les usines ou à leur arrivée dans ses magasins.

La vérification des dimensions n'étant faite que partiellement dans les usines, toutes les pièces qui sortiraient des conditions de tolérances indiquées au chapitre Ier seraient renvoyées au fournisseur, à ses frais.

Résultats d'essais. — Au point de vue de la réception provisoire des produits, les résultats d'essais s'appliquent soit individuellement, soit à un lot, groupe de matières, coulées, etc., d'après les proportions indiquées au chapitre II. Tout résultat non satisfaisant donne lieu au rebut du produit ou du lot, groupe ou coulée correspondants.

Contre-essais. — Dans le cas d'essais ne répondant pas aux conditions fixées et sur la demande du fournisseur, il pourra être procédé à de nouveaux essais dont la Compagnie fixera le nombre et à la suite desquels il sera statué par l'ingénieur en chef.

Autres épreuves. — Indépendamment des essais désignés au chapitre II, la Compagnie de l'Est se réserve le droit de faire procéder dans les ateliers des fournisseurs ou dans les siens à toutes autres épreuves qui lui paraîtraient nécessaires pour s'assurer de la qualité des produits livrés.

Réductions possibles sur le nombre des essais. — Lorsque la fabrication sera courante, régulière, en bonne marche et que les épreuves donneront des résultats satisfaisants et uniformes, le nombre des essais pourra être réduit. La Compagnie restera seule juge de l'application de cette réduction.

Acceptation. — Les pièces acceptées aux usines recevront la marque d'admission des agents réceptionnaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Rebut. — Celles non admises seront marquées du signe spécial de rebut.

Morceaux et cassures. — La Compagnie des chemins de fer de l'Est pourra, si elle le juge utile, réclamer au fournisseur la livraison gratuite des barreaux d'essais, échantillons et textures, dont le prélèvement est prévu ci-dessus, pour servir dans ses ateliers à tels essais qu'elle jugera convenables.

L'envoi de ces éprouvettes et échantillons sera fait sur les indications des agents réceptionnaires et aux frais des fournisseurs.

Frais d'essais et appareils d'essais. — Les fournisseurs sont tenus de se pourvoir à leurs frais des appareils, outils, gabarits et calibres, etc., nécessaires pour procéder aux épreuves et vérifications. Les frais d'essais effectués dans les usines où s'exécutent les travaux sont à leur charge exclusive.

Expédition. — Les pièces reçues provisoirement et poinçonnées dans les usines ne pourront, en aucun cas, être expédiées avant que le fournisseur soit en possession d'un état de destination ou d'une autorisation spéciale pour les envois directs sur les magasins.

Mesurage. Comptage. Pesage. — Le mesurage, comptage ou pesage définitif est opéré dans les magasins de la Compagnie de l'Est, dont les indications servent de base pour le payement des factures, lors même qu'elles différeraient des chiffres relevés à l'usine.

Mise en emploi dans les ateliers de la Compagnie. — Malgré la réception provisoire, toute pièce qui, à l'emploi, serait reconnue défectueuse, sera renvoyée au fournisseur.

Les pièces rebutées seront facturées au fournisseur, au prix fixé à la commande ou au traité de fourniture.

Remplacements. — Les remplacements de pièces ou matières rebutées à l'emploi seront effectués au choix de la Compagnie, en argent ou en nature et, dans ce dernier cas, nécessairement soumis à toutes les conditions du présent cahier des charges.

Frais de retour. — Les frais de transport jusqu'à la gare du réseau de l'Est la plus rapprochée des usines du fournisseur pourront être taxés à 3 centimes par tonne et par kilomètre, comme transports intérieurs de la Compagnie, mais les frais de transport sur toute autre ligne resteront, dans tous les cas, à la charge du fournisseur.

Provenance et qualité des matières premières. — La provenance et la qualité des matières premières, ainsi que les méthodes de fabrication, devront être admises par l'ingénieur en chef qui, pendant la durée d'exécution du marché, pourra proscrire l'emploi de matières ou de méthodes qui lui sembleraient vicieuses.

Droit de modification. — La Compagnie se réserve le droit de modifier les formes, dimensions ou qualité des pièces, pendant l'exécution des commandes ou du marché, sauf à prendre livraison de celles déjà fabriquées sur les indications antérieures. Les fournisseurs livreront les nouvelles pièces sur le type arrêté sans aucune autre indemnité que, s'il y a lieu, la différence de valeur, en plus ou en moins, estimée au prix de revient, entre les pièces anciennes et les pièces nouvelles.

Interdiction de sous-traiter. — En aucun cas, les fournisseurs ne pourront sous-traiter tout ou partie de la fourniture sans l'autorisation de la Compagnie. Même si cette autorisation leur est accordée, ils restent entièrement responsables de toutes les parties de la fourniture, comme si elles avaient été exécutées dans leurs propres ateliers et la Compagnie pourra envoyer ses agents, pour surveillance de fabrication ou essais, chez les sous-traitants autorisés comme chez le fournisseur lui-même.

Droits de brevets. — Si les machines ou procédés employés pour la fabrication donnaient lieu à des droits de brevets, ces droits seraient à la charge des fournisseurs qui ne pourraient exercer aucune répétition envers la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chemins de fer de l'Est.

PRESCRIPTIONS RELATIVES A LA MISE EN OEUVRE DES RESSORTS ET CONDITIONS DE RÉCEPTION DES RESSORTS MONTÉS.

Réception de l'acier. — Les conditions de réception des barres destinées à la confection des ressorts à lames parallèles (les seuls qui soient employés à la Compagnie de l'Est pour la suspension des locomotives) sont stipulées dans le cahier des charges.

On distingue trois catégories d'acier :

L'acier ordinaire, pour suspension des machines en général ; l'acier supérieur et l'acier extra-supérieur, pour suspension des machines à grande vitesse ou très lourdes.

Cisaillage. — Les barres sont reçues dans les usines en longueurs indéterminées. Pour la mise en œuvre, elles sont découpées à froid à la cisaille, avec un excédent d'environ 10 millimètres, qui permet de donner aux extrémités une forme régulière indiquée aux plans.

Perçage. — Toutes les lames de ressorts sont percées au foret, en leur milieu, d'un trou de 10.5 millimètres, pour le passage du rivet de 10 millimètres qui assemble les lames.

Poinçonnage. — Les arrondis des extrémités, les œils, s'il y a lieu, sont confectionnés par poinçonnage, le métal étant porté au rouge sombre dans un four chauffé au coke.

Chauffage pour trempe. — Pour le cintrage et surtout pour la trempe, il importe de chauffer les feuilles bien uniformément. Ce chauffage a lieu dans un four à réchauffer, alimenté par de la houille à longue flamme. La température, qui a été fixée par des essais préalables, pour chaque nature, chaque provenance et même chaque arrivage de barres, doit être très uniforme et surtout ne doit pas être dépassée en cours de travail.

Cintrage. — La température voulue une fois atteinte, on procède au cintrage de chaque lame sur gabarit, ou bien sur la feuille sur laquelle doit s'appliquer la lame en travail, et aussitôt après cette opération, sans réchauffer à nouveau la feuille, on passe à la trempe.

Trempe. — La température à laquelle on a porté la lame pour le cintrage doit être réglée de façon qu'après le refroidissement qui se produit nécessairement pendant les différentes manipulations du cintrage, elle soit bien exactement celle qui convient le mieux à la trempe.

Cette trempe s'effectue dans de l'eau froide, à la température de 10 à 15 degrés.

La règle généralement adoptée est de laisser séjourner la lame dans l'eau autant de secondes qu'elle a de millimètres d'épaisseur. Cette règle n'a évidemment rien d'absolu, elle peut être modifiée suivant les indications des essais préalables dont nous avons parlé.

Recuit. — On procède au recuit immédiatement après la trempe, sans laisser à la lame le temps de se refroidir complètement.

Ce recuit a lieu dans le même four où s'effectue le chauffage pour trempe, mais dans un compartiment spécial, situé à l'extrémité : la température à atteindre étant bien moins élevée.

L'ouvrier chargé de ce travail doit s'attacher à avoir une température de recuit aussi uniforme que possible. Il est guidé dans l'évaluation de cette température par l'effet produit sur un morceau de bois de sapin frotté sur la lame. On admet que :

Le bois glissant correspond à la température	. . . . .	de 350 degrés
Le bois fumant —	—	de 400 —
Le bois flambant —	—	de 450 —

Ajustage des lames. — Lorsque la lame a été convenablement recuite, on procède à l'ajustage. Cette

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

opération commence à une température un peu inférieure à celle du recuit et quelquefois se termine à froid.

Pour compenser la perte de flèche initiale indispensable à la bonne jonction des lames, les ressorts sont construits avec une flèche de fabrication légèrement supérieure à la cote normale : la différence ne doit, dans aucun cas, excéder 4 p. c.

Il convient également de ménager entre les feuilles, simplement juxtaposées, avant leur réunion, par un rivet, un jeu sensiblement proportionnel à leur longueur; les intervalles mesurés au milieu du ressort, lorsque les feuilles sont en contact par leurs extrémités, sans être rivées, doivent être environ de 4 millimètres par mètre de longueur de la plus petite des deux feuilles considérées.

Montage du ressort. — Avant l'assemblage définitif, les feuilles sont enduites, sur leurs faces frottantes, d'un mélange, fait à chaud, d'huile, de suif et de mine de plomb.

On procède alors à la pose du rivet d'assemblage des lames.

Essai dans les ateliers de la Compagnie. — Avant d'effectuer le montage du collier, on procède à un essai individuel, consistant à faire subir au ressort au moins cinq flexions successives correspondant à la charge d'essai indiquée par les dessins.

Après cet essai, le ressort ne doit pas présenter de perte de flèche supérieure à 3 p. c. de la flèche de fabrication relevée sur le ressort libre avant l'essai.

La flèche du ressort, après l'essai, doit se rapprocher, autant que possible, de la cote normale. Il est admis une tolérance de 3 millimètres en plus ou en moins.

Pose des colliers. — Les colliers sont posés à chaud, à une presse hydraulique de 30,000 kilogrammes. Aussitôt posés, les colliers sont refroidis par immersion complète du ressort dans l'eau froide.

Il importe que les colliers soient montés rigoureusement au milieu des ressorts et que leurs faces soient appliquées à chaud sur les feuilles pour empêcher le glissement en service.

Ces conditions sont indiquées au cahier des charges.

Conditions de réception des ressorts montés. — Les essais effectués chez les fournisseurs ont lieu dans les proportions suivantes :

Essai de flexion à charge totale	1 ressort sur 10
— de flexion à charges partielles	1 — sur 20
— d'oscillations	1 — sur 50

Essai préalable. — Pour éviter toute perte de flèche due à l'assemblage des lames, le ressort est soumis préalablement à un effort correspondant aux $^3/_5$ de la charge totale imposée par les dessins.

C'est seulement après cet essai que la flèche de fabrication est notée pour les épreuves suivantes :

Essai à charge totale. — Le ressort est soumis à un effort correspondant à la charge totale prescrite aux dessins. Il reste au moins cinq minutes sous charge.

La charge étant enlevée, la perte de flèche doit être nulle pour les ressorts en qualité extra-supérieure et supérieure et ne doit pas excéder 2 p. c. de la flèche de fabrication relevée sur le ressort libre avant l'épreuve pour les aciers de qualité ordinaire.

Essai à charges partielles. — Le même ressort, replacé sur l'appareil d'essai, est soumis à l'action de charges partielles successives jusqu'à la charge totale imposée.

Les flexions doivent être sensiblement proportionnelles.

Après cette seconde épreuve, la perte de flèche doit être nulle pour les ressorts en acier de qualité extra-supérieure ou supérieure et ne pas dépasser 1 p. c. de la flèche de fabrication initiale pour les ressorts acier de qualité ordinaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chemins de fer de l'Est.

CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE DES RESSORTS MONTÉS A LAMES PARALLÈLES POUR MACHINES, TENDERS, VOITURES ET WAGONS.

CHAPITRE Ier. — PRESCRIPTIONS SPÉCIALES.

Classification. — Les ressorts montés à lames parallèles se classent en trois qualités :

Acier de qualité courante . . . . . (indice AO);
— supérieure . . . . . (— AS);
— extra-supérieure . . . . . (— AE).

Ces qualités s'appliquent aux ressorts de suspension, de choc et de traction, en acier plat ou rainé.

Indication des commandes. — Les commandes et marchés indiquent le type du ressort, le nombre de feuilles, la section et la qualité de l'acier à employer.

Dessins. — Les dessins donnent les tracés, les formes, les dimensions et, dans la légende, les conditions d'établissement et de flexibilité.

Ressorts-modèles. — Avant une première livraison, le fournisseur devra confectionner *quatre* ressorts de chaque type répondant à toutes les conditions du présent cahier des charges; ces ressorts seront soumis à l'examen et à la vérification des agents réceptionnaires.

Si ces quatre ressorts sont reconnus acceptables, ils seront poinçonnés et serviront de modèles pour la fabrication ultérieure.

Dans le cas contraire, ils seront mis de côté et laissés à la disposition du fournisseur, qui aura à les remplacer par d'autres donnant pleinement satisfaction.

Poids normaux. — Le poids normal d'un ressort sera déterminé par la moyenne du poids de ces quatre ressorts-modèles.

Une tolérance de deux et demi pour cent (2.5 p. c.) en plus ou en moins est admise sur ce poids.

Sigles de fabrication. — Chaque ressort devra porter extérieurement aux deux extrémités de la maîtresse lame et à chaque bout de la plus petite des feuilles : 1° la marque de l'usine; 2° le mois et l'année de fabrication; 3° l'indice de qualité du métal : AO, AS, ou AE, selon le cas (*voir* plus haut).

Exemple : LM. 6.98. AS.

Ces marques faites à chaud et rectifiées à froid, s'il est besoin, seront appliquées soigneusement; les lettres et chiffres seront parfaitement formés et auront au minimum 1 mm. de profondeur, de façon à rendre l'empreinte très apparente et durable.

Qualité des matières. — Les aciers en barres destinés à la fabrication des ressorts devront répondre en tous points aux conditions du cahier des charges n° 5 MP (tirage de . . . . .) en vertu duquel leur réception sera effectuée avant découpage des lames.

Les boulons ou rivets d'assemblage seront en fer ou en acier doux de la qualité indiquée au chapitre II.

Découpage des lames. — La Compagnie aura le droit, si elle le juge convenable, d'imposer que le découpage des lames soit effectué en présence d'un agent qui les poinçonnerait à l'une des extrémités.

Uniformité de fabrication. — Les ressorts de même type seront composés de lames de même qualité de métal, ayant exactement les mêmes formes et les mêmes dimensions respectives, de telle sorte que les feuilles de même rang puissent être substituées l'une à l'autre.

Examen extérieur. — Les lames ne présenteront aucune crique, strie, aucun manque de matière ou défaut quelconque.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La longueur développée des lames, le coupage et l'étirage des bouts seront rigoureusement conformes aux indications des plans remis au fournisseur.

Les bavures seront enlevées soigneusement à la meule.

Le trou destiné au passage du boulon ou rivet d'assemblage sera percé avec soin, à la mèche, rigoureusement au milieu de la largeur et de la longueur de chaque feuille.

La courbure est donnée aux lames au moyen d'une machine à cintrer et suivant des calibres établis à cet effet.

Graissage des lames. — Avant assemblage, la face concave de chaque lame sera graissée avec du suif fondu mélangé à chaud d'un peu d'huile et d'une petite quantité de mine de plomb.

Flèche de fabrication. — Les ressorts sont construits avec une flèche de fabrication supérieure à la flèche indiquée sur les dessins, de la quantité suffisante pour compenser la perte initiale de flèche indispensable à la bonne jonction des lames.

Le fournisseur soumet, à cet effet, les ressorts au travail de flexion nécessaire pour faire disparaître l'excédent de flèche et les mettre en état de supporter les épreuves indiquées au chapitre II ci-après, sans déformation permanente.

La flèche de fabrication des ressorts « présentés à la réception » doit donc être à la cote portée au dessin.

Une tolérance de deux pour cent (2 p. c.) en plus ou en moins est admise sur cette cote.

Contact des lames. — Tous les ressorts devront être parfaitement droits dans le sens transversal, sans aucun gauche, et les lames porteront l'une sur l'autre dans toute leur étendue.

Rouleaux. — Les rouleaux, si le type en comporte, seront rigoureusement conformes aux indications des plans remis. Les axes des trous seront perpendiculaires en tous sens au plan vertical passant par l'axe longitudinal du ressort.

Jeu proportionnel. — Le boulon ou rivet d'assemblage étant enlevé et les feuilles portant les unes sur les autres par leurs extrémités, le jeu entre les feuilles doit être approprié à la qualité de l'acier, proportionnel à la longueur des feuilles et aussi faible que possible.

Peinture. — Immédiatement après poinçonnage, les ressorts seront débarrassés de la couche d'oxyde qui pourrait s'être formée et recouverts sur toute leur surface extérieure d'une couche de peinture au minium de fer.

CHAPITRE II. — VÉRIFICATIONS, ESSAIS ET GARANTIE.

Prélèvements. — Les ressorts pour essais sont choisis au hasard par l'agent réceptionnaire, dans l'ensemble de la livraison.

Série et proportion des essais. — Les séries d'essais ont lieu au moins dans les proportions suivantes :

Épreuve de flexion à charge totale	une sur 10 ressorts.
— à charges partielles	une sur 20 —
Boulons ou rivets. — Essai par traction	un sur 50 pièces.

ÉPREUVE DE FLEXION.

Essai préalable par l'usine. — Tous les ressorts, sans exception, doivent être avant présentation essayés par l'usine individuellement à la flexion sous charge totale imposée.

La vérification des agents réceptionnaires n'étant que partielle, les ressorts qui présenteraient dans les ateliers de la Compagnie des déformations quelconques seraient retournés au fournisseur.

Epreuve de flexion. — Pour cette épreuve, le ressort, placé normalement sous l'appareil d'essai,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

repose par ses deux extrémités sur des supports à chariot qui permettent l'allongement du ressort pendant sa flexion.

Les flexions que doivent subir les ressorts montés sous l'action des charges sont celles indiquées sur les dessins remis aux constructeurs; ces flexions d'essais partent de la flèche réelle de fabrication du ressort libre et non de la flèche fixée par les dessins.

La durée d'application des charges d'essai sera d'au moins cinq minutes.

1re épreuve : essai à charge totale. — La première épreuve a lieu à la charge totale fixée au dessin.

Résultat. — Cette charge étant enlevée, la flèche de fabrication constatée avant l'épreuve ne doit avoir subi aucune perte pour les ressorts en acier des qualités AS et AE. Il est admis, pour les ressorts en acier de qualité courante AO, une tolérance de perte ne devant pas excéder 2 p. c. de la flèche de fabrication.

2e Épreuve. Essais à charges partielles. — Replacé sous l'appareil d'essai, le ressort sera ensuite soumis à l'action de charges partielles successives jusqu'à la charge totale d'essai imposée. Les flexions partielles doivent être sensiblement proportionnelles.

Résultat. — Après cette seconde épreuve, la perte de flèche de fabrication doit être nulle pour les ressorts en acier des qualités AS et AE et ne pas dépasser 1 p. c. pour les ressorts en acier de qualité courante AO.

ESSAI PAR TRACTION SUR RIVETS OU BOULONS D'ASSEMBLAGE.

Résultat. — Les rivets ou boulons d'assemblage en fer ou en acier doux devront présenter à la rupture une résistance moyenne minimum de :

Fer : 37 kilogrammes par millimètre carré, avec un allongement moyen minimum de 24 p. c.

Acier doux : 36 à 42 kilogrammes par millimètre carré, avec un allongement moyen minimum de 28 p. c.

Les allongements seront relevés pour chaque section de barreau d'essai d'après la formule $L = \sqrt{66.67S}$ (L, distance entre les repères; S, surface de la section soumise à l'essai).

GARANTIE.

Le fournisseur reste responsable de tous les ressorts qui casseraient, subiraient une perte de flèche atteignant un dixième de la flèche de fabrication ou se détérioreraient d'une façon quelconque, dans le courant des *trois années* qui suivront la date de fabrication indiquée sur les ressorts, sauf dans le cas où la rupture, la déflexion ou la détérioration auraient eu lieu par suite d'un choc violent ou d'un accident analogue, à moins que le choc ou l'accident n'aient été occasionnés par quelque imperfection de ces ressorts, résultant de la mauvaise qualité de la matière ou de la malfaçon dans la fabrication.

Si des avaries indiquent un vice général dans la fabrication, la Compagnie se réserve expressément le droit de retirer les ressorts du service et de rendre au fournisseur tous ceux déjà placés sous le matériel, ainsi que ceux pouvant se trouver en magasin.

CHAPITRE III. — MODES D'ESSAIS.

(*Voir* indications spéciales au chapitre II).

CHAPITRE IV. — PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES.

Surveillance. — L'entrée des usines sera toujours accordée aux agents de la Compagnie de l'Est chargés de suivre toute la fabrication; ils y pourront faire toutes les vérifications nécessaires pour s'assurer que les clauses du présent cahier des charges sont exactement remplies.

Réception provisoire. — D'après les indications de la Compagnie, les pièces seront reçues provisoirement dans les usines ou à leur arrivée dans ses magasins.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La vérification des dimensions n'étant faite que partiellement dans les usines, toutes les pièces qui sortiraient des conditions de tolérances indiquées au chapitre Ier seraient renvoyées au fournisseur, à ses frais.

Résultats d'essais. — Au point de vue de la réception provisoire des produits, les résultats d'essais s'appliquent soit individuellement, soit à un lot, groupe de matières, coulées, etc., d'après les proportions indiquées au chapitre II. Tout résultat non satisfaisant donne lieu au rebut du produit ou du lot, groupe ou coulée correspondants.

Contre-essais. — Dans le cas d'essais ne répondant pas aux conditions fixées et sur la demande du fournisseur, il pourra être procédé à de nouveaux essais dont la Compagnie fixera le nombre et à la suite desquels il sera statué par l'ingénieur en chef.

Autres épreuves. — Indépendamment des essais désignés au chapitre II, la Compagnie de l'Est se réserve le droit de faire procéder dans les ateliers des fournisseurs ou dans les siens, à toutes autres épreuves qui lui paraîtraient nécessaires pour s'assurer de la qualité des produits livrés.

Réductions possibles sur le nombre des essais. — Lorsque la fabrication sera courante, régulière, en bonne marche et que les épreuves donneront des résultats satisfaisants et uniformes, le nombre des essais pourra être réduit. La Compagnie restera seule juge de l'application de cette réduction.

Acceptation. — Les pièces acceptées aux usines recevront la marque d'admission des agents réceptionnaires.

Rebut. — Celles non admises seront marquées du signe spécial de rebut.

Morceaux et cassures. — La Compagnie des chemins de fer de l'Est pourra, si elle le juge utile, réclamer au fournisseur la livraison gratuite des barreaux d'essais, échantillons et textures, dont le prélèvement est prévu ci-dessus, pour servir dans ses ateliers, à tels essais qu'elle jugera convenables.

L'envoi de ces éprouvettes et échantillons sera fait sur les indications des agents réceptionnaires et aux frais des fournisseurs.

Frais d'essais et appareils d'essais. — Les fournisseurs sont tenus de se pourvoir à leurs frais des appareils, outils, gabarits et calibres, etc., nécessaires pour procéder aux épreuves et vérifications. Les frais d'essais effectués dans les usines où s'exécutent les travaux sont à leur charge exclusive.

Expédition. — Les pièces reçues provisoirement et poinçonnées dans les usines ne pourront, en aucun cas, être expédiées avant que le fournisseur soit en possession d'un état de destination ou d'une autorisation spéciale pour les envois directs sur les magasins.

Mesurage. Comptage. Pesage. — Le mesurage, comptage ou pesage définitif est opéré dans les magasins de la Compagnie de l'Est, dont les indications servent de base pour le paiement des factures, lors même qu'elles différeraient des chiffres relevés à l'usine.

Mise en emploi dans les ateliers de la Compagnie. — Malgré la réception provisoire, toute pièce qui, à l'emploi, serait reconnue défectueuse sera renvoyée au fournisseur.

Les pièces rebutées seront facturées au fournisseur, au prix fixé à la commande ou au traité de fourniture.

Remplacements. — Les remplacements de pièces ou matières rebutées à l'emploi seront effectués au choix de la Compagnie, en argent ou en nature, et, dans ce dernier cas, nécessairement soumis à toutes les conditions du présent cahier des charges.

Frais de retour. — Les frais de transport jusqu'à la gare du réseau de l'Est la plus rapprochée des usines du fournisseur pourront être taxés à 3 centimes par tonne et par kilomètre, comme transports intérieurs de la Compagnie, mais les frais de transport sur toute autre ligne resteront, dans tous les cas, à la charge du fournisseur.

Provenance et qualité des matières premières. — La provenance et la qualité des matières pre-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mières, ainsi que les méthodes de fabrication devront être admises par l'ingénieur en chef qui, pendant la durée d'exécution du marché, pourra proscrire l'emploi de matières ou de méthodes qui lui sembleraient vicieuses.

Droit de modification. — La Compagnie se réserve le droit de modifier les formes, dimensions ou qualité des pièces, pendant l'exécution des commandes ou du marché, sauf à prendre livraison de celles déjà fabriquées sur les indications antérieures. Les fournisseurs livreront les nouvelles pièces sur le type arrêté, sans aucune autre indemnité que, s'il y a lieu, la différence de valeur, en plus ou en moins, estimée au prix de revient, entre les pièces anciennes et les pièces nouvelles.

Interdiction de sous-traiter. — En aucun cas, les fournisseurs ne pourront sous-traiter tout ou partie de la fourniture, sans l'autorisation écrite de la Compagnie. Même si cette autorisation leur est accordée, ils restent entièrement responsables de toutes les parties de la fourniture, comme si elles avaient été exécutées dans leurs propres ateliers et la Compagnie pourra envoyer ses agents, pour surveillance de fabrication ou essais, chez les sous-traitants autorisés comme chez le fournisseur lui-même.

Droits de brevets. — Si les procédés ou les machines employés pour la fabrication donnaient lieu à des droits de brevets, ces droits seraient à la charge des fournisseurs qui ne pourraient exercer aucune répétition envers la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

Chemin de fer du Nord.

Les ressorts montés sont soumis à une charge d'épreuve qui est le double de la charge normale : cette charge enlevée, le ressort ne doit pas avoir perdu de sa flexibilité.

Chemin de fer de l'Ouest.

Avant leur mise en place, les ressorts sont soumis à un essai de flexion sous la charge indiquée sur les dessins. Ils doivent subir cet essai avec balancement, sans qu'il s'y manifeste de perte de flèche permanente et doivent avoir la flexibilité par 1,000 kilogrammes indiquée par les dessins.

Toutefois, il est accordé une tolérance de 2 millimètres en plus ou en moins sur les chiffres indiqués.

GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE (ROYAUME-UNI).

Great Western Railway.

CONDITIONS DE RÉCEPTION DES RESSORTS LAMINÉS.

Les ressorts, de fabrication anglaise, seront faits aux dimensions indiquées aux plans dressés par la Compagnie du « Great Western ».

Ils seront de la meilleure qualité; les lames seront parfaitement ajustées, bien trempées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tous les ressorts, faits suivant le même plan, doivent supporter la même charge avec la même flèche.

L'inspecteur peut entrer librement, à toute heure raisonnable, dans les ateliers du fabricant et examiner les ressorts et les lames pendant la période de fabrication et rejeter tous ceux qu'il considère défectueux comme matière ou comme fabrication.

Les lames seront en bon fer fibreux de fabrication anglaise; elles présenteront une résistance à la tension d'au moins 22 tonnes par pouce carré (34.649 kilogrammes par millimètre carré), avec un allongement au minimum de 15 p. c., mesuré sur une longueur de 10 pouces (254 millimètres); elles devront savoir subir à froid les flexions suivantes, sans rompre :

Épaisseur de $^3/_4$ de pouce (19.05 millimètres) sous un angle de . . . 25 degrés;
— de $^5/_8$ de — (15.87 —) — — de . . . 35 —

Chaque ressort est essayé sous presse à vapeur par l'inspecteur qui a reçu les lames; après pression, ils doivent reprendre leur flèche originale. La lame de fond, détachée du restant du ressort, doit garder une flèche à peu près de 5 p. c. de celle stipulée pour le ressort fini. L'inspecteur choisira aussi 5 p. c. des ressorts finis pour plus amples essais sous charge et n'acceptera aucun ressort si ceux choisis ne gardent pas la flèche stipulée.

La main-d'œuvre et les accessoires nécessaires aux essais seront fournis par le fournisseur et pour son compte.

Chaque ressort doit porter le nom du fabricant, le mois et l'année de fourniture.

Les ressorts ne peuvent être peints, mais recevront des deux côtés de chaque lame une couche d'huile de lin bouillie, avant l'ajustage des lames.

On fera usage de rivets en acier doux, bien noyés à chaque extrémité, de diamètre uniforme, comme l'indique le plan.

Garantie : un an.

Les certificats délivrés par l'inspecteur sont annexés à la lettre d'envoi des ressorts.

Great Central Railway.

CONDITIONS DE RÉCEPTION DES RESSORTS LAMINÉS POUR LOCOMOTIVES ET TENDERS.

Les ressorts seront fabriqués avec de l'acier à ressort de la meilleure qualité, fait avec du fer suédois.

La lame de dessus de chaque ressort doit porter, en deux endroits, le nom du fabricant de l'acier et la date de fabrication.

Chaque lame doit être parfaitement trempée, ajustée, peinte et avoir des tetons.

Les ressorts seront essayés six fois, chaque fois à un pouce (25 millimètres) en dessous de la flèche de chargement; ils ne peuvent accuser une déformation permanente.

Les ressorts sont inspectés par l'ingénieur des locomotives ou son délégué pendant la fabrication, et ils doivent être essayés par eux avant de quitter les ateliers du constructeur; ils doivent être parfaitement conformes aux plans et les satisfaire entièrement; les ingénieurs se réservent le droit de rebuter tous les ressorts qui ne peuvent être considérés comme répondant aux stipulations.

Les étriers à fournir avec les ressorts doivent être faits en fer « Low Moor », ou tout autre fer d'Yorkshire de la meilleure qualité, vigoureusement forgé, avec coins arrondis pour recevoir parfaitement les ressorts. Ils seront examinés avant d'être fixés sur les ressorts.

Chaque ressort sera poinçonné par la Compagnie, qui lui imprimera la date à laquelle il a été reçu de l'atelier du fabricant; si, avant l'expiration de douze mois, il présente quelque défaut, que la flèche originale soit réduite, etc., le fabricant sera obligé de le remplacer à ses frais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Great Eastern Railway.

Les ressorts seront en acier de la meilleure qualité. Un effort de traction de 45 à 50 tonnes par pouce carré (70.872 à 78.747 kilogrammes par millimètre carré) doit donner une extension qui ne sera pas inférieure à 10 p. c. sur 8 pouces (203 millimètres).

Chaque lame doit être convenablement trempée et s'adapter parfaitement sur la lame voisine. Préalablement à leur placement, les feuilles sont enduites d'huile sur toutes leurs surfaces.

Chaque ressort doit être fortement comprimé pendant quelque temps dans une presse à vapeur en présence de l'inspecteur de la Compagnie; après quoi il doit reprendre sa flèche originale. Il sera parfaitement conforme au plan et donnera, à tous égards, satisfaction au *superintendent* des locomotives dont la décision est définitive.

Les étriers seront en fer forgé de la meilleure qualité et soudés au milieu de leur face supérieure. Chauffés, ils devront, après refroidissement, s'appliquer exactement sur les ressorts.

Caledonian Railway.

Les ressorts sont chargés 1 pouce (25 millimètres) au delà du cintre correspondant à la charge normale et ne peuvent montrer un affaiblissement permanent.

Lancashire & Yorkshire Railway.

Chaque ressort doit reprendre sa flèche originale après avoir été chargé d'un poids de 40 à 50 p. c. au-dessus de la charge normale.

Great Northern Railway (Ireland).

Chaque ressort doit reprendre sa flèche originale après avoir été écrasé à plat.

North Eastern Railway.

Chaque ressort doit reprendre sa flèche originale après avoir été écrasé à plat.

London & South Western Railway.

Les ressorts doivent reprendre leur flèche originale après avoir été chargés d'un poids de 33 p. c. au-dessus de la charge normale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

EMPIRE DES INDES ET COLONIES.

East Indian Railway.

Les ressorts sont essayés à 50 p. c. au-dessus de leur charge normale.

ITALIE.

Chemins de fer méridionaux (réseau de l'Adriatique).

PRESCRIPTIONS RELATIVES A LA FOURNITURE DE LOCOMOTIVES.

Ressorts de suspension.

Les ressorts sont formés de feuilles d'acier assemblées par une bride en fer montée à chaud.

L'acier doit être de première qualité, fondu au creuset, prenant parfaitement la trempe.

Les barres doivent être laminées avec le plus grand soin ; elles doivent présenter sur toute leur longueur la même section et une surface unie, sans pailles, stries, bavures.

Dans chaque lot de vingt-cinq barres destinées à la confection de ressorts, on en choisira au moins une pour la soumettre aux épreuves ci-après indiquées :

Épreuve de flexion. — Un morceau de barre, d'une longueur appropriée, sera cambré et trempé dans les conditions ordinaires de fabrication des ressorts ; il sera ensuite placé, la partie convexe tournée vers le haut, sur deux points d'appui, consistant en des supports en forme de lame de couteau et espacés entre eux de 80 centimètres au moins. L'arc ainsi formé est chargé en son centre d'un poids suffisant pour produire dans les fibres les plus fatiguées un effort d'environ 60 kilogrammes au millimètre carré. Cette charge ne sera enlevée qu'au bout de cinq minutes et l'on mesurera ensuite la flèche entre les points d'appui, laquelle sera considérée comme flèche initiale. Après ce mesurage, la charge sera reprise et graduellement augmentée jusqu'à ce que l'on arrive à exercer sur les fibres les plus fatiguées un effort de 120 kilogrammes au millimètre carré ; cette charge sera maintenue pendant cinq minutes. Au sortir de cette épreuve, il ne devra point exister une réduction persistante de la hauteur de flèche, supérieure à $^1/_2$ millimètre.

La réduction temporaire de la hauteur de flèche pendant la charge doit correspondre à un module d'élasticité n'excédant pas 20,000 kilogrammes au millimètre carré.

La charge d'épreuve sera ensuite progressivement augmentée jusqu'à déterminer la rupture de la barre, laquelle rupture toutefois ne doit se produire que quand l'effort dans les fibres travaillant au maximum aura atteint 210 kilogrammes.

Épreuves par choc. — De chaque morceau de barre soumis à l'épreuve de flexion, il sera extrait à froid, dans la partie qui a eu le moins de travail à subir, une barrette d'épreuve de la longueur de 200 millimètres environ, qui sera soumise aux expériences suivantes :

Sur le milieu de cette barrette portant par ses extrémités sur deux appuis métalliques rigides, distants entre eux de 100 millimètres, l'on fera tomber un poids de 25 kilogrammes d'une hauteur calculée à raison de 33 millimètres par millimètre de largeur de la barrette, laquelle devra supporter d'abord trois coups donnés sur l'une de ses faces et puis trois coups donnés sur la face opposée, sans montrer le moindre commencement de lésion.

Chaque maîtresse lame devra porter, imprimée profondément à l'une de ses extrémités, sur la partie en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vue, le nom du fabricant, les deux derniers chiffres du millésime de l'année de fabrication, ainsi que les autres marques indiquées par les dessins.

Pour s'assurer de la bonne fabrication des ressorts, on répétera sur quelques feuilles déjà préparées pour entrer dans la composition des ressorts, les épreuves de flexion ci-dessus indiquées pour les barres d'acier.

L'on devra également vérifier si les parties forgées, calibrées ou forées n'ont pas souffert par le travail auquel elles ont été soumises.

La bride sera fabriquée avec un maximum de deux soudures qui devont être parfaitement réussies et tomber dans les parties subissant le moins de fatigue.

Les ressorts, sous la charge indiquée par les dessins, devront présenter la hauteur de flèche prescrite.

Tous les ressorts seront soumis à une charge égale à la moitié de la charge d'épreuve indiquée par les dessins et seront maintenus pendant cinq minutes sous cette charge. Après enlèvement de celle-ci, on mesurera la flèche qui sera considérée comme flèche initiale. On appliquera ensuite la charge d'épreuve totale que l'on maintiendra pendant cinq minutes. Cette épreuve ne doit pas entrainer une réduction persistante de plus de $^1/_2$ millimètre sur la hauteur de la flèche. Après répétition de cette épreuve, il ne doit se manifester aucune diminution nouvelle de la hauteur de flèche.

Les ressorts seront ensuite soumis à des flexions à fond, rapides et réitérées qu'elles devront subir sans qu'il s'ensuive ni de nouvelles pertes sur la hauteur de flèche ni aucune déformation persistante.

Pour les ressorts, les tolérances suivantes sont admises relativement aux dimensions indiquées par les dessins :

$^1/_4$ de millimètre en plus ou en moins sur l'épaisseur de l'acier;
$^1/_2$ — — — sur la largeur de l'acier;
$^1/_4$ — — — dans le diamètre des boulons des menottes de suspension;
$^1/_2$ — — dans la largeur intérieure et dans les épaisseurs de la bride;
1 millimètre — ou en moins dans les autres dimensions du ressort et de la bride;
2 millimètres — — sur la longueur de la flèche du ressort sous charge;
2 — sur la longueur de la corde.

Aucune tolérance n'est accordée dans les dimensions des cannelures et des arêtes de l'acier, et les différentes parties doivent être travaillées et montées de façon que les ressorts soient absolument, et sans aucune tolérance, symétriques par rapport à deux plans normaux entre eux.

PAYS-BAS.

Société pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais.

Toutes les feuilles sont planes et polies et avant l'assemblage enduites d'une matière grasse anticorrosive.

Les ressorts montés sont soumis à une charge 50 p. c. plus grande que la charge normale. Après, les ressorts ne doivent présenter aucune perte permanente de flèche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SUISSE.

Chemin de fer du Gothard.

Après une charge correspondante à 76 kilogrammes par millimètre carré, le ressort ne doit accuser aucune déformation durable.

Chemin de fer Central suisse.

L'acier pour ressorts doit présenter à la rupture une résistance d'au moins 80 kilogrammes par millimètre carré avec un allongement correspondant d'au moins 12 p. c. Le produit de ces deux facteurs (charge de rupture et allongement) ne peut être inférieur à 1,000.

ANNEXE IV.

Conditions spéciales de fourniture de ressorts volutes.

RESSORTS HÉLICOÏDAUX, A SPIRALE, EN VOLUTE, ETC., ET CONDITIONS IMPOSÉES POUR LEUR FOURNITURE.

Southern Pacific Company.

A l'essai, les ressorts ne peuvent accuser une déformation permanente excédant $^1/_{16}$ de pouce (1.6 millimètre) après enlèvement d'une charge de 3 tonnes.

Caledonian Railway.

Tous les ressorts hélicoïdaux en acier Timmis doivent pouvoir être complètement comprimés sans qu'il en résulte une déformation permanente.

Lancashire & Yorskshire Railway.

Après avoir été comprimé trois fois à fond, le ressort volute ne peut accuser une déformation permanente de plus de $^3/_{16}$ de pouce (4.8 millimètres).

Great Northern Railway (Ireland).

Les ressorts volutes, comprimés à fond, ne doivent avoir rien perdu de leur hauteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Great Eastern Railway.

Comprimés à fond, les ressorts hélicoïdaux doivent reprendre leur forme sans déformation.

Great Central Railway.

Ressorts en spirale, ressorts coniques et ressorts à volute.

Ils seront fabriqués avec de l'acier à ressorts de la meilleure qualité, fait avec du fer suédois, et porteront le nom du fabricant et la date de fabrication.

La section de l'acier doit être conforme au plan.

Les ressorts doivent être parfaitement trempés, peints, et essayés par compression jusqu'à ce qu'ils soient tendus, six fois, sans accuser une déformation permanente; puis chargés comme l'indique le croquis.

Avant de quitter l'atelier du fabricant, les ressorts sont examinés et essayés par l'ingénieur de la traction ou son délégué.

Great Western Railway.

Ressorts en spirale, ressorts coniques et volutes. (*Voir* tableau ci-après.)

Les ressorts doivent être de fabrication anglaise, faits aux dimensions données par les plans fournis par la Compagnie. Chaque ressort doit être achevé de façon à être bien droit sur tout son pourtour et réaliser un support parfait sur une tôle plate.

L'inspecteur de la Compagnie peut entrer librement dans les ateliers du fabricant, à toute heure raisonnable, pendant la période de fabrication; il est libre d'inspecter les ressorts et les barres d'acier achevés ou en cours de fabrication et de procéder aux essais stipulés.

S'il désire faire des essais de tension sur les barres venant du laminoir, il lui sera permis de prendre une longueur de 1 pied 6 pouces (457 millimètres) pour l'essayer à Swindon.

Chaque ressort est essayé en l'applatissant vivement plusieurs fois, l'une après l'autre, sous une presse à vapeur ; il doit être maintenu exactement comprimé pendant qu'on le mesure. Chaque ressort est ensuite placé sur un bloc de fer d'un poids minimum de 2 tonnes et un pivot de guide est passé à travers ; le pivot doit avoir un diamètre légèrement inférieur au creux du ressort et avoir une tête dont le diamètre a tout au plus 1 pouce (25 millimètres) de moins que le diamètre total du ressort.

Il ne doit se produire ni fracture ni perte de hauteur lorsque le ressort aura subi trois coups de bélier, tombant librement dans ses guides, d'une hauteur capable de comprimer complètement le ressort, de façon à toucher métal sur métal.

Tout ressort qui ne résiste pas, ou accuse quelque avarie à la suite de ces essais, ou montrant une diminution permanente de hauteur, sera rejeté.

L'inspecteur choisira aussi 5 p. c. des ressorts achevés pour servir à des essais sous charge et n'acceptera aucun ressort si les ressorts choisis ne maintiennent pas la hauteur stipulée après avoir subi les essais de charge.

Tous les ressorts, reçus après essai, sont couverts d'une couche d'huile de lin bouillie.

Chaque ressort doit porter — estampé — le nom du fabricant, les lettres G. W. R., le mois et l'année de fabrication.

Tout ressort s'avariant endéans les douze mois de sa mise en service, sera remplacé aux frais du fournisseur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIMENSIONS ET CHARGES D'ESSAI DES RESSORTS EN SPIRALE, DES RESSORTS CONIQUES ET DES RESSORTS EN VOLUTE.

« (Great Western Railway ».)

Numéro des ressorts	DIMENSIONS.								SECTION APPROXIMATIVE ET POIDS.				Charges d'épreuve en tonnes.
	HAUTEUR.				DIAMÈTRE.				Section rectangulaire.		Nombre d'enroulements.	Poids.	
	Non chargés.		Sous charge d'épreuve.	A fond.	Extérieur.		Intérieur.						
	Maximum.	Minimum.	Minimum.	Maximum.	Maximum.		Minimum.						
	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouc.	Mill.	Pouces.	Millimètres.		Livr.	Kil.
							Ressorts en spirale.						
21	7 5/8	194	7 1/2	191	5 3/8	137	4 5/8	118	4 1/2	115	2 1/8	54	1 5/16 × 3/16	30.2 × 14.3	8	14.75	6.69	3
22	8 5/8	219	8 1/2	216	6	152	5 1/8	130	4 1/2	115	2 1/8	54	1 3/16 × 9/16	30.2 × 14.3	9	16.75	7.60	3
23	10 5/8	270	10 1/2	267	7 1/2	191	6 1/2	165	4 1/2	115	2 1/8	54	1 5/16 × 9/16	30.2 × 14.3	10 1/2	20	9.07	3
24	6 5/8	168	6 1/2	165	4 5/8	118	4 1/4	108	5	127	2 1/4	57	1 5/8 × 11/16	34.9 × 17.5	6 1/4	17.75	8.05	5
25	10 5/8	270	10 1/2	267	7 1/4	184	6 1/2	165	5	127	2 1/4	57	1 5/8 × 11/16	34.9 × 17.5	9 1/2	27.75	12.59	5
26	7 5/8	194	7 1/2	191	5 1/4	133	4 3/4	121	5	127	2 1/4	57	1 5/8 × 11/16	34.9 × 17.5	7	21	9.53	5
27	10 5/8	270	10 1/2	267	8 1/4	209	7 3/4	197	5 1/2	140	2 1/4	57	1 5/8 × 15/16	41.3 × 23.8	8 3/4	43	19.50	8
28	5 1/8	130	5	127	3 1/2	89	3 1/4	82	5 7/8	149	2 1/8	54	1 7/8 × 3/4	47.6 × 19	4 3/4	19	8.62	8
29	8 7/8	225	8 3/4	222	7 1/2	191	5 3/4	146	3 1/2	89	2 1/8	54	11/16 rond	17.5 rond	9	7.75	3.52	1
30	19 1/8	480	19	483	14	356	10 3/4	273	4	102	2 3/4	70	5/8 carré	15.9 carré	17 1/2	19 1/2	8.85	1 1/4
31	8 1/2	216	8 3/4	222	5 5/8	143	5 1/2	140	5	127	2 1/4	57	11/16 × 1 3/8	17.5 × 34.9	8 1/2	20.25	9.19	5
							Ressorts coniques.						
41	10 5/8	270	10 1/2	267	7 1/2	191	7	178	7 au bas × 5 1/2 au sommet	178 au bas × 140 au sommet	2 1/4	57	1 5/8 × 15/16	41.3 × 23.8	7 1/2	42	19.05	8
							Ressorts en volute.						
51	9 1/4	235	9	229	3 1/2	89	3	76	8 1/4	209			3 × 9/16	76.2 × 14.3		36	16.33	5
52	9 1/8	232	9	229	4 1/2	115	4	102	9	229			4 × 1/2	101.6 × 12.7		50	22.68	4

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le fabricant fournit, à ses frais, la main-d'œuvre et les accessoires nécessaires aux essais.

L'inspecteur de la Compagnie délivre des certificats pour tous les ressorts soumis aux essais par lui et aucun ressort ne peut être expédié avant la délivrance des certificats.

Les certificats délivrés par l'inspecteur doivent être envoyés à Swindon avec la lettre d'envoi des ressorts.

Société pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais.

Les ressorts à hélice, combinés avec les ressorts à lames de l'essieu couplé des locomotives nos 801 à 835, après avoir été chargés jusqu'à aplatissement complet, ne devront accuser aucune diminution de hauteur

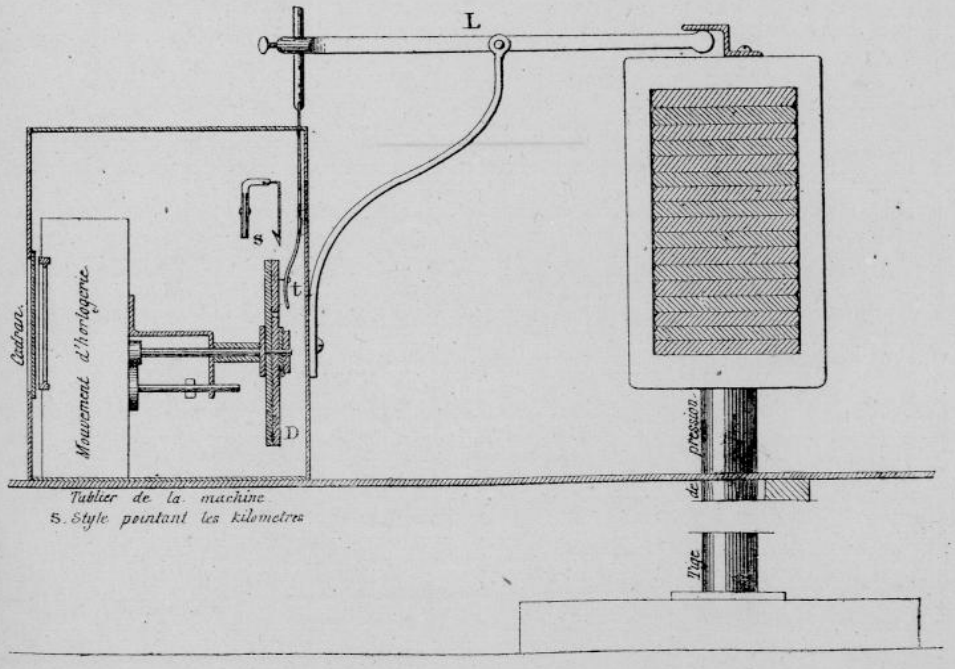
---

ANNEXE V.

Chemins de fer de l'Ouest (France).

APPAREIL A DISQUE POUR ENREGISTRER LES OSCILLATIONS RELATIVES DE LA ROUE PAR RAPPORT AU TABLIER DE LA MACHINE PENDANT LA MARCHE.

Cet appareil est destiné à enregistrer, pendant la marche, le mouvement relatif de la bride du ressort de la roue d'avant par rapport au tablier.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un levier L, dont une extrémité est reliée à la bride du ressort, porte, à son autre extrémité, un style t, qui trace les déplacements de la bride sur un disque vertical en zinc D, enduit de vernis et mû par un mouvement d'horlogerie. Un caoutchouc, enroulé sur l'arbre du disque, avec une légère tension, compense les variations de résistance auxquelles le mouvement d'horlogerie peut se trouver soumis par suite du frottement du style pressé contre le disque par un ressort.

Un deuxième style S, manœuvré de la plate-forme de la machine, sert à pointer les kilomètres ou tout autre point intéressant du parcours.

Les oscillations du ressort se traduisent par un tracé sinueux situé de part et d'autre du cercle décrit par le style au repos.

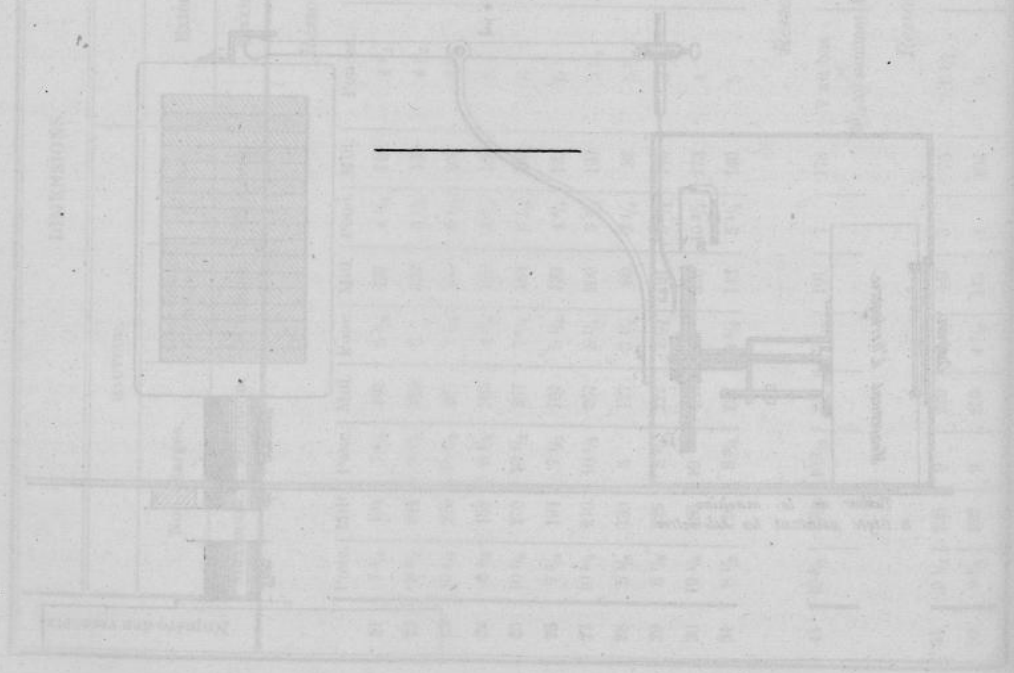
Pour une machine et une vitesse données, les oscillations sont en rapport avec les flexions de la voie sous la roue d'avant.

L'appareil indique, en outre, par des écarts brusques dans le tracé du diagramme, les entrées en courbes, les passages sur les aiguilles et sur les croisements, etc.

Enfin, du pointage des kilomètres sur des arcs décrits par le disque proportionnellement au temps, on déduit la vitesse du train.

En soumettant le disque métallique à l'action d'un acide, les points où le style a enlevé l'enduit sont attaqués, et l'on obtient, après lavage, une plaque prête pour le tirage des diagrammes.

Cet appareil est employé par la Compagnie de l'Ouest depuis l'année 1879.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE VI.

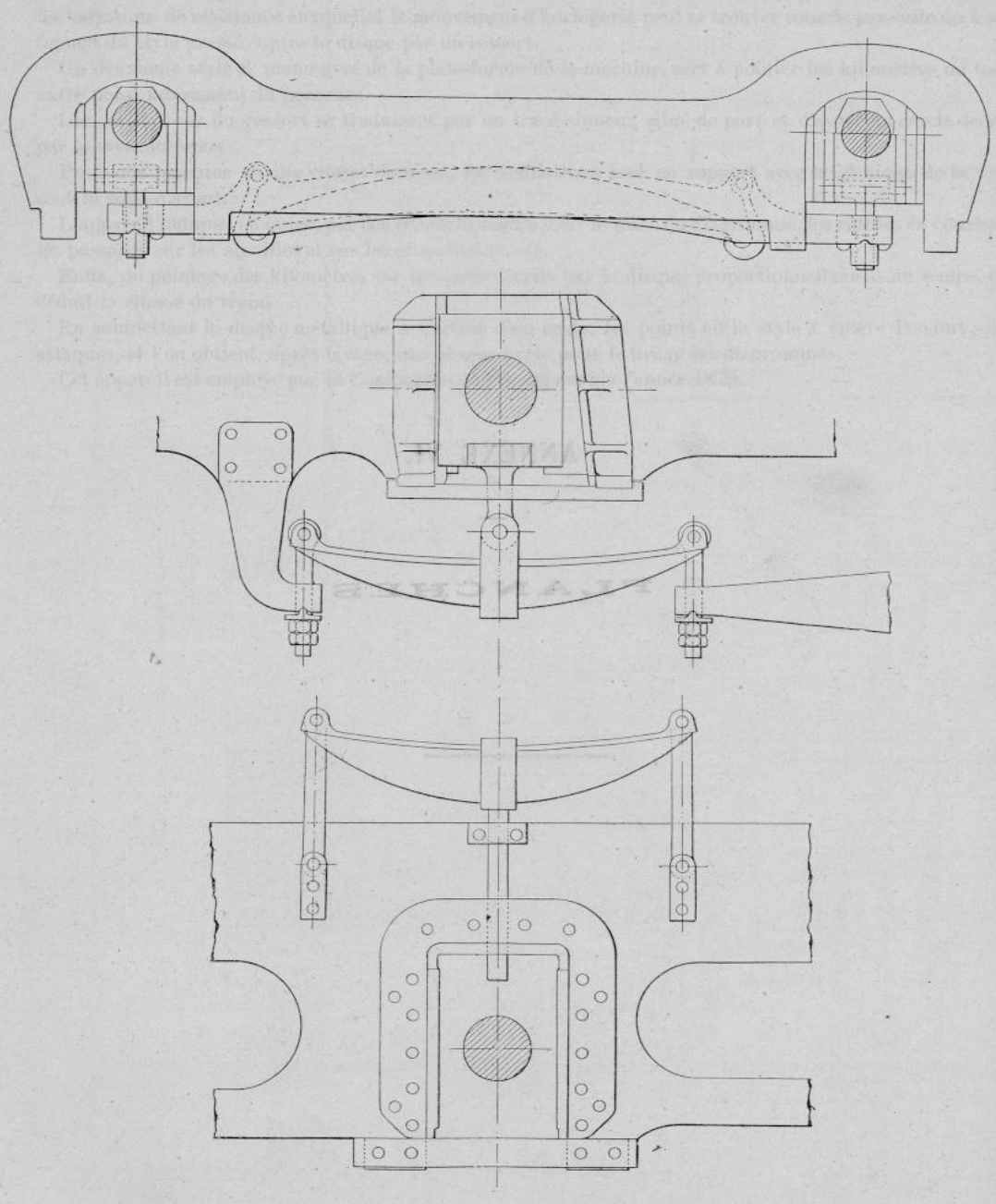
—

PLANCHES

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. I.

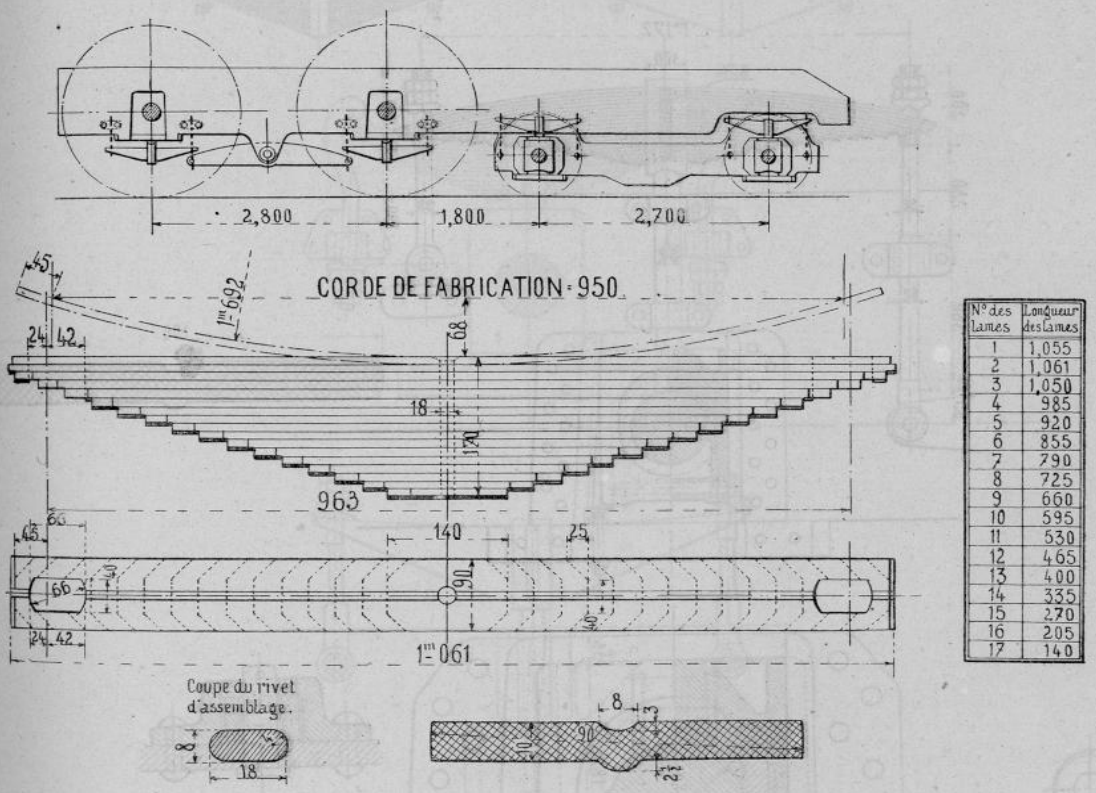
République Argentine. — Central Argentine Railway.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl II

Autriche. — Chemins de fer de l'Etat.

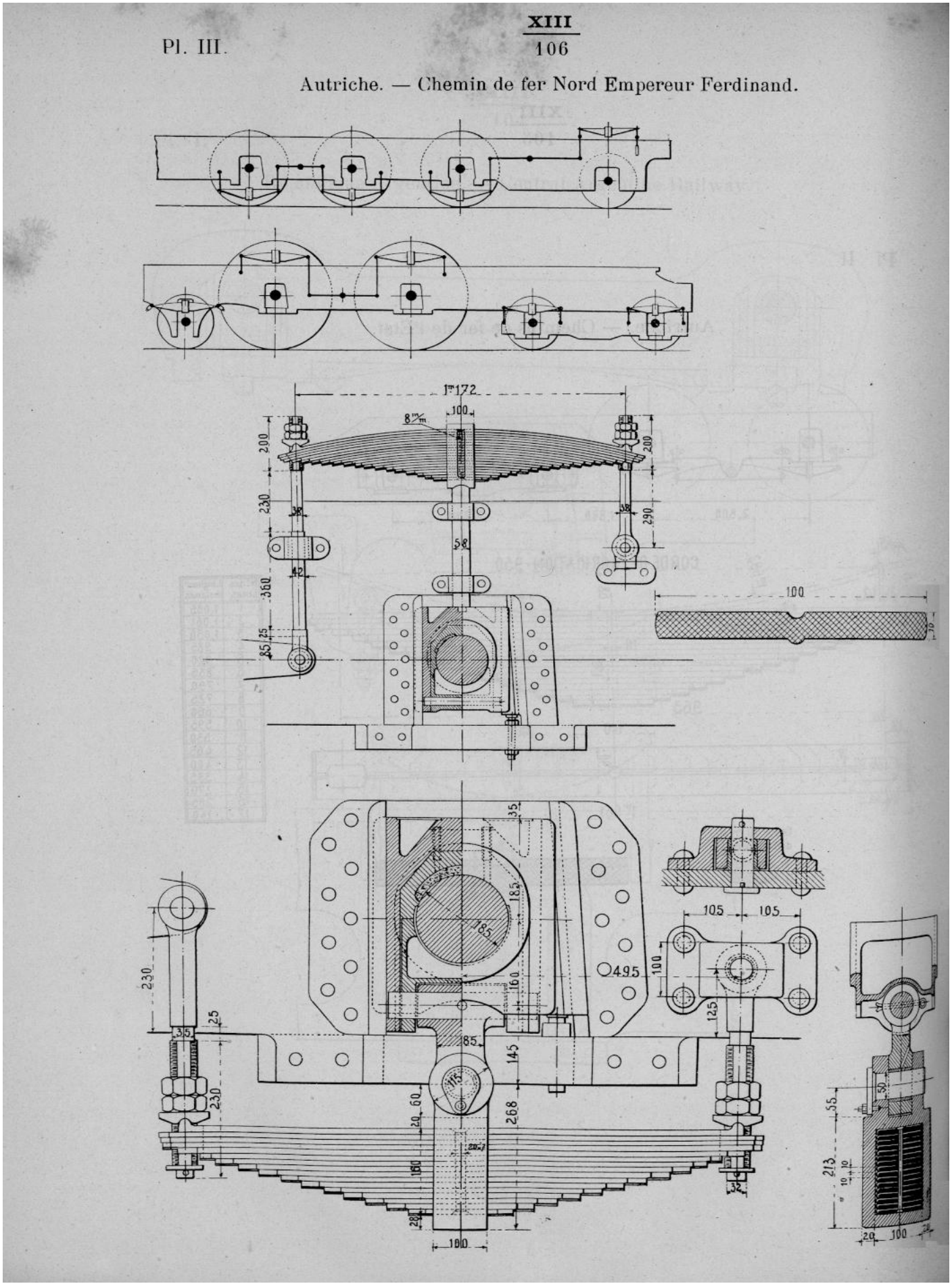


N° des lames	Longueur des lames
1	1,055
2	1,061
3	1,050
4	985
5	920
6	855
7	790
8	725
9	660
10	595
11	530
12	465
13	400
14	335
15	270
16	205
17	140

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. III.

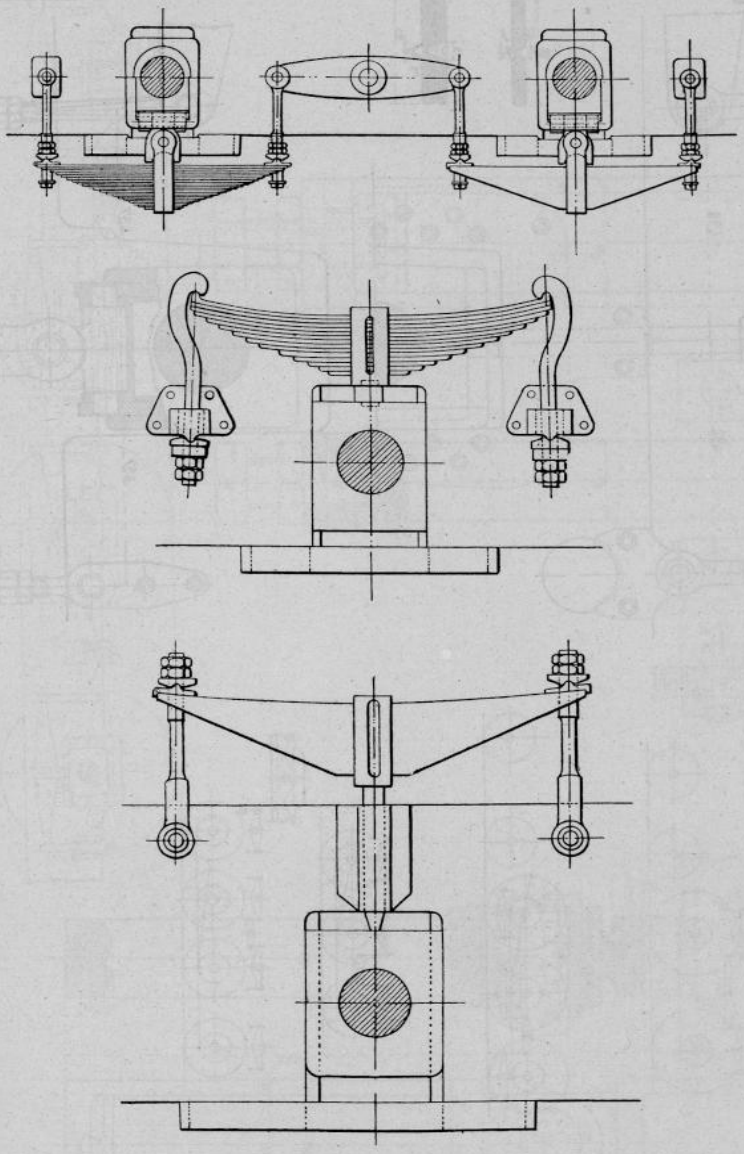
Autriche. — Chemin de fer Nord Empereur Ferdinand.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

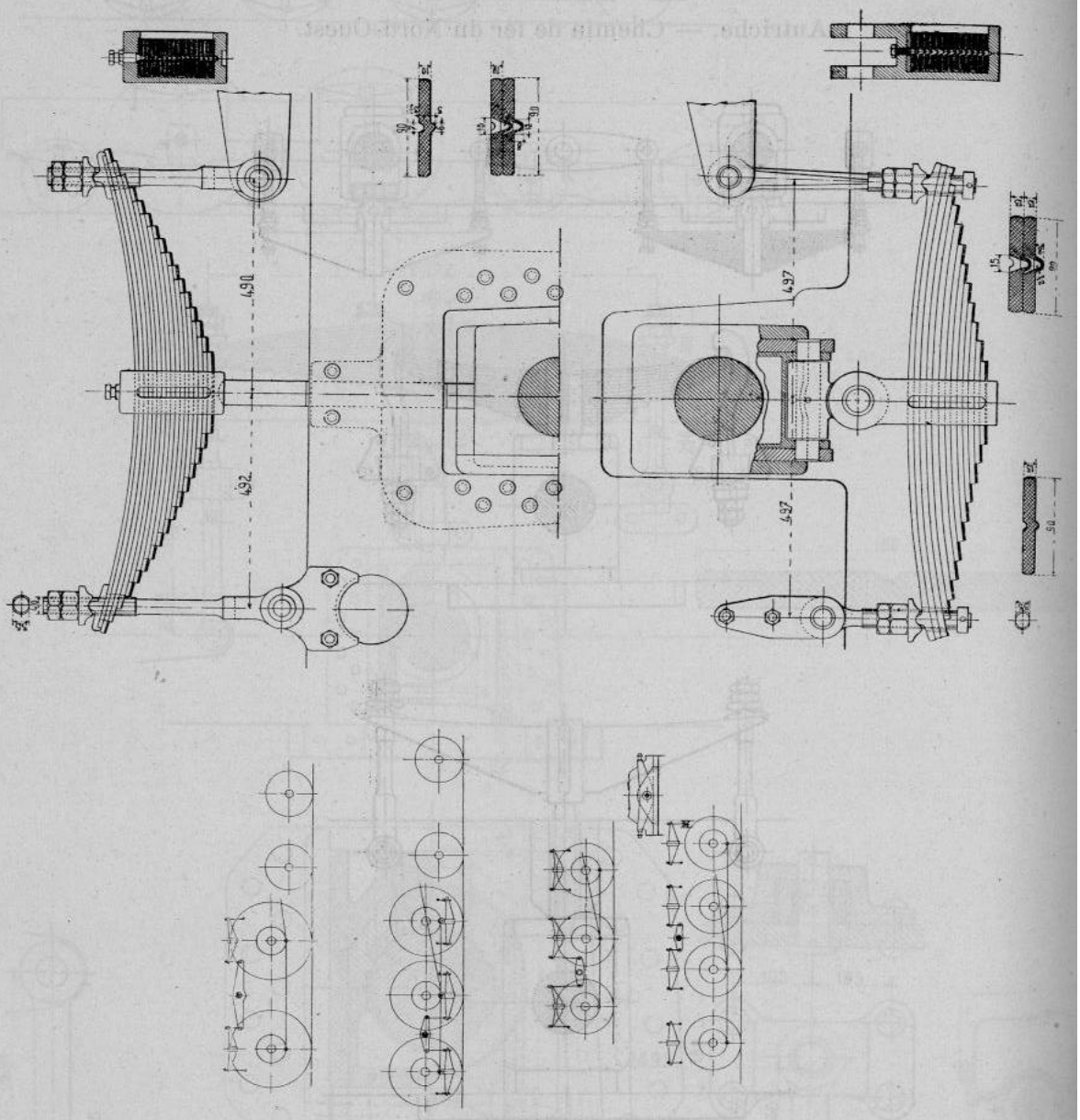
Pl. IV.

Autriche. — Chemin de fer du Nord-Ouest.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

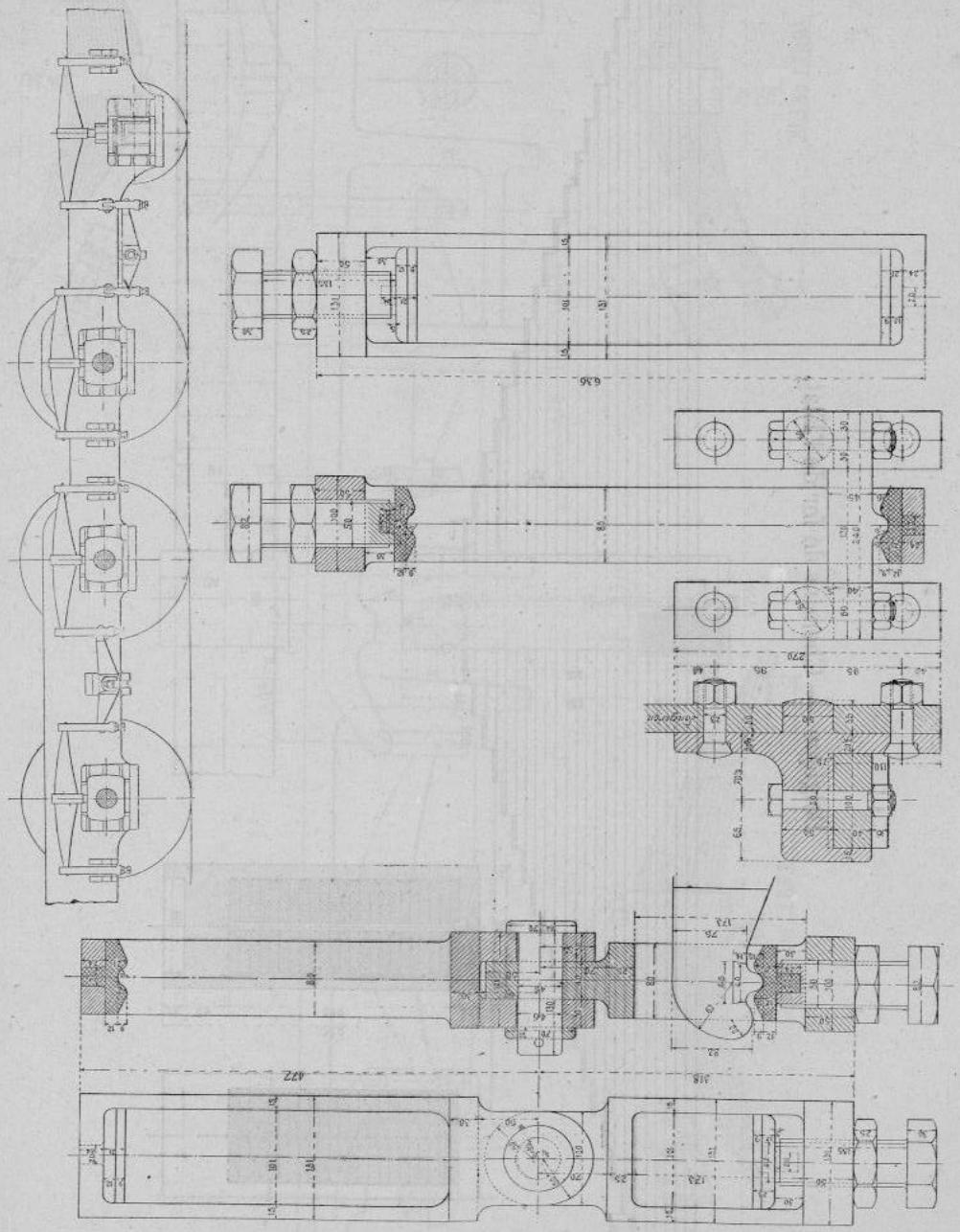
Pl. V.



Hongrie. — Chemins de fer de l'Etat.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

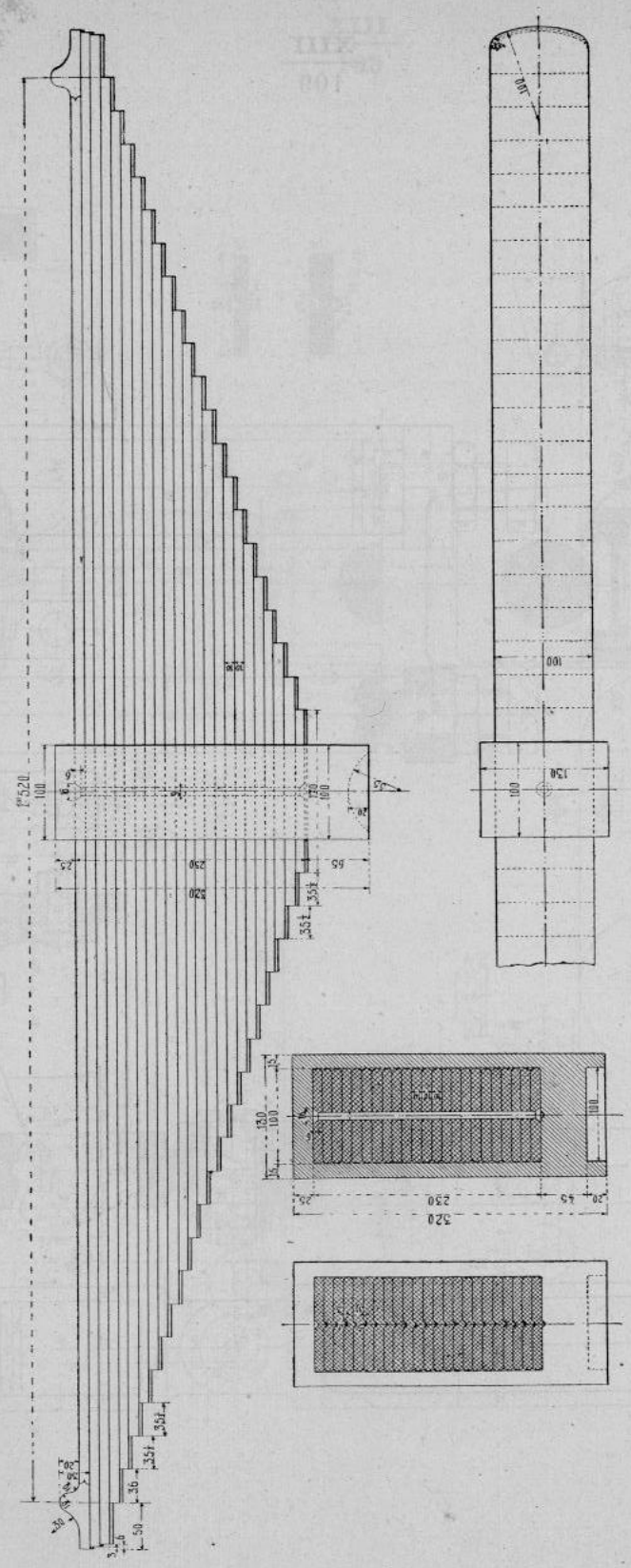
Pl. VI



Belgique. — Chemins de fer de l'Etat.

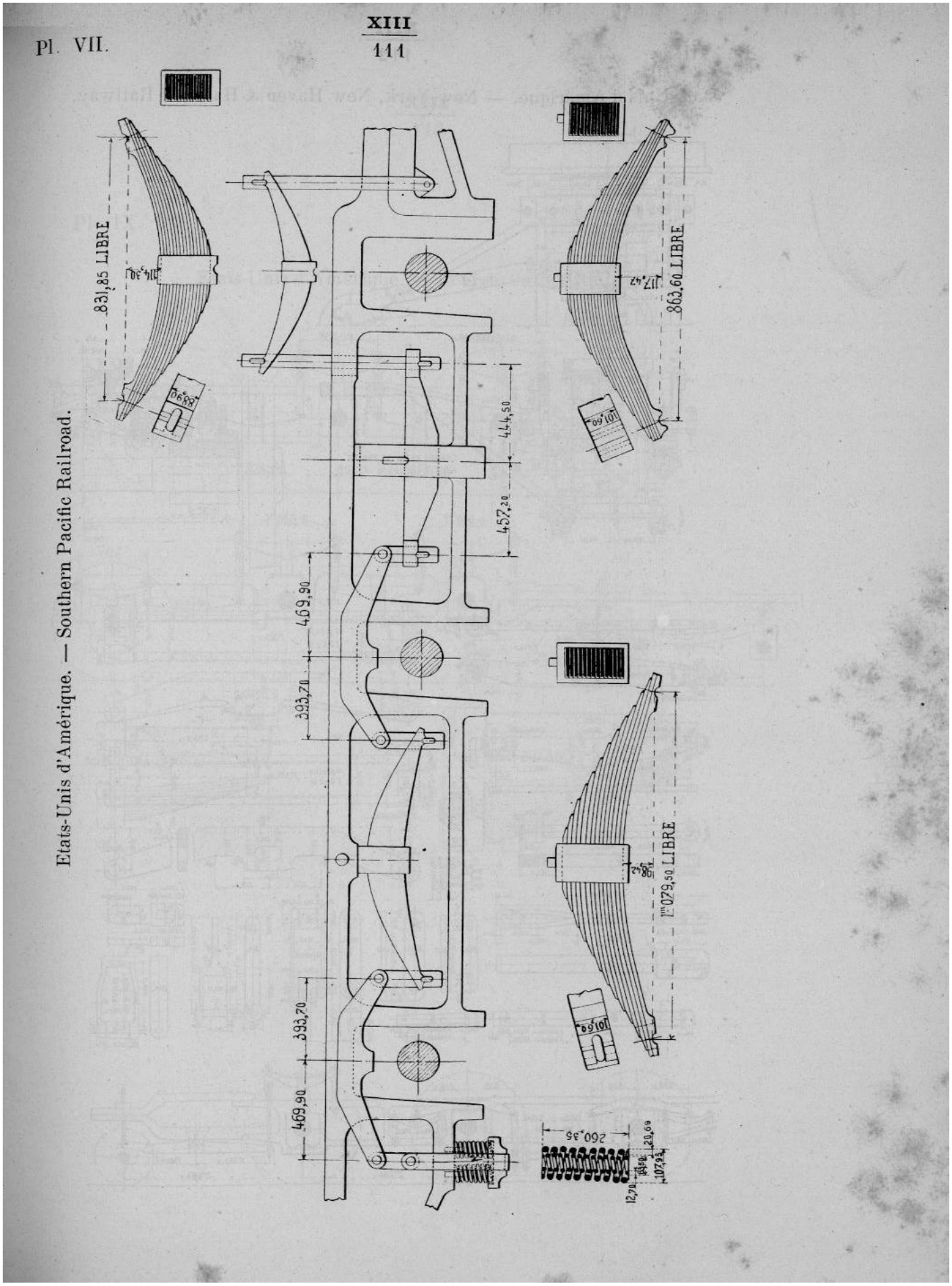
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Belgique. — Chemins de fer de l'Etat.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Etats-Unis d'Amérique. — Southern Pacific Railroad.

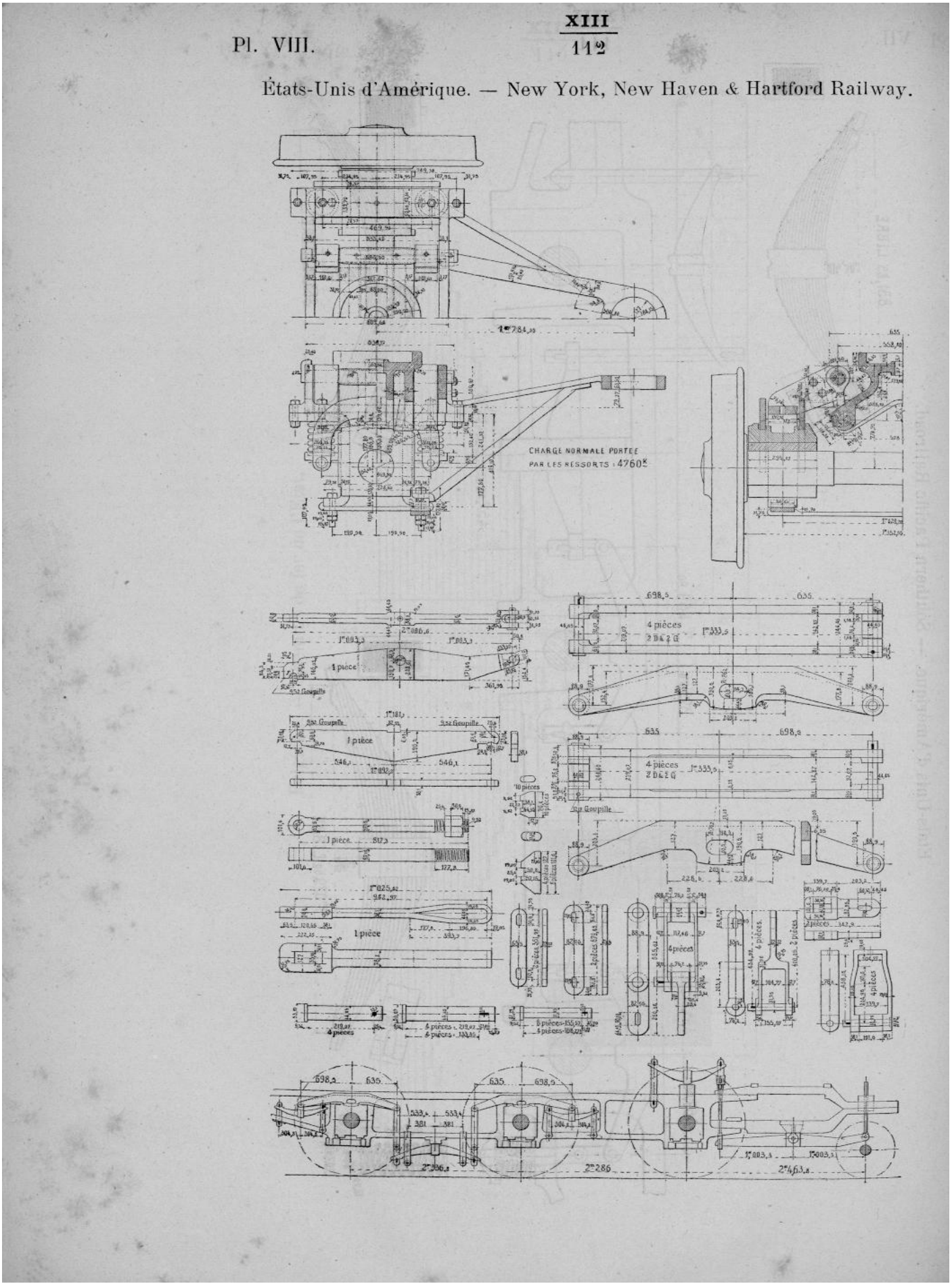


Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. VIII.

XIII
112

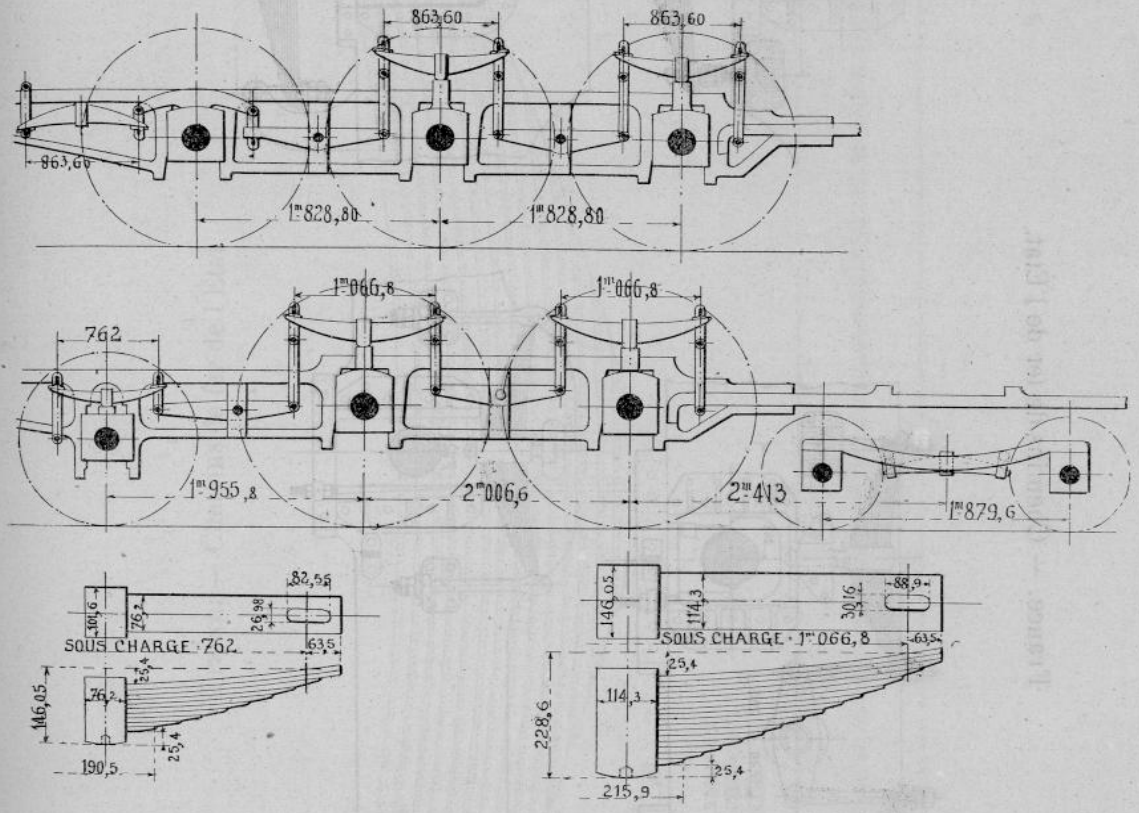
États-Unis d'Amérique. — New York, New Haven & Hartford Railway.



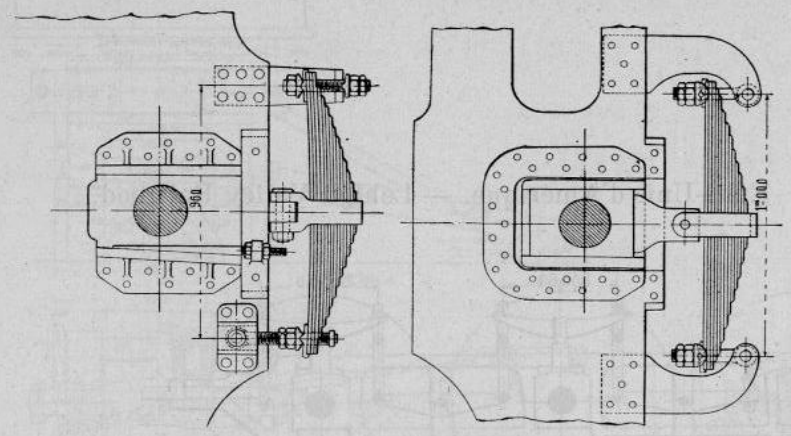
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

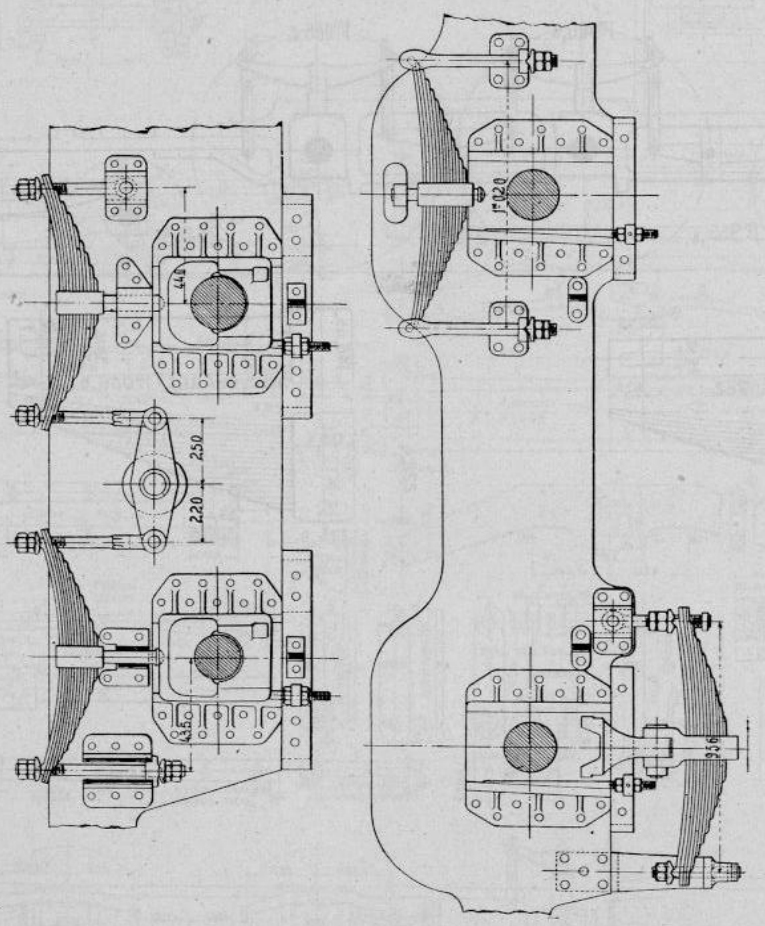
Pl. IX.

Etats-Unis d'Amérique. — Lehigh Valley Railroad.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

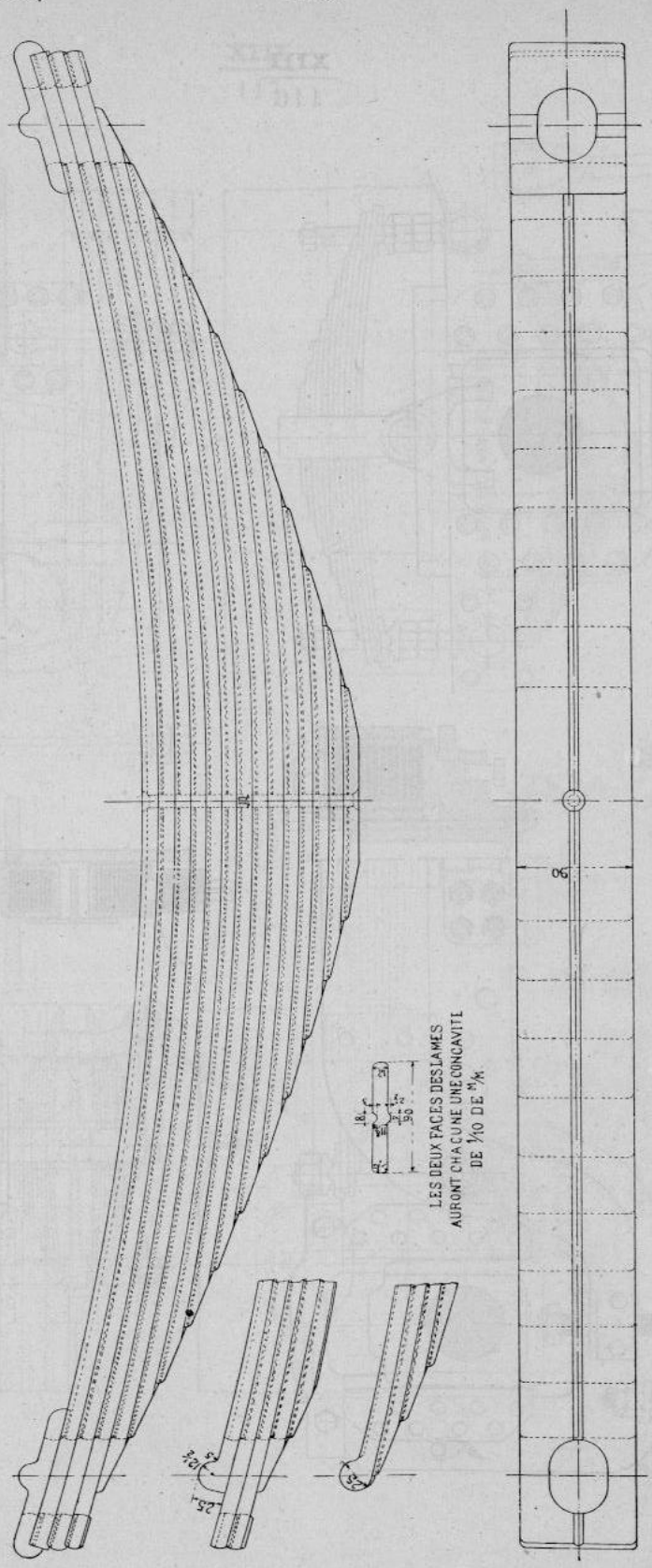




France. — Chemins de fer de l'État.

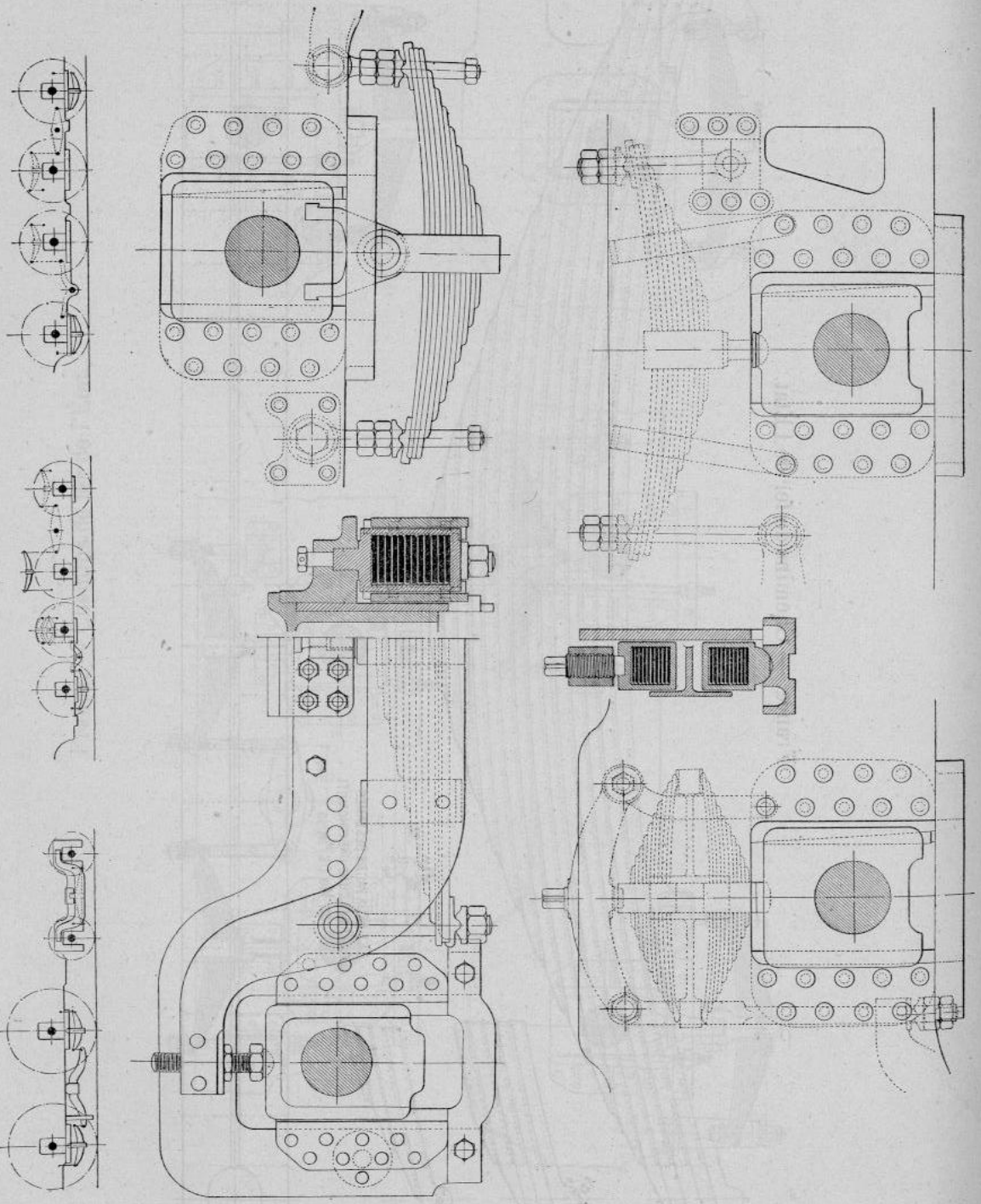
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

France. — Chemins de fer de l'État.



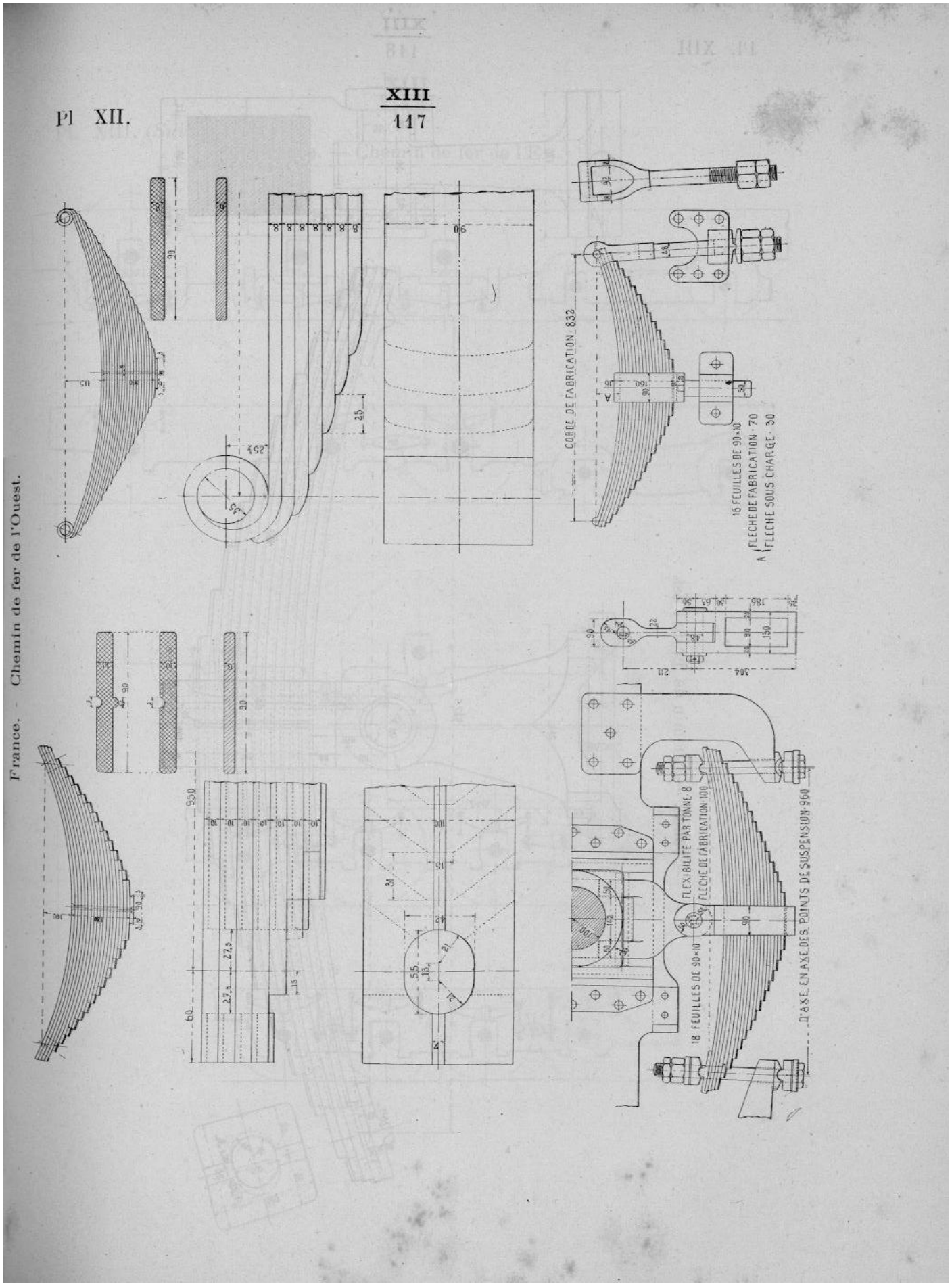
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl XI.



France. — Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée

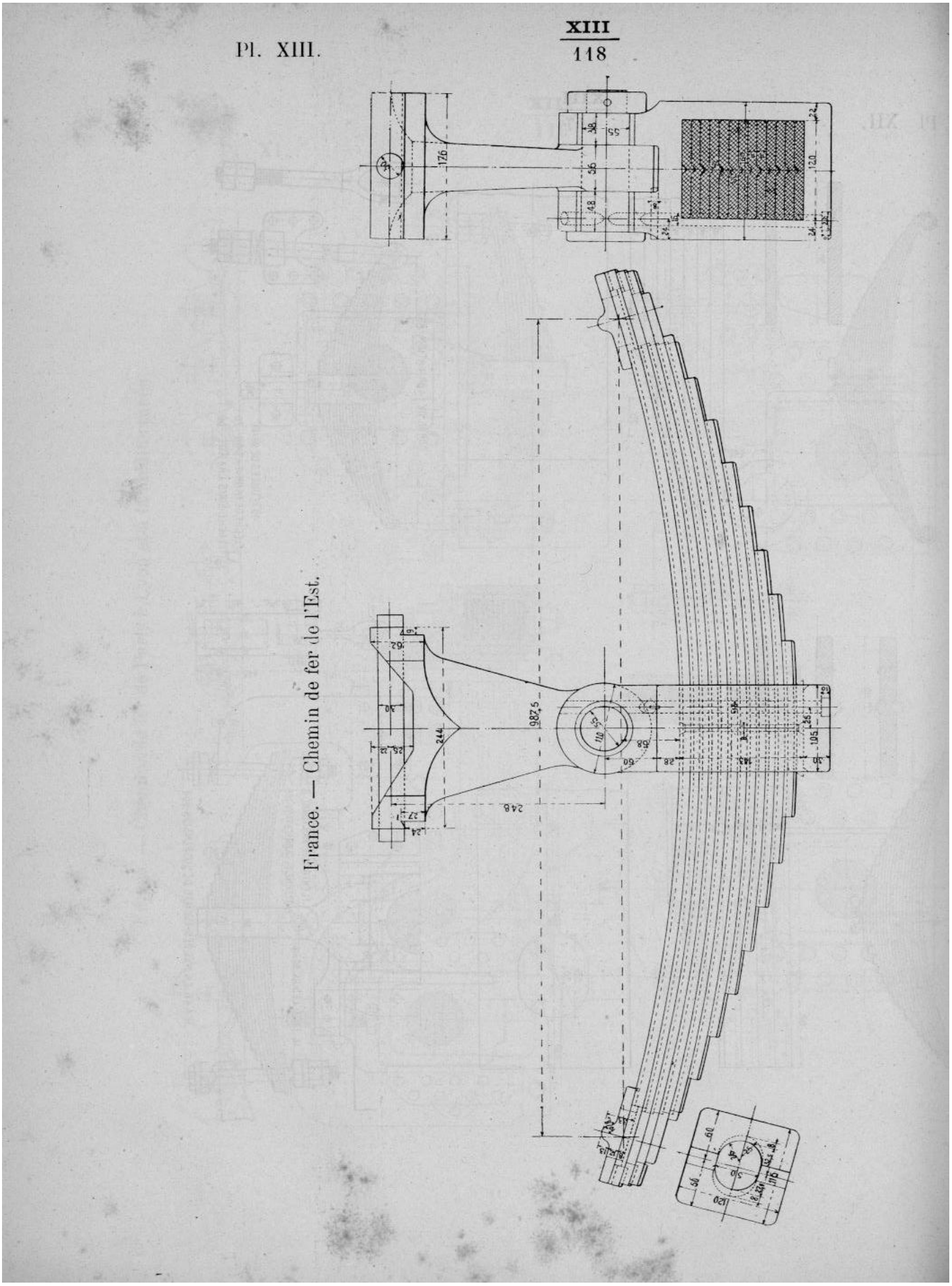
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XIII.

XIII
118

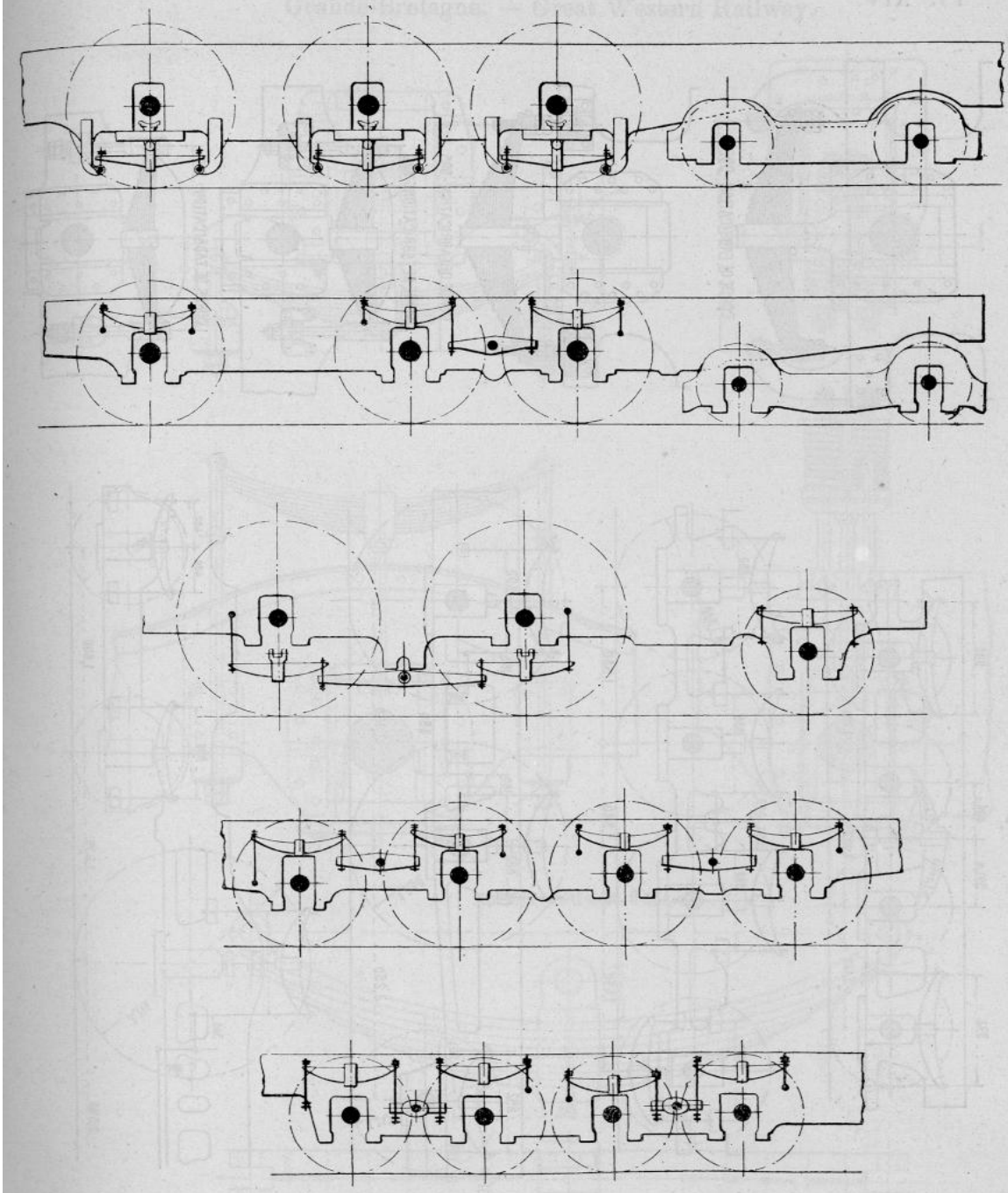


France. — Chemin de fer de l'Est.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

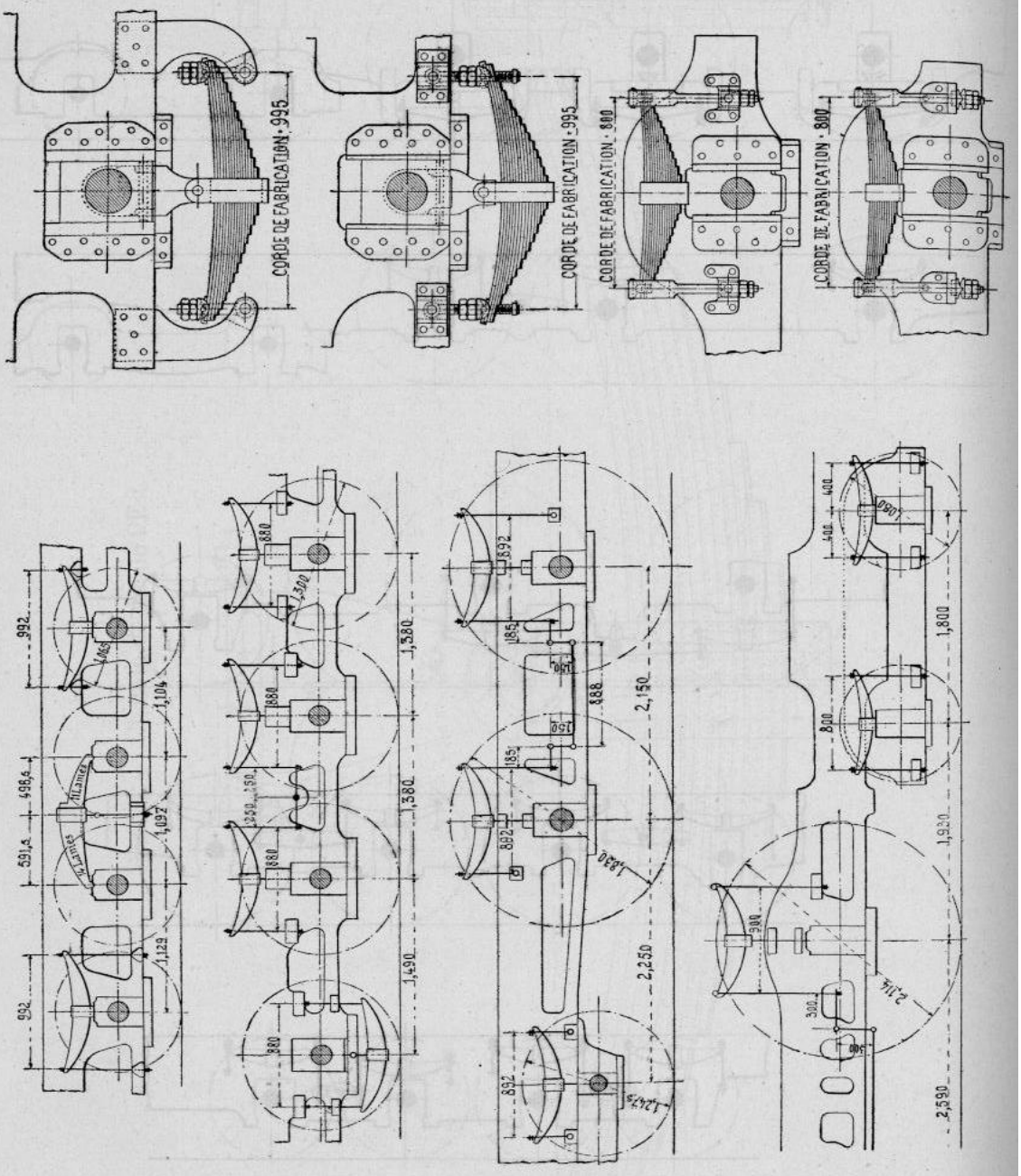
Pl. XIII. (*Suite.*)

France. — Chemin de fer de l'Est.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XIV.

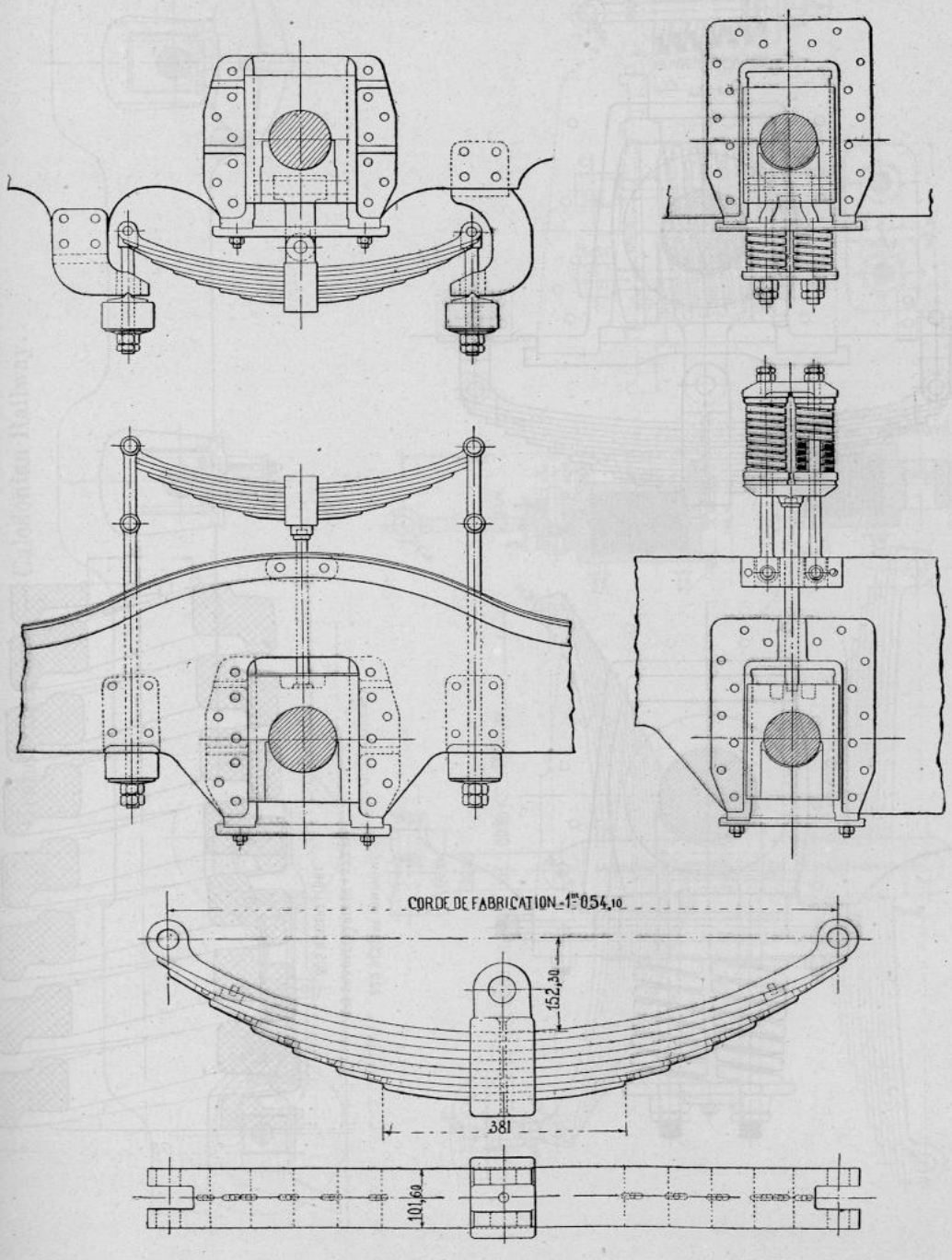


France. — Chemin de fer du Nord.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XV.

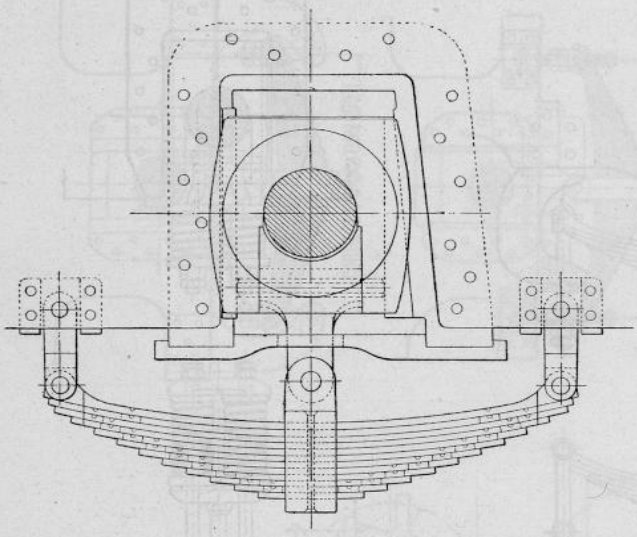
Grande-Bretagne. — Great Western Railway.

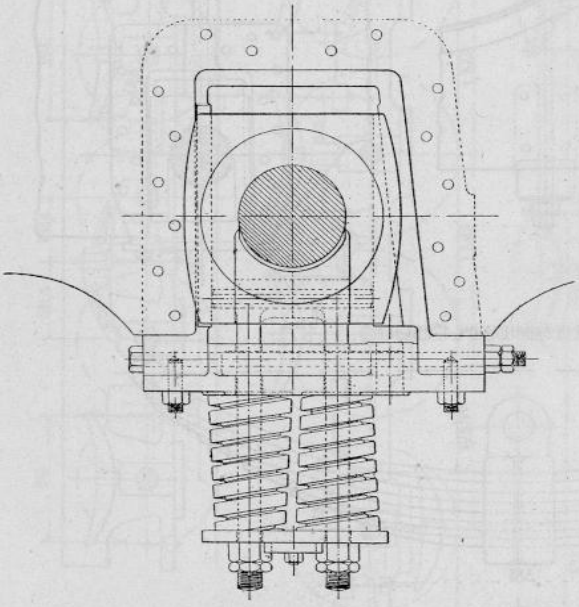


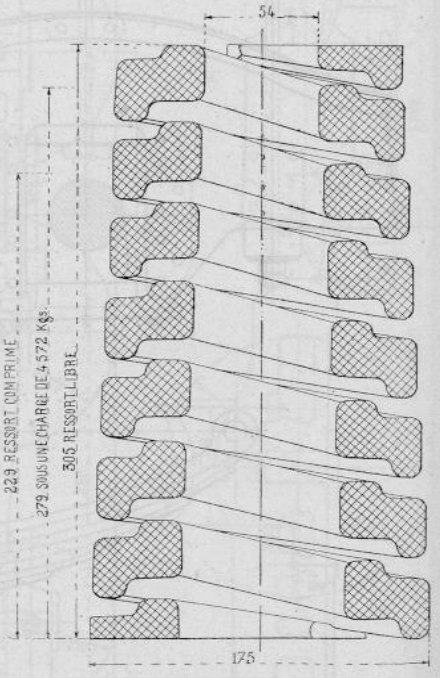
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XVI.

Grande-Bretagne. — North Eastern Railway.



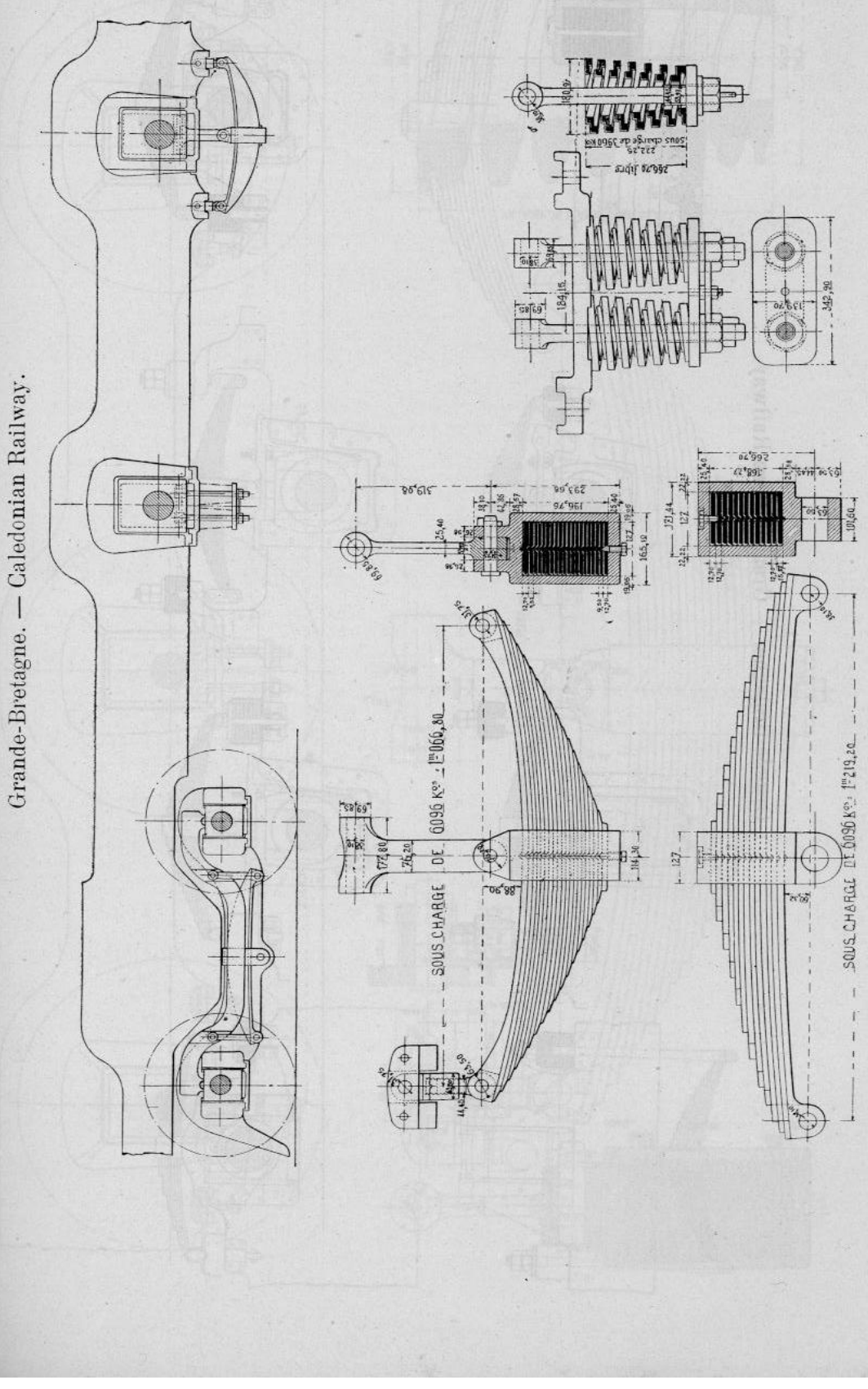




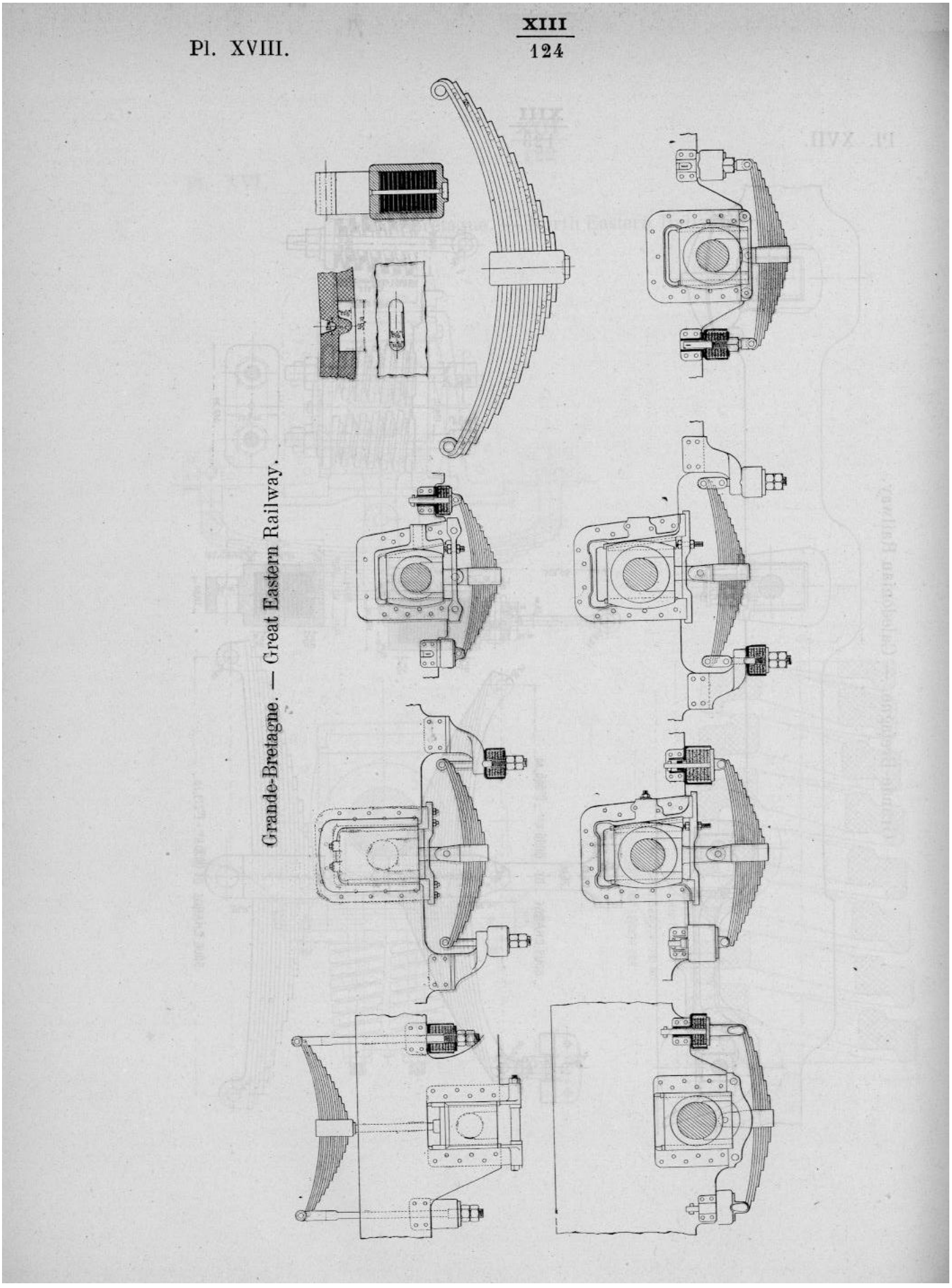
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XVII.

Grande-Bretagne. — Caledonian Railway.



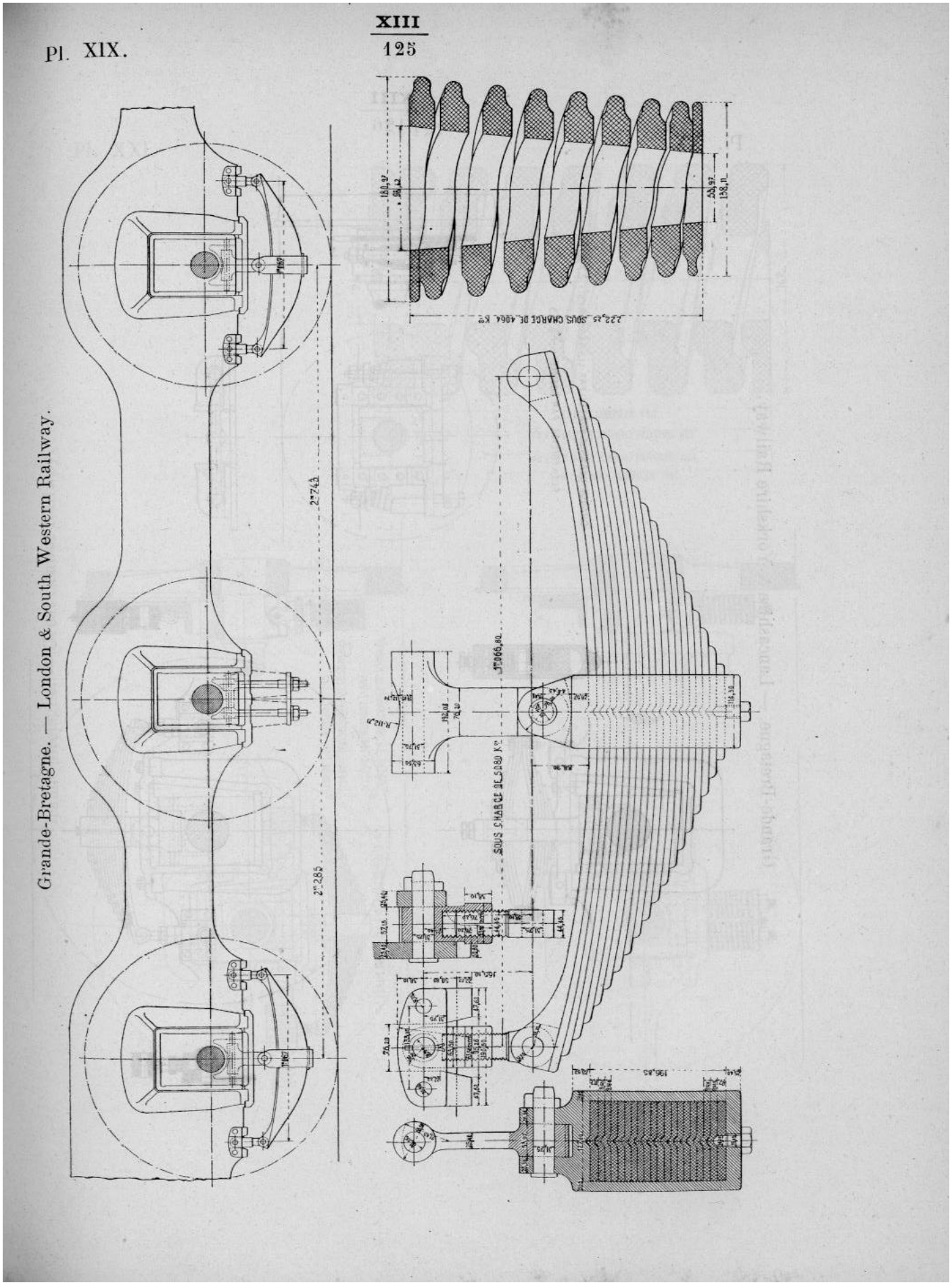
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Grande-Bretagne. — Great Eastern Railway.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XIX.



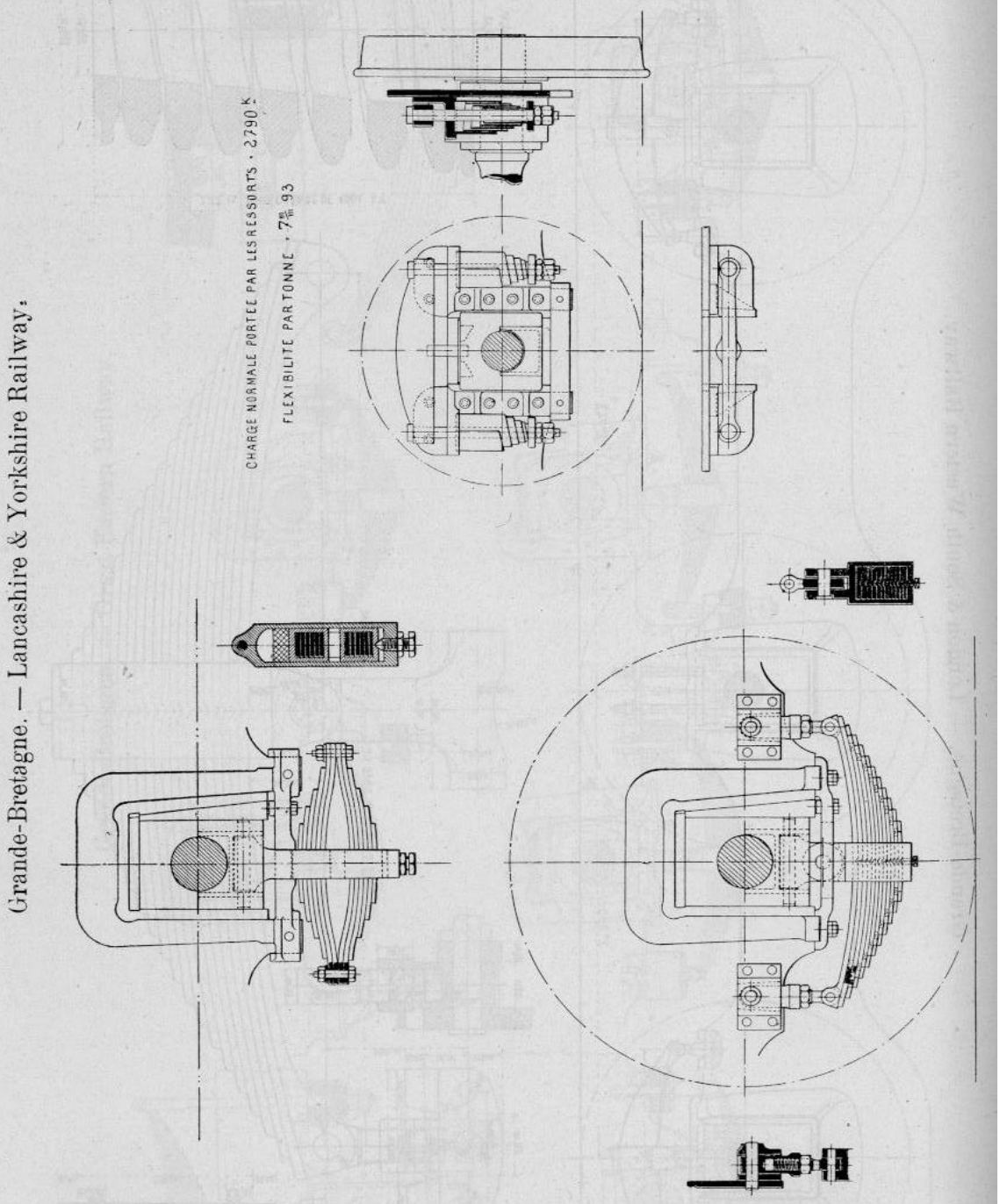
Grande-Bretagne. — London & South Western Railway.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XX

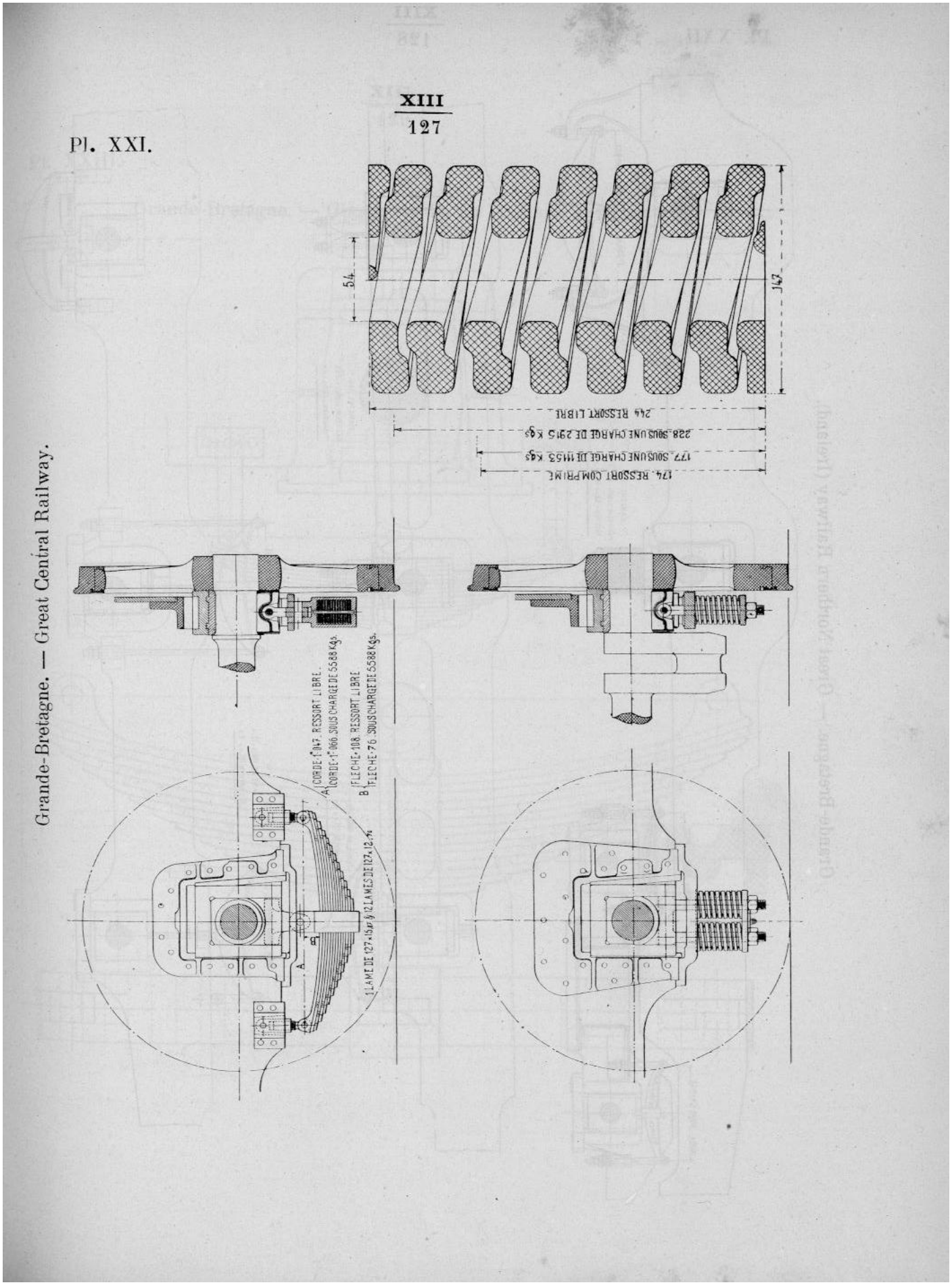
Grande-Bretagne. — Lancashire & Yorkshire Railway.

CHARGE NORMALE PORTÉE PAR LES RESSORTS : 2790 K.
FLEXIBILITÉ PAR TONNE : 7mm 93



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XXI.

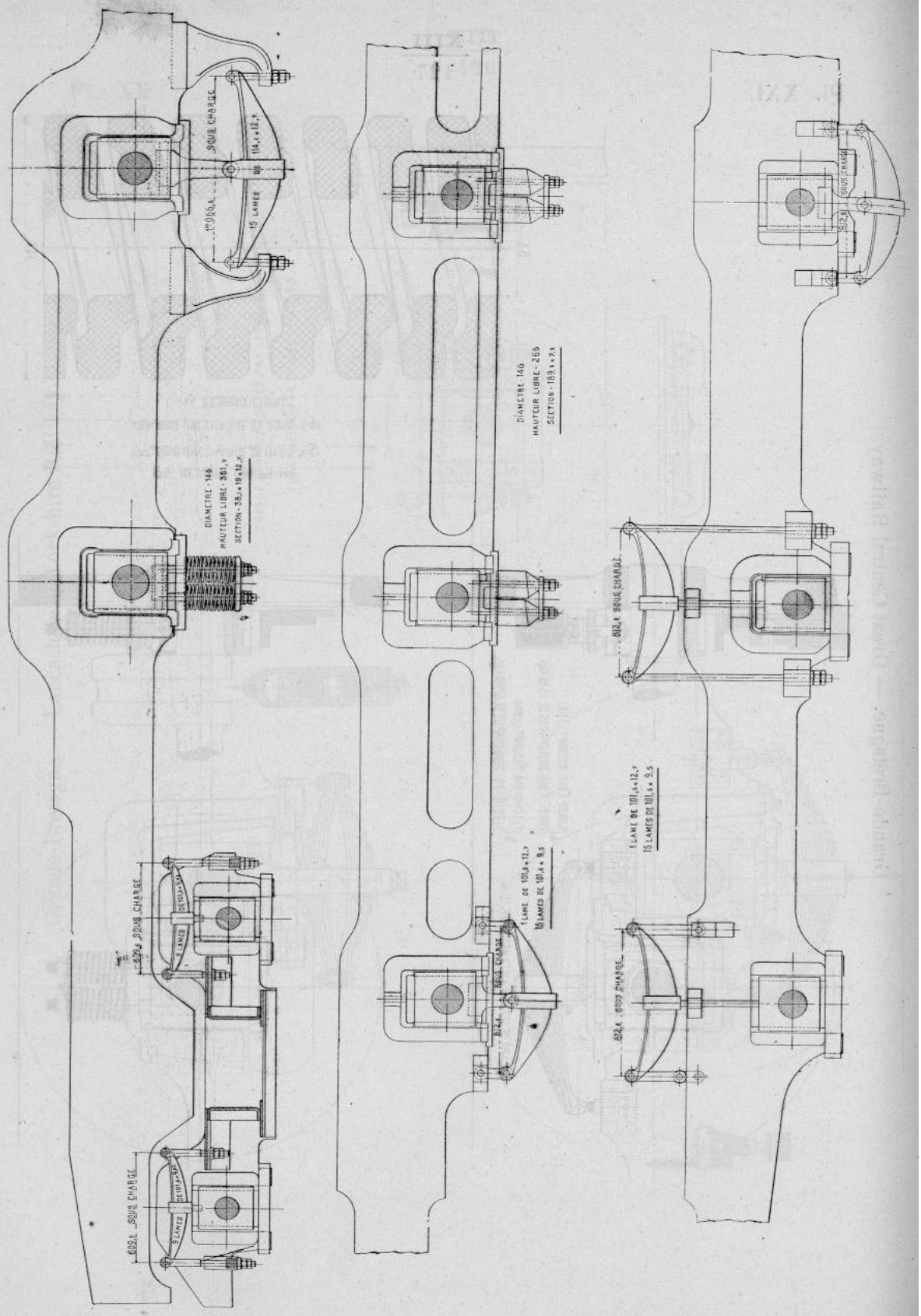


Grande-Bretagne. — Great Central Railway.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XXII.

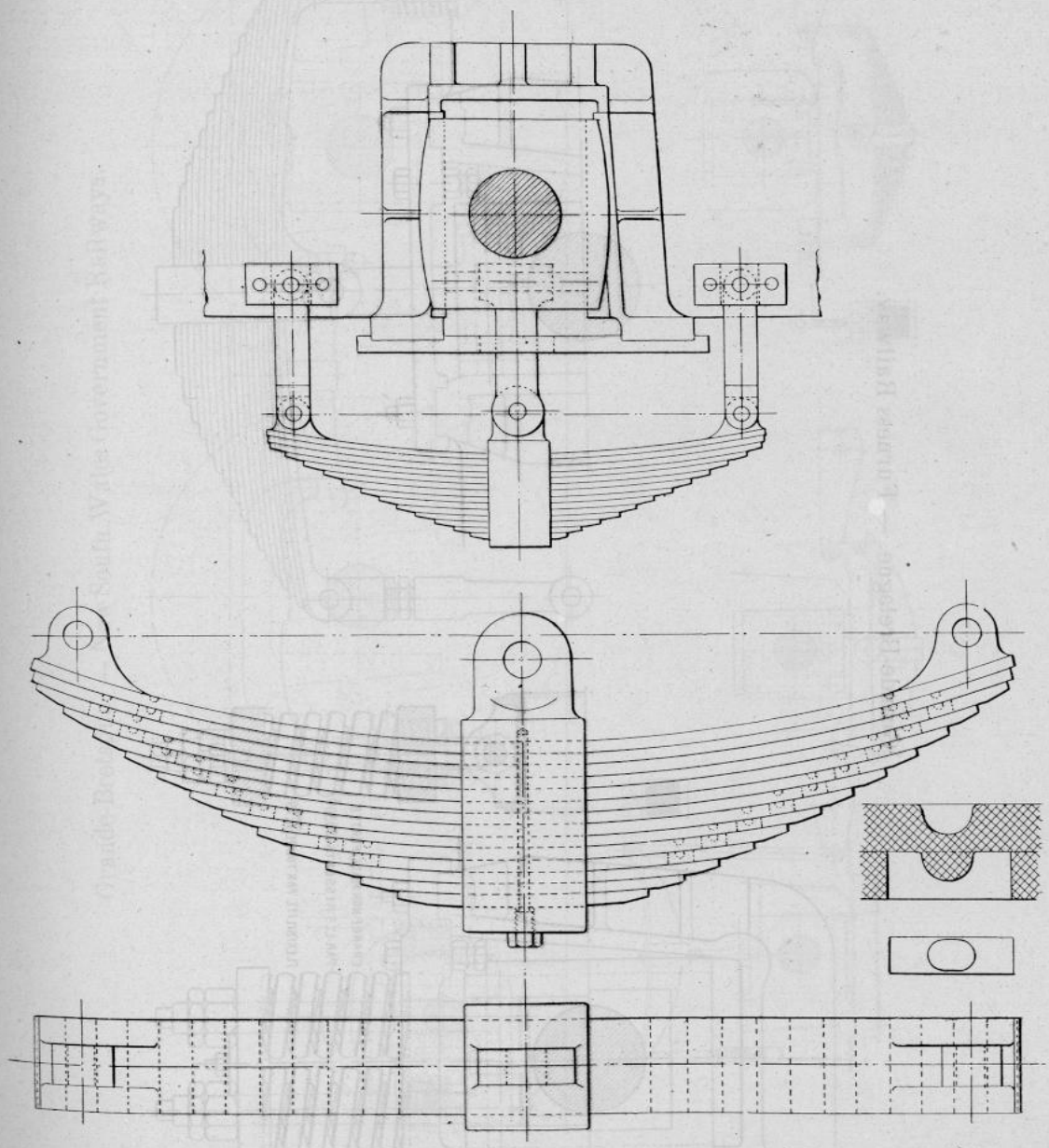
Grande-Bretagne. — Great Northern Railway (Ireland).



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

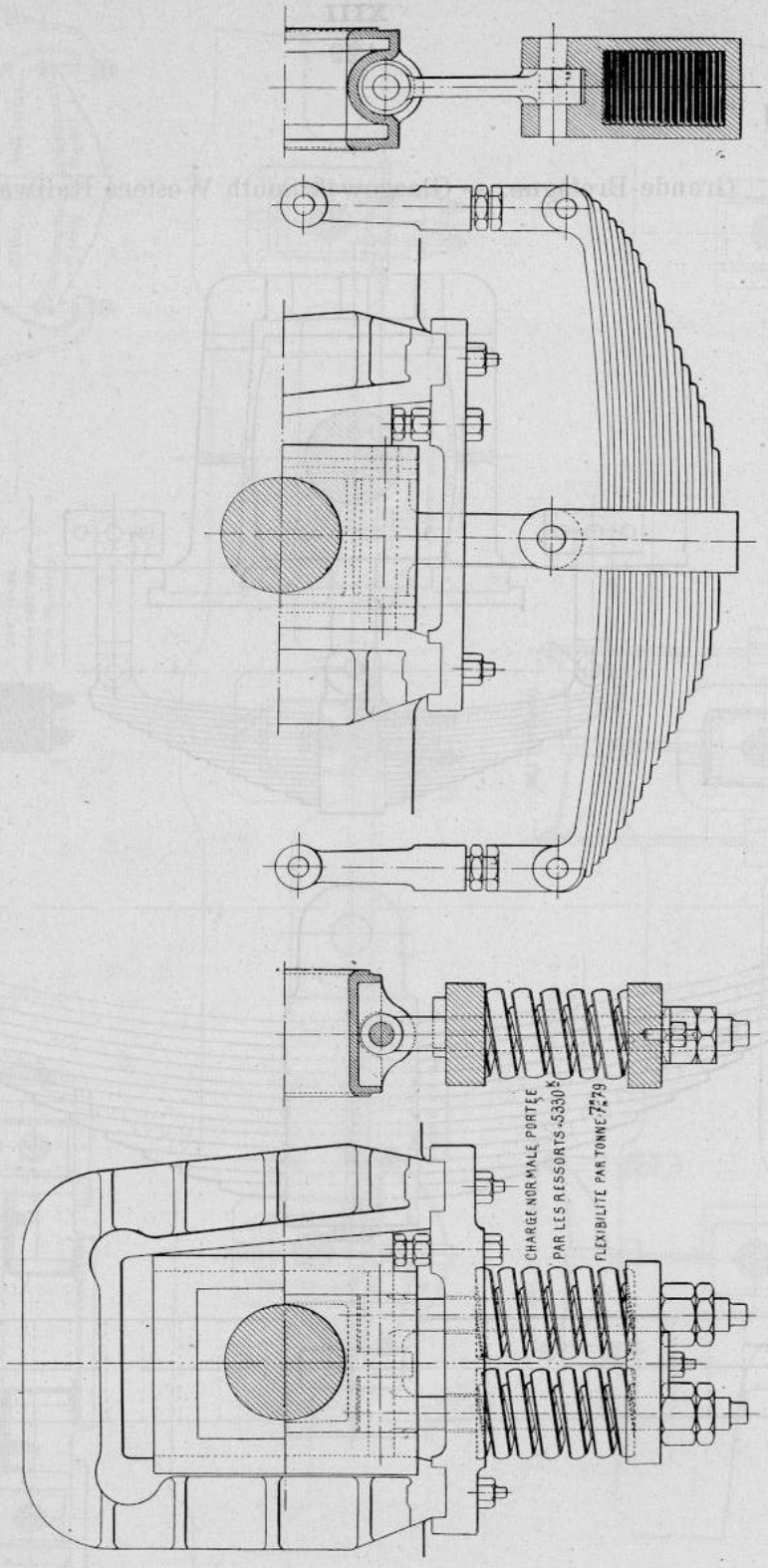
Pl. XXIII.

Grande-Bretagne. — Glasgow & South Western Railway.



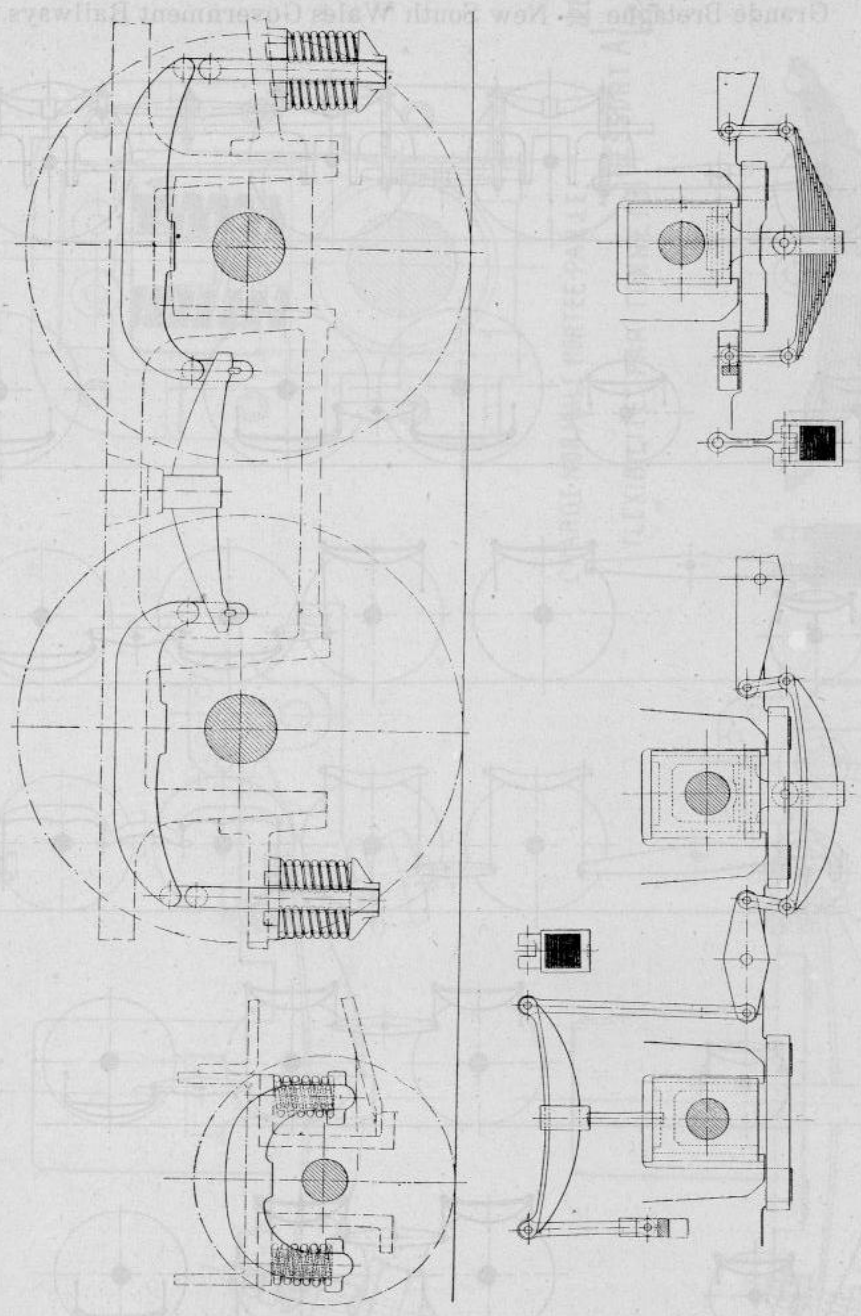
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Grande-Bretagne. — Furness Railway.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XXV.

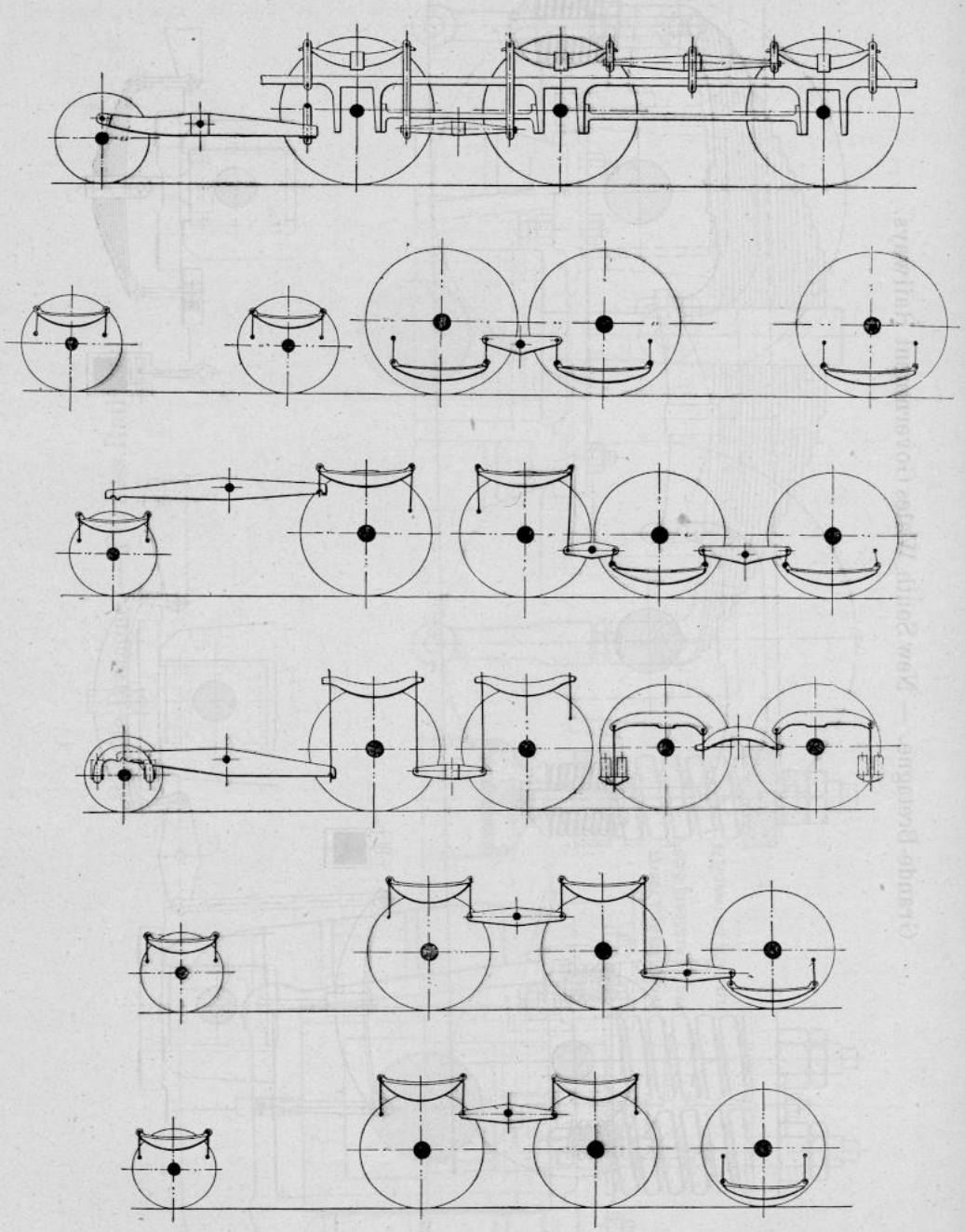


Grande-Bretagne. — New South Wales Government Railways.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

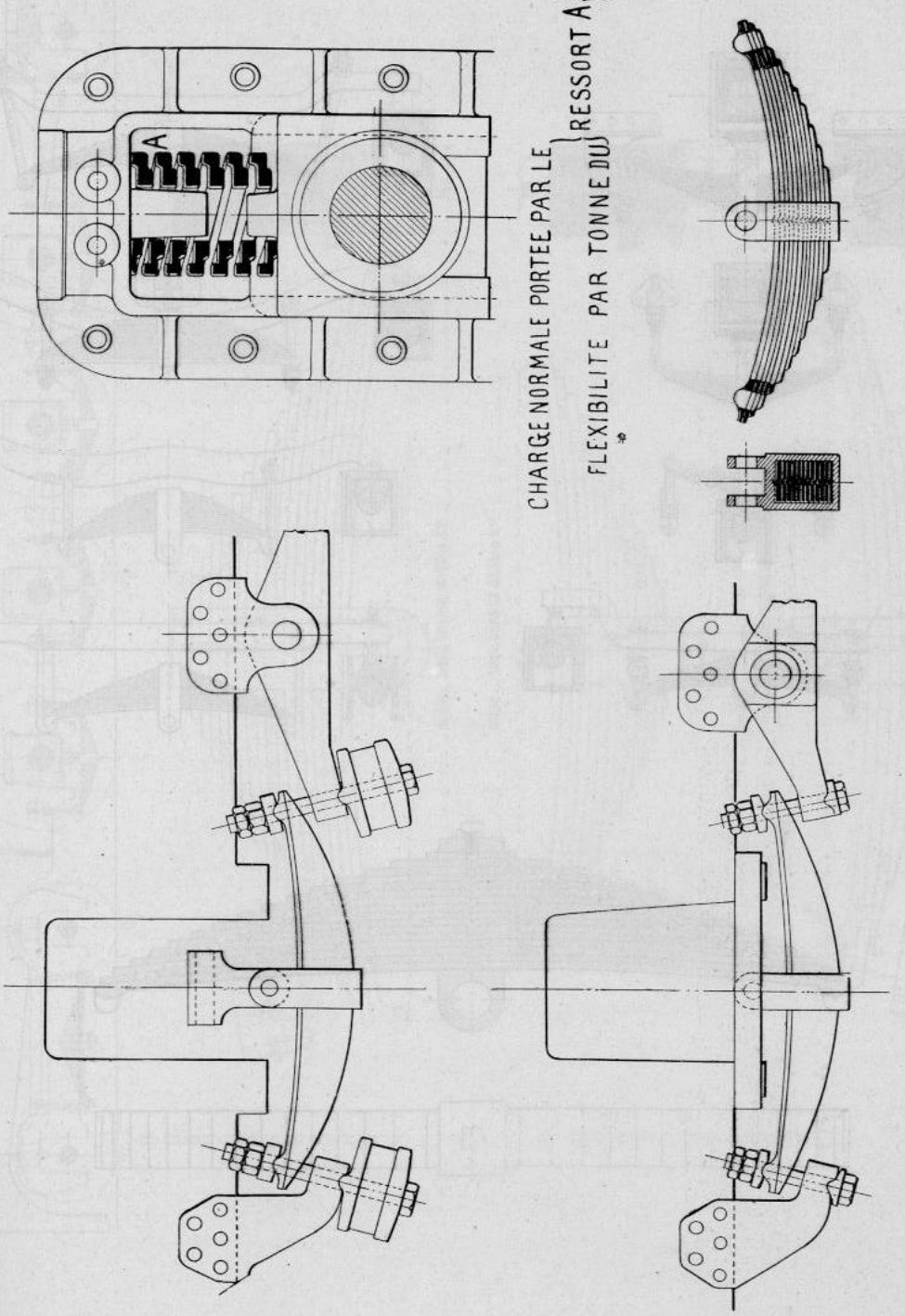
Pl. XXV. (*Suite.*)

Grande-Bretagne. — New South Wales Government Railways.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

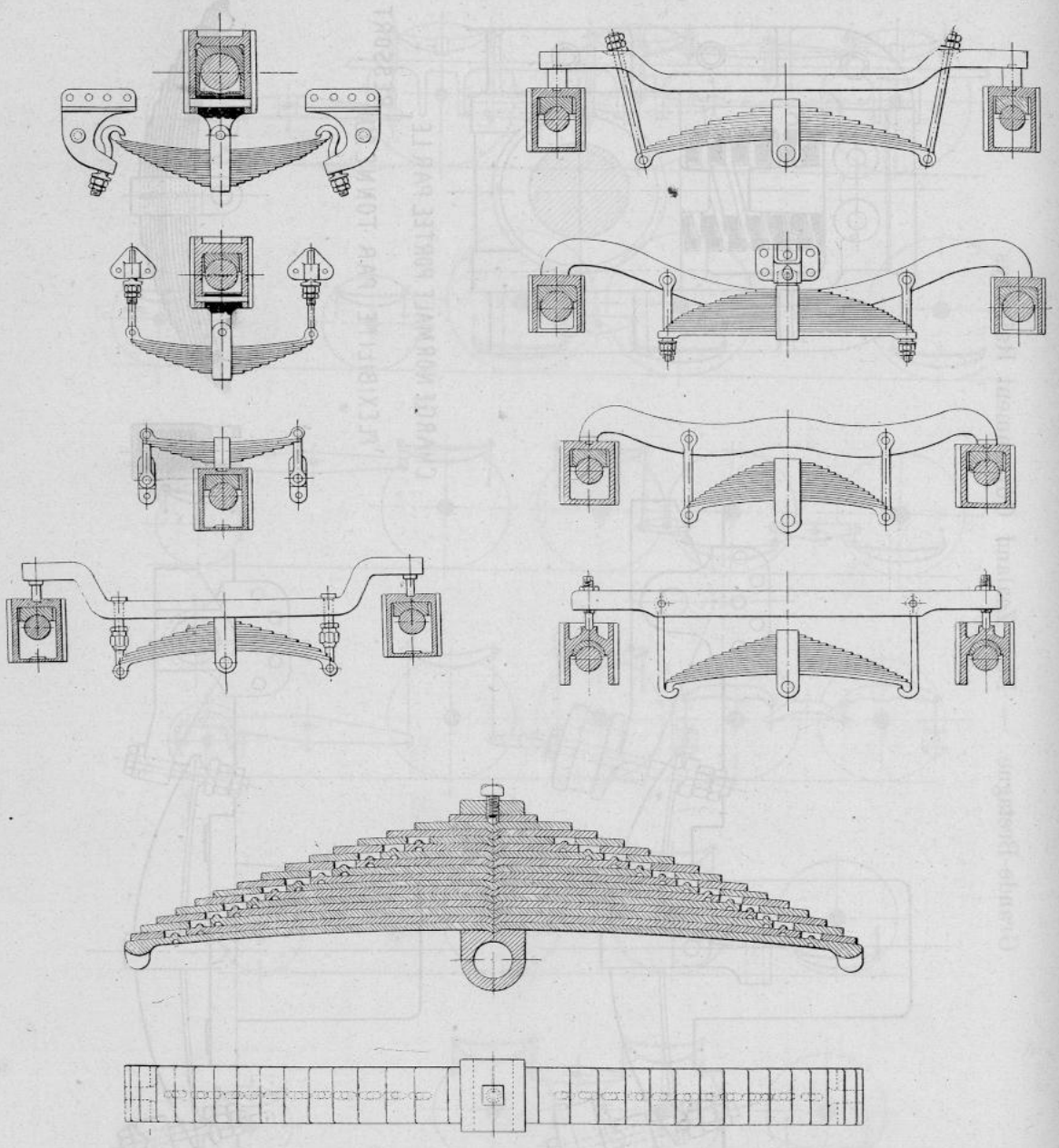
Grande-Bretagne. — New Zealand Government Railways



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XXVII.

Grande-Bretagne. — Western Australia Government Railways.

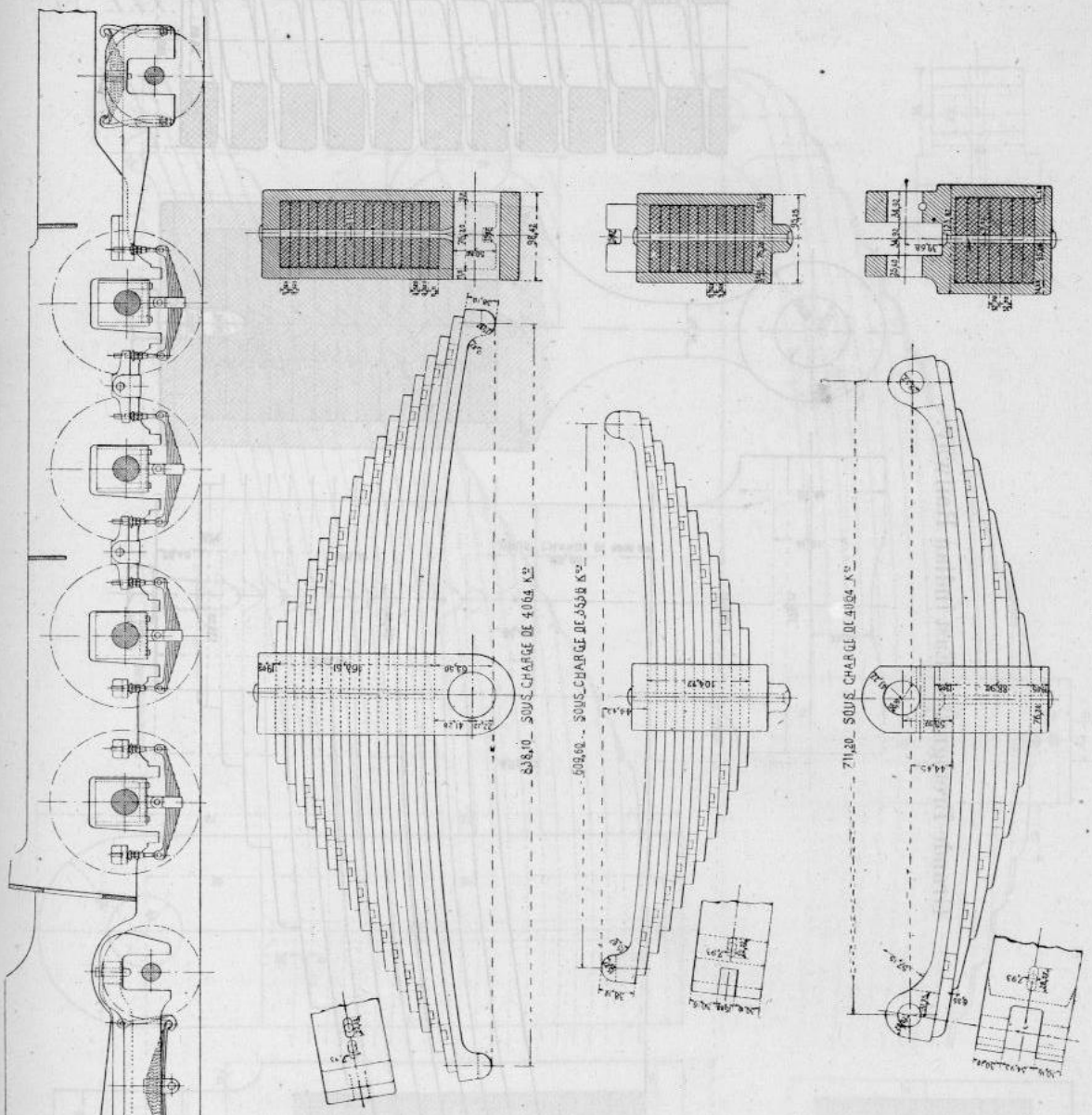


Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XXVIII.

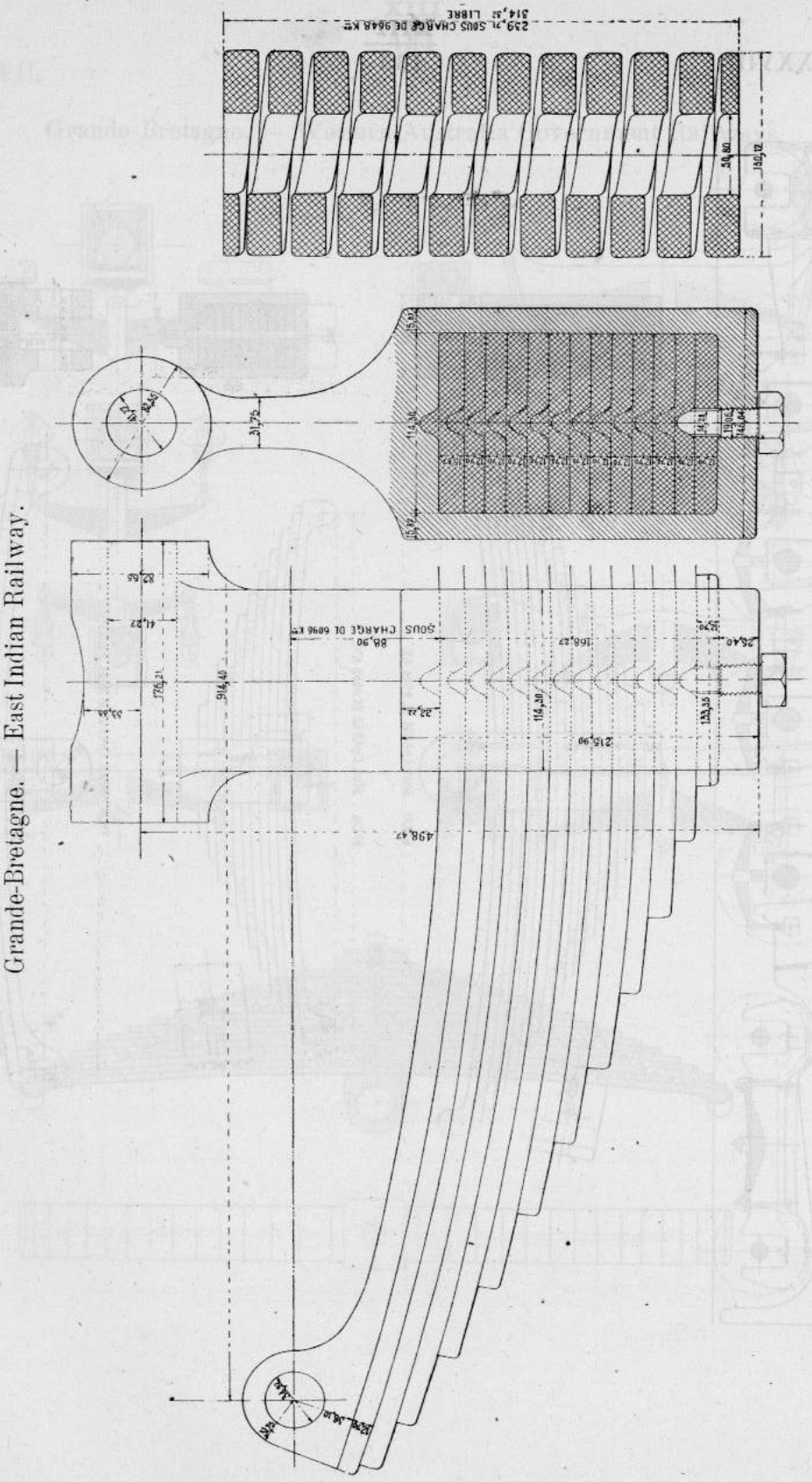
XIII
135

Grande-Bretagne. — Natal Government Railways.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

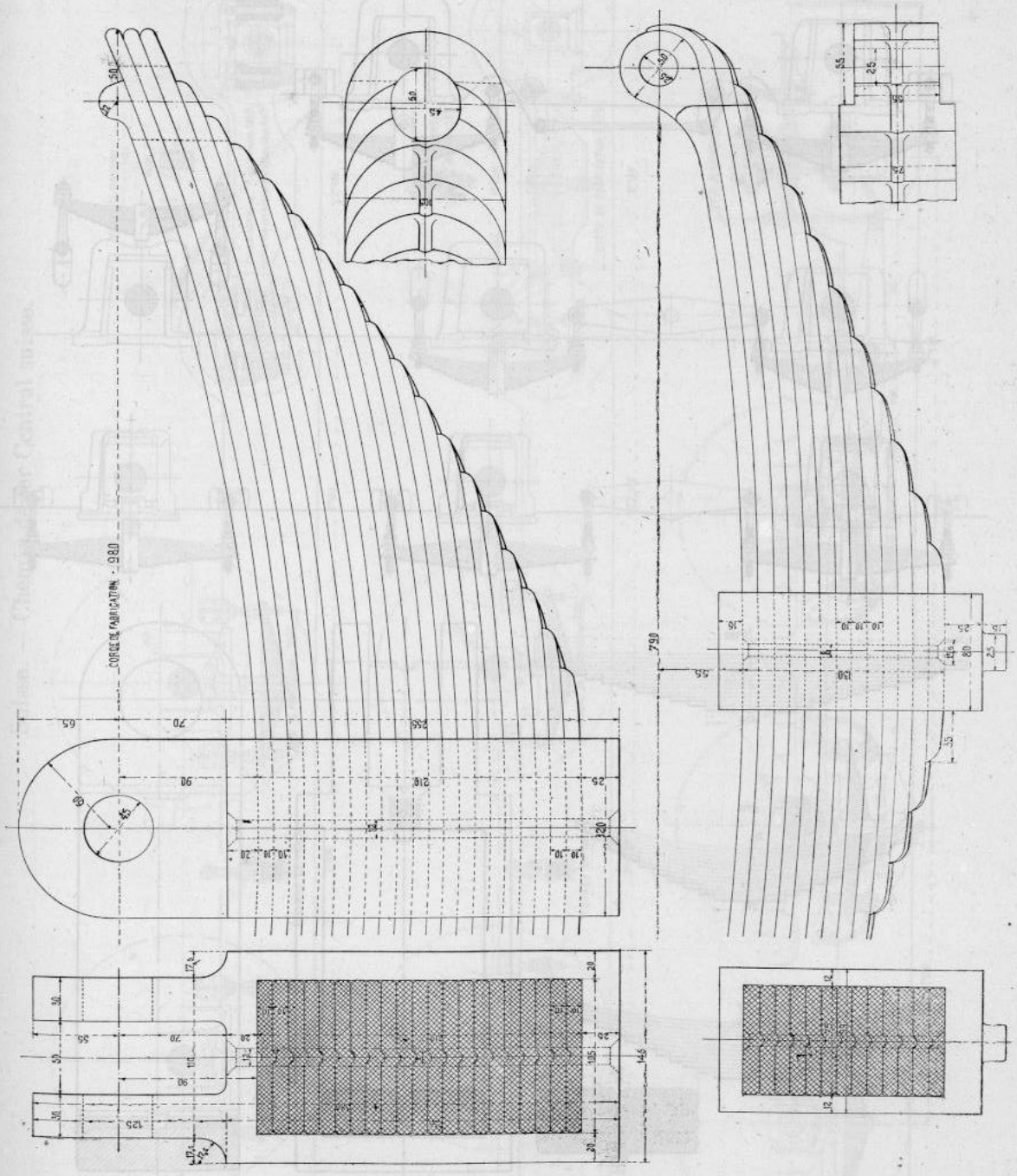
Pl. XXIX.



Grande-Bretagne. — East Indian Railway.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

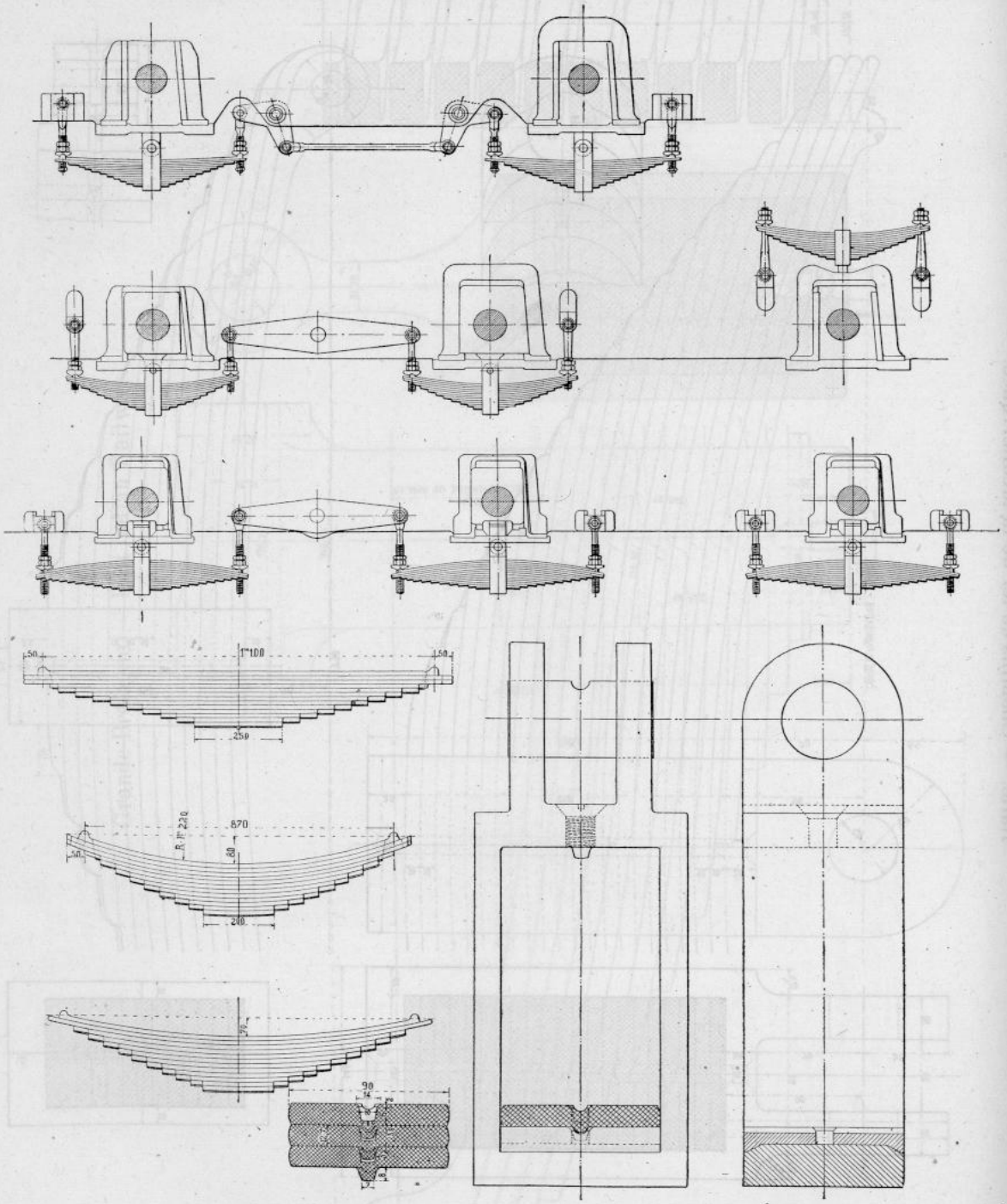
PL. XXX.



Italie. — Chemins de fer de la Méditerranée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

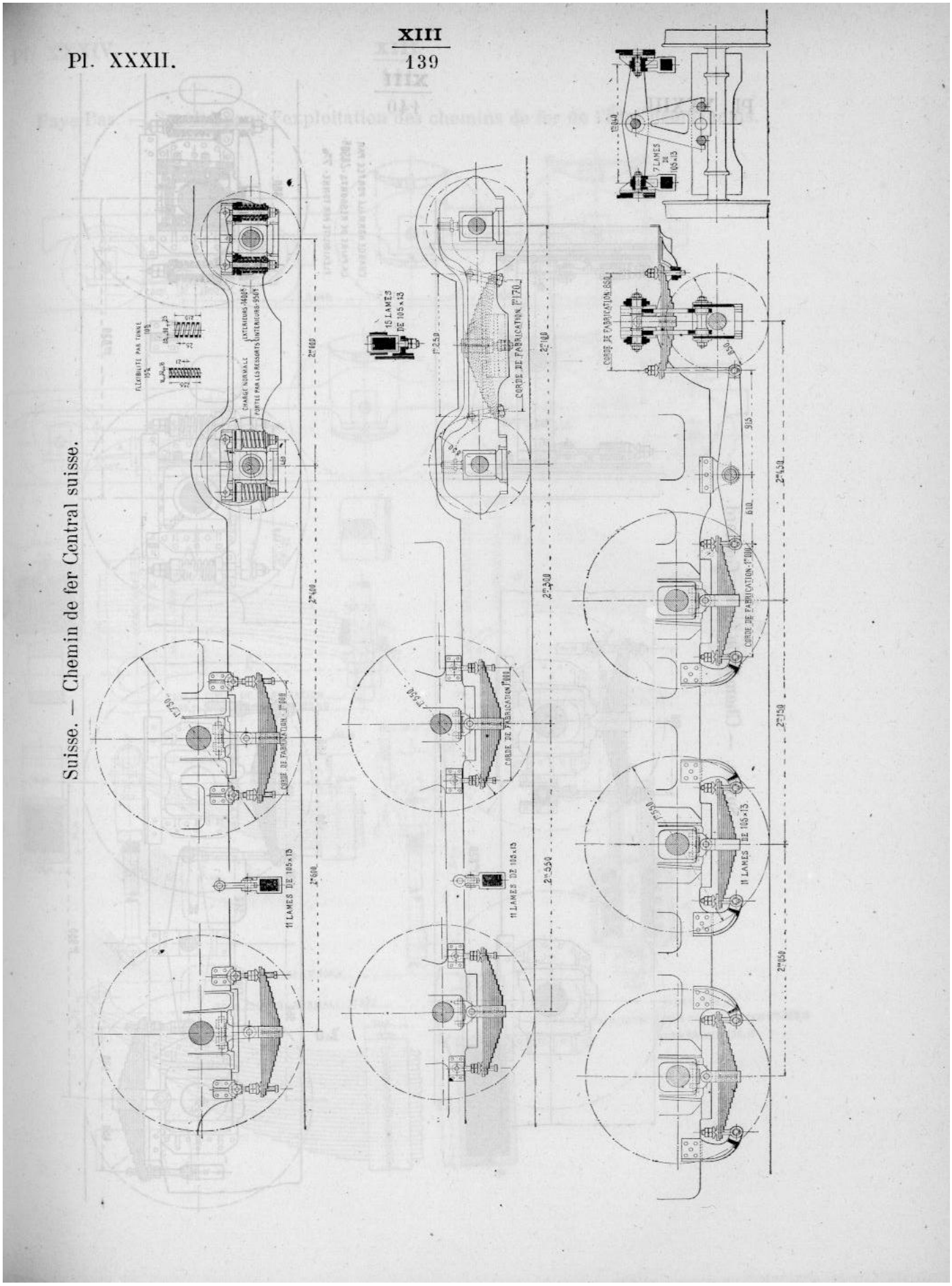
Italie. — Chemins de fer méridionaux. Réseau de l'Adriatique.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pl. XXXII.

Suisse. — Chemin de fer Central suisse.

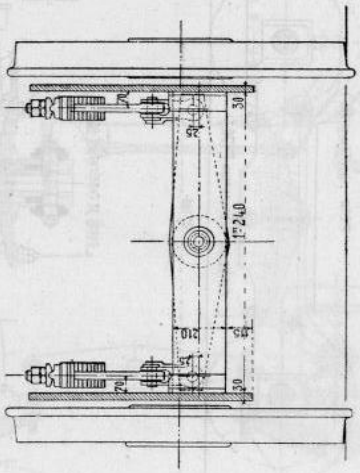


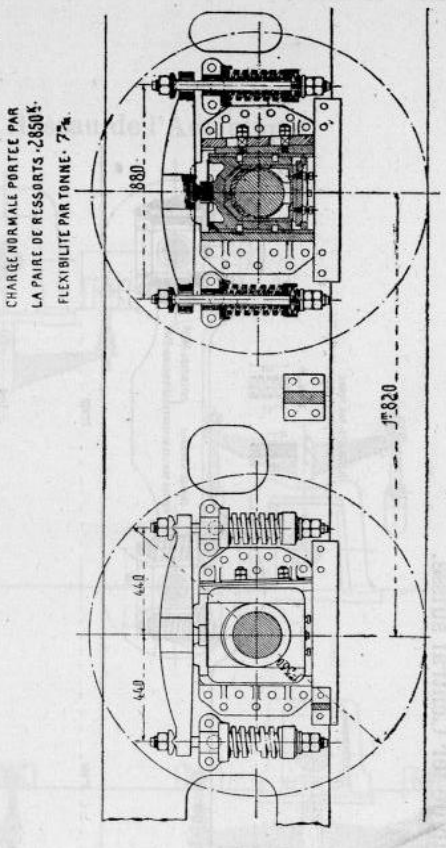
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

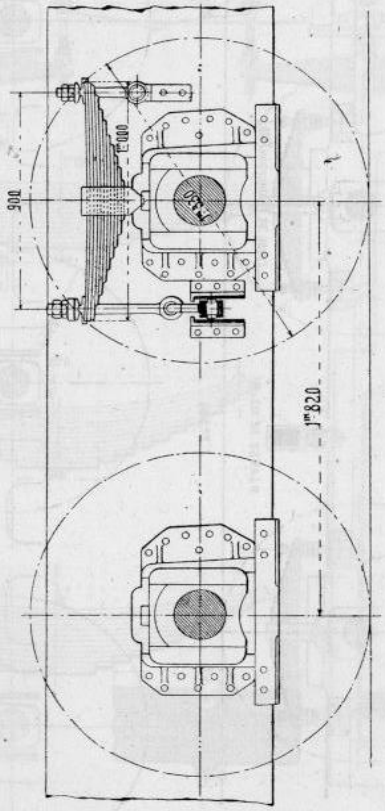
Pl. XXXIII.

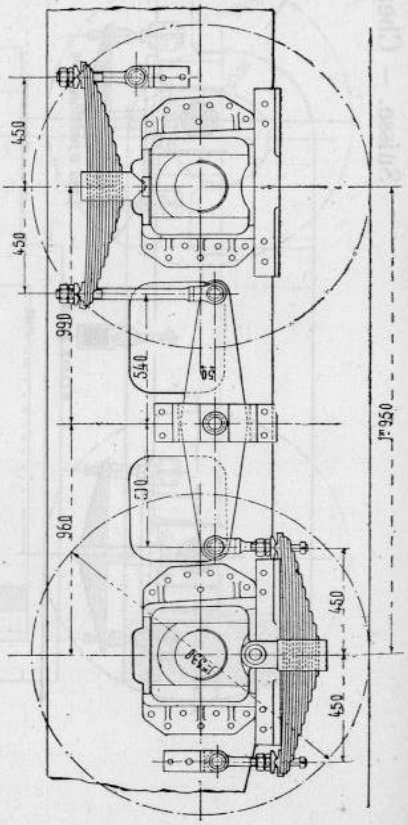
XIII
140

Suisse. — Chemin de fer du Gothard.



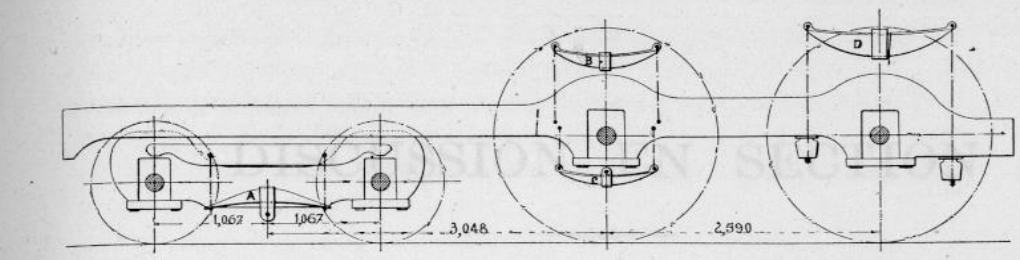


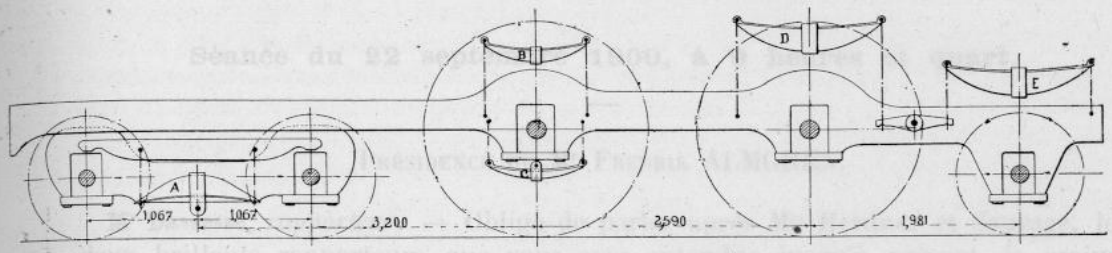


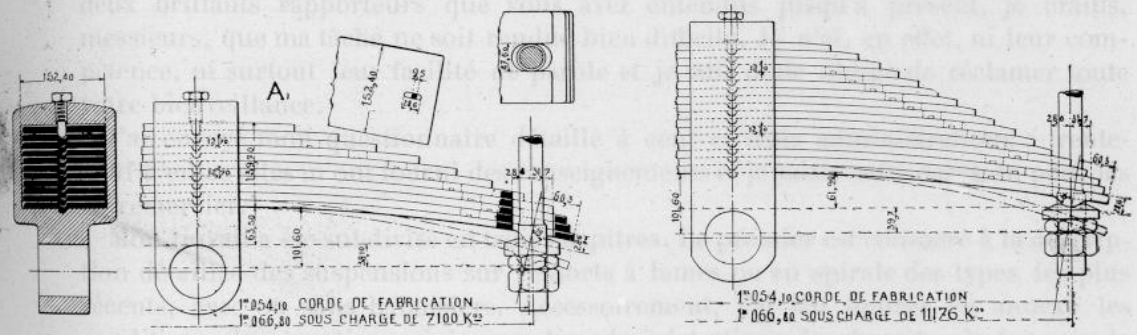


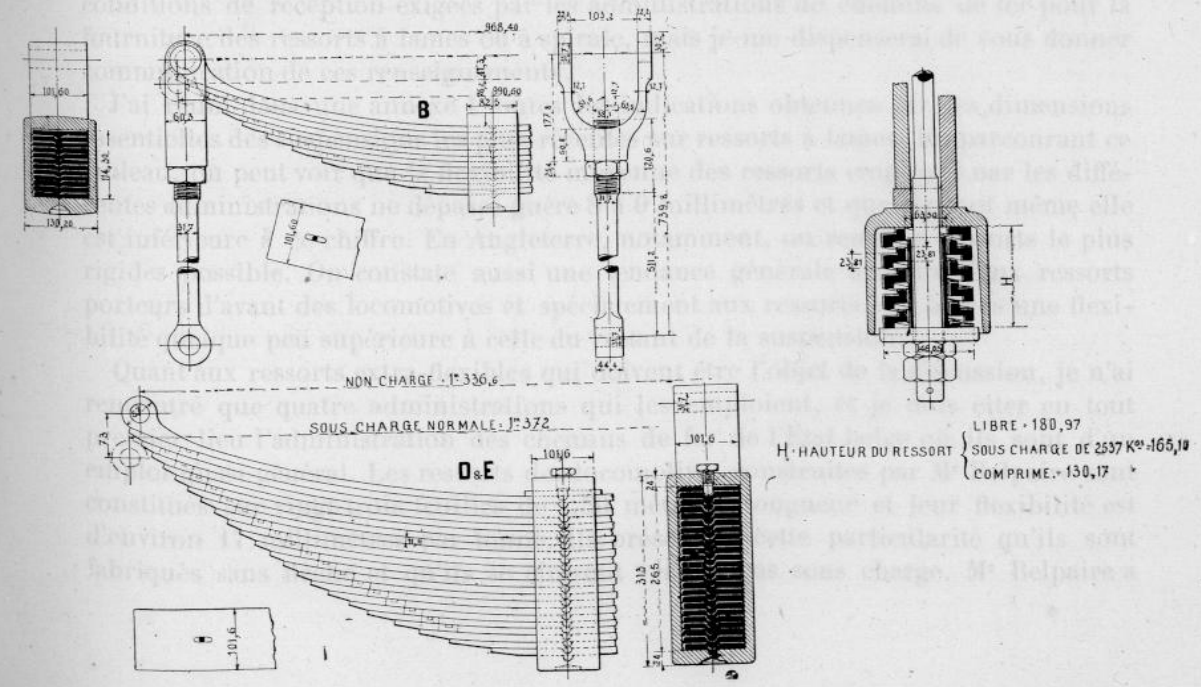
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pays-Bas. — Société pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais.

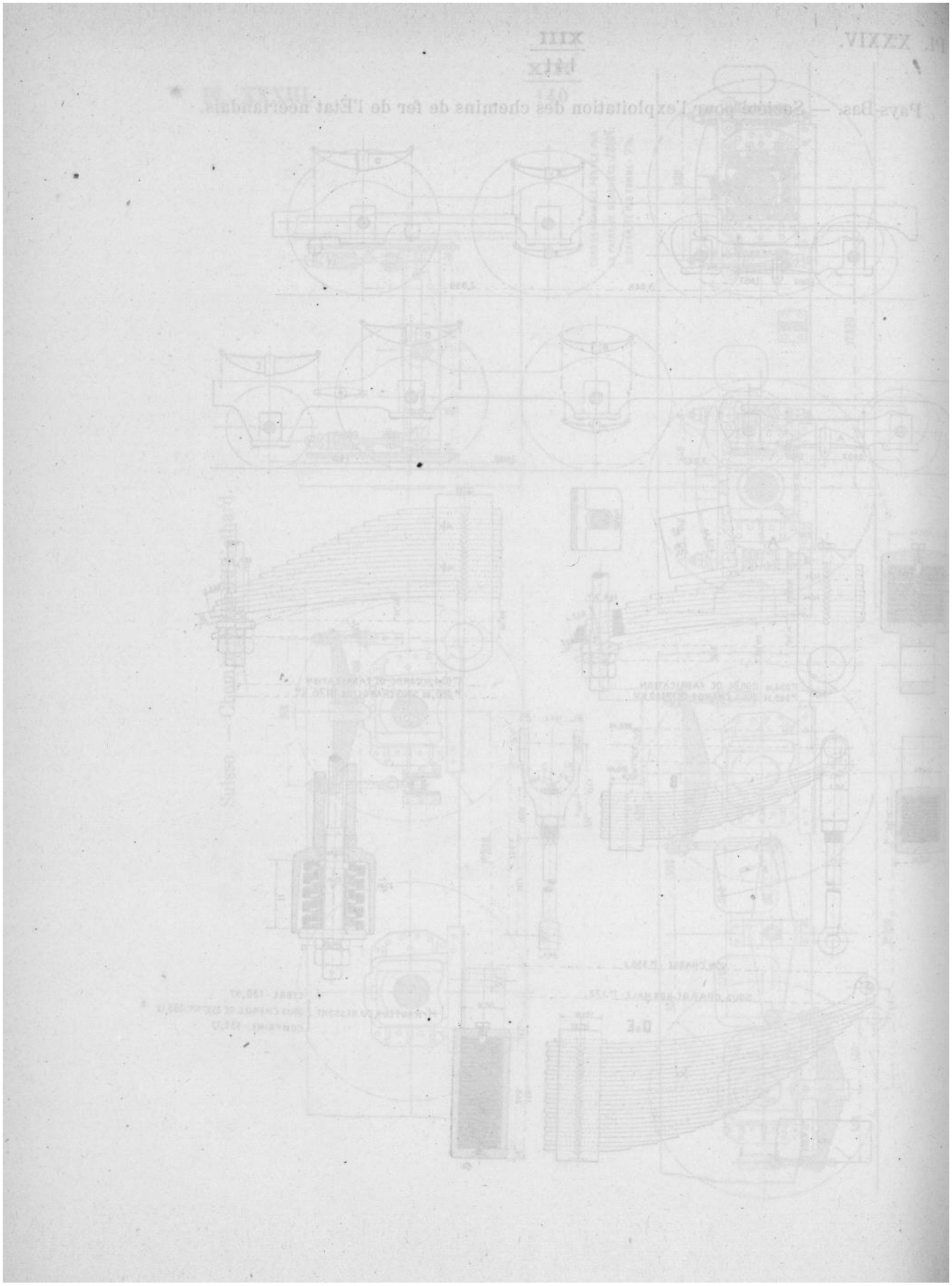








Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SECTION

Séance du 22 septembre 1900, à 9 heures et quart.

—

PRÉSIDENCE DE Mr FREDRIK ALMGREN.

Mr Dassesse, *rapporteur*. — Obligé de parler après Mrs Herdner et Sauvage, les deux brillants rapporteurs que vous avez entendus jusqu'à présent, je crains, messieurs, que ma tâche ne soit rendue bien difficile. Je n'ai, en effet, ni leur compétence, ni surtout leur facilité de parole et je suis donc obligé de réclamer toute votre bienveillance.

J'ai envoyé mon questionnaire détaillé à cent et trois administrations : trente-neuf d'entre elles m'ont fourni des renseignements et je saisis cette occasion pour les en remercier.

Mon travail a été subdivisé en trois chapitres. Le premier est consacré à la description détaillée des suspensions sur ressorts à lames ou en spirale des types les plus récents, avec ou sans balanciers. Accessoirement, j'ai fait figurer en annexe les conditions de réception exigées par les administrations de chemins de fer pour la fourniture des ressorts à lames ou à spirale, mais je me dispenserai de vous donner communication de ces renseignements.

J'ai réuni dans une annexe I toutes les indications obtenues sur les dimensions essentielles des suspensions les plus récentes sur ressorts à lames. En parcourant ce tableau, on peut voir que la flexibilité moyenne des ressorts employés par les différentes administrations ne dépasse guère 8 à 9 millimètres et que souvent même elle est inférieure à ce chiffre. En Angleterre, notamment, on rend les ressorts le plus rigides possible. On constate aussi une tendance générale à donner aux ressorts porteurs d'avant des locomotives et spécialement aux ressorts des bogies une flexibilité quelque peu supérieure à celle du restant de la suspension.

Quant aux ressorts extra-flexibles qui doivent être l'objet de la discussion, je n'ai rencontré que quatre administrations qui les emploient, et je dois citer en tout premier lieu l'administration des chemins de fer de l'État belge où ils sont d'un emploi quasi général. Les ressorts des locomotives construites par Mr Belpaire sont constitués par vingt-trois feuilles de 1.50 mètre de longueur et leur flexibilité est d'environ 17 millimètres par tonne. Ils présentent cette particularité qu'ils sont fabriqués sans flèche et qu'ils se cintrent vers le bas sous charge. Mr Belpaire a

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

appliqué ces ressorts à ses locomotives et il les a étendus, après les avoir expérimentés, à certains types de locomotives à voyageurs.

Il était assez intéressant de connaître les raisons qui avaient amené Mr Belpaire à s'écarter des dimensions généralement admises. J'ai fait des recherches et j'ai trouvé ces raisons exposées de sa propre main. Voici ce qu'il dit :

« La forme renversée des ressorts n'a pas été adoptée *a priori* : elle résulte de l'augmentation de longueur et de hauteur.

« Afin de donner à la suspension des locomotives plus d'élasticité et de diminuer ainsi les chocs nuisibles à la conservation de la voie et du matériel, la longueur des ressorts a été portée à 1.50 mètre. Cette augmentation de longueur entraînait un accroissement correspondant du nombre de feuilles et, par suite, de hauteur. Si l'on eût conservé aux ressorts leur forme ordinaire, ou même si l'on eût admis que, sous charge, ils prissent la forme rectiligne, ils auraient manqué de stabilité. Le triangle formé par leurs extrémités et leur point d'appui sur la boîte aurait eu une hauteur exagérée. Pour éviter cet inconvénient et réduire la hauteur, nous les avons fait fabriquer sans flèche initiale. Sous charge, ils prennent alors une courbe renversée et leurs extrémités s'abaissent par rapport à leur point d'appui. La forme renversée est donc une conséquence de l'allongement du ressort. Ce mode de construction a d'ailleurs un avantage indirect qui est la mise en œuvre des feuilles sans qu'elles doivent subir un pliage ou un travail préalables. Or, le cintrage exige que le métal subisse un travail qui ne peut qu'être défavorable à l'homogénéité des feuilles et prépare des ruptures.

« La forme résultant de l'allongement des feuilles a donc conduit à une fabrication plus rationnelle, plus simple et susceptible d'assurer des produits plus réguliers. »

J'ajouterai que depuis deux ans environ, l'administration des chemins de fer de l'État belge n'a plus étendu l'emploi des ressorts extra-flexibles et ce fait coïncide à peu près avec le grand développement donné au rail Goliath.

Les trois autres administrations qui se servent encore de ressorts extra-flexibles sont la Compagnie du Paris-Lyon-Méditerranée, qui a adopté pour ses locomotives express à bogie des ressorts d'une longueur de 1.58 mètre et d'une flexibilité moyenne de 12 $^1/_2$ millimètres; le chemin de fer autrichien Nord Empereur Ferdinand, dont les locomotives express ont aux essieux moteurs des ressorts de 2 mètres qui présentent, comme ceux de Mr Belpaire, cette particularité d'être fabriqués droits, sans flèche, et de prendre la forme renversée sous charge; enfin, la Société pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais, dont certaines locomotives sont munies de ressorts dont la flexibilité atteint 19 millimètres par tonne. Une particularité que présentent ces machines, c'est que le truck à l'avant, contrairement à tout ce qu'on rencontre, est pourvu de ressorts rigides, tandis que les ressorts des essieux moteurs ont 18 millimètres de flexibilité.

Les ressorts hélicoïdaux, à fil rond, carré, etc., les ressorts à spirale, en volute, sont d'un usage très répandu en Angleterre, principalement pour les essieux moteurs. On les trouve aussi employés en Amérique pour la suspension du bissel des locomotives *Mogul*. Sur le continent, leur emploi est rare; il n'y a guère que le Gothard et le Central suisse, et maintenant, la Belgique, qui les aient adoptés. Ces ressorts ont cependant des avantages : ils sont peu encombrants, légers, ils coûtent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peu et donnent une grande facilité pour le graissage. Leur emploi semble parfois aussi résulter du manque de place pour loger des ressorts à lames. On les associe par couples, généralement en dessous. Ils offrent encore cette particularité toute spéciale, que j'ai constatée pour toutes les administrations qui les emploient, qu'ils ont, par rapport aux ressorts à lames des essieux voisins, une flexibilité beaucoup plus grande.

Dans des planches que vous trouverez à la fin de mon travail, je montre quelques dispositifs intéressants de suspensions, tant sur ressorts à lames que sur ressorts à spirale, avec ou sans balanciers; j'indique aussi le mode d'attache des lames des ressorts au châssis. Ces indications sont données dans des croquis détaillés et cotés. Il n'y a à retenir qu'une particularité de la construction des ressorts que plusieurs administrations signalent comme le moyen d'assurer la liaison transversale des feuilles; c'est, d'ailleurs, une disposition que vous connaissez. Chaque feuille porte des tetons larges et plats entrant dans la feuille voisine inférieure; la dernière feuille porte des tetons entrant dans l'étrier. Une feuille supérieure est prévue pour faciliter l'entrée et la sortie des lames; elle est maintenue au moyen d'une vis qui la traverse complètement, et la pointe de la vis sert de teton à la première lame.

En Amérique, les feuilles sont simplement assemblées par l'intermédiaire d'une bride, sans autre liaison. Il n'existe pas de procédé pour le réglage des tiges de pression; quand les machines vont en réparation, on intercale des plaques sous les supports des tirants pour la prise du jeu.

J'ai également demandé aux diverses administrations de me fournir les résultats des essais de flexibilité. Il était intéressant de savoir comment les ressorts s'écrasent sous des charges successives de une, deux, trois tonnes, etc., jusqu'à leur charge emploi. Il résulte à l'évidence de l'ensemble des essais consignés dans ce travail, que la flexibilité diminue rapidement avec la charge, au point que la flexibilité moyenne représente un écart assez grand entre la flexibilité sous la première et la flexibilité sous la dernière tonne.

Vous trouverez également dans mon rapport une analyse d'essais faits sur le graissage et le polissage des lames. Il en résulte que le polissage et le graissage augmentent la flexibilité d'environ 10 p. c. Cependant, le même résultat est, en pratique, rapidement atteint par les ressorts à lames bruts qui se polissent par le frottement et par l'usage.

Certaines dispositions, telles que la disposition sous les boîtes, sont extrêmement favorables au bon fonctionnement des ressorts qui sont graissés par l'huile des boîtes et dont la durée est alors prolongée jusqu'à dix ans, tandis qu'elle n'est que de deux ou trois ans lorsque les ressorts sont placés à la partie supérieure. Ces renseignements ont été fournis par les compagnies anglaises et par le chemin de fer de l'État belge.

La partie descriptive du rapport se termine ici. Le chapitre II comprend la partie démonstrative.

On pouvait craindre que la grande flexibilité des ressorts n'amenât des mouve-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ments perturbateurs dans la locomotive et notamment des mouvements de roulis et de galop et, avant de passer à l'application, l'Administration des chemins de fer de l'État belge a fait faire de très nombreux essais pour s'assurer si réellement cet inconvénient était à craindre. Ces essais, qui sont résumés dans un tableau, ont été faits de la façon que voici. On a pris une locomotive munie de ressorts de 1.50 mètre, on l'a fait circuler sur la même ligne, à la même vitesse et en remorquant le même train, d'abord sans balanciers compensateurs, puis avec balanciers compensateurs à l'avant et, enfin, on a fait voyager cette même locomotive sur la même ligne, mais sur des rails Goliath.

Dans le premier cas, la machine étant suspendue sur des ressorts flexibles, la plus grande oscillation constatée de l'essieu d'avant a été de 72 millimètres. La machine circulant sur la même voie dans le second cas, les ressorts de l'essieu d'avant étant réunis par des balanciers, la dénivellation n'a plus été que de 50 millimètres. La même machine roulant sur des rails Goliath dans les mêmes conditions, la dénivellation est tombée à 39 millimètres.

Les conclusions qui découlent de ces essais sont d'abord que les amplitudes maximums de flexion affectent toujours l'essieu d'avant, ce qui était assez indiqué; qu'elles diminuent par l'application des balanciers et enfin, c'est ce que montre le troisième résultat et ce point est très important, que la raideur de la voie est une cause d'amélioration et que c'est de la voie elle-même que viennent les plus grandes causes de perturbation. La conclusion de tous ces essais, c'est qu'on n'a pas constaté une accentuation des mouvements de roulis et de galop à la suite de l'application aux locomotives de ressorts à grande flexibilité et que des machines à suspension souple sont très douces sur la voie.

Tel n'a pas été cependant, je m'empresse de l'ajouter, l'avis de beaucoup d'administrations. Le « Southern Pacific Railway » et d'autres administrations consultées ont également essayé les ressorts flexibles et les ont abandonnés précisément à cause des mouvements de roulis et de galop qui résultaient de leur emploi.

Il s'agissait de trouver l'explication de cette différence d'opinion. Les machines de l'État belge, qui ont reçu des ressorts de 1.50 mètre, sont des machines à cylindres intérieurs horizontaux, avec châssis extérieur aux roues, présentant des empattements allant jusqu'à 6.50 et 7 mètres, avec cylindres placés en arrière des roues porteuses. Dans ces locomotives, les effets dus à l'action statique du mécanisme dans le mouvement de roulis et de galop sont atténués par la disposition même des organes; mais Mr Belpaire a eu soin d'équilibrer la totalité de la composante verticale des forces perturbatrices et c'est ce qui explique que le roulis et le galop ne sont pas affectés par la flexibilité de la suspension, les causes qui provoquent ces mouvements étant annihilées d'avance.

Il est très probable que les autres administrations ont des locomotives qui ne se trouvent pas dans les mêmes conditions; ces machines ont peut-être des cylindres intérieurs, des longerons intérieurs, des ressorts en bas, car Mr Aspinall a très bien démontré dans son rapport présenté à la session de Londres du Congrès (1895) que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la position du centre de gravité et le placement des ressorts en dessous ont une grande influence sur l'écrasement des ressorts, notamment dans la file extérieure des rails. On a même pensé pendant un certain temps que la flexibilité des ressorts pouvait produire des déraillements, le poids étant rejeté à l'extérieur dans les courbes, mais il est prouvé à l'évidence que cet inconvénient n'est pas à craindre et qu'il n'y a presque pas de décharge sur le rail intérieur.

Une Compagnie, l' « Illinois Central », fait remarquer, ce qui corrobore ce que je viens de dire, que, dans ses machines à centre de gravité élevé avec ressorts placés en dessous, la suspension flexible est absolument impossible. C'est donc avant tout une question de construction de machines.

Un moment aussi nous avons craint que la grande flexibilité ne pût altérer la distribution, mais la plus grande variation dans le mouvement du tiroir qui ait été constatée n'atteignait pas 1 millimètre. La chose est donc sans importance.

Reste à voir maintenant comment les ressorts flexibles amortissent, c'est-à-dire préviennent les variations de la charge, comment les balanciers considérés séparément jouent le même rôle, et comment ces deux éléments réunis se comportent au point de vue de la stabilité de la locomotive en marche. Au point de vue du rôle des ressorts, je rappellerai rapidement qu'ils sont destinés à amortir les chocs dus aux inégalités de la voie et à arrêter leur transmission en emmagasinant le travail produit. Le pouvoir d'absorber sous forme de travail moléculaire l'action dynamique résultant de l'imperfection de la voie dépend de l'élasticité du ressort, c'est-à-dire de sa flexibilité. *A priori*, les ressorts les plus flexibles se prêtent le mieux à remplir leur fonction qui est d'amortir et, en s'appropriant une plus large part du travail développé par le choc, ils semblent devoir assurer une meilleure stabilité de la partie suspendue. Nous avons donc à examiner jusqu'à quel point ces considérations se vérifient en pratique.

Nous avons obtenu à ce sujet divers renseignements. C'est ainsi que la Compagnie du « Buenos Ayres Great Southern Railway » déclare que l'emploi de ressorts à grande flexibilité a été trouvé bon pour obtenir une plus grande stabilité de la marche à cause de la facilité qu'ont les essieux de suivre les inégalités de la voie sans charger excessivement les essieux voisins.

L'État belge a aussi fait des essais dans ce sens. Avec deux locomotives, l'une sur ressorts de 90 centimètres, l'autre sur ressorts de 1.50 mètre du même type, faisant le même train, circulant sur la même voie à la même vitesse, on a constaté, dans une série d'essais, qu'à l'essieu d'avant l'écart entre la pression maximum et minimum sur la fusée était de 5,000 kilogrammes pour le ressort dur et de 4,200 kilogrammes pour le ressort flexible, les deux locomotives étant sans balanciers.

Avec balanciers, l'écart a été de 4,800 kilogrammes pour la locomotive à ressorts de 90 centimètres et est tombé à 2,500 kilogrammes en moyenne avec la suspension portée à 1.50 mètre. Il ressort à l'évidence de là que, dans les cas spécifiés, les ressorts flexibles se sont montrés favorables à la conservation des charges pendant la marche.

Les balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux sont d'un usage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

presque général en Amérique, en Belgique et en Suisse. Leur emploi est moins étendu en France et en Autriche-Hongrie. Dans la République Argentine, les locomotives sont munies de ressorts longitudinaux seulement. En Angleterre, les balanciers sont pour ainsi dire inconnus, si ce n'est aux bogies, et il en est de même dans la plupart des colonies anglaises. L'usage des balanciers transversaux est le plus souvent restreint aux essieux extrêmes des locomotives.

Les avantages qu'on s'accorde généralement à reconnaître aux balanciers compensateurs peuvent se résumer brièvement comme suit :

1° En établissant une relation fixe entre les charges portées par deux essieux consécutifs, les balanciers longitudinaux permettent d'obtenir tel rapport de poids qu'on désire avoir sur deux essieux voisins. De même, les balanciers transversaux assurent l'égalité aussi parfaite que possible des charges sur les fusées d'un même essieu, et cet avantage est surtout appréciable pour les essieux extrêmes et particulièrement pour celui d'avant;

2° Si les balanciers ne permettent pas de fixer comme on le veut la répartition, au moins rendent-ils celle-ci invariable lorsqu'elle est établie et préviennent-ils les surcharges permanentes de l'un des essieux.

Je me suis préoccupé, dans ce chapitre, d'établir, à l'aide des renseignements obtenus, dans quelle mesure ces avantages théoriques se sont réalisés.

En ce qui concerne le 1°, il n'y a pas de démonstration à faire. Abstraction faite des frottements, la distribution du poids s'appliquant sur les essieux solidarisés résulte de la longueur relative des bras des balanciers. Du reste, les machines pourvues de balanciers ne se dérèglent pas; le réglage à l'atelier est facile et rapide. Il suffit d'amener la locomotive sur une voie horizontale et de ramener à niveau les ressorts et les balanciers pour que le réglage soit fait du coup.

La Compagnie de l'Ouest français signale avoir relevé les variations de charge qui se produisaient sur les essieux entre deux levages consécutifs après un certain temps de service. Il résulte des relevés de pesages faits dans ces conditions que, dans les machines munies de balanciers longitudinaux, la variation de charge ne dépasse pas par essieu $^1/_2$ p. c. de la charge sur roues, alors qu'elle est de 3 p. c. dans les machines à balancier transversal et qu'elle dépasse cette proportion dans les machines à ressorts indépendants. Ceci prouve bien que les balanciers assurent la conservation des charges statiques.

En ce qui concerne la stabilité en marche, les administrations sont presque unanimes à reconnaître les avantages des balanciers. J'en citerai un exemple. Voici ce que dit la Compagnie du « Buenos-Ayres Great Southern Railway » :

« L'emploi des balanciers compensateurs a fait réaliser un très grand perfectionnement dans la marche des locomotives; l'expérience a prouvé que l'on obtient une plus grande stabilité avec des ressorts flexibles et des balanciers compensateurs qu'avec des ressorts comparativement rigides et sans balanciers. Ces résultats ont été obtenus précisément sur les mêmes machines, avant et après placement de pareils ressorts travaillant dans des conditions similaires de charge et de vitesse et sur les mêmes districts. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces renseignements fournis par la Compagnie du « Buenos-Ayres Great Southern Railway » sont confirmés par d'autres compagnies.

J'en arrive maintenant aux expériences faites dans ce sens par les chemins de fer de l'État belge et qui sont très nombreuses, mais je n'en citerai qu'une ou deux. Il existait une locomotive à quatre roues couplées avec roues porteuses à l'avant qui, par suite des transformations successives qu'elle avait subies, se trouvait être fortement allégée à l'avant. Cette machine remorquait jadis les express. A différentes reprises, on a constaté le déraillement de l'essieu porteur d'avant, dont la charge n'était plus que de 9,500 kilogrammes environ. Les balanciers se trouvaient entre les roues couplées; il a suffi de reporter les balanciers entre les roues d'avant pour mettre fin à ces déraillements. En effet, lorsque l'essieu d'avant était dépourvu de balanciers longitudinaux, la charge statique de 9,500 kilogrammes sur les roues porteuses oscillait entre 2,840 et 15,200; par l'application des balanciers entre les roues d'avant, la variation de pression sur les rails a été limitée entre 6,000 et 11,400 kilogrammes, soit un faible écart entre les charges statiques. Mais il en est résulté cette particularité que l'essieu d'arrière, qui n'était plus réuni par un balancier, s'est trouvé être plus dur dans la voie et, pour lui rendre son ancienne douceur, il a fallu y mettre une suspension très flexible en ressorts de 1.50 mètre. Dans ces conditions, cette machine est devenue très bonne au point de vue du roulement.

Il existait un type de locomotive à voyageurs à cinq essieux, trois essieux accouplés entre deux essieux porteurs. On a mis des balanciers compensateurs entre les roues porteuses qui déraillaient. Avant l'application des balanciers, compensateurs, la pression qui s'exerçait sur la fusée de l'essieu porteur variait en cours de route de 7,000 kilogrammes, tandis qu'après l'application des balanciers cette variation n'a plus été, sur la même voie et à la même vitesse, que de 3,300 à 4,300 kilogrammes.

Antérieurement à l'application de balanciers aux locomotives de ce type, on constatait d'assez fréquents bris de ressorts et, parfois même, le déraillement de l'essieu porteur d'avant, principalement à l'entrée et à la sortie des courbes à dévers un peu brusquement racheté. Depuis la transformation, les bris de ressorts ne sont pas plus nombreux à ces locomotives qu'aux autres types et les déraillements d'essieux rayonnants ont cessé; la machine circule avec stabilité dans les courbes de petit rayon présentant des changements de niveau brusques dans les files de rails. La variation maximum de la pression sur une fusée atteint 4,820 kilogrammes pour l'essieu d'arrière, dont les ressorts sont dépourvus de balanciers compensateurs, tandis qu'elle ne dépasse pas 3,440 kilogrammes pour les deux autres essieux, dont les ressorts sont rendus solidaires. En même temps, on constate une amélioration de la douceur de marche de la machine, principalement aux traversées de voies et sur les excentriques. La variation de charge est même tombée à 900 kilogrammes, lorsque la machine roule sur voie Goliath. Encore une fois, l'état de la voie a ici une grande influence.

Tous ces renseignements sont confirmés par les résultats d'autres expériences concordantes fournis notamment par le chemin de fer Nord-Ouest autrichien. Je

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donne encore, dans mon rapport, quelques indications du chemin de fer de l'Est français sur la même question et, enfin, pour finir ce chapitre, un travail démontrant à quelle parfaite stabilité on est arrivé en faisant voyager une locomotive pourvue de ressorts flexibles et de balanciers compensateurs sur une voie Goliath. Les écarts sont, pour ainsi dire, nuls, c'est-à-dire que la stabilité est parfaite.

J'ai aussi demandé aux administrations qui n'emploient pas les balanciers, quelles raisons les avaient amenées à les exclure. Ces opinions sont aussi très nombreuses. Je citerai l'opinion du « Caledonian Railway », qui résume assez bien les différents avis :

« Nous n'employons pas de balanciers compensateurs sur nos locomotives : les balanciers sont une complication inutile dans notre cas.

« Comme nous avons adopté un rail de forte section et que nous entretenons notre voie dans les meilleures conditions avec un bon ballast concassé, un choc dû aux petites inégalités de la ligne ou aux croisements est facilement absorbé par les ressorts.

« Les balanciers compensateurs sont certainement nécessaires là où on fait usage de rails à faible section et quand les voies sont mal entretenues, vu que le ressort ne pourrait absorber les chocs sans se tendre d'une façon excessive. »

Avant d'abandonner ce chapitre, je le résume. Les ressorts flexibles contribuent certainement à prévenir les variations de charge sur les essieux, et les balanciers agissent de même. Seulement, dans certains cas spéciaux les ressorts flexibles ont ce grave inconvénient de déterminer un mouvement de roulis et de galop. Il est, au surplus, établi que cet effet diminue notablement quand la voie est bonne. Il en est de même pour les balanciers. Voilà, je crois, comment la question peut se résumer au point où nous en sommes.

Dans le chapitre III, j'ai examiné l'influence des ressorts à grande flexibilité et des balanciers compensateurs sur les dépenses d'entretien, sur l'usure des pièces, des bandages, etc. J'ai signalé quatre administrations qui ont fait usage de ressorts extra-flexibles. Ces organes sont excessivement lourds. Ceux de l'État belge pèsent 171 kilogrammes, ceux de l'État néerlandais 188 kilogrammes, poids qui dépassent notablement ceux des ressorts d'usage courant. Ces ressorts sont d'un maniement difficile dans les remises, ils exigent une main-d'œuvre importante pour leur mise en place, pour leur démontage, voire même parfois l'installation d'appareils spéciaux pour le levage. Leur grande longueur entrave dans certaines applications le facile accès aux organes des machines.

Quant aux balanciers, ils constituent avec leurs supports un mécanisme additionnel souvent de construction ouvragée et coûteuse, et sont parfois, comme les ressorts, une gêne pour les opérations de visite, de graissage et de petit entretien.

Ces organes ne sont pas sans influence sur le coût des locomotives. Ainsi, les ressorts de 1.50 mètre et les balanciers placés à un certain type de locomotive de l'Etat belge atteignent un poids de 1,965 kilogrammes; si on s'était contenté d'une suspension sur ressorts ordinaires, le poids eût été de 715 kilogrammes seulement,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

augmentation représente, au prix du jour, une dépense supplémentaire de 3,500 francs par machine.

En résumé donc, au point de vue de leur installation, les ressorts flexibles et les balanciers compensateurs présentent les inconvénients ci-après qui résultent du fait même de leur adaptation aux machines :

1° Augmentation appréciable du poids et du prix de la locomotive provenant principalement de l'usage des ressorts très flexibles;

2° Complication dans le système de la locomotive par l'emploi de pièces de grand encombrement;

3° Accroissement des frais de montage et de démontage dans les ateliers et remises dus à l'augmentation du poids et du nombre d'organes.

Les balanciers compensateurs et les ressorts flexibles ont-ils une influence sur la durée du service des organes du mécanisme, sur l'usure des bandages et, d'une façon générale, sur les dépenses d'entretien?

J'ai obtenu sur ce point assez bien de renseignements, mais il est assez difficile de dégager leur part dans l'ensemble des causes qui influencent les dépenses d'entretien. Cependant, de tous les renseignements fournis par bon nombre d'administrations, il résulte qu'il y a une forte présomption que les ressorts flexibles et les balanciers ont une influence favorable sur la conservation et les frais d'entretien.

Voici, messieurs, les conclusions auxquelles j'arrive :

En résumé, les ressorts à grande flexibilité sont d'un usage très restreint. En dehors des administrations que j'ai indiquées et qui sont le Paris-Lyon-Méditerranée, le chemin de fer autrichien Nord Empereur Ferdinand, la Compagnie pour l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais et l'État belge (et encore cette administration les abandonne-t-elle depuis environ deux ans et les autres ne les ont adoptés que pour leurs locomotives express), on ne trouve ailleurs que des ressorts d'une flexibilité modérée.

Les balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux sont d'un emploi répandu : on les rencontre principalement en France, en Belgique, en Autriche et surtout en Amérique. En Angleterre, ils sont pour ainsi dire inconnus.

Sur des voies quelconques, les ressorts à grande flexibilité absorbent mieux que les autres les inégalités de la voie; ils empêchent les surcharges des essieux, favorisent la stabilité et la douceur de marche de la machine en même temps qu'ils aident à la conservation des organes, principalement des bandages.

Les balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux fournissent les mêmes résultats; leur emploi est surtout recommandable pour les roues porteuses et plus particulièrement pour celles à boîtes rayonnantes.

Les ressorts extra-flexibles ne donnent pas naissance à des mouvements de roulis, si on équilibre la composante verticale des forces perturbatrices.

Les balanciers, et principalement les ressorts flexibles, compliquent la locomotive en l'embarrassant d'organes généralement encombrants et volumineux qui en augmentent le poids d'une façon appréciable.

Sur de bonnes voies, bien soignées, les avantages énumérés ci-dessus diminuent rapide-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment selon le degré de solidité et d'entretien : les ressorts de flexibilité moderee sont alors préférables et les balanciers semblent avoir perdu une grande partie de leur utilité.

Mr le Président. — Je remercie Mr Dassesse pour son rapport si instructif et pour l'exposé qu'il vient d'en faire.

Mr Salomon, Ch. de f. de l'Est français. — Je voudrais dire à ce sujet un seul mot. Sur les voies du chemin de fer de l'Est, qui étaient en grande partie constituées jusqu'en ces dernières années avec des rails d'acier de 30 kilogrammes, sur des traversées assez nombreuses, il est vrai, nous avons fait circuler aux plus grandes vitesses des machines à deux essieux couplés et essieu porteur à l'avant dépourvu de balanciers, et nous n'avons jamais eu de déraillements. Ces machines ont fait ensemble un parcours total d'environ 45 millions de kilomètres. Il se peut donc qu'à l'État belge les déraillements se soient produits par suite de causes accessoires.

D'autre part, nous avons eu à construire dans ces derniers temps des machines à grande vitesse, aussi puissantes que possible, dont le poids sur chacun des deux essieux couplés ne devait pas dépasser 17 tonnes; nous avons adopté le type compound à quatre cylindres, dont vous pouvez voir un exemplaire à l'exposition de Vincennes. Ce sont ces machines qui font le service de nos express entre Paris et Belfort. Pour ces machines, tenant compte de l'expérience de nos locomotives précédentes, nous n'avons pas appliqué de balanciers. Ces nouvelles machines sont à deux essieux couplés et à bogie.

Nous n'avons pas cru devoir relier par des balanciers les deux essieux couplés pour deux motifs : d'abord, parce que cela aurait augmenté le poids de 1,000 à 1,200 ou 1,500 kilogrammes et que nous aimions mieux mettre ce supplément de poids dans la chaudière; ensuite, parce que la longue expérience que nous avons de nos machines de vitesse ne nous a montré ni la nécessité, ni même l'utilité des balanciers au point de vue de la stabilité des locomotives et de l'usure des voies.

Mr Herdner, Ch. de f. du Midi français. — Nous nous trouvons, au chemin de fer du Midi, dans le même cas qu'au chemin de fer de l'Est. Nous avons des machines qui ont deux essieux couplés avec essieu porteur à l'avant et qui sont absolument dépourvues de balanciers. Ces machines ont une très grande stabilité et n'ont jamais déraillé. Notre dernier type, tout à fait semblable à celui que vient de décrire Mr Salomon, ne comporte pas davantage de balanciers. Quant à nos rails, ce sont des rails en acier de 37.5 kilogrammes, d'une longueur de 11 mètres.

Mr Dassesse, *rapporteur*. — Quel est le poids sur l'essieu porteur?

Mr Herdner. — 13 tonnes sur l'essieu porteur d'avant, 16 tonnes sur l'essieu moteur et 16 tonnes sur l'essieu accouplé. Le centre de gravité se trouve en avant de l'essieu moteur. Il doit y avoir eu dans les incidents signalés par l'État belge une intervention de ces causes accessoires dont parlait tout à l'heure Mr Salomon.

Mr Dassesse. — Dans le cas que j'ai signalé, il s'agissait d'un essieu portant 9 ou 10 tonnes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr Herdner. — Cela change la question.

Mr le Président. — Les voies du chemin de fer de l'Est sont sans doute des voies très bien soignées?

Mr Salomon. — Nos voies sont, pour la plus grande partie, en rails de 30 kilogrammes; mais, depuis cinq ou six ans, nous reconstruisons de grandes sections en rails de 44 kilogrammes. Cependant, pendant de très longues années, nous avons circulé sur nos rails de 30 kilogrammes à des vitesses de 100 et de 110 kilomètres.

Mr le Président. — Nous pouvons être d'accord sur ce que « les balanciers et les ressorts de grande flexibilité compliquent la locomotive en l'embarrassant d'organes généralement encombrants et volumineux, qui en augmentent le poids d'une façon appréciable. Sur de bonnes voies bien soignées, la valeur des avantages énumérés dans le rapport diminue en raison inverse du degré de solidité et d'entretien ».

Mr Dassesse, *rapporteur*. — C'est une question de voie.

Mr le Président. — Nous ferions bien de souligner ce point, pour bien marquer notre opinion sur les avantages d'une voie extrêmement bien soignée.

Mr Baudry, Ch. de f. de Paris-Lyon-Méditerranée. — On a parlé surtout, jusqu'à présent, de l'influence des balanciers sur la stabilité des machines à grande vitesse circulant sur des lignes à profil régulier et facile et sur des voies très bien entretenues. On a paru d'accord pour reconnaître que l'utilité des balanciers, contestable sur ces excellentes voies, ne l'était pas sur des voies moins bonnes. Mais il y a une autre distinction plus importante à faire. En effet, les balanciers n'ont pas seulement pour but de parer aux inégalités de la voie; ils ont surtout pour but de parer aux variations de la charge sur les roues des locomotives, variations qui résulteraient sans eux des variations du profil, du dévers et des raccordements entre les dévers et les alignements droits.

Lorsque la machine repose sur une surface qui n'est pas un plan, les variations de charge sur les différentes roues peuvent atteindre une valeur considérable et, dans ces cas, les balanciers ont une influence très sérieuse et très utile. Je crois donc qu'il faut distinguer entre les machines destinées à circuler sur des lignes à grandes courbes et à profil régulier et les machines destinées aux lignes de montagne à courbes de 300 mètres, de 200 mètres et moins quelquefois, machines dans lesquelles les essieux sont parfois très rapprochés, les ressorts souvent peu flexibles, ce qui produirait des variations considérables de charge sur les différentes roues si on n'avait pas les balanciers compensateurs.

En ce qui concerne les machines à grande vitesse, voici quelle est notre pratique au Paris-Lyon-Méditerranée; elle vous montrera que je ne suis pas un fanatique des balanciers. Ceux-ci sont toujours bons, mais c'est une complication, et il ne faut l'accepter que lorsqu'elle est nécessaire ou très utile.

Lorsque nous avons fait nos premières machines compound à grande vitesse,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous avons mis des balanciers entre les ressorts de l'essieu moteur et de l'essieu accouplé; dans nos dernières machines, nous les avons supprimés, parce qu'ils ne nous ont pas paru indispensables. Où nous avons tenu absolument à faire la compensation et où elle est, je crois, très utile, dans les machines à grande vitesse des lignes à profil régulier comme dans les autres, c'est dans les bogies. Nous avons donc donné à nos bogies une suspension telle que la pression sur les quatre roues reste toujours sensiblement la même; pour cela nous avons mis de chaque côté un seul ressort qui porte sur les deux essieux. La pression de la locomotive s'exerçant sur le centre du bogie se répartit également entre les deux ressorts et chacun de ceux-ci charge également les deux essieux.

En ce qui concerne la flexibilité des ressorts, je ferai une simple constatation de fait. D'après le rapport, il semble que la Compagnie du Paris-Lyon-Méditerranée soit l'un des derniers partisans des ressorts à grande flexibilité. Or, si vous voulez bien vous reporter au tableau joint au rapport, pages 40 et 41 (1), vous y verrez que toutes les machines de cette Compagnie ont des ressorts dont la flexibilité est analogue à celle des ressorts employés par les autres administrations. Nos dernières locomotives compound à grande vitesse ont des ressorts d'une flexibilité moyenne par tonne de 8.6 et, dans les locomotives à marchandises, la flexibilité est moindre. Il n'y a qu'un seul type de locomotives dans lesquelles nous ayons des ressorts d'une flexibilité de 12.4 millimètres, et ce n'est pas le plus récent. Cela ne suffit pas pour nous caractériser comme des partisans systématiques d'une grande flexibilité des ressorts.

Les locomotives dont il s'agit n'avaient pas, à l'origine, des ressorts aussi flexibles. On les leur a mis après coup, mais non pas en vue d'améliorer leur stabilité sur la voie. Elles étaient, avec leurs premiers ressorts, très dures pour les mécaniciens, et en augmentant la flexibilité des ressorts, on a amélioré la situation de ces agents.

En résumé, nous ne préconisons pas la grande flexibilité des ressorts au point de vue de la stabilité. Nous avons seulement mis des ressorts flexibles à des machines déterminées, en vue d'améliorer les conditions de confort du mécanicien sur sa plate-forme.

Mr Dassesse, *rapporteur*. — Vous me permettrez de faire remarquer qu'à la page 6 de mon rapport (2) j'indique qu'il s'agit d'une application faite à un nombre restreint de locomotives.

Mr Baudry. — Oui, il ne s'agit que d'une série de locomotives. C'est tout à fait spécial. Mais dans vos conclusions, vous parlez des Administrations du Paris-Lyon-Méditerranée et du Nord Empereur Ferdinand qui appliquent des ressorts à grande flexibilité. Or, d'une manière générale, nous ne donnons pas une grande flexibilité

(1) Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, nº 3, mars 1900, p. 930 et 931.
(2) — — — — — p. 895.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à nos ressorts; au contraire, puisque presque toutes nos machines d'express d'aujourd'hui ont des ressorts d'une flexibilité de 8.6. Il n'y a que ces quelques machines, qui sont des machines d'express d'il y a dix ans, qui ont des ressorts un peu plus flexibles, mais voilà tout.

Mr Clérault, Ch. de f. de l'Ouest français. — Je vous demande la permission d'insister sur un point dont vient de parler Mr Baudry : sur l'utilité très grande des balanciers pour les lignes à profil accidenté, et quand on dit « ligne à profil accidenté », on dit en même temps « ligne à courbes très raides », du moins en général.

Nous avons eu une preuve très frappante de cette utilité sur notre réseau. Lorsque nous avons construit le quatrième ou le cinquième réseau de la Compagnie de l'Ouest (c'étaient des lignes à profil très difficile et à courbes de très faible rayon), nous avons cherché à utiliser sur ces lignes des locomotives existantes à trois essieux couplés; or, même en réduisant la vitesse de ces machines au minimum que l'exploitation pouvait permettre, nous avons eu quelques déraillements, notamment à des entrées de pont, à des entrées de courbe, à des changements de profil vertical. Nous avions trente ou quarante de ces machines; nous les avons munies de balanciers longitudinaux et, depuis lors, nous avons pu relever de 10 kilomètres la vitesse à laquelle ces machines marchent constamment et nous n'avons plus eu un seul accident. L'action des balanciers, dans ces machines circulant sur des voies accidentées dans les conditions dont parlait Mr Baudry, a donc été bien nette et absolument efficace.

Mr Worms de Romilly, Ministère des travaux publics, France. — Mr Vicaire, inspecteur général des mines, professeur du cours de chemins de fer à l'école des mines, que son état de santé empêche d'assister au Congrès, m'a envoyé une note dont je demande à Mr le Président la permission de donner lecture.

« Les ressorts de suspension et les balanciers ont également pour objet d'atténuer les effets des inégalités de la voie. Ils ne sont cependant pas entièrement équivalents.

« Il faut distinguer deux sortes d'inégalités : les unes sont accidentelles; elles proviennent de la flexion des rails surtout aux joints, ou de leur déplacement par suite de l'insuffisance des attaches ou du déplacement des traverses elles-mêmes; il y en a qui sont produites par certaines solutions de continuité. D'autres sont en quelque sorte constitutionnelles; ce sont celles qui proviennent des changements de déclivité ou du raccordement des courbes avec les alignements; dans les courbes mêmes, les deux essieux extrêmes d'un véhicule n'ont jamais la même position par rapport aux rails, et, par conséquent, le même dévers.

« Les ressorts sont particulièrement adaptés aux inégalités de la première espèce. Mais ils ne permettent aux essieux de déplacements notables que moyennant une variation correspondante de la charge sur rail. Les balanciers, au contraire, permettent des déplacements d'une grande amplitude, sans modification des charges, au moins théoriquement. Ils conviennent donc plutôt aux inégalités de la seconde espèce.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Or, si les inégalités de la première espèce perdent de plus en plus d'importance à mesure que se perfectionnent la construction et l'entretien des voies, il n'en est pas de même de celles de la deuxième espèce. Celles-ci, au contraire, sont de plus en plus accentuées à mesure que l'on construit des lignes plus accidentées. Il semble donc que l'élasticité des ressorts peut perdre de son importance; il ne peut pas en être de même des balanciers.

« Il est vrai que plusieurs compagnies contestent l'utilité de ces derniers. Il est, en effet, très difficile, en général, de discerner l'influence qu'ils peuvent avoir sur la conservation des machines ou de la voie au milieu de tant d'autres influences. Mais, dans certains cas, des circonstances favorables l'ont mise en évidence. C'est ce qui est arrivé au chemin de fer de l'État belge (pages 18 à 20 du rapport de Mr Dassesse) (1). Quelques exemples semblables parlent en faveur de l'appareil plus sûrement que des centaines d'observations négatives ne parlent contre lui.

« Toutefois, les observations citées par le rapporteur, tout en montrant que, avec le balancier, les variations de charge sur rail sont moindres qu'en leur absence, indiquent encore des variations qui surprennent lorsqu'on se rappelle que, d'après la théorie, elles devraient être entièrement nulles. Mais il semble y avoir une erreur dans l'interprétation des faits. En effet, dans les observations du chemin de fer de l'Est (pages 22 et 23) (2), on a relevé les amplitudes des oscillations de chaque ressort par rapport au longeron et ces oscillations ont été converties en variations de charge, en partant de la flexibilité des ressorts. Or, ce qui mesure la variation de la charge, c'est celle de la flèche du ressort. Quand les extrémités de celui-ci sont sensiblement immobiles par rapport au longeron, comme cela a lieu pour les ressorts indépendants, le déplacement de la bride par rapport au longeron donne la variation de la flèche; mais il n'en est pas de même avec les balanciers, puisqu'une des extrémités du ressort se déplace par rapport au longeron. Il ne paraît pas que, dans les observations de la Compagnie de l'Est, on ait mesuré les déplacements de l'extrémité des ressorts, et, dès lors, ceux de la bride ne nous apprennent rien. Mais il est certain qu'ils sont plus grands que si l'extrémité était fixe, et, par conséquent, les variations de charge qu'on en a déduites sont exagérées.

« Pour les observations de l'État belge et du Nord-Ouest autrichien, nous n'avons pas les mêmes détails sur la manière dont on a procédé; mais il est à craindre que les mêmes erreurs n'aient été commises. En tout cas, si je me trompe pour l'une ou l'autre des trois séries, je crois du moins que quelques explications complémentaires seraient indispensables.

« Le rapport constate que les balanciers apportent un supplément de poids qui n'est pas négligeable. On peut remarquer, par contre, qu'ils permettent de réduire la flexibilité des ressorts, et de réaliser ainsi une certaine économie sur le poids et sur le prix de ceux-ci.

---

(1) Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, nº 3, mars 1900, p. 907 à 910.
(2) — — — — — p. 911 et 912.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Il importe de remarquer que si la constance des charges perd de son importance pour la conservation de la voie à mesure que celle-ci est plus résistante, elle la conserve entièrement au point de vue de la sécurité, et reste la meilleure garantie contre les déraillements.

« *Conclusion*. — D'après ce qui précède, il semble y avoir lieu de modifier de la manière suivante les conclusions du rapporteur (page 33, § 4) (1) :

« Les balanciers compensateurs longitudinaux et transversaux fournissent des résultats analogues ; mais ils semblent particulièrement efficaces pour les inégalités qui résultent des conditions géométriques du tracé (changements de déclivité, raccordements des courbes avec les alignements, etc.).

« (§ 7). — Sur de bonnes voies bien soignées, les avantages énumérés ci-dessus diminuent dans une certaine mesure. Cependant, l'emploi des balanciers semble toujours utile, et d'autant plus que les lignes sont plus accidentées. Tout ce qu'on peut contester, c'est que sur les lignes à tracé facile, leur utilité soit en rapport avec les dépenses de toute nature qu'ils occasionnent. »

Pour éviter d'entrer dans l'examen des questions de dépenses, je vous propose de remplacer la dernière phrase par celle-ci : « Sur les lignes à tracé facile, leur utilité est beaucoup moindre. »

Mr Herdner. — Messieurs, en tenant compte de notre pratique en France et, je crois pouvoir le dire également, de la pratique anglaise, il semble démontré que les ressorts à grande flexibilité et les balanciers ont perdu non pas toute leur utilité, mais la presque totalité de leur utilité lorsqu'il s'agit de lignes ayant un bon profil et des voies bien soignées. Dans ces conditions, je serais d'avis de dire simplement : « Les ressorts d'une flexibilité modérée semblent alors préférables et les balanciers semblent avoir perdu leur utilité. »

Mr Baudry. — Mais les balanciers ou tout autre système de compensation me paraissent à recommander pour les bogies.

Mr Herdner. — Mais le bogie est par lui-même un balancier.

Mr Baudry. — Avec quatre ressorts pour les quatre essieux et sans aucun balancier, vous pourrez avoir des charges très inégales sur les roues.

Mr Clérault. — Lorsque le train marche très rapidement, il peut se trouver dans la voie, si bonne qu'elle soit, des points accidentels où la présence des balanciers soit utile. Par exemple, l'emploi des balanciers sur le bogie est une chose excellente. Je crois donc que nous ferions une œuvre mauvaise en disant que les balanciers sont inutiles sur une très bonne voie.

Mr Salomon. — Il faut cependant constater que les locomotives du Nord, de

(1) Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, nº 3, mars 1900, p. 922.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'Est, du Midi, de l'Orléans et de l'État lui-même ont des bogies sans balanciers du type du Nord. Vous ne pouvez donc pas dire que le bogie du Nord soit un mauvais bogie et je regrette que Mr du Bousquet ne soit pas ici pour défendre ce type de bogie.

Mr Herdner. — Le bogie du Nord n'a pas de balancier, c'est le châssis lui-même qui constitue le balancier.

Mr Clérault. — Nous ne disons pas que le balancier est indispensable, nous disons qu'il est très utile.

Mr Moffre, Ch. de f. du Midi français. — Bien des machines marchant en France à des vitesses qui ne sont pas communes sur le continent ont des bogies sans balancier. Le balancier n'est donc pas aussi utile qu'on le dit et, en tout cas, il n'est pas indispensable.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Je serais assez d'avis de séparer, dans le projet de résolution, les balanciers des ressorts à grande flexibilité. Ceux-ci paraissent, en effet, être d'une application tout à fait spéciale, tandis que le balancier est un organe qui peut, suivant les cas, convenir à toutes les machines. Nous aurions donc deux paragraphes :

« Les balanciers sont utiles, surtout sur les lignes accidentées, pour éviter de grandes variations de répartition aux entrées de courbe et aux changements de profil. Sur les lignes peu accidentées, avec des voies bien soignées, les balanciers perdent une partie de leur utilité. Il semble toutefois toujours utile de les conserver pour les bogies. » (*Protestations.*)

Mr Clérault. — Il est probable que, si vous supprimiez le dernier paragraphe, la section accepterait très bien ce texte.

Mr Herdner. — Il faudrait dire que, sur les lignes peu accidentées, avec des voies bien soignées, les balanciers perdent une grande partie de leur utilité. C'est le texte proposé par le rapporteur.

Mr Souschinsky, Ministère des voies de communication, Russie. — Je serais d'avis de dire « une partie » et non « une grande partie ». Les variations de la charge proviennent aussi en partie du mouvement de la locomotive elle-même.

Mr Salomon. — D'après la pratique anglaise et d'après la nôtre, les balanciers perdent une grande partie de leur utilité.

Mr Herdner. — La plus grande partie.

Mr le Président. — Je crois inutile d'appuyer autant sur ce point. Il suffirait de dire « une partie ».

Mr Salomon. — Le rapporteur lui-même proposait de dire « une grande partie ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr Baudry. — On pourrait dire : « Sur les lignes peu accidentées, l'expérience montre que les locomotives sans balanciers circulent dans des conditions parfaites. » Il suffit, en effet, de constater que l'expérience permet de se passer de ces organes.

Mr Souschinsky. — Il faudrait dire aussi : « Sur les lignes accidentées à profil sinueux. »

Mr Baudry. — Il s'agit ici de constater un fait. Nous ne voulons pas dire qu'il ne vaudrait pas mieux employer des balanciers, mais nous disons qu'on peut se contenter de n'en pas avoir.

Mr Sauvage, *secrétaire principal.* — Voici le texte que je vous propose :

« Les balanciers sont utiles, surtout sur les lignes accidentées et sinueuses, pour éviter de grandes variations de répartition aux entrées de courbe et aux changements de profil.

« Sur les lignes peu accidentées, avec des voies bien soignées, l'expérience prouve que les locomotives sans balanciers peuvent circuler dans de très bonnes conditions. »

Mr Clérault. — Il faudrait dire plutôt : « Sur les lignes accidentées ou sinueuses. » Une ligne peut, en effet, être accidentée sans être sinueuse, et inversement.

Mr Sauvage. — Parfaitement.

Voici maintenant quel serait le second paragraphe :

« Les ressorts de grande flexibilité ne paraissent avoir que des applications restreintes pour les locomotives. »

Mr Souschinsky. — Il serait bon de déterminer ce que c'est que la grande flexibilité et d'en donner les limites.

Mr Sauvage. — Cela résulte du rapport. Celui-ci donne le tableau des ressorts de flexibilité normale ; ce qui est supérieur à cette flexibilité normale est la grande flexibilité. Nous ne pouvons pas entrer dans ces détails dans une conclusion qui doit être générale et claire.

— Le texte proposé par Mr Sauvage est adopté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE

Séance du 29 septembre 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE Mr ALFRED PICARD.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : Mr L. WEISSENBRUCH.

Mr Sauvage, *secrétaire principal de la 2e section*, donne lecture du

Rapport de la 2e section.

(Voir *Bulletin* quotidien de la session, n° 5, p. 5.)

« Mr DASSESSE résume son exposé; il explique pourquoi il s'est limité à l'étude des ressorts à grande flexibilité et des balanciers compensateurs.

« Ce n'est que par exception qu'on emploie sur les locomotives des ressorts ayant une flexibilité de plus de 8 à 9 millimètres par tonne. On peut citer notamment les ressorts très flexibles des locomotives de feu Mr Belpaire, en Belgique, ressorts sans flèche initiale, forme qui présente divers avantages ; ceux de certaines locomotives du chemin de fer autrichien du Nord Empereur Ferdinand et des chemins de fer néerlandais. Il indique quelques détails sur les modes de liaison des feuilles de ressorts entre elles.

« En général, la flexibilité par tonne diminue à mesure que la charge augmente. Le graissage des lames de ressorts est avantageux. En Belgique on n'a pas trouvé que l'application de ressorts à grande flexibilité augmentât les mouvements de roulis et de galop des locomotives. Mais diverses administrations ont obtenu des résultats contraires. Le rapporteur examine les causes de ces divergences.

« Le rapporteur passe ensuite à l'étude du mode d'action des ressorts, ordinaires et à grande flexibilité.

« Quant aux balanciers, il en rappelle les avantages ; il examine jusqu'à quel point ces avantages se réalisent en pratique. On doit d'ailleurs tenir compte de l'augmentation de poids, de prix initial et de dépenses d'entretien qui résultent de l'emploi de grands ressorts et de balanciers.

« Il donne enfin lecture des conclusions de son rapport.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Mrs Salomon (*Est français*) et Herdner (*Midi français*) disent que la pratique des chemins de fer de l'Est et du Midi semble indiquer qu'on peut sans inconvénient se dispenser, sur ces réseaux, de balanciers.

« Mr Baudry (*Paris-Lyon-Méditerranée*) dit qu'on ne doit pas perdre de vue que les balanciers parent aux variations de charge résultant des changements de profil et des entrées en courbe, principalement sur les lignes très accidentées. Cette observation est appuyée par Mr Clérault (*Ouest français*). Mr Worms de Romilly (*gouvernement français*) donne communication d'une note de Mr Vicaire (*gouvernement français*), exprimant la même opinion.

« Après une longue discussion sur l'utilité des balanciers sur les grandes lignes, notamment avec les bogies, la section arrive aux conclusions suivantes. »

Mr le Président. — Voici les

CONCLUSIONS.

« Les balanciers sont utiles, surtout sur les lignes accidentées ou sinueuses, pour « éviter de grandes variations de répartition aux entrées de courbe et aux changements de profil. Sur les lignes peu accidentées, avec des voies bien soignées, « l'expérience prouve que les locomotives sans balanciers peuvent circuler dans de « très bonnes conditions.

« Les ressorts de grande flexibilité ne paraissent avoir que des applications restreintes pour les locomotives. »

— Ces conclusions sont ratifiées par l'assemblée plénière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE

Errata à l'exposé.

Page XIII-6 du tiré à part n° 13 et du *Compte rendu* (page 895 du *Bulletin* de 1900), 16e ligne du bas, *au lieu de :* « sans charge », *lisez :* « sous la charge ».

Page XIII-21 (page 910 du *Bulletin*), 8e ligne du haut, *au lieu de :* « sur la roue avant droite », *lisez :* « sur la roue avant gauche ».

Idem, 18e ligne du haut, *au lieu de :* « en marge », *lisez :* « en marche ».

Page XIII-29 (page 918 du *Bulletin*), 4e ligne du haut, *au lieu de :* « L'écart de poids est aussi de », *lisez :* « L'écart de poids est ainsi de ».

Idem, 15e ligne du haut, *au lieu de :* « différence, 1,106 kilogrammes à 1 fr. 65 c. = 1,824 fr. 90c. », *lisez :* « différence, 1,107 kilogrammes à 1 fr. 65 c. = 1,826 fr. 55 c. ».

Idem, 2e ligne du bas, *au lieu de :* « travaillant constamment de façon similaire aux nôtres », *lisez :* « travaillant sur des voies comme la nôtre ».

Page XIII-65 (page 955 du *Bulletin*), 3e ligne sous le tableau, *au lieu de :* « $f = \frac{PI^3}{4Eb^3}$ », *lisez :* « $f = \frac{PI^3}{4Ebh^3}$ ».

Page XIII-98 (page 988 du *Bulletin*), 7e ligne du haut, *au lieu de :* « 12 p. c. », *lisez :* « 12 ½ p. c. ».

Page XIII-99 (page 989 du *Bulletin*), 15e ligne du bas, *au lieu de :* « une tête dont le diamètre a tout au plus 1 pouce (25 millimètres) de moins que le diamètre total du ressort », *lisez :* « une tête dont le diamètre est aussi grand que le diamètre total du ressort et dont l'épaisseur est d'un pouce (25 millimètres) de moins ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

[621.137.2] QUESTION XIV.

DOUBLE TRACTION

Quelles sont les conditions d'exploitation où la double traction peut être utilement employée pour les trains à grande vitesse (vitesses réglementaires et vitesses normalement atteintes, charges maximums, rampes et courbes principales) ?

Rapporteurs :

Autriche-Hongrie, Roumanie, Pays-Bas, Luxembourg, Suisse et Allemagne. — Mr Abeles, inspecteur de la direction des chemins de fer de l'État hongrois.

Russie. — Mr Antochine, directeur général de la Société des usines de Kolomna.

Autres pays. — Mr Lancrenon, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer de l'Est français.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUESTION XIV.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Exposé n° 1 (Russie), par Mr N. Antochine. (Voir le *Bulletin* de novembre 1899, p. 1465.)	XIV — 3
Exposé n° 2 (Autriche-Hongrie, Roumanie, Pays-Bas, Luxembourg, Suisse et Allemagne), par Mr Sigismond Abeles. (Voir le *Bulletin* de décembre 1899, p. 1700.)	XIV — 21
Exposé n° 3 (autres pays), par Mr Lancrenon. (Voir le *Bulletin* de janvier 1900, p. 149.)	XIV — 39
Discussion en section	XIV — 85
Rapport de la 2e section	XIV — 100
Discussion en séance plénière	XIV — 100
Conclusions	XIV — 101

N. B. — Voir aussi les tirés à part (à couverture brune) nos 2 et 3.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621.157.2]

EXPOSÉ N° 1

(**Russie**)

Par N. ANTOCHINE,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE LA SOCIÉTÉ DES USINES DE KOLOMNA,
CI-DEVANT MEMBRE DE L'ADMINISTRATION GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT RUSSE, A SAINT-PÉTERSBOURG.

Introduction.

Dans l'étude des conditions du mouvement des trains, la force vive de ceux-ci a, dans la plupart des cas, une importance prépondérante. Or, comme on le sait, la force vive s'accroît avec la vitesse du mouvement et diminue avec le poids du train. Si le poids et la charge des trains restaient les mêmes, des vitesses de marche différentes des trains dépendraient toutes les questions qui sont rattachées en propre à la puissance de la force vive. Il conviendrait alors d'étudier les conditions du mouvement des trains de grande vitesse comme quelque chose de spécial et qui ne serait pas applicable aux trains de moyenne et encore moins de petite vitesse. Mais, en réalité, à mesure de l'augmentation de la vitesse des trains, le poids de ceux-ci diminue forcément avec beaucoup de rapidité, malgré l'emploi de locomotives d'un poids sans cesse croissant. Pour cette raison, les conditions du mouvement des trains de grande vitesse diffèrent peu, en réalité, des conditions du mouvement des trains de vitesses diverses. Et cela reste exact, même dans le cas où l'on adopterait la définition préconisée à Londres par la majorité des ingénieurs de la cinquième session du Congrès des chemins de fer, à savoir que l'expression « trains de grande vitesse » ne serait applicable qu'aux trains marchant à la vitesse d'au moins 80 kilomètres à l'heure. En fait, la force vive d'un train de 200 tonnes, composé de wagons d'un poids total de 120 tonnes, traîné par une locomotive pesant avec son tender 80 tonnes, à la vitesse de marche de 80 kilomètres à l'heure, sera égale à celle d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

train marchant à la vitesse de 32 kilomètres, la locomotive et le tender pesant 80 tonnes et l'ensemble des wagons 420 tonnes.

Dans le cas de l'application de la double traction, le poids et, avec lui, la force vive du train de grande vitesse augmentent par l'adjonction de la deuxième locomotive bien plus sensiblement que cela n'a lieu pour les trains de petite vitesse. Néanmoins, les considérations émises ci-dessus restent absolument applicables à ce cas spécial. En effet, si à un train marchant à la vitesse de 80 kilomètres à l'heure et pesant 120 + 80 tonnes, on ajoute une seconde locomotive du même poids de 80 tonnes, la force vive du train sera la même que celle d'un train du poids de 460 tonnes, traîné par deux locomotives légères du poids de 2[30 (locomotives) + 25 (tenders)] = 110 tonnes, si la vitesse de la marche est de près de 55 kilomètres à l'heure.

Les trains du poids de 420 tonnes à simple traction et les trains du poids de 460 tonnes, tractionnés au moyen de deux locomotives légères, marchant à la vitesse de 32 à 55 kilomètres à l'heure, existent sur les chemins de fer russes et, conséquemment, les renseignements recueillis auprès de ces chemins de fer peuvent, semble-t-il, servir à élucider la présente question, bien que celle-ci soit formulée uniquement par rapport aux trains de grande vitesse, atteignant vraisemblablement 80 kilomètres à l'heure, vitesse qui n'existe pas en Russie.

Notice historique.

Sur la ligne de Tsarskoé-Sélo, le premier chemin de fer russe, construit, à titre d'essai, comme on sait, de 1835 à 1837, la double traction des trains fut appliquée dès les premiers jours de l'inauguration (octobre 1837). Cette mesure était appliquée temporairement, parce que les plaques tournantes pour locomotives n'étaient pas prêtes. Les trains avaient deux locomotives, dont une attelée en tête du train, la cheminée en avant, et l'autre, à la queue du train, la cheminée en arrière. Les trains, sans être reformés aux stations terminus de la ligne, marchaient toujours à l'aide de la locomotive dont la cheminée était en avant, dans le sens du mouvement. Après le placement des plaques tournantes, on continua à utiliser la double traction dans les mêmes conditions, sauf que la locomotive de queue servait à pousser le train.

Pendant la deuxième année de l'exploitation du chemin de fer de Tsarskoé-Sélo, il y eut un déraillement produit par le bris et la chute d'un bandage de roue. Le train avait à la queue une seconde locomotive, qui continua sa marche en avant et augmenta de la sorte les tristes conséquences de l'accident; au nombre des tués se trouvaient l'administrateur du chemin de fer et le conducteur principal. A la suite de l'enquête, un ukase de l'empereur interdit la double traction.

Entre l'inauguration de la ligne de Tsarskoé-Sélo et la mise en exploitation du chemin de fer Nicolas, la deuxième ligne qui fut construite en Russie, il se passa plus de douze ans. L'impression produite par le premier déraillement s'était effacée;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la défense faite avait sans doute été oubliée et, d'autre part, l'existence des nouveaux chemins de fer avait créé de nouveaux besoins et des exigences pour la satisfaction desquels l'emploi de la double traction était indispensable.

Il y a dix ou quinze ans, il se produisit sur les chemins de fer russes un grave accident qui se rattachait aussi à l'emploi de la double traction. Mais, comme les connaissances techniques et l'expérience en matière d'exploitation, parmi les hommes de chemins de fer et dans le public, s'étaient considérablement accrues depuis 1839, on ne crut plus pouvoir attribuer cet accident exclusivement à la double traction. On ne jugea donc plus nécessaire d'édicter de défense ou de restriction quant à l'emploi de celle-ci.

Les données recueillies par le rapporteur sur la double traction des trains de voyageurs se rapportent à vingt lignes de chemins de fer russes, dont l'étendue des voies, ainsi que les parcours moyens annuels des trains en 1897 sont indiqués dans le tableau I (p. XIV/6).

1. — Extension de la double traction comme système.

Il résulte des renseignements recueillis que :

La double traction comme système d'exploitation n'est employée pour les trains de voyageurs que : *a*) sur la ligne de Vladicaucase, avec des vitesses moyennes de marche, entre les stations, de 15 à 25 verstes (16 à 26.7 kilomètres) à l'heure, dans les deux sens ; *b*) sur la ligne de Kharkov-Nikolaïev, où la vitesse de marche ne dépasse pas 50 verstes (53.3 kilomètres) à l'heure, et *c*) sur les lignes de chemins de fer du Sud-Est, la double traction a été employée pendant quatre ans, mais actuellement, après l'achat de fortes locomotives pour trains de voyageurs, on n'en fait plus usage.

Sur de nombreuses lignes, la double traction était employée dans de larges proportions, il y a trois ans. Elle l'est encore partiellement aujourd'hui, mais non comme système et seulement en cas de nécessité provenant du manque de proportion entre la forte composition des trains et la faiblesse des locomotives sur des chemins de fer à simple voie. Au nombre de ces chemins de fer sont comprises les lignes : Catherine, Koursk-Kharkov-Sébastopol, Moscou-Kiev-Voronège, Moscou-Koursk-Nijni-Novgorod, Samara-Zlatooust, Syzrane-Viazma, Kharkov-Nikolaïev, Sud-Est et Sud-Ouest. La double traction est employée comme système, pour tous les trains d'une importance particulière, sur toutes les lignes. Ces trains marchent à des vitesses un peu inférieures aux plus grandes vitesses admises sur chaque ligne et toujours à double traction. Cette manière de faire a été établie par le ministère des voies de communication, dans le but d'assurer la régularité de la marche des trains et de diminuer l'influence que pourraient avoir sur cette marche les petits accidents fortuits.

La ligne de Vladicaucase applique la double traction comme système sur deux petites sections : celle de Novorossiisk-Bakanesk, d'une longueur de 33.9 verstes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau I.

LIGNES.	LONGUEUR à simple voie, en verstes (kilom.)	LONGUEUR à double voie, en verstes (kilom.)	Parcours des trains par 1,000 verstes (1,000 kilomètres).
Varsovie-Vienne (voies étrangères)	463 (493.9)	291 (310.4)	6,229 (6,645)
Vladicaucase	1,216 (1,297·2)	...	8,316 (8,871)
Catherine	1,069 (1,140.4)	327 (348.8)	8,257 (8,808)
Transcaucase (38 verstes [40.5 kilomètres] à voie étroite)	1,046 (1,115.9)	...	6,732 (7,182)
Transcaspienne	1,418 (1,512.7)	...	Les renseignements font défaut.
Sibérie occidentale	1,329 (1,417.8)	...	2,841 (3,031)(1)
Koursk-Kharkov-Sébastopol	1,363 (1,560.7)	297 (316.8)	9,275 (9,894)
Libau-Romny	1,246 (1,329.2)	...	7,285 (7,772)
Moscou-Kiev-Voronège (470 verstes [501.4 kilomètres] à voie étroite)	1,140 (1,216.1)	430 (458.7)	4,733 (5,049)
a) Moscou-Koursk	512 (546.2)	378 (403.2)	5,633 (6,009)
b) Moscou-Nijni-Novgorod	426 (454.5)	410 (437.4)	5,386 (5,746)
c) Mourom	106 (113.1)	...	
Moscou-Yaroslav-Arkhangel — *a*) Moscou-Yaroslav-Kostroma	400 (426.7)	66 (70.4)	2,694 (2,874)
Moscou-Yaroslav-Arkhangel — *b*) Yaroslav-Vologda (à voie étroite)	201 (214.4)	...	691 (737)
Moscou-Yaroslav-Arkhangel — *c*) Chouïa-Ivanovo	222 (236.8)	...	563 (601)
Nicolas (Nikolaïevskaïa)	911 (971.8)	612 (652.9)	11,742 (12,526)
Perm-Tioumène	1,242 (1,324.9)	...	3,515 (3,750)
Poléssié	1,438 (1,534.0)	4 (4.3)	6,157 (6,568)
Vistule	1,009 (1,076.4)	325 (346.7)	5,351 (5,708)
Riazane-Oural (662 verstes [706.2 kilomètres] à voie étroite)	2,584 (2,756.6)	275 (293.4)	9,884 (10,544)
Samara-Zlatooust	1,411 (1,505.2)	...	5,212 (5,560)
Syzrane-Viazma	1,305 (1,392.2)	...	8,051 (8,589)
Kharkov-Nikolaïev	1,161 (1,238.5)	86 (91.7)	4,876 (5,202)
Sud-Ouest	3,317 (3,538.5)	1,287 (1,373)	16,401 (17,496)

(1) C'est la première année d'exploitation de la ligne ; on prévoit, pour 1899, un parcours de 4,347,000 verstes (4,637,000 kilomètres).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(36.2 kilomètres), et celle de Yégorlyk-Stavropol, d'une longueur de 64.3 verstes (68.6 kilomètres). Sur ces deux sections, la seconde locomotive est placée en queue du train et sert à le pousser. Elle n'est placée à la tête du train que si ce dernier est pourvu du frein Westinghouse. Les types des locomotives à double traction destinées à être placées en queue des trains ne diffèrent en rien de celles qui doivent être placées en tête. Sur ces petites sections, il n'y a pas de raison économique pour substituer l'emploi de la double traction à celui de fortes locomotives de montagnes, attendu que les autres sections de la ligne n'ont pas de rampes très raides. Dans les cas exceptionnels où il s'agit de tractionner sur toute la ligne des trains composés d'un grand nombre de voitures et ayant deux machines en tête, on ajoute une troisième locomotive en queue pour pousser le train.

Sur la ligne de Kharkov-Nikolaïev, la double traction a commencé à être employée, comme système, depuis l'hiver de 1898, sur les sections Kharkov-Elisavetgrade, 380 verstes (405.4 kilomètres), et Znamenka-Nikolaïev, d'une longueur de 222 verstes (236.8 kilomètres). Sur ces deux sections, les rampes sont très faibles, soit de 0.008, avec des rayons de courbe d'au moins 300 sagènes (640 mètres). Les deux locomotives sont toujours placées en tête du train.

Sur les chemins de fer du Sud-Est, la double traction a été appliquée, comme système, sur la section Kozlov-Rostov, d'une longueur de 760 verstes (810.8 kilomètres), où les pentes atteignent 0.014 avec une longueur de 5 verstes (5.3 kilomètres) et plus.

Sur les autres lignes, la double traction est employée non comme un système, bien que d'une façon permanente, sur des parcours dont la longueur est indiquée ci-dessous (la locomotive se met toujours en tête du train, à l'exception des cas spécialement mentionnés) :

a) *Ligne Catherine :* Rostov-Gorlovka, 230 verstes (245.4 kilomètres), et Khartsisk-Dolinskaïa, 504 verstes (537.7 kilomètres), en hiver ;

b) *Ligne transcaspienne :* avant le pont de l'Amou-Daria, des deux côtés sur 155 et 113 sagènes (331 et 241 mètres), au moyen d'une locomotive poussant le train ;

c) *Ligne de Koursk-Kharkov-Sébastopol :* sur différentes sections, d'une longueur totale de 1,110 verstes (1,184.1 kilomètres) ;

d) *Ligne de Moscou-Kiev-Voronège :* Kiev-Niéjin, 115 verstes (122.7 kilomètres) ;

e) *Ligne de Riazane-Oural :* Saratov-Rtichtchevo, 179 verstes (191 kilomètres) ;

f) *Ligne de Samara-Zlatooust :* Batraki-Kropatchévo, 266 verstes (283.8 kilomètres), et, jusqu'à l'année 1897, sur une longueur de 757 verstes (807.6 kilomètres) ;

g) *Ligne de Syzrane-Viazma :* Ouzlovaïa-Protopopovo, 54 verstes (57.6 kilomètres), et

h) *Chemin de fer du Sud-Ouest :* Kiev-Kaziatine-Brest, 609 verstes (649.7 kilomètres).

Sur les sections qui viennent d'être citées, tous les trains ne marchent pas en double traction, mais seulement quelques-uns d'entre eux, pour lesquels les fortes machines font défaut. Dans de nombreux cas, l'emploi de trains composés d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grand nombre de wagons provient de ce que la capacité des lignes ne permet pas la circulation d'un grand nombre de trains et de la nécessité de laisser de l'espace libre pour la circulation des trains de marchandises.

2. — La double traction dans des cas spéciaux.

Dans certains cas spéciaux, la double traction s'emploie sur toutes les lignes. Cette application de la double traction est nécessitée par une affluence accidentelle de voyageurs, par des retards dans la marche des trains, par le mauvais temps, par une avarie à la machine du train, etc.

La proportion de l'utilisation de la double traction pendant les années 1895-97 a varié sur les diverses lignes dans les limites de 3 p. c. du parcours des trains de voyageurs jusqu'à 10 p. c., et même, sur les chemins de fer du Sud-Ouest, jusqu'à 13.3 p. c.

Si l'on ajoute au parcours de la double traction le parcours dont il est question au § 1er, c'est-à-dire celui qui s'effectue d'une façon permanente, le parcours total à double traction atteint, sur certaines lignes, 25 p. c. du parcours total des trains de voyageurs.

La seconde locomotive est placée d'ordinaire en tête du train, mais sur les lignes de Vladicaucase et du Transcaucase on la place en queue; sur ces lignes, il arrive parfois que, pour gravir les fortes rampes, on ajoute à deux locomotives placées en tête du train une troisième machine, qu'on place en queue, mais qui n'est pas attelée au train.

3. — Longueurs et pentes maximums des rampes de la voie.

Les longueurs et pentes maximums des rampes et les rayons minimums des courbes de la voie sont les suivants :

	Tg.	Longueur.	Rayon de courbe.
Ligne de Vladicaucase	0.015	4.14 verstes (4.42 kilomètres).	300 sagènes (640.07 mètres).
— Catherine	0.1	12 verstes (12.80 kilomètres).	250 sagènes (533.39 mètres).
— Transcaspienne.	0.006	155 sagènes (330.70 mètres).	... ...
— du Transcaucase	0.028	5 verstes (5.33 kilomètres).	75 sagènes (même 50 sagènes). (160.02 mètres). (même 106.68 m.).
— de Koursk-Kharkov-Sébastopol . . .	0.009	3.3 verstes (3.52 kilomètres).	280 sagènes (597.40 mètres).
— de Koursk-Kharkov-Sébastopol . . .	0.008	10.5 verstes (11.20 kilomètres).	300 sagènes (640.07 mètres).
— de Libau-Romny	0.01	1.7 verste (1.81 kilomètre)	300 sagènes (640.07 mètres).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Tg.	Longueur.	Rayon de courbe.
Ligne de Moscou-Kiev-Voronège	0.008	2 verstes (2.13 kilomètres).	350 sagènes (746.75 mètres).
— de Moscou-Yaroslav-Arkhangel . . .	0.0093	5.64 verstes (6.02 kilomètres).	300 sagènes (640.07 mètres).
— de Poléssié	0.01	3.66 verstes (3.90 kilomètres).	250 sagènes (533.39 mètres).
— de Riazane-Oural	0.01	7.5 verstes (8.00 kilomètres).	300 sagènes (640.07 mètres).
— de Samara-Zlatooust	0.01	4.6 verstes (4.91 kilomètres).	150 sagènes (320.04 mètres).
— de Syzrane-Viazma.	0.01	5.3 verstes (5.65 kilomètres).	250 sagènes (533.39 mètres).
— de Kharkov-Nikolaïev	0.01	5.05 verstes (5.39 kilomètres).	300 sagènes (640.07 mètres).
— du Sud-Ouest.	0.0086	0.4 verste (0.43 kilomètre).	250 sagènes (533.39 mètres).

Tous les rayons de courbe de la voie, mentionnés ci-dessus, sauf pour la ligne du Transcaucase, sont tellement grands qu'ils ne provoquent aucune crainte au sujet de la double traction. Sur la ligne du Transcaucase, avec un rayon de courbe de 75 sagènes (160.02 mètres) et même à certains endroits de 50 sagènes (106.68 mètres), on applique aussi avec succès la double traction avec locomotive, tant en tête qu'en queue du train.

4. — Vitesse de marche.

Les vitesses de marche des trains remorqués par une seule locomotive, telles qu'elles ont été fixées par le gouvernement, en 1898, sont plus grandes que celles qui avaient été édictées primitivement. Cette augmentation des vitesses a été reconnue sans danger. Elle était d'ailleurs nécessaire, attendu que de nombreux chemins de fer s'étaient trouvés souvent dans l'obligation de dépasser les vitesses réglementaires primitives. Actuellement, la plus grande vitesse admise pour la locomotive est fixée à 260 tours par minute de la roue de commande d'une locomotive à voyageurs. Cette vitesse, au passage des rampes, diminue, notamment de 10 p. c. au moins sur les rampes de 0.008 et plus.

Pour le plus grand diamètre de roue de locomotive à voyageurs existant, la vitesse ne doit pas dépasser 92 verstes (98.1 kilomètres) à l'heure.

Les vitesses maximums réelles admises sur les chemins de fer, d'après leurs déclarations, ne dépassent pas ces limites, et les vitesses moyennes, dans les parcours entre les stations, sont de beaucoup inférieures aux limites fixées par les règles prérappelées.

Le chemin de fer du Transcaucase a établi, pour la descente des rampes, les vitesses maximums suivantes : dans les rampes de 0.01 à 0.025, 25 verstes (26.7 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètres) à l'heure, et dans les rampes de plus de 0.025, 20 verstes (21.3 kilomètres) à l'heure.

La vitesse de marche des trains auxquels la double traction est appliquée n'est pas soumise aux mêmes règles.

Le ministère des voies de communication n'a donné des indications que pour les trains d'une importance spéciale, marchant en double traction et pour lesquels, les deux machines étant en tête, la vitesse maximum calculée d'après le diamètre des roues de commande de la locomotive doit être réduite, en été, de 10 p. c. et, en hiver, de 15 p. c.

De nombreux chemins de fer russes ont étendu cette règle, relative aux trains spéciaux, à tous les trains de voyageurs marchant en double traction. Certains chemins de fer ont déclaré qu'il a fallu s'écarter de cette règle, dans les cas où il s'agissait de regagner le temps perdu, dans le sens d'une augmentation de la vitesse de 5 p. c. (ligne Nicolas), de 10 p. c. (Samara-Zlatooust), de 15 p. c. (Riazane-Oural) et même de 20 p. c. (Syzrane-Viazma).

Ces écarts ont beaucoup diminué depuis qu'en 1898 le ministère des voies de communication a augmenté les vitesses maximums de marche des trains et, dans les cas où les trains sont pourvus de freins continus à action rapide, les causes mêmes de ces écarts sont supprimées.

Dans le cas où, à la tête d'un train se trouvent deux locomotives de types différents et dont les diamètres des roues de commande diffèrent, la vitesse de marche du train est déterminée d'après la plus petite roue de commande.

Le placement de la seconde locomotive à la queue du train n'est pratiqué que par deux lignes, celle de Vladicaucase et celle du Transcaucase, et alors la plus grande vitesse de marche du train est fixée à 30 verstes (32 kilomètres) à l'heure. Ce chiffre est purement empirique. La même limite est admise dans le cas où, outre les deux locomotives placées en tête du train, on en met une troisième à la queue.

5. — Formation des trains.

La formation des trains à simple traction est calculée, sur presque toutes les lignes, d'après les formules du général N. Pétroff et, sur la ligne Riazane-Oural, d'après celles du chef de la traction D. Kartacheff.

La formation des trains à double traction, avec les deux locomotives en tête du train, est déterminée d'après la formation calculée pour la marche à simple traction des locomotives de la même série. Pour obtenir la composition d'un train à double traction, le résultat du premier calcul est multiplié par 1.8 et même par 1.7 et on tient compte encore d'une autre condition : c'est que le nombre total des essieux d'un train ne peut dépasser 60.

Lorsque la seconde locomotive est placée à la queue du train, il paraît excessif de limiter le nombre d'essieux au chiffre 60. La plupart des chemins de fer s'en tiennent à la règle qui donne comme maximum pour la formation des trains 60 essieux. Il y

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a cependant des exceptions. Ainsi, sur la ligne Syzrane-Viazma, la composition des trains comporte, en été, 72 essieux et sur les lignes Sud-Est, Sud-Ouest, Nicolas et Catherine, les trains comportent jusqu'à 80 essieux.

Le chiffre 60 a été établi par la pratique et dans le but d'éviter une tension excessive des appareils d'attelage et la possibilité de leur rupture.

Quant au poids du train, il dépend, étant donné un nombre déterminé d'essieux, de la pression moyenne de l'essieu, sur le rail. Cette pression varie avec la charge temporaire entre 5, 6 et 9 tonnes par essieu, d'après le type du wagon. En moyenne, la pression d'essieu des wagons ordinaires de voyageurs à deux, trois et quatre essieux est d'environ 7 tonnes. Dans les wagons spéciaux, par exemple les wagons impériaux, la pression de l'essieu sur le rail est beaucoup plus forte et atteint de 9 à 12.5 tonnes. Le plus grand poids d'un train à double traction atteint, sur les diverses lignes, 390 à 460 tonnes. La composition des trains se calcule d'ordinaire d'après le nombre d'essieux.

6. — Accidents.

La statistique des accidents de chemins de fer est tenue sans distinction entre les cas de simple traction ou de double traction. On ne possède donc pas de chiffres comparatifs des accidents dus à la traction sur les lignes, sauf sur celle de Syzrane-Viazma, où on a distingué les cas de rupture des appareils d'attelage, et on a constaté que si, avec la simple traction, une rupture de l'appareil d'attelage se produit sur 100,000 trains-verstes (106,679 trains-kilomètres), avec la double traction il y aura une rupture par 53,000 verstes (56,540 trains-kilomètres), c'est-à-dire presque un nombre double de fois.

Il n'y a eu aucun accident de personnes occasionné par la double traction.

La plupart des chemins de fer déclarent, malgré cette statistique, que, pendant une longue période d'années, ils n'ont eu connaissance d'aucun accident de chemins de fer arrivé à des trains ayant deux locomotives attelées en tête. Un des chemins de fer émet l'avis qu'avec deux locomotives et, par conséquent, un personnel double de chauffeurs et de mécaniciens, il doit y avoir probablement un plus grand nombre d'accidents au moment de la mise en marche des trains, mais qu'en cours de route deux équipes remarqueront plus vite un danger qui menace le train que ne le ferait une seule équipe. Le chemin de fer Riazane-Oural suppose qu'il est juste de mesurer le degré de sécurité de la marche par la puissance des forces vives des trains en simple traction ou en double traction. Comme exemple particulier, pour le poids d'un train semblable, dans les deux cas 267.2 tonnes, les vitesses de marche, déterminées d'après l'égalité des forces vives, sont presque identiques, savoir : pour la simple traction, 55 verstes (58.7 kilomètres), et pour la double traction, 54.35 verstes (58 kilomètres) (avec de légères locomotives).

La majorité des ingénieurs reconnaissent qu'en double traction, lorsque la seconde locomotive est placée à la queue du train, il est très difficile aux équipes des deux locomotives, éloignées l'une de l'autre, d'accorder leur action. C'est pour ce motif que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la vitesse de marche ne doit pas dépasser alors 30 verstes (32 kilomètres) à l'heure et que la seconde locomotive doit uniquement pousser le train, sans y être attachée. Sur les lignes où la locomotive auxiliaire est placée à la queue du train sans y être attachée et où la vitesse de marche ne dépasse pas 30 verstes (32 kilomètres) à l'heure, il n'est jamais arrivé d'accident à un de ces trains.

Le chemin de fer de Riazane-Oural rejette l'emploi d'une seconde locomotive placée à l'arrière des trains de voyageurs.

D'après les règles relatives à la circulation des trains d'une importance particulière, la double traction est obligatoire, et ce, en vue d'augmenter la sécurité de la marche des trains.

Deux lignes, savoir : celle de Poléssié et celle du Sud-Ouest, expriment l'avis que la double traction peut augmenter les chances de dégradation des pièces du mécanisme de la deuxième locomotive, attendu que ces pièces travaillent dans la poussière soulevée par la première locomotive et s'échauffent beaucoup. Il en résulte des avaries et la rouille de ces pièces.

La plupart des lignes russes n'ont qu'un ballast de sable fin ou bien ont un ballast en pierrailles d'une épaisseur insuffisante pour écarter l'inconvénient de la poussière pendant la marche.

7. — Alimentation d'eau.

L'alimentation en eau de deux locomotives d'un même train se fait de façons différentes sur les diverses lignes et le mode d'alimentation dépend du genre de train. Dans le cas de la circulation de trains d'une importance particulière, on installe, sur la plupart des lignes, des bacs temporaires auxiliaires qui permettent de prendre de l'eau simultanément dans les deux tenders; avec une pareille installation, la prise d'eau par deux locomotives ne diffère pas de la prise d'eau par une seule machine.

Sur la ligne de Libau-Romny, on agissait, lors de la marche de trains en double traction d'une très grande importance et pesant environ 450 tonnes, de la façon suivante : au bout d'un parcours de 100 verstes (106.7 kilomètres), la première machine était remplacée par une nouvelle machine et, pendant ce temps, la seconde locomotive prenait de l'eau; après le parcours des 100 verstes suivantes, la première locomotive prenait de l'eau et la seconde était remplacée par une nouvelle locomotive, et ainsi de suite, de façon que le parcours de chaque locomotive fût en général de 200 verstes (213.4 kilomètres).

Au milieu des parcours de 100 verstes (106.7 kilomètres), seule la première locomotive complétait d'ordinaire sa provision d'eau; la seconde qui, comme toujours, fournissait un moindre travail que la première, se contentait de la contenance d'un tender pour effectuer le parcours entier de 100 verstes.

Le temps nécessaire pour remplir d'eau les deux tenders était, dans ces deux cas, identique au temps nécessaire pour remplir un seul tender.

L'alimentation en eau de deux locomotives marchant avec un train de voyageurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ordinaire s'effectue sur les diverses lignes par les moyens suivants : *a*) le train s'arrête sous un robinet à eau d'abord, pour le premier tender, puis il avance pour remplir le second tender. Le déplacement de tout le train, bien que nécessairement incommode, évite par compensation le décrochage de la locomotive du train et lorsqu'on emploie un frein à air, il évite la nécessité de l'épreuve de l'action du frein. La manipulation de l'attelage de la locomotive pour en opérer le décrochage et l'accrochage et la disjonction des raccords des freins pneumatiques sont particulièrement pénibles en hiver lorsqu'il gèle, par exemple, de 15 à 25° R. (18.8 à 31.3° C.), ce qui arrive souvent, pendant cette saison, sur les lignes de la Sibérie; *b*) les deux locomotives sont décrochées du train et vont se fournir l'une après l'autre d'eau sous le robinet, après quoi les deux locomotives retournent au train, et *c*) le tender d'une machine se remplit d'eau à une station et celui de l'autre machine à la station suivante et, dans les deux cas, les trains s'arrêtent autant que possible de façon que leur tender se trouve directement sous le robinet de prise d'eau.

Le temps nécessaire pour la prise d'eau dépend évidemment du diamètre de la conduite de distribution et de la pression de l'eau. Sur les diverses lignes, le temps nécessaire pour remplir un tender varie de quatre à huit minutes, et pour deux tenders, de huit à seize minutes et, sur la ligne Catherine, il atteint vingt minutes. Des arrêts de plus de huit minutes pour les prises d'eau sont trop prolongés et ne peuvent être prévus par le tableau du service des trains. Ils doivent nécessairement provoquer des retards. Du reste, certains chemins de fer (au nombre de huit) ont déclaré que les retards de ce genre peuvent se regagner en route et n'ont donc pas, en général, de mauvaise influence sur la régularité de la marche des trains. Certaines lignes ont trouvé possible d'augmenter la capacité d'eau de leurs tenders en la portant de 0.8 à 1.5 sagène cube (7,770 à 14,570 litres), ce qui a diminué le nombre des arrêts nécessités par l'approvisionnement d'eau, et les retards accidentels causés par le remplissage de deux tenders sont facilement compensés par l'augmentation de la vitesse de marche des trains. Enfin, les autres chemins de fer ont déclaré que les retards dus au remplissage de deux tenders, alors qu'il n'y a sur la ligne ni doubles robinets de distribution, ni autres installations spéciales, ont une fâcheuse influence sur la régularité de la marche des trains.

Sur le chemin de fer de la Sibérie occidentale, où les trains comportent un grand nombre de wagons, on attache, à la suite de la seconde locomotive, un réservoir spécial rempli d'eau, d'où, selon les besoins, l'eau est conduite, pendant la marche, dans le tender de la seconde locomotive; le premier tender est rempli aux stations, comme d'ordinaire.

8. — Façon de disposer les locomotives.

La plupart des lignes n'ont pas répondu à la question de savoir comment il faut disposer les locomotives dans la double traction et s'il faut placer en avant la locomotive dont le diamètre des roues est le plus grand ou celle dont ce diamètre est le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus petit. Quelques-unes ont répondu que, pour les locomotives dont le diamètre des roues ne diffère pas de plus de 100 millimètres, la disposition importe peu et n'a aucune influence sur la sécurité de la marche du train. Quatre lignes préfèrent mettre devant la locomotive avec les roues du plus grand diamètre, et deux lignes préconisent la disposition contraire.

Le département des chemins de fer admet qu'on doit, dans la double traction, placer les locomotives dont le diamètre des roues est le plus petit (locomotives à marchandises) en avant des locomotives dont le diamètre des roues est le plus grand (locomotives à voyageurs), attendu que les locomotives à marchandises ne possèdent pas les freins pneumatiques dont sont pourvues les locomotives à voyageurs, et que si l'on mettait les locomotives à voyageurs en avant, on ne pourrait plus utiliser le frein continu.

Pour régler la disposition des locomotives dans la double traction (les deux machines en tête), on devrait prendre pour base les considérations sur lesquelles se sont guidés presque tous les chemins de fer, lors de l'adoption d'un type de locomotive à grande vitesse. Dans ces cas, il est reconnu utile, par presque tous les chemins de fer, que la locomotive ait à l'avant soit un bogie à deux essieux, soit un essieu agencé de façon qu'il s'inscrive facilement dans les courbes, vienne presser le contre-rail et empêcher le choc contre la voie du rebord du bandage de la roue de commande de la base fixe de la machine. En conséquence, il serait régulier de placer en tête une locomotive dont l'essieu antérieur ne soit pas un essieu moteur et qui, plus facilement que les autres, s'inscrive dans la courbe de la voie.

9. — Valeur comparative.

Le montant des dépenses par tonne de poids du train avec la double traction et avec la simple traction : *a*) pour le combustible destiné à la locomotive, et *b*) pour les équipes de locomotive, peut être facilement déterminé pour chaque cas particulier. Mais il faut reconnaître qu'il est très difficile d'établir une comparaison à ce sujet entre les diverses lignes. La première et la plus importante partie de ces dépenses varie avec le type de locomotive, les conditions de la marche et le profil de la voie; la seconde partie dépend de causes accidentelles, telles que, par exemple, le renforcement de la composition d'un train de 10 à 15 p. c. au-dessus de la limite extrême fixée pour un type de locomotive donné, le désir d'éviter, dans la marche des trains, des retards même peu fréquents et insignifiants, d'une durée de vingt à trente minutes, par exemple, pour un parcours de cinq à dix heures. Cette seconde partie n'a qu'une influence secondaire sur le montant des dépenses.

Cette question présente un intérêt indiscutable lorsqu'il s'agit d'un chemin de fer sur lequel il n'est pas possible d'augmenter le nombre des trains de voyageurs et qu'en même temps la composition des trains a, par le nombre de wagons, dépassé le maximum ordinaire et a exigé soit que l'on force l'action de locomotives peu puissantes, soit que l'on emploie la double traction, soit enfin que l'on fasse usage de nouvelles machines très lourdes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur les lignes russes à simple voie ayant un fort mouvement de marchandises et un mouvement insignifiant de voyageurs pendant les premières années, l'accroissement du mouvement des voyageurs provoque, d'abord, le renforcement de la composition des trains à simple traction, ensuite, l'application de la double traction à certains moments au début et, enfin, d'une façon permanente (1), l'emploi de fortes machines.

Une large application de la double traction doit provoquer l'augmentation du nombre de locomotives. Pareille augmentation est facile à réaliser sur les lignes nouvelles du grand réseau des chemins de fer de l'État, en y faisant passer les locomotives légères des parties du réseau qui ont déjà reçu les nouvelles locomotives lourdes à voyageurs et où, par conséquent, les locomotives légères de l'ancien type sont devenues disponibles.

Bien que la construction de nouvelles locomotives lourdes ne soit provoquée que par la nécessité de renforcer le matériel de traction, on a soin, d'ordinaire, lorsqu'on en établit le projet : *a*) d'augmenter le diamètre des roues (aux anciennes locomotives le diamètre varie entre 1.50 mètre et 1.70 mètre, et aux machines nouvelles il est de 1.80 mètre et jusqu'à 2 mètres), afin de prévoir la possibilité d'augmenter la vitesse de marche des trains; on utilise alors les locomotives plus puissantes, absolument de la même façon qu'il serait possible, en cas d'augmentation du nombre de trains de voyageurs et de la réduction du nombre de leurs wagons, d'utiliser actuellement les faibles locomotives; *b*) d'augmenter en même temps le poids adhérent de celles-ci soit par l'augmentation du nombre d'essieux moteurs, soit par l'augmentation de la pression de l'essieu moteur sur les rails.

Le travail le plus avantageux des cylindres à vapeur de la locomotive se détermine exactement par l'application des lois de la théorie mécanique de la chaleur. Mais la locomotive est loin d'exécuter toujours le travail le plus avantageux au point de vue du fonctionnement de la machine à vapeur qu'elle constitue; le travail réel est tantôt inférieur, tantôt supérieur au travail utile. Les écarts, des deux côtés, sont provoqués par une dépense excessive de combustible. Lorsque la locomotive doit supporter en moyenne un travail au-dessus de ses forces, le travail utile ne se présente que comme exception; dans le travail excessif d'une locomotive légère, la dépense de combustible pour la traction d'un seul et même train, au moyen d'une seule machine, différera peu de la dépense de combustible nécessaire pour la traction de ce même train au moyen de deux locomotives légères du même type que la première et ne différera pas beaucoup de la dépense de combustible effectuée par une locomotive lourde qui, de plus, fournira un travail moyen se rapprochant beaucoup du travail utile.

Les considérations générales émises ci-dessus et le côté théorique de cette question peuvent, dans chaque cas particulier, donner des résultats différents, selon les

(1) Ainsi, sur la ligne Kharkov-Nikolaïev circulent des trains de voyageurs de 77 essieux avec un poids total de 539 tonnes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diverses valeurs numériques des données entrant dans la question. Néanmoins, les exemples particuliers contribuent à l'élucidation du degré d'importance de cette question au point de vue économique, et c'est pourquoi il est utile de comparer les dépenses dont il s'agit : *a*) pour deux types différents de locomotives ; *b*) pour des trains placés dans des conditions identiques ; *c*) pour les mêmes profils de voie, et *d*) pour des trains composés d'un même nombre de wagons.

Il résulte des renseignements fournis par les divers chemins de fer sur la dépense du combustible, que : *a*) sur certains chemins de fer on ne possède pas de renseignements statistiques ; *b*) sur d'autres chemins de fer on a déterminé le montant de la dépense d'après les normes (1) de la dépense du combustible par locomotive et par wagon, d'après des compositions de trains différentes répondant à la traction simple et à la double traction.

Tous ces renseignements ne renferment pas des matériaux suffisants pour permettre de répondre à la question sur ce point, et, pour cette raison, il a été procédé, en 1897-98, sur deux lignes, celles de Syzrane-Viazma et de Samara-Zlatooust, à des expériences spéciales pour déterminer l'importance de la dépense de combustible. Voici les principales dimensions des locomotives prises pour établir la comparaison :

Tableau II.

	SYZRANE-VIAZMA.		SAMARA-ZLATOOUST.	
	Légères à 3 essieux ($^2/_1$).	Lourdes à 5 essieux ($^3/_2$).	Légères à 3 essieux ($^2/_1$).	Lourdes à 5 essieux ($^3/_2$).
Diamètre des roues motrices	1.67	1.9	1.555	1.8
Cylindres à vapeur	0.43	0	0.43	0.842
Course du piston	0.584	0.65	0.612	0.650
Pression utile de la vapeur	9	11	9	11
Surface de chauffe totale	102	157	115	161
— — directe	8	11.26	7.5	11.3
Poids de la locomotive	30.2	54.6	31	52.9
— du moteur	22.2	41.1	22	41.0
— du tender	25	33	25	33
Force de traction	4,170	7,430	4,240	7,860

En 1897, étant donnée la nouveauté de l'application des lourdes locomotives à voyageurs, il fallut se contenter de questionner les machinistes et les chefs de dépôt

(1) Pour le décompte des primes pour économie de combustible, ces normes se distinguent par un caractère conventionnel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la section Riajsk-Morchansk de la ligne Syzrane-Viazma, et il a été constaté que les lourdes locomotives à 3 essieux, avec un essieu libre et un poids sur les essieux moteurs de 14.4 tonnes, dépensent pour la traction d'un train de 13 wagons à 3 essieux et de 4 wagons à 4 essieux, soit en tout 55 essieux, seulement 70 pouds (1,146.6 kilogrammes) de naphte contre 100 pouds (1,638 kilogrammes) dépensés par deux locomotives à 2 essieux moteurs et un chargement de 12.5 tonnes pour chaque essieu avec un essieu libre. Sur la difficile section Raïevka-Davlékanavo de la ligne de Samara-Zlatooust, la dépense de combustible a été, pour un train de $10 \times 3 + 5 \times 4 = 50$ essieux avec une locomotive non-compound de l'usine de la Néva, d'environ 1 poud de naphte pour une verste (15.355 kilogrammes par kilomètre), soit un peu moins (5 à 10 p. c.) qu'avec deux anciennes locomotives légères.

Grâce à l'aimable concours de deux ingénieurs en chef du matériel roulant et de la traction, MM. M. J. Pachkovsky et M. V. Berman, on a obtenu, en 1898, les résultats d'expériences suivants :

A. — Sur la ligne Syzrane-Viazma, avec des vitesses de marche, arrêts déduits, de 40 à 32 kilomètres à l'heure :

a) Locomotives lourdes compound avec un train de 49.5 essieux : 0.194 poud (3.178 kilogrammes) de résidus de naphte pour 100 tonnes-kilomètres ;

b) Locomotives légères en double traction avec un train de 54.67 essieux : 0.292 poud (4.783 kilogrammes) par 100 tonnes-kilomètres. Mêmes locomotives en double traction avec une composition moyenne de train de 52.33 essieux : 0.243 poud (3.980 kilogrammes) par 100 tonnes-kilomètres, et

c) Locomotives légères en simple traction avec train de 27.17 essieux : 0.245 poud (4.013 kilogrammes) par 100 tonnes-kilomètres.

B. — Sur la ligne Samara-Zlatooust, il a été constaté que, pour les trains comprenant 48 essieux et plus, la dépense de combustible avec des locomotives lourdes est moindre qu'avec la double traction de deux locomotives légères à voyageurs et, au contraire, pour des trains composés d'environ 20 essieux, les lourdes voitures à voyageurs ont été trouvées très peu économiques, comparativement aux locomotives légères marchant en simple traction.

Les dépenses pour les équipes de locomotive sont, d'après les renseignements fournis par les chemins de fer, les suivantes : *a*) dans le cas du chauffage au naphte, on constate, en double traction, une dépense deux fois plus grande qu'avec la simple traction, dans l'hypothèse de trains du même poids; *b*) dans le cas de l'emploi d'autres espèces de combustibles, cette proportion se modifie de la façon suivante : avec le chauffage au bois, on a besoin, sur la locomotive lourde, d'un machiniste, d'un aide et de deux chauffeurs, au lieu des trois hommes qu'exige la locomotive légère, et, avec le chauffage au charbon de terre, il faut, pour les locomotives lourdes, trois hommes (et même quatre) au lieu de deux (ou trois) hommes qu'occupe la locomotive légère.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La ligne Riazane-Oural nous a envoyé une réponse plus complète que celle qui lui avait été demandée. Les renseignements sur la dépense en combustible et sur la dépense pour les salaires du personnel sont complétés par des renseignements sur l'éclairage, le graissage, le nettoyage et les réparations des locomotives, basés sur les résultats de l'exploitation pour 1896. D'après ces renseignements, la dépense par tonne de train en double traction, avec emploi de locomotives légères, est de 59 p. c. plus élevée qu'en simple traction avec emploi de locomotives lourdes. Malheureusement, les calculs ont été faits à l'aide du chiffre moyen des dépenses par train-verste se rapportant au travail total de la ligne, et, par conséquent, la conclusion précitée n'est peut-être pas tout à fait exacte.

10. — Utilité et économie.

Tous les chemins de fer, à l'exclusion seulement du chemin de fer de la Vistule, ont déclaré unanimement que, dans aucune circonstance, ils ne voient quelque utilité dans l'emploi de la double traction, de préférence à la simple traction avec locomotives lourdes. Au contraire, les chemins de fer de la Vistule déclarent, en faveur de l'application de la double traction, que la vitesse de marche d'un train remorqué par deux locomotives doit être plus uniforme que celle d'un train remorqué par une seule locomotive, même forte, attendu que la production de vapeur de deux chaudières est plus grande que celle d'une seule chaudière; cette considération amène les chemins de fer de la Vistule à cette conclusion, que la sécurité de la marche du train est plus grande avec la double traction qu'avec la simple traction.

Six chemins de fer sur vingt, savoir : les chemins de fer du Transcaucase, de Koursk-Kharkov-Sébastopol, de Moscou-Kiev-Voronège, de Moscou-Koursk-Nijni-Novgorod, Nicolas et de Samara-Zlatooust, ont ajouté que la double traction peut, en général, être utile dans des cas exceptionnels, par exemple, quand il est nécessaire d'assurer plus complètement la sécurité et la régularité de la marche des trains d'une importance extraordinaire; la mise hors de service simultanée de deux machines est presque invraisemblable, la surveillance de la voie et de la marche du train, exercée par les deux équipes, doit être plus sûre que par une équipe. Tel est aussi, au point de vue de la double traction, l'avis du ministère des voies de communication.

Ensuite, tous les chemins de fer déclarent unanimement qu'au point de vue économique la simple traction, par une forte locomotive, présente des avantages, si on la compare avec la double traction au moyen de locomotives faibles, et ces avantages sont constatés non seulement en ce qui concerne les dépenses de chauffage et les dépenses de salaires des équipes de locomotives, mais aussi en ce qui concerne l'entretien, le nettoyage et l'éclairage des locomotives. Un certain nombre de chemins de fer estiment que toutes ces dépenses sont franchement doublées en employant la double traction; les autres trouvent que la dépense d'entretien de deux locomotives faibles doit coûter, en général, plus que l'entretien d'une forte locomotive.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

11. — Types de locomotives.

En ce qui concerne les avantages que présente, pour la double traction, l'emploi de locomotives des divers types, les chemins de fer déclarent, pour la plupart, qu'ils ne possèdent pas de données pour satisfaire à cette question. Quatre d'entre eux nous ont envoyé des réponses précises; le Vladicaucase et le Transcaucase déclarent que, comme seconde locomotive à l'arrière du train, on emploie indifféremment des locomotives à voyageurs ou à marchandises; la ligne de Koursk-Kharkov-Sébastopol nous a fait savoir que, tout en ayant de fortes locomotives à voyageurs, elle préfère, dans les cas exceptionnels, employer, pour la double traction, des locomotives faibles à voyageurs. Le chemin de fer Nicolas emploie, dans tous les cas, deux machines du même type pour la double traction.

12. — Règlements.

Pour la marche des trains en double traction, les chemins de fer appliquent : *a*) si les deux machines sont en tête du train, le § 69 des anciennes règles de marche, et *b*) si une locomotive est en tête et l'autre en queue du train, les règles provisoires approuvées par le ministre des voies de communication, le 4 mars 1897, n° 482.

Ces règles générales sont complétées sur certaines lignes par des règles spéciales particulières, ainsi par exemple :

a) Les chemins de fer du Transcaucase, de Moscou-Kiev-Voronège et du Sud-Est considèrent la locomotive d'allège en queue comme une machine de manœuvre, si elle ne s'éloigne pas à plus de 3 verstes (3.2 kilomètres) des limites de la station et qu'à cet endroit on lui reconnaît le droit de revenir à la station comme machine de manœuvre. La vitesse de marche du train avec locomotive en queue ne doit pas excéder 30 verstes (32 kilomètres) à l'heure.

Si la machine en queue va jusqu'à la station suivante, elle doit, à l'aiguille d'entrée, abandonner son train et ne s'en rapprocher qu'après qu'il se trouve complètement arrêté.

Les dépêches de route sont remises aux deux machinistes.

Lors du démarrage d'un train au sortir d'une gare, s'il y a deux machines en tête du train, c'est indifféremment la première ou la seconde qui ouvre son régulateur, et lorsque les locomotives occupent différentes places dans le train, ce sera souvent la locomotive *poussante;*

b) D'après les règlements des chemins de fer de Moscou-Koursk-Nijni-Novgorod, de Poléssié, de Syzrane-Viazma et de Kharkov-Nikolaïev, en double traction, la plus grande vitesse, correspondant à la locomotive dont les roues sont les plus petites, est réduite, en été, de 10 p. c. et, en hiver, de 15 p. c.

Le machiniste de la première locomotive ouvre et ferme le premier le régulateur et, en général, règle toute la marche du train.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La marche du train avec une machine en queue exige, dans les courbes, une attention toute spéciale du machiniste de la machine d'arrière.

Les autres chemins de fer appliquent des règles analogues à celles qui précèdent. En général, la différence dans les règles de la double traction se rapportent principalement à la question de savoir quel machiniste doit ouvrir le premier le régulateur, celui de la première ou de la deuxième machine.

Conclusions.

Des renseignements qui précèdent, il est permis de tirer les conclusions suivantes :

« 1° La double traction est employée sur toutes les lignes des chemins de fer russes et ne provoque aucune crainte au point de vue de la sécurité et de la régularité de la marche des trains;

« 2° Dans les cas exceptionnels, pour des parcours de faible longueur, mais d'un profil difficile, la double traction présente une réelle utilité, et alors la deuxième locomotive se place indifféremment en tête ou en queue du train, en observant les règles établies par l'expérience, notamment au point de vue de la vitesse;

« 3° Lors de la commande de nouvelles locomotives, il faut donner la préférence au type qui permet d'assurer le service des trains en simple traction. Si l'on possède des locomotives de ce type, la question de les remplacer, dans des buts économiques d'exploitation, par des types plus puissants, dépend des conditions locales. »

Saint-Pétersbourg, 30 juillet 1899.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621 .157.2]

EXPOSÉ N° 2

(Autriche-Hongrie, Roumanie, Pays-Bas, Luxembourg, Suisse et Allemagne.)

Par SIGISMOND ABELES,

INSPECTEUR DE LA DIRECTION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT HONGROIS.

Dans l'intérêt d'une étude approfondie et uniforme de la question, il a été dressé un questionnaire détaillé (*voir* annexe III) de concert avec MM. Antochine et Lancrenon, chargés également de traiter le même sujet, le premier pour la Russie, le second pour tous les autres pays.

Je m'empresse de remercier ici les administrations du bienveillant concours qu'elles m'ont apporté en me faisant parvenir leurs réponses.

De l'emploi de deux locomotives pour la remorque des trains en général.

On s'attache généralement, en tenant compte de la puissance des machines dont on dispose, ainsi que du tonnage des trains, à fixer l'horaire de façon que sur les lignes à faibles déclivités les trains soient remorqués par une seule machine. L'emploi de deux machines est limité aux cas où, par suite d'une affluence extraordinaire de voyageurs, la puissance du type de locomotive régulièrement employé, paraît insuffisante pour la remorque du train, ou bien encore où le mauvais temps fait craindre que la puissance d'une seule locomotive ne permette pas d'effectuer le trajet dans le délai fixé.

En outre, dans la plupart des chemins de fer, on autorise aussi l'emploi d'une deuxième locomotive dans les cas de retards, pour regagner le temps perdu, si la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puissance d'une seule locomotive ne paraît pas suffisante. Cependant, quelques administrations n'admettent pas l'emploi d'une deuxième machine dans ce but; ce sont surtout celles qui prescrivent notamment une réduction de la vitesse maximum dans le cas de l'utilisation de deux locomotives, et il s'ensuit que si l'on évite l'emploi de machines de renfort pour ce but spécial, ce n'est, en somme, que comme corollaire de l'autre disposition.

En général, les chemins de fer du *Verein* ne prescrivent pas de réduction de vitesse dans les cas d'emploi de deux machines, de sorte que la vitesse maximum prévue à l'horaire pour le train ainsi que celle correspondant à la durée maximum du trajet, en cas de retards, peuvent être appliquées, en admettant toutefois que, pour les locomotives employées, la vitesse maximum fixée par l'autorité ne soit pas dépassée. Néanmoins, en cas d'utilisation de machines de renfort, quelques administrations, surtout en Autriche, prescrivent une vitesse maximum de 65 kilomètres à l'heure qui ne peut être dépassée. Ces administrations ne motivent pas cette mesure; toutefois, il y a lieu de supposer que cette restriction est basée sur ce que, par l'emploi de deux machines accouplées, la voie est soumise à une plus grande fatigue dès que le travail simultané des deux machines n'est pas uniforme, et que, la première étant poussée par l'autre, l'influence des mouvements perturbateurs se fait sentir dans une plus grande mesure.

Dans la plupart des chemins de fer, les prescriptions qui régissent l'emploi de deux locomotives permettent, en général, une utilisation de la force de traction moindre que celle correspondant à la somme des puissances de travail des deux machines; nous fournirons plus loin des données à ce sujet.

Lors de l'emploi de deux machines de construction différente, la place que doit occuper l'une relativement à l'autre est déterminée par certaines règles que nous allons indiquer, dans l'ordre ci-après, en faisant toutefois remarquer qu'une partie des chemins de fer n'attachent aucune importance à la place destinée aux locomotives :

a) La locomotive la plus lourde doit être placée en tête du train, afin de pouvoir, conformément à sa destination, agir sur tout le train, la machine la plus lourde répondant le mieux à cette action;

b) La locomotive dont les roues motrices ont le plus grand diamètre doit être placée en tête du train;

c) Sur les chemins de fer de l'État hongrois, si les deux machines ont des limites de vitesse égales, celle dont la force de traction est la moindre doit être placée en tête;

d) La locomotive comportant la plus grande vitesse maximum doit être placée en tête;

e) La machine auxiliaire doit être placée en tête; on ne la place comme seconde que si sa vitesse maximum permise est moindre que celle de l'autre machine;

f) La machine marchant tender en avant est placée comme seconde.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nombre de chemins de fer sont d'avis qu'en règle générale il y a lieu de choisir deux locomotives de même catégorie ou deux machines de même vitesse maximum.

En ce qui concerne l'alimentation simultanée des machines de renfort, elle n'est régie par aucune disposition spéciale; souvent, par suite du peu de longueur de la ligne, les machines de renfort n'ont pas besoin de recourir à une nouvelle alimentation d'eau; sur d'autres lignes, la machine de renfort est remplacée, à un endroit convenable, par une autre machine, pour éviter une nouvelle alimentation; enfin, les machines sont alimentées à tour de rôle.

Emploi de deux machines de tête pour la remorque du train sur les lignes à fortes rampes.

L'emploi de machines de renfort en tête ou en queue, sur les lignes à fortes rampes et à courbes roides, est en usage sur tous les chemins de fer du *Verein*, ainsi qu'en Suisse.

En général, sur les lignes comportant des déclivités peu importantes, on s'attache à remorquer les trains avec une seule machine, en tâchant, par le choix de types de machines d'une force de traction suffisante, ainsi que par une réduction convenable de la vitesse lors de la fixation de l'horaire, d'éviter l'emploi d'une deuxième machine, sauf à y recourir les jours de mauvais temps ou lors d'une affluence extraordinaire de voyageurs.

Sur les lignes à fortes rampes, certains trains exigent cependant l'emploi constant de deux machines.

Les rampes qui nécessitent l'emploi fréquent de deux machines pour la remorque des trains ordinaires de voyageurs et des trains de vitesse comportent des déclivités d'environ 10 p. m. et au delà, avec des courbes d'un rayon minimum de 250 mètres et au-dessous. Il y a lieu aussi de mentionner, en passant, l'emploi d'une deuxième locomotive sur de fortes pentes, commandé par des considérations techniques d'exploitation, afin d'éviter aux machines le retour à vide. (*Voir* à l'annexe II les données qui nous sont parvenues sur les déclivités, courbes, vitesses normales et maximums de trains pour des lignes sur lesquelles l'emploi de deux machines est prescrit.)

Dans la plupart des cas où l'on se sert d'une deuxième machine, on préfère l'employer comme machine de renfort en tête; cependant, l'emploi de machines de renfort en queue est aussi en usage, notamment sur des sections à fortes rampes et en cas de forte charge du train; on donne la préférence à ce dernier mode de renfort, si la rampe s'étend seulement sur une partie de la ligne; la locomotive, n'ayant pas besoin d'être dételée, quitte le train purement et simplement.

Dans les lignes à courbes roides et à nombreuses contre-courbes, on préfère placer la machine en tête.

En général, dans le cas où la deuxième machine fonctionne comme machine de renfort en queue, on ne permet pas de l'atteler au train; de même, on n'établit pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de communication entre les organes du frein continu de la machine de renfort et ceux du train; il y a cependant quelques cas exceptionnels où la machine de renfort placée en queue est attelée au train.

Sur les chemins de fer de l'Allemagne et en partie aussi sur les chemins de fer autrichiens et hongrois, les vitesses prévues aux horaires sont établies soit à peu près sur la même base, en tenant compte des types de machines employés, de la charge moyenne des trains et des conditions variables de déclivités et de courbes, soit d'après le mode adopté par le ministère des chemins de fer de l'État prussien et obligatoire pour les chemins de fer de l'État.

La charge des trains fixée pour les vitesses et déclivités, en ce qui concerne les divers types de locomotives, forme la base de ce mode de calcul.

Lors de l'établissement de l'horaire, la vitesse sur les différentes rampes et courbes est établie de façon à utiliser constamment la puissance maximum de la locomotive.

Pour calculer les horaires d'un train circulant sur des sections de configurations diverses, on prend pour base la longueur virtuelle établie suivant l'étendue de chaque section, augmentée dans les mêmes proportions qu'on augmente la durée du trajet d'un kilomètre en rampe et en courbe par rapport à la durée du trajet en palier, afin que le travail de la locomotive soit constamment un maximum.

D'après les horaires fixés suivant ce mode, le train peut, avec la même charge, être remorqué sur les paliers avec la plus grande vitesse de marche et sur les fortes rampes avec une vitesse relativement moindre.

Si, sur les sections à fortes rampes, la vitesse devient trop faible, on a recours au même mode de procéder, en admettant un tonnage moindre; c'est-à-dire qu'on ne recourra à l'entière puissance de la locomotive qu'à partir d'une certaine rampe seulement et non sur les sections en palier.

Cependant, si pour un maximum de rampe on n'est pas en mesure de réduire le tonnage du train pour obtenir la vitesse voulue et si l'on est obligé de recourir à l'emploi d'une machine de renfort, il y a lieu d'employer le procédé ci-dessus mentionné pour fixer la vitesse, soit la longueur virtuelle sur la base de laquelle l'horaire sera établi eu égard à la force de traction augmentée. (*Voir* à ce sujet l'exposé de M. von Borries, publié dans l'*Organ* en 1887 et 1893.)

En Allemagne, les plus grandes vitesses admissibles sont fixées par le règlement d'exploitation, pour les chemins de fer principaux de l'Allemagne; pour les autres territoires du *Verein*, ainsi que pour la Suisse, il existe des dispositions analogues.

Ces dispositions sont les suivantes :

1° La vitesse de marche ne doit jamais dépasser les limites :

a) Fixées pour chaque type de locomotive;
b) Correspondant au nombre des essieux des wagons à freiner dans le train;
c) Imposées par les particularités inhérentes aux diverses sections de ligne;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Les conditions ci-dessus une fois remplies, la plus grande vitesse de marche des trains est fixée comme suit :

a) Trains de voyageurs :

1. Sans frein continu	60 kilomètres à l'heure.
2. Avec frein continu	80 — —
3. Dans des conditions particulièrement favorables, et avec l'approbation des autorités de surveillance	90 — —

3° Pour calculer la durée minimum du trajet, la vitesse maximum admissible sur les parcours en pentes et en courbes est fixée comme suit :

a) A la descente sur des pentes de :	5.0 p. m.	90 kilomètres à l'heure.
	7.5 —	85 — —
	10.0 —	80 — —
	12.5 —	75 — —
	15.0 —	70 — —
	17.5 —	65 — —
	20.0 —	60 — —
	22.5 —	55 — —
	25.0 —	50 — —
b) Sur les parcours en courbes avec des rayons de :	900 mètres	90 kilomètres à l'heure.
	800 —	85 — —
	700 —	80 — —
	600 —	75 — —
	500 —	70 — —
	400 —	65 — —
	300 —	60 — —
	250 —	55 — —
	200 —	50 — —
	180 —	45 — —

Les vitesses maximums permises d'après ces normes ne subissent pas, en général, de réduction, lors de l'emploi de machines de renfort, sauf sur ceux des chemins de fer qui, dans ce cas, ne permettent pas le dépassement d'une vitesse maximum fixée, ainsi que nous l'avons déjà mentionné plus haut.

Lors de l'emploi de machines de renfort en queue du train, les conventions techniques en vigueur prescrivent une vitesse maximum de 45 kilomètres à l'heure ; toutefois, un grand nombre de chemins de fer n'autorisent dans ce cas qu'une vitesse maximum de 35 kilomètres.

En ce qui concerne la charge des trains lors de la remorque par une ou deux locomotives, elle dépend de la puissance de traction de la machine, de sa vitesse et des conditions de déclivité des sections à parcourir ; lors de l'emploi de deux machines placées en tête du train, la puissance de traction des deux machines est utilisée soit entièrement, soit dans la plupart des cas à raison d'environ 70 p. c. de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur force totale, en admettant que, par la répartition sur deux moteurs, le maximum de travail des deux machines s'obtient plus difficilement.

Abstraction faite de la force de traction des deux machines, le facteur important qu'il y a lieu de prendre en considération, c'est la solidité de l'accouplement.

Aux termes des nouvelles dispositions du *Verein*, la force de traction en tête du train ne doit pas dépasser 10,000 kilogrammes; toutefois, pour les trains de voyageurs, la plupart des chemins de fer fixent à 70 p. c. au plus, soit à 7,000 kilogrammes, l'effort des organes de traction du train. Ainsi, par exemple, sur les chemins de fer de l'État hongrois, la charge maximum pour les trains de voyageurs, en tenant compte de la résistance des organes de traction, est fixée ainsi que cela est indiqué dans le tableau ci-dessous :

RAMPES EN MILLIMÈTRES PAR MÈTRE.	CHARGE MAXIMUM EN TONNES.	RAMPES EN MILLIMÈTRES PAR MÈTRE.	CHARGE MAXIMUM EN TONNES.	RAMPES EN MILLIMÈTRES PAR MÈTRE.	CHARGE MAXIMUM EN TONNES.
3	780	12	390	20	270
5	640	14	350	22	250
7	540	16	320	25	225
10	440	18	290		

En outre des limites imposées par le travail et la résistance des organes de traction pour la fixation de la charge des trains, les chemins de fer allemands tiennent aussi compte des dispositions suivantes, pour limiter la longueur des trains :

1° La longueur des trains est limitée d'après la vitesse à laquelle ils doivent circuler. Les trains de voyageurs ne doivent pas compter plus de 80 essieux de voitures :

Pour une vitesse de 51 à 60 kilomètres à l'heure, le nombre des essieux de voitures ne doit pas dépasser 60
— 61 à 75 — — — — 50
— supérieure à 75 — — — — 40

2° Les trains qui sont munis du frein continu ne doivent pas compter plus de 60 essieux de voitures.

Des dispositions analogues sont appliquées également par les autres chemins de fer faisant partie du *Verein*, et il va sans dire qu'elles sont aussi d'application pour les trains dans lesquels la deuxième machine est employée comme machine de renfort en queue; dans ce cas, la puissance de travail des deux machines correspond à la somme de leur force de traction respective. Quelques chemins de fer, comme, par exemple, ceux de l'État hongrois, font entrer en ligne de compte, pour la machine de renfort en queue, 80 p. c. seulement de la charge admise pour cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machine si elle fonctionnait comme machine de traction, eu égard à ce que la partie du train qui est poussée offre une plus grande résistance à la traction, provoquée notamment par le frottement des boudins des roues d'avant des wagons vers la file extérieure des rails dans les courbes.

En ce qui concerne l'alimentation des machines aux prises d'eau intermédiaires, nous ferons remarquer que, sur les sections de lignes où la double traction s'effectue moyennant une machine de renfort en tête, on n'a pas prévu d'installations spéciales à cet effet.

Les locomotives sont alimentées à tour de rôle aux prises d'eau situées sur leur parcours ou, le cas échéant, l'une après l'autre à la même prise d'eau.

Si la machine de renfort est placée en queue, l'alimentation des deux machines peut très souvent se faire simultanément, les grues d'alimentation se trouvant pour la plupart installées à l'extrémité des stations dans les deux directions.

Résumé.

La question de savoir si, dans certaines circonstances, il est plus avantageux d'employer deux machines à la remorque des trains ou s'il ne conviendrait pas plutôt de recourir à l'emploi d'une machine unique plus puissante, est une question à laquelle il n'est pas possible de répondre d'une façon générale.

Les nombreux facteurs dont il y a lieu de tenir compte et la difficulté qu'il y a d'évaluer convenablement l'influence et le rôle de chacun d'eux dans la question ne permettent guère d'établir des principes généraux, et l'on est obligé de se borner à la solution de chaque cas particulier en tenant compte des facteurs et des circonstances spéciales y afférents.

Parmi ces facteurs, il y a lieu de mentionner : la configuration, la longueur, les déclivités, les courbes et les rampes maximums de la ligne considérée et des lignes voisines; la charge maximum des trains; la question de savoir si, et dans quelle mesure, cette charge maximum est à remorquer pendant une notable partie de l'année; la vitesse des trains, et dans quelle proportion une réduction de vitesse est admissible sur les plus fortes rampes; éventuellement, si, eu égard à la puissance des machines dont on dispose par une augmentation de vitesse sur les sections limitrophes, une réduction de vitesse suffisante pourrait être atteinte sur les sections accidentées. Enfin, le type des machines dont on dispose doit également être pris en considération.

En général, les frais qu'occasionne l'emploi d'une machine de renfort : l'amortissement, les intérêts, les réparations, le combustible, les matières de graissage, les frais de personnel, surpassent les frais que comporte l'emploi d'une machine unique assez puissante pour effectuer le service sans machine de renfort. (*Voir* à ce sujet la comparaison établie, pour un cas spécial, par M. von Borries, dans un exposé publié dans les *Annalen für Gewerbe und Bauwesen*, de Glaser, année 1886.) Il va sans dire que cette circonstance n'est pas la seule qu'il faille prendre en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

considération, mais qu'il faut aussi tenir compte des types de locomotives dont on dispose; d'autre part, il n'est pas avantageux d'employer de puissantes locomotives, si leur travail ne peut être utilisé que sur une section de ligne relativement courte.

En réalité, dans tous les cas où la force de traction des locomotives peut être entièrement utilisée sur la plus grande partie de la ligne, on préfère employer une seule machine pour la remorque des trains. Cette considération a déterminé les administrations de chemins de fer dont les lignes comportent de fortes rampes et où il devient nécessaire de tenir compte de l'accroissement du trafic et, par là, du plus grand tonnage des trains, à se procurer des machines de plus en plus fortes et à employer des locomotives à $^3/_5$ essieux accouplés. C'est ainsi que sur les lignes du Semmering et du Brenner, comme sur celles de l'Arlberg, on se sert de machines à $^4/_5$ essieux accouplés pour la remorque des trains de vitesse et des trains ordinaires de voyageurs.

Néanmoins, on emploie aussi, sur des lignes comportant des parcours à rampes continues, deux machines dans tous les cas où la commande de nouvelles machines ne saurait marcher de front avec les exigences du trafic. Dans ce dernier cas, on préfère souvent diviser les trains, lorsque, notamment, ce mode de procéder n'amène pas de perturbations dans la correspondance. Lorsque l'emploi de deux machines est nécessaire pour la remorque des trains de vitesse, on place généralement la machine de renfort en tête du train; toutefois, nombre d'administrations placent la machine de renfort en queue.

Les considérations qui militent en faveur de l'emploi de la machine de renfort en tête ou en queue peuvent se résumer comme suit :

Lors d'un déraillement ou d'une rencontre de trains, l'accident peut avoir de graves conséquences par suite de la poussée qu'exerce la machine en queue; par contre, la machine de renfort en queue fatigue moins les organes de traction et d'attelage des trains; en outre, on évite l'arrêt du train que nécessite le décrochage de la machine de renfort en tête.

Cette dernière considération milite notamment en faveur de la machine de renfort en queue dans le cas où, à partir d'une station, le train doit être poussé sur une section à forte rampe de peu d'étendue.

En cas d'emploi d'une machine de renfort, placée en queue du train, les dispositions y afférentes du *Verein* fixent la vitesse maximum à 45 kilomètres à l'heure; mais, comme dans ce cas il s'agit toujours de sections à fortes rampes sur lesquelles, eu égard à la puissance de traction des locomotives, la vitesse des trains est quand même réduite, cette limite de vitesse ne saurait constituer un empêchement sérieux à l'emploi d'une machine de renfort en queue; en réalité, la vitesse de marche ne dépasse pas généralement 35 kilomètres à l'heure.

Sur les chemins de fer du *Verein*, les locomotives de renfort destinées à être placées soit en tête, soit en queue du train, ne sont pas de construction spéciale; elles ne disposent pas non plus d'organes spéciaux en vue du service de renfort.

Sur les sections de lignes où des machines de renfort sont nécessaires, les chemins

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de fer de l'État bavarois affectent généralement à ce service des machines à $^3/_3$ essieux accouplés.

L'Administration des « Schweizerischen Centralbahnen » se sert de machines « Duplex-tender » système Mallet.

Dans la plupart des cas où, pour le service de renfort, on se sert de machines autres que celles affectées à la remorque des trains, on fait usage de machines d'anciens types dont la vitesse est suffisante, mais dont la force de traction, comme locomotive unique, ne répond plus aux exigences du trafic.

Nous terminerons en signalant encore ici une locomotive de trains de vitesse, mise à l'essai sur les chemins de fer bavarois, et qui dispose « d'essieux de renfort ».

Cette machine a deux moteurs, dont l'un n'est actionné que sur les sections de lignes comportant des rampes de 10 p. c. et au-dessus, dès que la charge du train atteint plus de 150 tonnes. Par sa construction même, elle doit réunir les avantages d'une locomotive non accouplée à ceux inhérents à la plus grande force de traction d'une locomotive à essieux accouplés.

Outre l'essieu moteur principal de 1,860 millimètres, qui est actionné par deux cylindres de la machine compound, la locomotive dispose encore d'un essieu moteur entre l'essieu moteur principal et le truck d'avant-train; cet essieu moteur est actionné par une machine jumelle. Les deux machines fonctionnent indépendamment l'une de l'autre.

Sur les sections à faibles déclivités, l'essieu, dit de renfort, est soulevé automatiquement par un dispositif à ressort et la locomotive repose sur un essieu porteur d'arrière, sur l'essieu moteur principal et sur le truck d'avant-train.

S'il est nécessaire d'enclencher l'essieu de renfort pendant le trajet, on ouvre le régulateur qui met l'essieu en mouvement en lui imprimant une vitesse de 40 à 50 kilomètres, puis il est abaissé vers les rails au moyen du piston de pression qui est adapté sur son milieu et qui agit avec une force de 14 tonnes.

Budapest, le 6 août 1899.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE I.

Extrait des prescriptions en vigueur pour le service des trains sur les chemins de fer du grand-duché de Bade.

§ 36. — *Machine de renfort en tête.*

1. — Pour la remorque, un train ne doit pas avoir plus de deux machines en tête.

2. — La première locomotive conduit le train; en conséquence, son mécanicien est en premier lieu responsable de la sécurité du trajet.

Le mécanicien de la seconde locomotive — laquelle peut être aussi placée tender en avant — doit se conformer entièrement aux dispositions prises par le mécanicien de la première locomotive et faire continuellement attention aux signaux ou autres communications.

3. — Lorsqu'un train muni d'une machine de renfort en tête doit faire d'importantes manœuvres dans une station intermédiaire, la première locomotive doit être dételée tout d'abord et se garer jusqu'à l'achèvement des manœuvres par la seconde locomotive.

4. — Il est interdit de dételer la première locomotive lorsque le train est encore en marche.

5. — Si la vitesse maximum de marche, inscrite sur la locomotive de renfort, est moindre que celle prévue à l'horaire de la marche du train, l'employé de service de la station devra prescrire la plus courte durée de trajet admissible.

Si la double traction n'est pas prévue comme service régulier, le mécanicien de la machine de renfort devra recevoir de l'employé de service de la station des instructions par écrit relatives au trajet à exécuter.

Sur les lignes où la double traction est pour ainsi dire régulière, les dispositions de détail afférentes à la durée du trajet doivent être réglées d'un commun accord entre l'inspecteur du service de l'exploitation et l'inspecteur du service de la traction.

§ 37. — *Machine de renfort en queue.*

1. — Pour la remorque d'un train sans locomotive de tête, l'emploi d'une seule machine placée en queue est permis dans les cas suivants :

a) Pour la marche en arrière ralentie dans les stations, ou, dans les cas de nécessité, sur la voie courante;

b) Dans les trains de travaux, trains spéciaux de service et — sous les conditions fixées par la Direction générale — dans les trains en partance ou en provenance de mines ou autres établissements industriels. La vitesse maximum de ces trains ne devra pas dépasser 25 kilomètres à l'heure et le wagon de tête devra être occupé par un employé de service ou par des ouvriers responsables.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2. — Dans les trains remorqués par une locomotive placée en tête, le renfort avec machine en queue est admissible seulement dans les cas suivants :

a) Pour aider le train à gravir les sections à fortes rampes; toutefois, entre la locomotive de renfort et le train, on aura soin d'intercaler un wagon de sûreté inaccessible aux voyageurs;

b) Pour le démarrage des trains dans les stations, ou, en cas de nécessité, sur la voie courante.

3. — *Le renfort avec machine en queue est interdit :*

a) Si, dans le train, il se trouve des marchandises qui sont placées sur deux wagons à traverses pivotantes accouplées par le chargement lui-même ou par des barres rigides d'accouplement;

b) Sur la contre-pente qui, éventuellement, ferait suite à la section à gravir.

4. — Lorsqu'un train est muni d'une locomotive de renfort en queue, il y a lieu d'en informer les stations situées sur le parcours du train, en ayant soin d'indiquer si la locomotive de renfort suivra le train à partir du point culminant de la rampe jusqu'à la station voisine, ou bien, si elle doit effectuer immédiatement son retour à la station de départ.

5. — Sans l'approbation de la Direction générale, il est interdit d'employer plus d'une machine de renfort en queue du train.

6. — La locomotive de renfort placée en queue ne doit pas être attelée au train; elle doit, néanmoins, être en contact continu avec lui. Cette condition doit aussi être remplie lorsque, sur le parcours à gravir, il se trouve une section en palier.

Aussi longtemps que la machine de renfort travaille, son fonctionnement doit être tel qu'il ne se produise aucune solution de continuité entre le train et cette machine.

7. — Lorsque la machine de queue a pris contact avec le train et que le signal de départ est donné, le chef de train donne le signal 27 (départ), auquel le mécanicien de la machine de tête répond par le signal 23 (attention).

Le mécanicien de la locomotive de queue ouvre le régulateur, juste ce qu'il faut pour que sa machine se presse fortement contre le train et puisse rouler avec lui dès qu'il se met en mouvement; il donne alors, aussi, le signal n° 23, et le train se met lentement en marche.

8. — Si les deux locomotives, placées l'une en tête, l'autre en queue du train, sont d'égale puissance, chacune d'elles doit remorquer environ la moitié de la charge.

Par contre, si les deux locomotives sont d'inégale puissance, il y a lieu de régler convenablement le travail de chacune d'elle.

Le travail de chaque locomotive devra se faire de façon à éviter tout tangage et tout choc dans le train.

9. — Pendant tout le temps du fonctionnement de la machine de queue, la vitesse de marche du train ne doit pas dépasser 35 kilomètres à l'heure.

10. — Lorsque le train est arrivé au point culminant de la rampe, ou si le service de renfort doit prendre fin, le régulateur ne doit être fermé que graduellement, pour éviter des secousses et, éventuellement, une rupture du train.

11. — Lors de l'entrée dans les stations intermédiaires où l'arrêt est prévu, le mécanicien de la locomotive de renfort en queue devra se conformer aux prescriptions du § 10 ci-dessus, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

stopper aussitôt que la séparation d'avec le train a lieu; dès que le train sera tout à fait arrêté, il devra à nouveau prendre doucement contact avec lui.

12. — Pendant tout le temps du service de la machine de renfort, tout le personnel accompagnant le train doit veiller avec la plus grande attention à la marche du train, aux signaux des agents de surveillance de la voie et à ceux des agents du train et notamment du serre-frein placé dans le dernier wagon, de manière que le train puisse, le cas échéant, être arrêté sans retard.

13. — Si, pendant la marche, il se produit une solution de continuité entre le train et la locomotive de renfort, celle-ci devra suivre le train et prendre à nouveau contact avec lui, dès qu'il lui sera permis de le faire sans danger et sans choc.

Si, cependant, ce rapprochement ne pouvait se faire sans danger (par exemple dans l'obscurité), la locomotive de queue devra stopper et donner le signal pour le serrage des freins; ce signal doit être transmis, par les agents du train, à la locomotive de tête, afin que le train puisse s'arrêter et que la locomotive de queue puisse prendre de nouveau contact avec lui. Si la solution de continuité entre la locomotive de queue et le train se produit dans un tunnel, la locomotive doit retourner immédiatement à l'entrée du tunnel et y attendre jusqu'à ce que le mécanicien soit avisé de l'arrêt du train.

14. — Avant le départ, le mécanicien de la locomotive de queue doit prendre les instructions de l'employé de service de la station, afin de savoir si, après avoir atteint le point culminant de la rampe, il doit immédiatement revenir à la station de départ, ou s'il doit suivre le train. Les signaux que comporte ce trajet à vide devront être faits en conséquence.

Les machines de renfort en queue qui font le service sur des sections de peu d'étendue, et ce régulièrement jusqu'à un certain point de la voie courante à partir duquel elles reviennent immédiatement sur la même voie, n'ont pas besoin d'être signalées.

15. — Si, une fois son service fini, la locomotive de queue doit suivre le train, et qu'on ne dispose pas d'installations de signaux spéciales sur la section, elle le suivra *jusqu'à la prochaine station*, mais seulement à un intervalle *d'au moins cinq minutes*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE II.

Indication des longueurs, rampes et courbes, ainsi que des vitesses de marche afférentes aux sections de lignes sur lesquelles on se sert de la double traction pour la remorque des trains.

LÉGENDE :

L . . . . . = Longueur des sections de lignes.
D . . . . . = Rampe maximum.
R . . . . . = Rayon minimum des courbes.
Vn . . . . . = Vitesse normale.
Vm . . . . . = Vitesse maximum.
Rel . . . . . = Longueur des sections parcourues par la locomotive de tête.

DÉSIGNATION des administrations et des sections.	SECTIONS SUR LESQUELLES ON EMPLOIE LA DOUBLE TRACTION.	SECTION LIMITROPHE SUR LAQUELLE ON N'EMPLOIE QU'UNE SEULE LOCOMOTIVE.	*Observations.*
Chemins de fer de l'État hongrois. (Section Fiume-Lokve).	Machine de renfort en tête. L = 52.2 kilomètres. D = 25 p. m. R = 280 mètres. Vn = 25 kilomètres Vm = 30 —	Vn = 42 kilomètres. Vm = 50 —	Rel = 89.9 kilomètres. (Fiume - Cam. - Moravicza.)
Chemins de fer de l'État autrichien.	Machine de renfort en partie en tête, en partie en queue. D = jusqu'à 38 p. m. R = — 180 mètres. Vm = — 65 kilomètres.	Vm = 90 kilomètres.	Rel = 100 à 250 kilom.
Chemins de fer du Sud autrichien.	Machine de renfort en tête. D = jusqu'à 25 p. m. R = — 190 mètres. Vn = — 36 kilomètres. Vm = — 50 —	Vn = 57 kilomètres. Vm = 75 —	Rel = 160 kilomètres en moyenne.
Chemin de fer du Nord-Ouest autrichien.	Machine de renfort en tête. D = 10 à 15 p. m. R = 285 à 300 kilomètres. ... Vm = 65 kilomètres.	Vn = 80 kilomètres. Vm = 80 —	Rel = 100 à 207 kilom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION des administrations et des sections.	SECTIONS SUR LESQUELLES ON EMPLOIE LA DOUBLE TRACTION.	SECTION LIMITROPHE SUR LAQUELLE ON N'EMPLOIE QU'UNE SEULE LOCOMOTIVE.	*Observations.*
Chemin de fer Central suisse. (Section Sissack-Läuflingen-Olten).	Machine de renfort en tête.		
	L = 181.91 kilomètres.		
	D = 26.23 p. m.	D = 10 p. m.	
	R = 360 mètres.		
	Vm = 55 kilomètres.	Vm = 75 kilomètres.	
Chemins de fer de l'État roumain.	Machine de renfort en queue.		
a) Section Turn-Severin-Palota	L = 18.88 kilomètres.		
	D = 28.93 p. m.		
	R = 200 mètres.		
b) Section Frumos-Ruginósa	L = 16.00 kilomètres.		
	D = 18.88 p. m.		
	R = 200 mètres.		
c) Section Ciurea-Bârnova	L = 9.95 kilomètres.		
	D = 22 p. m.		
	R = 450 mètres.		
	Vn = 30 kilomètres.	Vn = 60 kilomètres.	
	Vm = 40 —	Vm = 70 —	
Chemins de fer de l'État bavarois.	Locomotive de renfort en queue.		
a) Section Neuenmark-Markschorgast	L = 6.068 kilomètres.		
	D = 25 p. m	D = 10 p. m.	
	R = 300 mètres.		
b) Section Rothenkirchen-Probstzella	L = 12.5 kilomètres.		
	D = 25 p. m.	D = 10 p. m.	
	R = 300 mètres.		
c) Section Laufach-Hergenbrücken	L = 6.518 kilomètres.		
	D = 20 p. m.	D = 10 p. m.	
	R = 730 mètres.		
	Vm = 45 kilomètres.	Vm = 80 kilomètres.	
Chemins de fer de l'État saxon.	Machine de renfort en tête et, pour des rampes de 25 p. m., machine de renfort en queue.		
	L = 10 à 15 kilomètres.		
	D = 16 à 25 p. m.		
	R = 180 à 300 mètres		
	Vm = 35 kilomètres.		Rel = 80 à 165 kilom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION des administrations et des sections.	SECTIONS SUR LESQUELLES ON EMPLOIE LA DOUBLE TRACTION.	SECTION LIMITROPHE SUR LAQUELLE ON N'EMPLOIE QU'UNE SEULE LOCOMOTIVE.	*Observations.*
Chemins de fer de l'État wurtembergeois.	Machine de renfort en queue. D = 10 p. m. R = 286 mètres. Vm = 35 kilomètres.		
Direction royale des chemins de fer, à Halle-s/S.	Machine de renfort en partie en tête, en partie en queue (cette dernière lorsque la rampe cesse sur la voie courante).		
a) Section Gurten-Mansfeld.	L = 17.6 kilomètres. D = 10 p. m. R = 300 mètres. Vn = 55 kilomètres.	D = 5 à 6 7 p. m. Vn = 75 kilomètres. Vm = 90 —	Rel = 53.36 kilomètres.
b) Section Sauzerhausen-Blankenheim	L = 9.6 kilomètres. D = 10 p. m. R = 565 mètres. Vn = 48 kilomètres.	D = 7 7 p. m. Vn = 75 kilom tres Vm = 90 kilomètres.	Rel = 97.00 kilomètres.
c) Section Oberröblingen-Blankenheim	L = 12.5 kilomètres. D = 10 p. m. R = 452 mètres. Vn = 56 kilomètres.	D = 10 p. m. (courte) Vn = 75 kilomètres. Vm = 90 —	Rel = 97 kilomètres.
Chemins de fer de l'Alsace-Lorraine.	Locomotive de renfort en tête. L = 3 kilomètres. D = 13.5 p. m. R = 400 mètres. Vn = 60 kilomètres. Vm = 70 —	Vn = 70 kilomètres. Vm = 85 —	
Direction royale des chemins de fer, à Posen.	Locomotive de renfort en tête. L = 5 kilomètres. D = 10 p m. R = 300 mètres.		
Direction royale des chemins de fer, à St Johann-Saarbrücken.	Locomotive de renfort en tête. L = 2 à 40 kilomètres. D = 10 p. m Vn = 55 kilomètres. Vm = 60 —	D = 5 p. m. Vn = 60 kilomètres. Vm = 75 —	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION des administrations et des sections.	SECTIONS SUR LESQUELLES ON EMPLOIE LA DOUBLE TRACTION.	SECTION LIMITROPHE SUR LAQUELLE ON N'EMPLOIE QU'UNE SEULE LOCOMOTIVE.	*Observations.*
Direction royale des chemins de fer, à Stettin.	Locomotive de renfort en queue. D = 27 p. m. R = 220 mètres. Vn = 20 kilomètres. Vm = 25 —	Vn = 38 kilomètres. Vm = 40 —	

ANNEXE III.

Questionnaire détaillé relatif à la question XIV.

Question A.

1° Employez-vous la double traction d'une manière générale sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains rapides lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard?

2° Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires. S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise?

3° Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction et quelle relation y a-t-il entre elles?

4° Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre?

5° Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?

Question B.

1° Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains rapides sur certaines sections de ligne à déclivités exceptionnelles?

2° Quelles sont ces sections; quel est leur profil? (Indiquer la longueur, les déclivités, le rayon des courbes, donner, s'il est possible, un extrait sommaire du profil en long.)

3° Quelles sont les différences principales de ces sections avec les voisines qui motivent l'emploi de la double traction?

4° La machine de renfort est elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?

5° Quelles sont les vitesses admises en marche normale et pour le tracé des trains en simple traction sur les sections considérées et sur les sections voisines?

6° Quelles sont les vitesses les plus grandes autorisées en cas de retard pour les trains en simple traction sur les mêmes sections?

7° Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?

8° Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?

9° Quelle est la distance des relais de machines pour le cas de simple traction et pour celui de double traction?

10° Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?

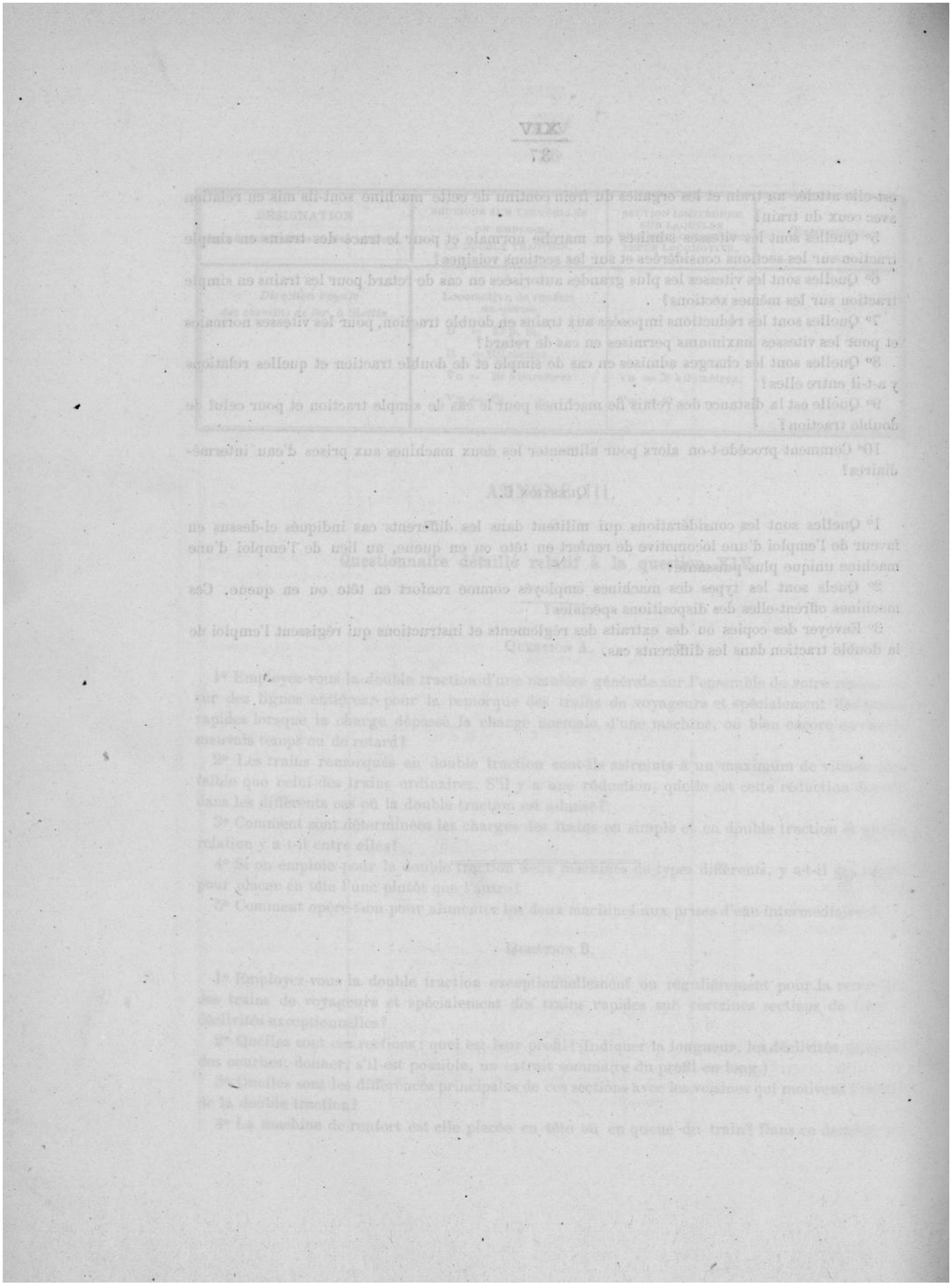
QUESTION C.

1° Quelles sont les considérations qui militent dans les différents cas indiqués ci-dessus en faveur de l'emploi d'une locomotive de renfort en tête ou en queue, au lieu de l'emploi d'une machine unique plus puissante?

2° Quels sont les types des machines employés comme renfort en tête ou en queue. Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?

3° Envoyer des copies ou des extraits des règlements et instructions qui régissent l'emploi de la double traction dans les différents cas.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621.137.2]

EXPOSÉ N° 3

(tous les pays, sauf l'Autriche-Hongrie, la Roumanie, les Pays-Bas, le Luxembourg, la Suisse, l'Allemagne et la Russie)

Par M. LANCRENON,

INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION AUX CHEMINS DE FER DE L'EST FRANÇAIS.

La Commission internationale du Congrès a arrêté comme suit le libellé de la question XIV (IV de la 2e section) à discuter dans la prochaine session de Paris.

Double traction.

« Quelles sont les conditions d'exploitation où la double traction peut être utile-
« ment employée pour les trains à grande vitesse (vitesses réglementaires et vitesses
« normalement atteintes, charges maximums, rampes et courbes principales)? »

Un rapporteur spécial a été désigné pour l'Autriche-Hongrie, la Roumanie, les Pays-Bas, le Luxembourg, la Suisse et l'Allemagne. J'ai été désigné comme rapporteur en ce qui concerne les autres pays.

Une décision ultérieure a désigné un rapporteur spécial pour la Russie.

Les trois rapporteurs ont arrêté, d'un commun accord, le questionnaire à adresser aux administrations adhérentes au Congrès. Ce questionnaire est plus étendu que ne le comporte le libellé de la question tel que je viens de le reproduire. Nous avons pensé que la catégorie des trains à grande vitesse serait difficile à limiter et à définir en tenant compte des usages et des conditions d'exploitation des différents pays, qu'il était dès lors préférable d'étendre notre étude à tous les trains de voyageurs, sauf à viser plus spécialement dans nos conclusions les trains à grande vitesse désignés par la Commission internationale.

On trouvera plus loin aux annexes ce questionnaire.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les réponses qui m'ont été adressées sont au nombre de cinquante-deux et se répartissent comme suit :

DÉSIGNATION DES PAYS.	NOMBRE DE RÉPONSES.	LONGUEUR DU RÉSEAU EXPLOITÉ PAR LES ADMINISTRATIONS QUI ONT RÉPONDU.
Belgique	3	4,814
Espagne	3	6,887
Grande-Bretagne & Irlande	18	26,519
Grèce	1	217
France	9	36,837
Italie	2	5,816
Norvège	1	1,818
Serbie	1	540
Colonies anglaises	6	17,939
États-Unis d'Amérique	6	21,521
République Argentine	1	1,271
Danemark	1	1,699
Totaux	52	125,878

L'annexe II donne le résumé de ces réponses ou du moins des parties de ces réponses qui, se rapportant à des faits précis, m'ont paru susceptibles d'être analysées brièvement dans un tableau.

Deux cas très distincts sont à considérer : celui où la double traction est employée d'une manière générale sur un réseau ou sur des lignes entières, quand la charge d'un train dépasse celle qui convient à une machine seule; puis, celui du renfort donné sur une section spéciale où la traction est notablement plus difficile que sur le reste de la ligne. Je les étudierai successivement; j'indiquerai ensuite les conclusions à tirer de cet exposé.

I

L'emploi de la double traction sur des lignes entières et quelconques, quand une seule machine ne suffit pas pour assurer la traction d'un train de voyageurs, est assez répandu. Il est d'un usage à peu près général, même pour les trains les plus rapides et sans qu'aucune réduction de vitesse soit imposée, en Angleterre et dans une partie des colonies anglaises, en Belgique, en Italie, en Espagne, en Danemark. Sur le Nord de l'Espagne, toutefois, la vitesse des trains en double traction est limitée à 50 kilomètres. Aux États-Unis, une seule des administrations qui ont répondu, celle du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Nashville, Chattanooga & St. Louis Railway », emploie la double traction dans ces conditions.

En France, le Midi seul admet la double traction, même pour les trains rapides, sans réduction de vitesse. Le Nord n'en fait usage que pour éviter les envois de machines isolées, mais n'impose aux trains dans ce cas aucune réduction de vitesse.

Le Paris-Lyon-Méditerranée, le Paris-Orléans et l'Ouest n'emploient la double traction que pour les trains de voyageurs ordinaires à l'exclusion des trains rapides. L'Est et l'État l'admettent pour tous les trains, mais en réduisant la limite de vitesse qu'ils peuvent atteindre.

Toutes ces restrictions ont été imposées le plus souvent sur la demande du contrôle de l'État, à la suite d'incidents ou d'accidents survenus à des trains remorqués par deux machines, et bien des personnes considèrent qu'il peut y avoir danger à faire ainsi remorquer des trains de vitesse par deux machines.

J'estime, en ce qui me concerne, que ces craintes sont tout à fait exagérées, et si on reprenait un à un les incidents ou accidents qui les ont motivées, on arriverait à démontrer, j'en suis certain, que ces accidents sont dus, non pas à l'emploi de deux machines, mais, presque toujours, à l'emploi de machines non susceptibles d'atteindre, même isolément, sans danger, sur les lignes considérées, les vitesses qui y ont été réalisées effectivement. J'admets parfaitement que des accidents relativement plus nombreux ont pu se produire sur les trains en double traction, mais il ne faut pas oublier que ces trains se trouvent ordinairement dans des conditions plus mauvaises que les autres. Ils sont lourds, chargés, perdent du temps dans les stations, parfois même sur le trajet dans les parties difficiles et se trouvent souvent ainsi très en retard. Les mécaniciens qui les conduisent sont naturellement portés à accélérer leur marche dans les parties faciles du trajet afin de regagner du temps et à dépasser les limites permises. Bien souvent aussi, la machine de renfort est ajoutée au dernier moment; on prend celle qu'on a sous la main, quelle qu'elle soit, et c'est alors non pas la double traction qui crée le danger, mais l'emploi d'une machine qui n'est pas faite pour atteindre les vitesses élevées à réaliser.

Avec la disposition des attelages à tampons, telle qu'elle est usitée en Europe, les deux machines, surtout quand elles sont séparées par un tender, peuvent se déplacer presque librement l'une par rapport à l'autre dans le sens transversal. Un effort de quelques centaines de kilogrammes suffit pour vaincre la résistance due au frottement des tampons; le travail qu'exige ce déplacement est insignifiant. Or, quand une machine, sous la double action de la vitesse et des irrégularités de la voie, commence à prendre des mouvements violents de lacet, elle exerce sur la voie des efforts qui, dans certaines circonstances, peuvent croître indéfiniment jusqu'à déformation et destruction de la voie. Ces efforts se comptent par tonnes; la résistance des attelages n'est guère de nature à les modifier; si elle agissait d'une manière sensible, ce serait dans la plupart des cas comme frein et pour réduire ces efforts; sans doute, quand la première machine a déformé la voie, la deuxième accentuera la déformation commencée et le déraillement peut se produire; mais, à mon avis, le danger

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'est pas beaucoup plus grand que si la deuxième machine suivait à quelque distance la première en remorquant un autre train.

Cette manière de voir me paraît confirmée par les résultats obtenus par toutes les administrations qui ont eu recours à la double traction, mais en ayant soin de n'employer que des machines appropriées au service à faire, comme en Angleterre par exemple. Sur le réseau de l'Est français, pendant plusieurs années, on a fait en double traction, dans la saison d'été, la remorque des trains rapides de Paris-Bâle et Calais-Bâle, et cela sans aucun incident. Les machines employées étaient toutes alors des machines de vitesse; nous n'avions alors aucune réglementation restrictive. Nous avons dû plus tard la subir à la suite d'incidents et d'accidents qui se sont tous produits sur d'autres trains dans les conditions que j'ai relatées plus haut.

J'estime, en résumé, que l'emploi de la double traction, même pour les trains les plus rapides, ne présente aucun danger, mais sous la condition absolue de ne faire usage que de machines pouvant atteindre isolément, sans aucun inconvénient, sur les voies à parcourir, les vitesses qu'elles ont à réaliser en pratique.

Ce premier point ainsi fixé, il me reste à rechercher dans quelles circonstances la double traction doit être logiquement employée, quels sont ses avantages, quels sont ses inconvénients et, comme conséquence, quels sont les cas où les uns l'emportent sur les autres.

Il convient toutefois de préciser un peu plus la question.

Quelle que soit la puissance des machines dont on dispose, il y aura toujours des cas où la charge à enlever par un même train se trouvera supérieure à celle que peut remorquer convenablement une machine seule à la vitesse imposée. Ces cas seront plus ou moins fréquents suivant les conditions d'exploitation où l'on se trouve, suivant la puissance des machines dont on dispose, suivant les circonstances atmosphériques; mais on les rencontrera toujours au moins à titre exceptionnel. Convient-il alors de faire remorquer le train en double traction ou de le dédoubler?

Les réponses que j'ai reçues sur ce point des administrations consultées sont assez vagues et j'ai dû chercher à formuler moi-même la réponse.

Il est bien certain qu'en principe l'emploi de deux machines pour remorquer un train n'est pas un mode rationnel de traction : les mécaniciens ne peuvent agir absolument de concert; la puissance des machines est moins bien utilisée; les réactions et les ruptures d'attelage sont plus à craindre; les trains longs et lourds sont plus difficiles à manier; la manœuvre du frein continu est plus délicate et les arrêts ou les ralentissements exigent plus de temps; l'alimentation des machines entraîne aussi des pertes de temps. Il en est de même au point de vue du service des gares, qui est plus long, avec des trains de forte composition, surtout quand il est compliqué par l'insuffisance de longueur des quais.

Si l'on considère, au contraire, le mouvement général des trains, il est non moins certain qu'il est préférable de ne mettre en marche qu'un seul train. On évite ainsi les difficultés pour les correspondances, les évitements de trains plus lents, les croisements sur voie unique, le gardiennage des passages à niveau. On supprime

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aussi tout danger résultant de la circulation de deux trains rapides très rapprochés l'un de l'autre. Certains de ces avantages peuvent être très atténués par les retards que les trains en double traction sont exposés à prendre d'après ce que j'ai dit plus haut, mais il y en a d'autres qui, dans certains cas, peuvent rester prépondérants. Tel est, par exemple, celui où l'espacement des trains sur une ligne et leur protection contre ceux venant en arrière dans le même sens ne sont pas assurés par des appareils spéciaux, lorsque la ligne n'est pas exploitée par le block-system. La protection n'est alors assurée que par l'espacement de temps que les stations ou les postes doivent maintenir entre les trains. Mais, entre deux postes qui sont parfois assez éloignés, la nuit surtout, il peut arriver que la machine du premier train éprouve une avarie, ralentisse d'abord sa marche, puis s'arrête complètement, et, alors, que le garde-frein de queue n'ait pas le temps d'aller couvrir son train à une distance suffisante. L'agent, souvent à moitié endormi, peut hésiter un peu et perdre quelques instants avant de se mettre en route. La marche de nuit dans le ballast est difficile ; l'agent peut tomber et perdre encore du temps. Si les trains sont à marche très rapide, la nuit, par le brouillard ou sur une ligne sinueuse, une collision est à craindre dans ces conditions. Le seul moyen de parer à ce danger c'est d'augmenter l'espacement des trains, mais alors on augmente les difficultés pour les correspondances, les croisements, les évitements, etc... Je crois qu'il n'est pas prudent, sur une ligne qui n'est pas exploitée par le block-system, de lancer des trains rapides à faible distance l'un derrière l'autre et, par conséquent, de dédoubler systématiquement les trains. L'emploi de la double traction me semble alors préférable. Il en est généralement de même sur les lignes à voie unique où le dédoublement des trains présente parfois de sérieuses difficultés.

Sur les lignes à double voie et à block-system où les trains peuvent se suivre à distance de canton, le dédoublement des trains doit, à mon avis, être presque toujours préféré. Il suffit d'organiser un système d'avertissement convenable pour les stations d'évitement et les passages à niveau. On peut arriver ainsi à effectuer un service beaucoup plus régulier et à réduire notablement les retards dans les jours d'affluence de voyageurs.

J'ai dit « presque toujours », car, même sur de semblables lignes, le dédoublement est parfois impossible. Tel est, par exemple, le cas où le train doit franchir une ligne de douane avec visite des bagages. Des précautions spéciales sont alors à prendre pour que les voyageurs ne soient pas dans un train et les bagages dans l'autre. Le dédoublement ne peut alors avoir lieu que s'il est prévu d'avance et il peut être impossible d'y avoir recours au dernier moment.

II

Il me reste à envisager maintenant le second cas d'emploi de la double traction, celui où l'on donne seulement le renfort aux trains sur une section spéciale où la traction est sensiblement plus difficile que sur le reste de la ligne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Presque toutes les administrations qui m'ont répondu en font couramment usage dans ces conditions. Cet emploi se justifie d'ailleurs de lui-même. Si l'on veut franchir la section considérée sans y mettre trop de temps, il est nécessaire d'augmenter sur ce parcours la puissance des machines qui remorquent les trains, et le moyen le plus pratique d'y arriver est ordinairement d'ajouter une machine de renfort.

Cet emploi est assez fréquent sur certains réseaux pour que l'on ait été conduit à installer, aux points de prise d'eau, une double grue hydraulique, de manière à permettre aux deux machines de s'alimenter en même temps.

Il est difficile de définir dans quels cas il est avantageux de donner le renfort. C'est essentiellement une question d'espèce. La solution peut varier suivant la longueur de la section difficile, sa position par rapport aux stations d'arrêt, le profil de la ligne, la charge et la vitesse des trains, la puissance et la nature des machines dont on dispose, etc.

Le renfort peut être donné par la tête ou par la queue.

Quand il est donné par la tête, on retombe dans le cas d'une application partielle de la double traction, telle que je l'ai étudiée plus haut. Il est nécessaire d'arrêter le train pour atteler la machine de renfort et la dételer. On est donc conduit, soit à donner aux trains des arrêts supplémentaires, soit à maintenir le renfort sur un parcours plus long qu'il n'est nécessaire.

C'est là l'inconvénient principal de ce mode de procéder et qui en limite l'emploi, surtout pour les trains rapides à arrêts peu nombreux. Si la rampe à franchir n'est pas trop longue, le temps perdu pour les arrêts supplémentaires peut être égal au gain réalisé avec le renfort à la montée de la rampe.

Ainsi que je l'ai dit, il ne peut y avoir aucun danger à employer ainsi la double traction, à la condition formelle que les deux machines puissent atteindre sans aucun inconvénient les vitesses à réaliser. Si la section de renfort ne comprend qu'une longue rampe, la vitesse maximum y est forcément restreinte et on peut employer une machine quelconque, même non susceptible de circuler à grande vitesse; si, au contraire, la section comprend des parties où une vitesse plus forte peut être atteinte, il est nécessaire de n'employer pour le renfort que des machines de vitesse.

Le renfort par la queue est donné quand il n'y a pas de frein continu sur le train et qu'on pourrait craindre une rupture d'attelage avec dérive. C'est, d'ailleurs, un cas fort rare pour des trains rapides qui sont, en général, munis du frein continu.

Le renfort par la queue est donné aussi pour franchir une forte rampe commençant à une station d'arrêt. Quand le train est arrivé en haut, la machine de renfort le quitte simplement si elle n'a pas été attelée, ou bien se détache par la manœuvre d'un attelage spécial à déclenchement dont elle est munie. On évite ainsi un second arrêt en haut de la rampe. Dans les deux cas, le frein de la machine de renfort n'est pas mis en relation avec celui du train. Il y a là, à mon avis, un inconvénient : en cas de déraillement de la première machine ou d'un véhicule, ou simplement d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

brusque arrêt devant un obstacle, la présence, en arrière du train, d'une machine dont le frein ne serait pas relié à celui du train pourrait ne pas être sans quelque danger. Il ne serait pas impossible de trouver un dispositif qui permette soit au garde-frein de queue du train, soit aux agents de la machine, à un moment donné, de fermer la conduite générale du frein entre le dernier véhicule du train et la machine de renfort, de désaccoupler les rotules et de défaire l'attelage.

L'emploi du renfort par la queue doit être exclusivement réservé aux parties en forte rampe où l'on ne circule qu'à faible vitesse. Il ne serait pas prudent, d'ailleurs, de procéder, pour des trains de voyageurs et surtout des trains rapides, comme on le fait pour les trains de marchandises sur certains réseaux, en les faisant suivre par une machine qui les aborde et les pousse dans les rampes et les quitte dans les parties faciles. Des collisions, mêmes légères, produites dans ces conditions par un défaut d'attention ou de coup d'œil du mécanicien de la machine de renfort, pourraient avoir alors de trop graves conséquences.

En somme, le renfort par la queue n'est guère applicable que dans des cas spéciaux assez rares, mais où il peut rendre d'utiles services.

III

Il me reste maintenant à indiquer les conclusions qui pourraient être soumises au Congrès à la suite de ce rapide exposé. Il eût été certainement désirable que ces propositions eussent pu être concertées entre les trois rapporteurs, comme le questionnaire l'a été déjà. Elles auraient ainsi gagné en autorité et peut-être en précision. Faute du temps nécessaire pour arriver à cet accord, je ne puis que donner mes propositions personnelles, sous toutes réserves des modifications qu'elles auront à subir à la suite des travaux de mes collègues.

Voici ces conclusions :

« L'emploi de la double traction en général, c'est-à-dire de deux machines en tête des trains sur une ligne quelconque, même pour les trains les plus rapides, lorsque, pour un motif quelconque, la remorque de ces trains ne peut être faite convenablement avec une seule machine, est d'un usage courant sur un grand nombre de réseaux.

« Cette pratique ne semble présenter aucun danger pour la sécurité, mais à la condition formelle que chacune des deux machines employées puisse atteindre isolément sur les lignes considérées, sans aucun inconvénient, la vitesse maximum qui peut être atteinte effectivement par ces trains.

« La mise en marche de trains de forte composition, remorqués par deux machines, présente des inconvénients, au point de vue de la bonne utilisation des machines, de la rapidité des arrêts, des chances de ruptures d'attelages, de l'alimentation des machines et du service dans les gares. De semblables trains sont plus exposés que d'autres à prendre des retards. En principe, il est préférable de dédoubler les trains quand on peut assurer efficacement la protection du premier train

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contre celui qui le suit à faible distance et quand les conditions de l'exploitation permettent de faire facilement ce dédoublement. Quand il n'en est pas ainsi, on peut avoir utilement recours à la double traction.

« L'emploi d'une seconde machine comme renfort dans une section de ligne où la traction est notablement plus difficile que sur le reste de la ligne, est d'un usage fréquent sur presque tous les réseaux et même régulier sur certains. C'est un mode de traction normal et rationnel.

« Le renfort est ordinairement donné par la tête. Il faut alors que la machine de renfort puisse atteindre sans inconvénient les vitesses à réaliser dans la section considérée.

« Le seul défaut de ce procédé, et qui en limite l'emploi pour les trains rapides, est d'exiger souvent des arrêts supplémentaires. On peut perdre ainsi une partie du temps gagné avec l'aide du renfort.

« Le renfort par la queue peut être aussi donné dans des cas spéciaux où le train ne peut pas atteindre une forte vitesse, par exemple pour monter une forte rampe au départ d'une station d'arrêt. Il est alors possible d'éviter un arrêt supplémentaire au sommet de la rampe, soit en n'attelant pas la machine de renfort, soit mieux en la munissant de dispositifs permettant de la dételer sans arrêt au moment convenable. »

Paris, novembre 1899.

Ce rapport était à l'impression quand j'ai pu prendre connaissance de ceux de mes collègues MM. Antochine et Abeles. La lecture de ces rapports ne m'amène à proposer aucun changement aux conclusions ci-dessus. Les conclusions de M. Antochine rentrent à très peu près dans les miennes. M. Abeles n'en propose pas. L'exposé fait par l'un et par l'autre me semble de nature à confirmer plutôt qu'à infirmer ma manière de voir; dans ces conditions, je n'ai rien à ajouter ni à mon exposé, ni à mes conclusions.

ANNEXE I.

—

Questionnaire détaillé relatif à la question XIV.

LITTÉRA *A*.

1. Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard?

2. Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires. S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise?

3. Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction et quelle relation y a-t-il entre elles?

4. Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre?

5. Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?

LITTÉRA *B*.

1. Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de ligne à déclivités exceptionnelles?

2. Quelles sont ces sections; quel est leur profil? (Indiquer la longueur, les déclivités, le rayon des courbes; donner, s'il est possible, un extrait sommaire du profil en long.)

3. Quelles sont les différences principales de ces sections avec les voisines qui motivent l'emploi de la double traction?

4. La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train, et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?

5. Quelles sont les vitesses admises en marche normale et pour le tracé des trains en simple traction sur les sections considérées et sur les sections voisines?

6. Quelles sont les vitesses les plus grandes autorisées en cas de retard, pour les trains en simple traction, sur les mêmes sections?

7. Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?

8. Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?

9. Quelle est la distance des relais de machines pour le cas de simple traction et pour celui de double traction?

10. Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?

LITTÉRA *C*.

1. Quelles sont les considérations qui militent, dans les différents cas indiqués ci-dessus, en faveur de l'emploi d'une locomotive de renfort en tête ou en queue, au lieu de l'emploi d'une machine unique plus puissante?

2. Quels sont les types des machines employées comme renfort en tête ou en queue. Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?

3. Envoyer des copies ou des extraits des règlements et instructions qui régissent l'emploi de la double traction dans les différents cas.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNEXE II.

Résumé des réponses par le rapporteur.

Questionnaire A.

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	1. *Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard ?*	2. *Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires ? S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise ?*
BELGIQUE.			
État belge	3,299	La double traction est employée, d'une façon générale, pour la remorque des trains de voyageurs de toute nature, lorsqu'une seule machine serait impuissante à remorquer le train, soit par suite d'excès de charge, soit aussi par suite de circonstances atmosphériques, alors même que la charge ne dépasse pas la charge maximum fixée pour la machine titulaire.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.
Nord belge	170	La double traction est employée, d'une façon générale, pour la remorque des trains de voyageurs sur les deux lignes de Charleroi-Erquelines (30 kilomètres) et de Mons-Quévy (15 kilomètres), lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine et aussi en cas de mauvais temps. Elle n'est jamais employée en cas de retard.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.
Chemins de fer vicinaux	1,354	Ne fait pas usage de la double traction.	
Total. . .	4,814		
DANEMARK.			
État.	1,699	Il est employé deux machines dans ces cas et en cas de besoin.	Non.
Total. . .	1,699		

ANNEXE II.

3. *Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction et quelle relation y a-t-il entre elles ?*	4. *Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre ?*	5. *Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires ?*
Les charges maximums des trains remorqués en simple traction sont établies par lignes, d'après la nature du train et le type de la machine. Elles font l'objet d'un tableau figurant dans le livret de marche. La charge maximum, en cas de double traction, est égale à la somme des charges-limites des deux machines.	Lorsque les deux locomotives sont de puissance inégale, la machine la plus forte est toujours placée en tête. Lorsque les deux machines sont de puissance égale, ou sensiblement égale, on doit mettre en tête celle qui serait pourvue à l'avant d'un essieu porteur ou d'un bogie.	Sur les lignes où la double traction est d'un emploi courant, les prises d'eau intermédiaires comportent deux grues voisines, auxquelles les deux machines peuvent, par conséquent, s'alimenter simultanément. Sur les autres lignes, les machines s'alimentent successivement à la même grue.
La charge maximum admise en double traction est égale à la somme des charges fixées pour chaque machine, sans toutefois pouvoir dépasser le maximum de 48 essieux.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, on place en tête la machine la plus puissante.	Les deux lignes sur lesquelles il est fait usage de la double traction ne sont pas suffisamment étendues pour que les deux machines aient à s'alimenter entre les points extrêmes.
	Ne fait pas usage de la double traction.	
2 machines sont employées pour 1 fois 3/4 la charge de chacune.	La plus légère est en tête.	L'une après l'autre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questions

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	1. *Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard ?*	2. *Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires? S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise ?*	3. *Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction et quelle relation y a-t-il entre elles ?*	4. *Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre ?*	5. *Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires ?*
ESPAGNE.						
Madrid à Saragosse et à Alicante, Taragone à la France	3,645	La double traction est employée, d'une façon générale, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine ou bien en cas de retard ou de mauvais temps.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges fixées pour chaque machine, diminuée de $^1/_{10}$.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, on place généralement en tête la machine de moindre puissance.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Nord de l'Espagne	2,949	La double traction est employée, d'une façon générale, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien en cas de retard ou de mauvais temps.	La vitesse d'un train remorqué en double traction ne doit jamais dépasser 50 kilomètres à l'heure.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges des deux machines, diminuée de $^1/_{10}$.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue hydraulique.
Medina del Campo à Zamora et Orense à Vigo	293	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.				
Total. . .	6,887					
FRANCE.						
Midi	3,236	La double traction est employée, d'une manière générale, pour la remorque des trains de voyageurs de toute nature sur l'ensemble du réseau, lorsque le tonnage de ces trains excède la charge d'une machine. Toutefois, depuis plusieurs années, la double traction est, autant que possible, évitée aux trains rapides.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction, lorsque les deux machines sont autorisées à atteindre ce maximum. Dans le cas contraire, la vitesse effective du train ne doit, en aucun cas, dépasser le maximum fixé pour celle des deux machines qui est astreinte au maximum le plus faible.	La charge d'un train remorqué en double traction peut atteindre la somme des charges que chaque machine, isolément, serait susceptible de remorquer pour le même itinéraire, sans cependant, qu'en aucun cas, le nombre de véhicules remorqués excède le maximum prescrit dans chaque cas.	En règle générale, quels que soient les types de machines employés en double traction, la machine de renfort est placée en tête, la machine titulaire en second. Exception est faite lorsque l'une des machines est pourvue d'un bogie, auquel cas il est recommandé de placer cette machine, autant que possible, en tête.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Orléans	6,775	La double traction est employée, d'une manière générale, sur l'ensemble du réseau pour la remorque des trains de voyageurs tracés à une vitesse égale ou inférieure à 65 kilomètres à l'heure, lorsque la charge du train dépasse de $^1/_{10}$ celle qui correspond pour ce train à la machine titulaire, et aussi, dans certaines circonstances, en cas de retard ou de mauvais temps. Il n'est pas fait usage de la double traction (à moins de nécessité absolue) pour les trains dont la vitesse inscrite au tableau de marche dépasse 65 kilomètres. En cas de surcharge, ces trains sont alors, autant que possible, dédoublés; dans le cas contraire, leur vitesse est réduite de manière à correspondre aux $^{11}/_{10}$ de la charge normale.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	La charge des trains en simple traction est déterminée d'après le profil de la ligne (rampe maximum de la section), la vitesse des trains et le type de la machine. En cas de double traction, la charge est établie en faisant la somme des charges correspondant à chaque machine isolément et en diminuant cette somme de $^1/_{10}$, sans que, toutefois, la charge ainsi calculée puisse dépasser la limite de résistance des attelages.	Lorsque la double traction est faite par deux machines de types différents, il n'y a aucune règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre; à moins, toutefois, que la machine de renfort ne soit pas pourvue des organes du frein continu, auquel cas cette machine doit être placée en tête.	Autant que possible, l'alimentation des deux machines se fait dans deux stations de prise d'eau voisines.
A reporter. . .	10,011					

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questions (suite)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	1. *Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard?*	2. *Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires? S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise?*	3. *Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction, et quelle relation y a-t-il entre elles?*	4. *Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre?*	5. *Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*
Report . .	10,011					
FRANCE. (Suite.)						
Paris-Lyon-Méditerranée. . . .	8,835	La double traction est interdite aux trains de voyageurs sur les parcours où la vitesse normale dépasse 60 kilomètres à l'heure. Hors ce cas, elle est employée d'une manière générale pour tous les autres trains de voyageurs, lorsque la charge dépasse 15 p. c. de la charge normale offerte par la machine titulaire.	La vitesse des trains remorqués en double traction ne doit jamais dépasser 60 kilomètres à l'heure.	La charge d'un train en double traction peut atteindre la somme des charges que chaque machine en simple traction pourrait remorquer à la vitesse normale de ce train, sans toutefois dépasser la charge-limite correspondant à la résistance des attelages et jusqu'à concurrence du nombre maximum réglementaire de véhicules.	Il n'y a aucune règle pour placer en tête l'une des machines plutôt que l'autre.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue, à moins que leur alimentation ne puisse se faire à deux prises d'eau voisines.
Ouest.	5,534	Il n'est pas fait usage de la double traction pour la remorque des trains rapides. Pour les autres trains de voyageurs, la double traction peut être employée s'il est nécessaire, soit par suite d'un excès de charge, soit par suite de mauvais temps ou de retard.	Les trains remorqués en double traction sont astreints à des vitesses-limites spéciales qui dépendent du type des machines employées; trois cas peuvent alors se présenter, qui sont les suivants : 1° Aucune des deux machines n'a sa vitesse limitée eu égard au mode de construction; dans ce cas, la vitesse du train est limitée à 80 kilom. à l'heure; 2° Une seule des deux machines a sa vitesse limitée eu égard au mode de construction; dans ce cas, la vitesse du train est limitée à la vitesse-limite de cette machine; 3° Les deux machines ont leur vitesse limitée eu égard au mode de construction; dans ce cas, la vitesse est limitée à 10 kilomètres au dessous de la vitesse maximum fixée pour la machine qui a la limite la plus élevée, sans toutefois pouvoir excéder le maximum auquel est astreinte la machine dont la limitation est la plus faible.	Les charges des trains en simple traction sont déterminées d'après le profil de la ligne parcourue, la vitesse du train et le type de la machine. En cas de double traction, la charge peut atteindre la somme des charges fixées pour chacune des machines en simple traction, sans que, toutefois, le poids total du train soit supérieur à la plus forte des charges correspondant aux machines de la plus forte série, à la plus faible vitesse et pour chacun des profils que le train doit rencontrer sur son parcours.	Les règles à observer pour la position à donner aux machines en cas de double traction sont les suivantes : 1° Lorsqu'aucune des deux machines n'a sa vitesse limitée eu égard au mode de construction, on place en tête la machine dont les roues motrices ont le plus grand diamètre; 2° Lorsqu'une seule des deux machines a sa vitesse limitée eu égard au mode de construction, on place en tête la machine dont la vitesse n'est pas limitée; 3° Lorsque les deux machines ont leur vitesse limitée eu égard au mode de construction, on place en tête la machine dont la vitesse-limite est la plus élevée.	Autant que possible, l'alimentation des deux machines se fait dans deux stations de prise d'eau voisines.
Est	4,833	La double traction est employée parfois, mais très exceptionnellement, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsqu'il est impossible de suivre l'horaire avec une seule machine, soit à cause de la charge du train, soit à cause du mauvais temps. Le plus souvent, en effet, on a recours au dédoublement du train, particulièrement lorsqu'il s'agit de trains rapides ou express.	Lorsqu'un train est remorqué en double traction, il est interdit d'atteindre une vitesse supérieure à celle que l'on obtient en diminuant de 5 kilomètres la limite de vitesse la plus basse imposée à l'une ou à l'autre des deux locomotives sur la section parcourue. On ne peut, d'ailleurs, atteindre ce maximum qu'autant qu'il est autorisé par le livret de service pour ce train. Dans tous les cas, du reste, la vitesse du train en double traction ne doit jamais dépasser 90 kilom. à l'heure.	Les charges-limites à partir desquelles la double traction peut être donnée dans chaque cas particulier ne sont pas, à proprement parler, l'objet d'instructions précises; elles sont généralement laissées à l'initiative des chefs de dépôt, qui se basent, à cet effet, sur les résultats d'une longue pratique, et en tenant compte des conditions atmosphériques, de l'importance des retards et de la nature du train.	Lorsque la double traction est effectuée par deux locomotives de types différents, on place toujours en tête la locomotive dont la limitation de vitesse absolue est la plus élevée.	Les machines s'alimentent, autant que possible, à des prises d'eau de stations voisines, à moins que les stationnements ne soient suffisamment prolongés pour que les deux machines puissent s'alimenter successivement à la même grue sans occasionner de perte de temps.
A reporter. . .	29,213					

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	1. *Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard?*	2. *Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires? S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise?*	3. *Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction, et quelle relation y a-t-il entre elles?*	4. *Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre?*	5. *Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*
Report. . .	29,213					
FRANCE. (Suite.)						
État	2,789	La double traction est interdite aux trains rapides et express. Elle peut être employée, dans certaines circonstances, pour la remorque des trains de voyageurs ordinaires, en cas d'excès de charge, de retard ou de mauvais temps.	La vitesse des trains remorqués en double traction doit toujours rester inférieure d'au moins 5 kilomètres à la vitesse maximum fixée pour celle des deux machines dont la vitesse maximum est la moins élevée; elle ne doit, d'ailleurs, jamais dépasser 65 kilomètres à l'heure.	La charge des trains remorqués en double traction peut atteindre la somme des charges normales correspondant à chaque machine isolément, sans toutefois dépasser la charge correspondant à la limite des attelages.	Lorsque la double traction est effectuée par deux locomotives de types différents, c'est, en principe, la machine qui a les plus grandes roues motrices qui est placée en tête.	Les deux machines s'alimentent, autant que possible, à des prises d'eau de stations voisines.
Nord	3,745	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé, ni aux trains de voyageurs ordinaires, ni aux autres trains rapides. La double traction est simplement employée, et aux trains de voyageurs ordinaires seulement, pour l'expédition d'une machine d'un dépôt à un autre, et pour l'envoi et le rapatriement des machines allant prendre un service sur la ligne ou rentrant à leur dépôt. Ces machines ne sont, du reste, accouplées qu'aux trains de même nature que ceux auxquels elles sont affectées d'après leur type.	Les trains remorqués en double traction ne sont astreints à aucune limitation spéciale de vitesse.	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.	Lorsque la double traction est faite par deux machines de types différents, il n'y a aucune règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Réseau algérien, Paris-Lyon-Méditerranée	513	Il n'y a pas de trains rapides sur le réseau. La double traction est employée d'une façon générale sur l'ensemble du réseau, pour la remorque des trains de voyageurs, en cas d'excès de charge, de retard ou de mauvais temps.	Les trains remorqués avec deux machines en tête ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	La charge des trains en double traction peut atteindre la somme des charges correspondant à chaque machine, sans toutefois dépasser la charge-limite de résistance des attelages.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a aucune règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Sud de la France	577	Ne fait pas usage de la double traction.			Ne fait pas usage de la double traction.	
Total. . .	36,837					
GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE.						
Great Western	4,091	La double traction est employée, d'une manière générale, pour la remorque des trains de voyageurs ordinaires et rapides, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien en cas de retard ou de mauvais temps.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	Les charges des trains remorqués en simple traction sont fixées d'après les rampes, la vitesse et d'autres circonstances. La double traction est employée lorsque ces charges sont dépassées, mais aucune règle ne détermine la charge-limite dans ce cas.	La machine de renfort est généralement placée en tête. Toutefois, sur certaines sections à rampes de grand développement, on met en avant la machine qui a les plus grandes roues motrices.	En un grand nombre de stations de prise d'eau, il existe deux grues hydrauliques auxquelles peuvent s'alimenter les deux machines. Lorsqu'il n'y a qu'une seule grue, les machines s'y alimentent successivement.
A reporter. . .	4,091					

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questions (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	1. *Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard?*	2. *Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires? S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise?*	3. *Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction, et quelle relation y a-t-il entre elles?*	4. *Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre?*	5. *Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*
Report. . .	4,091					
GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE. (Suite.)						
North Eastern	2,570	La double traction est employée, d'une façon générale, pour la remorque des trains de voyageurs les plus importants, lorsque la charge ou le mauvais temps font prévoir des retards. Elle peut également être employée, mais non d'une façon générale, pour les autres trains de voyageurs.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	Les charges des trains en simple traction sont limitées à un poids équivalent à 18 voitures à 6 roues pour la grande ligne et à 6 voitures sur certains embranchements. La double traction est généralement donnée au delà de ces charges, mais aucune règle ne détermine la charge limite dans ce cas.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre, sauf toutefois lorsque l'une des deux machines est du type à bogie, auquel cas on la met généralement en tête.	A part certains trains où l'embarquement de l'eau se fait en marche, les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Midland	2,092	La double traction est ordinairement employée, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque le poids du train dépasse la charge normale avec laquelle une seule machine peut maintenir l'horaire.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	Les charges maximums des trains remorqués par une seule machine sont fixées d'après l'expérience. La double traction est généralement donnée au delà de ces charges, mais aucune règle ne détermine la charge limite dans ce cas.	En principe, c'est la machine de renfort qui est placée en tête; mais aucune règle n'existe à ce sujet.	...
North British	2,141	La double traction est souvent employée, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge du train dépasse la charge normale d'une machine. *Nota.* — Cette Compagnie trouve cependant qu'il faudrait éviter que deux machines descendent de longues pentes avec les trains rapides.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	...	En règle générale, c'est la machine titulaire qui est placée en tête.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue, mais, autant qu'il est possible, elles sont détachées du train pour éviter de faire deux arrêts.
Great Central	1,014	La double traction est employée, dans certains cas, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une seule machine. Elle n'est pas employée en cas de mauvais temps ou de retard, cas pour lesquels on a recours au dédoublement des trains.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	Les charges maximums des trains remorqués par une seule machine sont fixées tant par l'expérience que par le calcul. La double traction est généralement donnée au delà de ces charges, mais aucune règle ne détermine la charge-limite dans ce cas.	Lorsque l'une des deux machines est à bogie, c'est cette machine qui doit être placée en tête. Dans les autres circonstances, on place en tête la machine la plus légère et, à défaut, la machine titulaire.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Great North of Scotland	509	La double traction est ordinairement employée pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge du train dépasse celle qui peut être remorquée par la machine titulaire.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	Les charges maximums des trains remorqués en simple traction sont fixées d'après le profil de la ligne, la vitesse du train et le type de la machine. Aucune règle ne détermine la charge-limite en cas de double traction.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	L'alimentation des deux machines aux prises d'eau intermédiaires est laissée à l'initiative des mécaniciens.
A reporter. . .	12,417					

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire (suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	1. *Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard ?*	2. *Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires ? S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise ?*	3. *Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction, et quelle relation y a-t-il entre elles ?*	4. *Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre ?*	5. *Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires ?*
Report. . .	12,417					
GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE. (Suite.)						
Great Eastern	1,672	La double traction est employée, pour la remorque de trains de voyageurs très lourds, sur l'ensemble du réseau, à l'exception toutefois d'une section qui comporte deux ponts sur lesquels il est interdit de faire passer deux machines attelées.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	...	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Les machines s'alimentent dans des stations de prise d'eau différentes.
London & North Western. . . .	3,075	La double traction est peu employée pour la remorque des trains de voyageurs.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	...	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
London & South Western. . . .	1,416	La double traction n'est qu'exceptionnellement employée pour la remorque des trains de voyageurs, en cas d'excès de charge. Dans la généralité des cas, on a, en effet, recours au dédoublement du train.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	Aucune règle ne détermine la charge-limite en cas de double traction.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Les machines sont décrochées du train et s'alimentent successivement à la même grue.
Caledonian	1,704	La double traction n'est employée, pour la remorque des trains de voyageurs, que dans des cas très exceptionnels et lorsque les trains sont excessivement lourds.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	Les charges normales des trains en simple traction sont fixées d'après la puissance des machines qui les remorquent. La double traction peut être donnée au delà de ces charges.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, on place toujours en tête la machine la plus légère.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Great Northern.	1,423	La double traction est parfois employée, pour la remorque des trains de voyageurs, en cas de très forte charge ou de mauvais temps.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	Aucune règle ne détermine la charge-limite en cas de double traction.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Il est rarement nécessaire d'alimenter les deux machines à la même prise d'eau.
Taff Vale	193					
Great Southern & Western . . .	975	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.				
North Staffordshire	309					
Lancashire & Yorkshire	1,416					
Great Northern Ireland	874	Ne font pas usage de la double traction.				
Glasgow and South Western . . .	771					
Furness	274					
Total. . .	26,519					

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	1. *Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard?*	2. *Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires? S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise?*	Numéros d'ordre
GRÈCE.				
Chemin de fer de Thessalie . . .	217	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		35
Total. . .	217			
ITALIE.				
Chemins de fer méridionaux, réseau de l'Adriatique	5,589	La double traction est employée, d'une manière générale, pour la remorque des trains de voyageurs, ordinaires et rapides, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien en cas de retard ou de mauvais temps.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	36
Chemins de fer du nord de Milan .	227	La double traction est employé, d'une façon générale, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge du train dépasse la charge-limite fixée pour la machine titulaire.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	37
Total. . .	5,816			
NORVÈGE.				
État	1,818	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		38
Total. .	1,818			
SERBIE.				
État serbe	540	Ne fait pas usage de la double traction.		39
Total. . .	540			
COLONIES ANGLAISES.				
New South Wales	4,073	La double traction est employée, d'une façon générale, pour la remorque des trains de voyageurs ordinaires et express, lorsque la charge du train dépasse la charge correspondant à la puissance d'une seule machine. Elle n'est pas employée en cas de retard.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	40
A reporter. . .	4,073			

3. *Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction, et quelle relation y a-t-il entre elles?*	4. *Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre?*	5. *Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*
Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		
Les charges en simple traction sont déterminées d'après le profil, la vitesse et le type de machine. La charge admise en double traction est égale à la somme des charges normales des deux machines, diminuée de $^1/_{10}$.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, on place de préférence en tête la machine la plus puissante.	D'une façon générale, la machine de tête est remplacée dans les stations de prise d'eau où les deux machines auraient besoin de s'alimenter toutes les deux. Dans le cas contraire, les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
La charge admise en double traction est égale à la somme des charges normales des deux machines, diminuée de $^1/_{10}$.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, on met en tête la machine la plus forte.	D'une façon générale, la machine de tête est remplacée dans les stations de prise d'eau où les deux machines auraient besoin de s'alimenter toutes les deux. Dans le cas contraire, les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		
Ne fait pas usage de la double traction.		
Les charges sont déterminées en nombre de véhicules. La charge, en cas de double traction, peut atteindre la charge correspondant à la puissance totale des deux machines.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre, à moins, toutefois, que l'une des machines soit à bogie, auquel cas on doit la placer en tête.	En général, les prises d'eau comportent deux grues hydrauliques et les deux machines s'y alimentent simultanément.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	1. *Employez-vous la double traction, d'une manière générale, sur l'ensemble de votre réseau ou sur des lignes entières, pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine, ou bien encore en cas de mauvais temps ou de retard?*	2. *Les trains remorqués en double traction sont-ils astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains ordinaires? S'il y a une réduction, quelle est cette réduction donnée dans les différents cas où la double traction est admise?*	Numéros d'ordre.	3. *Comment sont déterminées les charges des trains en simple et en double traction, et quelle relation y a-t-il entre elles?*	4. *Si on emploie pour la double traction deux machines de types différents, y a-t-il des règles pour placer en tête l'une plutôt que l'autre?*	5. *Comment opère-t-on pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*
Report. . .	4,073						
COLONIES ANGLAISES. (Suite.)							
New Zealand	3,208	La double traction est parfois employée, pour la remorque des trains de voyageurs, généralement les jours de fête où les trains sont chargés.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	41	La charge d'un train remorqué en double traction peut atteindre la somme des charges correspondant à chaque machine.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
South Australia.	2,771	La double traction est parfois employée, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge dépasse la charge-limite d'une seule machine.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	42	Les charges en simple traction sont fixées d'après la vitesse et le profil. La charge des trains en double traction est égale à celle en simple traction augmentée de 50 p. c.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il est de règle de placer la plus petite machine en tête.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Western Australia.	927	La double traction est, autant que possible, évitée aux trains de voyageurs. Elle est parfois employée dans les cas de fortes charges, mais plutôt pour des trains d'excursions, de courses, etc. Dans la plupart des cas, on a, en effet, recours au dédoublement du train.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	43	La charge-limite en double traction est égale à la charge en simple traction augmentée de 50 p. c.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, il n'y a pas de règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	...
East Indian.	2,972	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		44	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		
Cape	3,988			45			
Total. . .	17,939						
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.							
Nashville, Chattanooga & St. Louis.	1,600	La double traction est employée, d'une façon générale, lorsqu'il est besoin, pour la remorque des trains de voyageurs, y compris les trains rapides.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	46	La charge normale des trains en simple traction est déterminée par l'expérience et la charge admise en double traction est, généralement, à la charge en simple traction dans le rapport de 12 : 7.	Lorsque la double traction est effectuée par deux machines de types différents, on met en tête la machine la plus légère.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.
Southern Pacific	10,739			47			
Pittsburgh & Western.	407	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		48	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		
Lehigh Valley	2,084			49			
Illinois Central.	4,648			50			
New York, New Haven & Hartford.	2,043	Ne font pas usage de la double traction.		51	Ne font pas usage de la double traction.		
Total. . .	21,521						
RÉPUBLIQUE ARGENTINE.							
Central Argentine	1,271	La double traction est employée, pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge du train dépasse la charge correspondant à une seule machine et seulement dans ce cas.	Les trains remorqués en double traction ne sont pas astreints à un maximum de vitesse plus faible que celui des trains en simple traction.	52	...	Autant que possible, la double traction est effectuée par deux machines de même type. S'il n'en est pas ainsi, il n'y a aucune règle pour placer en tête l'une plutôt que l'autre.	Les deux machines sont décrochées du train et s'alimentent successivement à la même grue.
Total. . .	1,271						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire C.

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B				QUESTIONNAIRE C.
		1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles ?*	4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train ? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train ?*	7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard ?*	8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles ?*	10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires ?*	2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue ? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales ?*
BELGIQUE.							
État belge	3 290	Les trains de voyageurs de toute nature (ordinaires ou rapides) sont remorqués, suivant leur charge, par une, deux et même trois machines sur la section accidentée dénommée « plans inclinés de Liége ». Cette section, longue d'environ 5 kilomètres, comporte une rampe continue d'inclinaison variant entre 27 et 31 millimètres par mètre, avec vers le milieu, un seul palier de 200 mètres environ. En fait, la simple traction est rare à la montée de cette rampe. La descente peut s'effectuer aussi, suivant la composition et le freinage du train, avec plusieurs machines, ou encore avec une seule machine, laquelle est précédée de wagons-traineaux pourvus de patins de pression glissant sur le rail.	Lorsqu'une seule machine de renfort, en plus de la machine titulaire, est nécessaire pour la montée des plans inclinés de Liége, cette machine est placée en queue. Lorsque la charge exige deux machines de renfort, l'une de ces machines est placée en tête, l'autre en queue.	A la descente des plans inclinés, la vitesse maximum autorisée pour les trains de voyageurs est de 30 kilomètres à l'heure dans tous les cas.	Les charges maximums des trains à la montée des plans inclinés varient, suivant le type de la machine titulaire : De 9 à 15 unités, si cette machine est seule ; De 33 à 39 unités, avec une machine de renfort ; De 57 à 63 unités, avec deux machines de renfort. *Nota.* — L'unité est de 5 tonnes.	...	Les machines employées comme renfort sur la section des plans inclinés de Liége sont des machines-tenders spéciales dites « des plans » à quatre essieux accouplés. Ces machines sont pourvues de la contre-vapeur ou d'un frein à patin formant pression sur le ciel.
Nord belge	170	Aux trains rapides et express du Nord français qui sont remorqués entre Paris et Mons par cette Compagnie, il est parfois adjoint une machine de renfort, en cas de surcharge, sur le parcours de Mons à Quévy, long de 15 kilomètres et en rampe continue d'inclinaison de 9 à 10.4 millimètres.	La machine de renfort est placée en tête.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	Sur la section considérée de Mons à Quévy, la charge maximum pour les machines de la Compagnie du Nord en simple traction (train express Paris-Bruxelles) est de 36 essieux. En cas de double traction, la charge peut être portée à 48 essieux.	...	Les machines employées comme renfort aux trains express de la Compagnie du Nord sur la section Mons-Quévy sont des machines Nord belge à deux essieux couplés, qui font ordinairement le service des trains de voyageurs sur cette ligne.
Chemins de fer vicinaux	1,354	...	...	...	...	...	...
Total.	4 814						
DANEMARK.							
État	1,699	Non.	...	...	...	...	...
Total.	1,699						
ESPAGNE.							
Madrid à Saragosse et à Alicante, Taragone à la France	3,645	Sur les sections à fortes rampes, la double traction est employée aux trains de voyageurs lorsqu'il est nécessaire par suite de la charge du train.	La machine de renfort est placée en tête.	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges des deux machines, diminuée de 1/10.	Les deux machines s'alimentent généralement à des prises d'eau alternées.	Les machines employées pour la double traction sont des machines à deux ou trois essieux couplés suivant les profils.
A reporter.	3,645						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B. 1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles ?*	QUESTIONNAIRE B. 4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train ? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train ?*
Report. . .	3,645		
ESPAGNE. (Suite.)			
Nord de l'Espagne	2,949	La double traction est employée exceptionnellement pour la remorque des trains de voyageurs sur les sections à fortes déclivités.	La machine de renfort est placée en tête du train.
Medina del Campo à Zamora et Orense à Vigo	293	La double traction est employée, lorsque la charge du train excède la charge maximum d'une seule machine, pour la remorque des trains de voyageurs sur les sections à fortes rampes et principalement sur les deux parcours suivants : 1° Section de Redondeta à Porrino, longue de 14 kilomètres, comportant une rampe continue de 17 millimètres sur 5 kilomètres; 2° Section de San Esteban à Canabat, longue de 9 kilomètres, avec rampes variant de 13 à 15.5 millimètres.	La machine de renfort est toujours placée en tête.
Total. . .	6,887		
FRANCE.			
Midi	3,236	Sur les sections dites à déclivités exceptionnelles (sont considérées dans ce cas les déclivités qui dépassent 27 millimètres par mètre), la double traction est employée pour la remorque des trains de voyageurs, y compris les plus rapides, toutes les fois que le tonnage du train excède le tonnage maximum susceptible d'être remorqué par la machine titulaire. Sept sections, de longueur variant de 6 à 18 kilomètres, se trouvent dans ce cas; sur quatre d'entre elles, la double traction est à peu près régulière; sur les trois autres, elle est, en fait, assez rare	Lorsque le train est pourvu du frein continu, la machine de renfort est placée indifféremment en tête ou en queue, suivant les convenances du service. Placée en queue, elle est toujours attelée au train, mais les organes du frein continu ne sont pas en relation avec elle. Lorsque le train n'est pas pourvu du frein continu, la machine de renfort est toujours placée en queue et attelée au train.
A reporter. . .	3,236		

QUESTIONNAIRE B. 7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard ?*	QUESTIONNAIRE B. 8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles ?*	QUESTIONNAIRE B. 10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires ?*	QUESTIONNAIRE C. 2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue ? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales ?*
La vitesse d'un train remorqué en double traction ne doit pas dépasser 50 kilomètres à l'heure.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges des deux machines, diminuée de $^1/_{10}$.	En général, les deux machines s'alimentent successivement à la même grue. Toutefois, dans quelques stations qui sont situées au pied des rampes, il existe deux grues auxquelles les deux machines s'alimentent simultanément.	Les machines employées comme renfort ne sont pas d'un type spécial.
Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction. Dans tous les cas, du reste, la plus grande vitesse autorisée en cas de retard est de 49 kilomètres à l'heure.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges des deux machines, diminuée de $^1/_{10}$.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue. Mais, prochainement, il sera installé en certains points une deuxième grue pour permettre l'alimentation simultanée des deux machines.	Les machines employées en double traction sont des machines à deux essieux accouplés qui font ordinairement le service des trains coursiers et express.
Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge admise en double traction est la somme des charges admises en simple traction pour chaque machine considérée isolément.	Les sections envisagées ne sont pas suffisamment étendues pour que les machines aient à s'alimenter dans une station intermédiaire. S'il y a lieu, cependant, elles s'alimentent successivement à la même grue.	Les machines employées comme renfort sont des machines à six roues couplées de 1.60 mètre de diamètre, pourvues des organes du frein continu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire B et C (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B. 1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles?*	QUESTIONNAIRE B. 4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?*	QUESTIONNAIRE B. 7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?*	QUESTIONNAIRE B. 8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?*	QUESTIONNAIRE B. 10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*	QUESTIONNAIRE C. 2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?*
Report .	3,236						
FRANCE. (Suite.)							
Orléans	6,775	Sur les sections à fortes déclivités, la double traction n'est employée que dans les cas où la charge du train dépasse de $^1/_{10}$ celle qui correspond pour ce train à la machine titulaire.	La machine de renfort est placée en tête, sauf, toutefois, sur deux sections à déclivités de 30 millimètres (de Vic-sur-Cère au Lioran et de Murat au Lioran), où la machine de renfort est placée en queue et est attelée au train.	Lorsque le renfort est en tête, aucune réduction n'est imposée du fait de la double traction. Lorsque le renfort est en queue, la vitesse maximum permise est de 25 kilomètres.	La charge admise en double traction est la somme des charges correspondant à chaque machine en simple traction, diminuée de $^1/_{10}$.	L'alimentation des deux machines se fait, autant que possible, à deux stations de prise d'eau voisines.	Les machines employées comme renfort ne sont pas d'un type spécial.
Paris-Lyon-Méditerranée. . . .	8,835	Sur les sections à fortes déclivités, il n'est fait usage de la double traction pour la remorque des trains de voyageurs que dans les cas exceptionnels où il y a surcharge.	La machine de renfort est toujours placée en tête, sauf sur une seule section (Amplepuis à Tarare, rampe de 25 et 26 millimètres sur 10 kilomètres), où elle est placée en queue et non attelée.	Les vitesses maximums imposées pour les trains remorqués en double traction sont respectivement de : 60 kilomètres lorsque la machine de renfort est en tête; 25 kilomètres lorsque la machine de renfort est en queue.	La charge des trains en double traction peut atteindre la somme des charges que chaque machine pourrait remorquer à la vitesse normale du train, sans dépasser la charge limite correspondant à la résistance des attelages.	. . .	Les machines employées comme renfort en tête doivent être pourvues des organes du frein continu.
Ouest	5,534	La double traction est employée d'une façon à peu près régulière pour la remorque des trains de voyageurs, sur la section du Pecq à Saint-Germain, longue d'environ 2 kilomètres et en rampe de 35 millimètres. C'est, d'ailleurs, la seule section où la double traction soit employée dans le cas envisagé.	La machine de renfort est placée en queue du train, attelée, et ayant ses organes de frein Westinghouse en relation avec ceux du train.	Sur la section considérée du Pecq à Saint-Germain, les trains sont tracés à une vitesse maximum de 30 kilomètres, qui n'est jamais dépassée en simple ou double traction.	Sur la section considérée, les charges maximums en simple traction et en double traction sont respectivement de 12 et 15 véhicules.	La section est seulement de 2 kilomètres et ne comporte pas de station intermédiaire.	Les machines employées comme renfort sur la section du Pecq à Saint-Germain sont des machines-tenders, type banlieue, à deux essieux accouplés.
Est.	4,833	Sur les sections de lignes à fortes déclivités, la double traction n'est employée qu'exceptionnellement et pour les trains de voyageurs ordinaires seulement (à l'exception des trains rapides), lorsque la charge du train dépasse la charge maximum que la machine titulaire peut remorquer sur le profil considéré.	La machine de renfort est toujours placée en tête du train. Ses organes de frein continu sont toujours en relation avec ceux du train.	Aucune réduction n'est imposée du fait de la double traction pour les vitesses normales. Quant aux vitesses maximums, elles sont soumises à la même réglementation que celle des lignes ordinaires, c'est-à-dire qu'elles sont égales au chiffre que l'on obtient en diminuant de 5 kilomètres la limite de vitesse la plus basse imposée à l'une ou à l'autre des locomotives sur la section parcourue, avec cette restriction que ce chiffre ne peut, d'ailleurs, être atteint qu'autant qu'il est autorisé par le livret de service pour le train.	Les charges admises en simple traction et double traction varient suivant la nature des lignes, la saison et l'état du temps : elles sont généralement déterminées d'après les résultats d'une longue pratique pour chaque cas particulier.	Les deux machines s'alimentent, autant que possible, à des prises d'eau de stations voisines.	Les machines employées comme renfort aux trains de voyageurs sur les sections à fortes déclivités sont des machines faisant le service des trains de voyageurs ordinaires, qui ne présentent aucune disposition particulière à signaler.
A reporter. . .	29,213						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaires B. et C. (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B. 1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles?*	QUESTIONNAIRE B. 4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?*	QUESTIONNAIRE B. 7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?*	QUESTIONNAIRE B. 8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?*	QUESTIONNAIRE B. 10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*	QUESTIONNAIRE C. 2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?*
Report. . .	29,213						
FRANCE. (Suite.)							
État	2,789	Sur les sections à fortes déclivités, la double traction n'est employée pour la remorque des trains de voyageurs que dans les cas exceptionnels où la charge du train dépasse celle que peut remorquer la machine titulaire.	La machine de renfort est placée en queue du train, sans y être attelée.	...	...	...	Sur les sections à fortes déclivités, le renfort est donné par toute machine disponible.
Nord	3,745	La double traction n'est employée ni régulièrement ni exceptionnellement, pour la remorque des trains de voyageurs, sur les sections à fortes déclivités.	Néant.	Néant.	Néant.	Néant.	Néant.
Réseau algérien, Paris-Lyon-Méditerranée	513	La double traction est fréquemment employée pour la remorque des trains de voyageurs sur les sections à fortes déclivités de 18 et 20 millimètres.	Dans certains cas, la machine de renfort est placée en tête; dans d'autres cas, elle est placée en queue, sans être attelée au train.	Lorsque le renfort est donné en tête, aucune réduction de vitesse n'est imposée de ce fait. Lorsque le renfort est donné en queue, la vitesse du train est limitée à 25 kilomètres à l'heure.	La charge des trains en double traction est égale à la somme des charges offertes par les deux machines, sans aucune restriction lorsque le renfort est donné en queue, et jusqu'à concurrence de la limite de résistance des attelages si le renfort est donné en tête.	Les sections envisagées ne sont pas suffisamment longues pour que les deux machines aient à s'alimenter à des prises d'eau intermédiaires.	Les machines donnant le renfort ne sont pas d'un type spécial.
Sud de la France	577	Ne fait pas usage de la double traction.		Ne fait pas usage de la double traction.			
Total. . .	36,837						
GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE.							
Great Western	4,091	Sur les sections à fortes déclivités, la double traction n'est employée pour la remorque des trains de voyageurs que lorsqu'il est nécessaire.	La machine de renfort est toujours placée en tête et ses organes de frein continu sont en relation avec ceux du train.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	...	Dans certaines stations, il existe deux grues hydrauliques. Lorsqu'il n'y a qu'une seule grue, les deux machines s'y alimentent successivement.	Les machines de renfort ne sont pas d'un type spécial.
North Eastern	2,570	La double traction est employée régulièrement, pour la montée des trains de voyageurs, sur quatre fortes rampes d'inclinaison supérieure à 20 millimètres et de longueur variant entre 3 et 5 kilomètres, et, accidentellement, sur les autres sections à fortes déclivités.	Lorsque le train n'a pas d'arrêt au sommet de la rampe, la machine de renfort est placée en queue et accouplée au train au moyen d'un attelage spécial permettant de la détacher en marche; dans ce cas, les organes du frein continu de cette machine ne sont pas raccordés avec ceux du train. Lorsqu'au contraire le train a un arrêt ou peut être arrêté sans inconvénient à l'extrémité de la section de renfort, la machine d'adjonction est placée en tête et tous les freins sont accouplés.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	Aucune règle ne détermine la charge-limite en cas de double traction.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue, s'il y a lieu.	Les machines employées pour donner le renfort en queue sont des machines-tenders à six roues couplées, qui sont pourvues, comme dispositif spécial, d'un attelage pouvant se défaire en marche. Les machines donnant le renfort en tête sont, généralement, du même type que les machines titulaires.
A reporter. . .	6,661						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaires B et C. (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B. 1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles?*	QUESTIONNAIRE B. 4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?*	QUESTIONNAIRE B. 7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?*	QUESTIONNAIRE B. 8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?*	QUESTIONNAIRE B. 10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*	QUESTIONNAIRE C. 2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?*
Report. . .	6,661						
GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE. (Suite.)							
Midland	2,092	La double traction est employée, à peu près régulièrement, pour la montée des trains de voyageurs sur la rampe de Lickey (entre Bromsgrove et Blackwell), en déclivité de 26.3 millimètres sur une longueur de 3.200 kilomètres.	La machine de renfort est placée en queue du train, sans y être attelée.	A la montée de la rampe de Lickey, les trains sont tracés à la vitesse de 36 kilomètres à l'heure; il n'est pas spécifié de vitesse maximum.	Sur la rampe de Lickey, la double traction est donnée à tout train de voyageurs composé de plus de 6 véhicules.	...	Les machines employées comme renfort sur la rampe de Lickey sont des machines-tenders à six roues couplées qui ne présentent aucune disposition spéciale.
North British	2,141	Sur les sections à fortes déclivités, la double traction est fréquemment employée pour la remorque des trains de voyageurs, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une seule machine.	Lorsqu'elle est simplement utilisée pour la montée d'une rampe continue, la machine de renfort est placée en queue et attelée au train à l'aide d'un accouplement spécial pouvant se détacher en marche, mais le frein continu n'est pas raccordé. Lorsqu'au contraire la double traction est donnée sur des profils à rampes discontinues, la machine de renfort est placée en tête.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	...	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue, s'il y a lieu.	Les machines employées comme renfort ne sont pas d'un type spécial.
Great Central	1,014	Sur les sections à fortes déclivités, la double traction n'est employée aux trains de voyageurs que lorsque la charge dépasse la charge normale d'une machine.	La machine de renfort est placée en tête et ses organes du frein continu sont accouplés avec ceux du train.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	Les charges admises en simple traction sont celles correspondant à 12 véhicules, d'un poids moyen de 15 tonnes. Les charges-limites en cas de double traction sont, en général, de 14 véhicules et de 16 sur certaines sections.	Les sections à fortes déclivités sur lesquelles fonctionne la double traction, ne sont pas suffisamment étendues pour que les machines aient à s'alimenter dans une station intermédiaire.	Les machines employées comme renfort aux trains de voyageurs sont, généralement, du même type que les machines titulaires. Mais, dans certains cas, il est fait usage d'un petit type à 4 roues couplées.
Great North of Scotland	509	Sur les sections à fortes déclivités, la double traction est parfois employée pour la remorque des trains lourds.	La machine de renfort est placée en tête du train et ses organes du frein continu sont accouplés avec ceux du train.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge d'un train remorqué en double traction peut atteindre la somme des charges correspondant à chaque machine, sans toutefois dépasser le maximum de 30 voitures à voyageurs ordinaires.	L'alimentation des deux machines aux prises d'eau intermédiaires se fait au gré des mécaniciens.	Les machines de renfort ne sont pas d'un type spécial.
Great Eastern	1,672	La double traction est employée exceptionnellement sur les sections à fortes déclivités.	La machine de renfort est placée en tête du train.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	...	Les deux machines s'alimentent à des stations de prise d'eau voisines.	Les machines de renfort ne sont pas d'un type spécial.
London & North Western. . . .	3,075	La double traction est employée, dans certains cas, pour la remorque des trains de voyageurs sur la section accidentée de Lancaster à Carlisle, longue de 112 kilomètres.	La machine de renfort est placée en tête du train.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge en simple traction est limitée à 16 véhicules à six roues. La composition maximum des trains est de 20 véhicules.	Les machines prennent de l'eau en marche, dans des bâches d'alimentation.	Les machines de renfort ne sont pas d'un type spécial.
A reporter. . .	17,164						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaires B et C. (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B. 1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles?*	QUESTIONNAIRE B. 4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?*	Numéros d'ordre.	QUESTIONNAIRE B. 7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?*	QUESTIONNAIRE B. 8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?*	QUESTIONNAIRE B. 10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*	QUESTIONNAIRE C. 2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?*
Report. . .	17,164							
GRANDE-BRETAGNE ET IRLANDE. (Suite.)								
London & South Western . . .	1,416	Sur les sections à fortes déclivités, il n'est fait usage de la double traction aux trains de voyageurs qu'en cas d'excès de charge faisant prévoir une perte de temps.	La machine de renfort est placée en queue du train, attelée et ayant ses organes du frein continu en relation avec ceux du train.	295	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction. La vitesse normale sur les fortes déclivités est de 30 kilomètres à l'heure en simple et double traction.	Aucune règle ne détermine la charge-limite en cas de double traction.	Lorsque les machines ont toutes les deux à s'alimenter à une prise d'eau intermédiaire, on les décroche du train.	Les machines de renfort ne sont pas d'un type spécial.
Caledonian	1,704	La double traction est employée dans certaines circonstances (très fortes charges, par exemple) pour la remorque des trains de voyageurs sur la rampe de Beattock, d'une inclinaison de 12.5 et de 13.3 millimètres sur une longueur d'environ 16 kilomètres.	Sur la rampe de Beattock, la machine de renfort est toujours placée en queue du train, auquel elle est attelée au moyen d'un accouplement à déclenchement, mais le frein continu n'est pas raccordé.	296	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	...	...	Les machines employées comme renfort sont des machines à marchandises d'un ancien type qui n'offrent pas de dispositions spéciales.
Great Northern	1,423	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.		297	Il n'est pas fait usage de la double traction dans le cas envisagé.			Les machines employées en double traction sont celles du type express.
Taff Vale	193	La double traction est employée aux trains de voyageurs, sur les fortes rampes du réseau, mais seulement lorsque la machine titulaire est jugée incapable de remorquer le train, soit par suite d'excès de charge, soit par suite de mauvais temps ou de fortes chutes de neige.	La machine de renfort est placée en queue du train, attelée et ayant ses organes du frein continu en relation avec ceux du train.	298	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction. La vitesse normale est de 56 kilomètres à l'heure et il n'est pas permis de rattraper du retard, ni en double traction ni en simple traction.	Le renfort est donné sur les fortes rampes lorsque la charge du train atteint 14 véhicules (véhicules à bogie).	Les sections de renfort ne sont pas suffisamment étendues pour que les deux machines aient à s'alimenter entre les points extrêmes.	Les machines employées pour donner le renfort sont des machines à six roues couplées, munies du frein à vide automatique et du frein à vapeur.
Great Southern & Western . . .	975	La double traction est seulement employée pour la remorque des trains de voyageurs sur la section de Cork à Blasney, où la rampe principale est de 16.6 millimètres.	La machine de renfort est toujours attelée en tête de la machine titulaire.	299	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	...	...	...
North Staffordshire	309	La double traction est quelquefois employée pour la remorque d'un train de voyageurs lourd sur les fortes rampes. Mais, le plus souvent, on a recours au dédoublement du train.	La machine de renfort est toujours placée en tête.	300	...	...	...	...
Lancashire & Yorkshire	1,416			301				
Great Northern Ireland	874	Ne font pas usage de la double traction.		302	Ne font pas usage de la double traction.			
Glasgow & South Western . . .	771			303				
Furness	274			304				
Total. . .	26,519							

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaires B et C. (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B. 1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles?*	QUESTIONNAIRE B. 4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?*	Numéros d'ordre.	QUESTIONNAIRE B. 7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?*	QUESTIONNAIRE B. 8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?*	QUESTIONNAIRE B. 10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*	QUESTIONNAIRE C. 2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?*
GRÈCE.								
Chemin de fer de Thessalie . . .	217	La double traction est employée, lorsque la charge dépasse la charge normale d'une seule machine, sur les trois sections ci-après, qui comportent de fortes déclivités, atteignant parfois 30 millimètres par mètre : Section de Volo à Velestino, longue de 19 kilomètres; Section de Velestino à Pirsoufly, longue de 11 kilomètres; Section de Pirsoufly à Aivoly, longue de 13 kilomètres.	La machine de renfort est toujours placée en tête.	35	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la présence d'une machine de renfort.	La charge admise en double traction est égale à la charge en simple traction augmentée de 50 p. c.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue hydraulique.	Les machines employées comme renfort sont les machines ordinaires des lignes, d'ailleurs toutes du même type à trois essieux couplés.
Total. . .	217							
ITALIE.								
Chemins de fer méridionaux, réseau de l'Adriatique	5,589	Sur les sections à fortes rampes, la double traction, aux trains de voyageurs et plus particulièrement aux trains rapides, est employée lorsqu'il est nécessaire par suite de forte charge. Le cas est assez fréquent pour certaines saisons de l'année.	En général, la machine de renfort est placée en tête; dans certains cas, cependant, elle est placée en queue et est attelée ou non au train, suivant que le renfort doit cesser dans une gare ou bien en marche.	36	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée aux trains en double traction lorsque la machine de renfort est placée en tête. Lorsqu'au contraire, le renfort est donné en queue, la vitesse ne doit pas dépasser 40 kilomètres.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges normales des deux machines, diminuée de $^1/_{10}$.	...	Les machines employées en double traction sont généralement du même type que la machine titulaire.
Chemins de fer du Nord de Milan .	227	La double traction est employée, en cas de trop forte charge, pour la remorque des trains de voyageurs, sur deux sections à fortes rampes, savoir : L'une de Milan à Saronno, longue de 22 kilomètres, en rampe continue et moyenne de 5 millimètres; L'autre de Como à Grandate, longue de 6 kilomètres, avec rampes de 22 à 30 millimètres.	La machine de renfort est placée en tête.	37	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges normales des deux machines, diminuée de $^1/_{10}$.	...	Les machines employées en double traction sont généralement du même type que la machine titulaire. Cependant, sur la rampe de Como à Grandate, on emploie ordinairement comme renfort des machines marchandises à 3 essieux couplés.
Total. . .	5,816							
NORVÈGE.								
État	1,818	La double traction est employée, dans les circonstances où il est nécessaire, pour la remorque des trains de voyageurs, sur les longues rampes. Il n'y a pas de trains express sur le réseau; tous les trains marchent à vitesse modérée.	En général, la machine de renfort est placée en tête. Exception est faite, lorsque le train n'a pas d'arrêt à l'extrémité de la section de rampe, auquel cas la machine de renfort est placée en queue.	38	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la présence d'une machine de renfort. Tous les trains marchent, d'ailleurs, à une vitesse modérée.	...	En général, les deux machines s'alimentent successivement à la même grue. Cependant, pour certaines rampes longues, où le renfort est donné à l'arrière, les prises d'eau comportent une grue hydraulique à chaque extrémité de la station. Les deux machines peuvent donc s'alimenter simultanément.	Les machines employées comme renfort ne sont pas d'un type spécial.
Total. . .	1,818							

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire C. (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B. 1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles?*	QUESTIONNAIRE B. 4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?*	Numéros d'ordre.	QUESTIONNAIRE B. 7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?*	QUESTIONNAIRE B. 8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?*	QUESTIONNAIRE B. 10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*	QUESTIONNAIRE C. 2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?*
SERBIE.								
État serbe	540	Ne fait pas usage de la double traction.		39	Ne fait pas usage de la double traction.			
Total. . .	540							
COLONIES ANGLAISES.								
New South Wales	4,073	La double traction est employée sur les sections à fortes déclivités lorsque la charge dépasse la puissance d'une seule machine.	La machine de renfort est toujours placée en tête du train.	40	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge en double traction peut atteindre la somme des charges des deux machines, sans toutefois dépasser le maximum de 12 voitures à bogie de 18 tonnes chacune.	En général, les prises d'eau comportent deux grues hydrauliques et les deux machines s'y alimentent simultanément.	Les machines employées comme renfort sont des machines à quatre ou à six roues couplées.
New Zealand	3,208	La double traction est employée exceptionnellement pour la remorque des trains de voyageurs sur les sections à fortes déclivités.	La machine de renfort est toujours placée en tête.	41	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction. La vitesse maximum autorisée en cas de retard est de 64 kilomètres à l'heure dans l'un et l'autre cas.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges correspondant à chaque machine.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.	Les machines employées comme renfort ne sont pas d'un type spécial.
South Australia	2,771	La double traction est employée exceptionnellement pour la remorque des trains de voyageurs sur les fortes rampes.	La machine de renfort est toujours placée en tête du train.	42	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge admise en double traction est égale à la charge en simple traction augmentée de 50 p. c.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.	Les machines employées comme renfort ne sont pas d'un type spécial.
Western Australia	927	La double traction est parfois employée pour la remorque des trains express très lourds sur la section de Midland Junction à Chidlows Well, longue d'environ 30 kilomètres et en rampe à peu près continue de 20 à 22 millimètres par mètre.	Lorsque le train est pourvu du frein continu, la machine de renfort est placée en tête et ses organes du frein sont en relation avec ceux du train. S'il s'agit, au contraire, d'un train de voyageurs non pourvu du frein continu, la machine de renfort est attelée en queue du train.	43	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge admise en double traction est égale à la charge en simple traction augmentée de 50 p. c.	La section de renfort n'est pas suffisamment étendue pour que les deux machines aient à s'alimenter entre les points extrêmes.	Les machines employées comme renfort sont des machines à trois essieux couplés.
East Indian	2,972	La double traction est employée régulièrement, pour la remorque des trains de voyageurs de toute nature, sur deux sections à fortes déclivités, savoir : Une rampe de 10 millimètres par mètre, longue de 18.5 kilomètres, entre Simultala et Jhajha; Une rampe continue longue de 29.8 kilomètres, à déclivités de 13.3 millimètres sur 14.1 kilomètres et de 25 millimètres sur 15.7 kilomètres, entre Ghaggar et Kalkar.	Sur les deux sections considérées, la machine de renfort est attelée en queue du train, mais ses organes du frein continu ne sont pas en relation avec ceux du train.	44	Les sections considérées étant toujours parcourues en double traction, le tracé des trains est établi en conséquence.	...	Les sections de renfort ne comportent pas de prises d'eau intermédiaires.	Les machines employées comme renfort ne sont pas d'un type spécial.
A reporter. . .	13,951							

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire C. (Suite.)

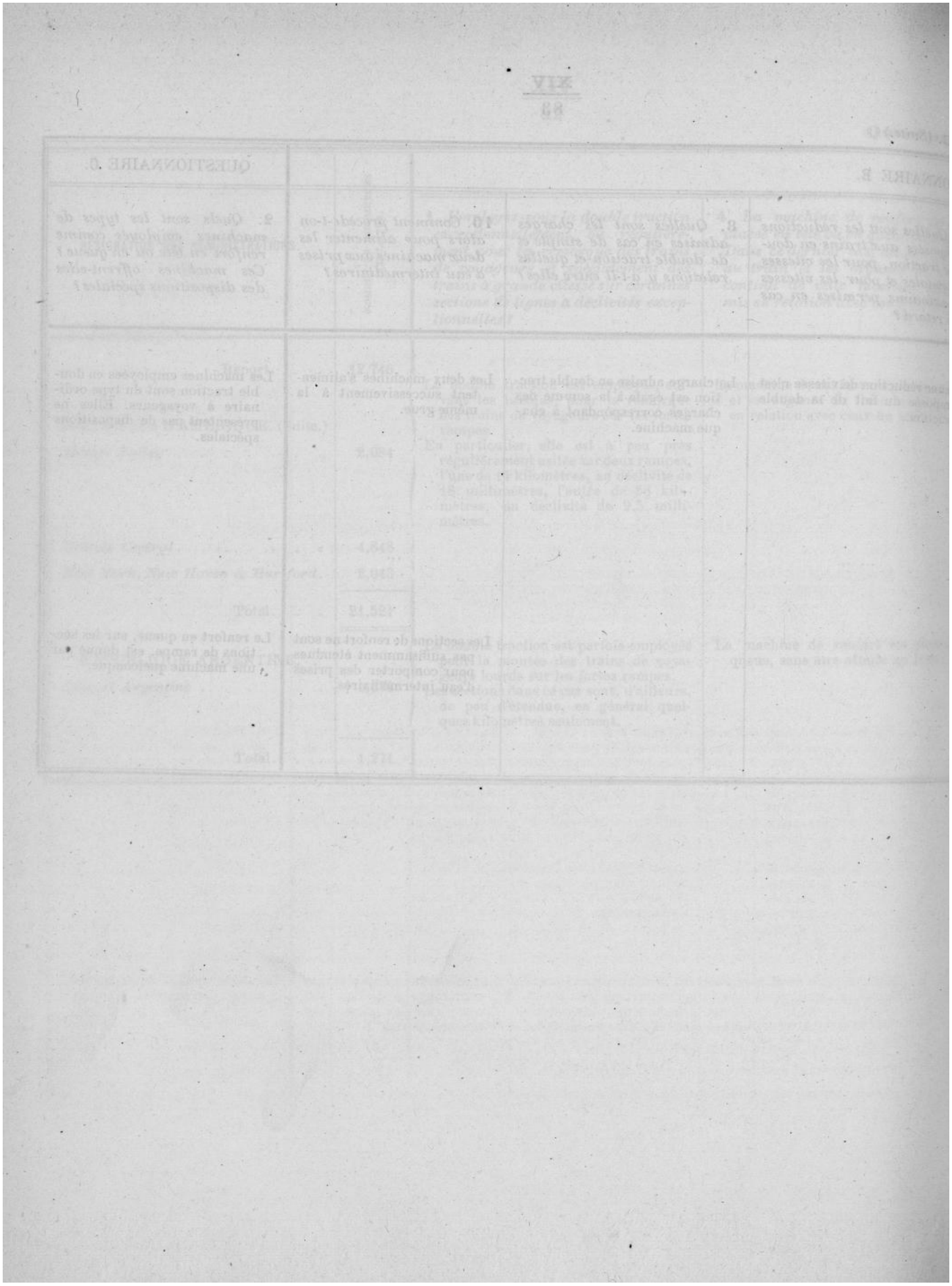
DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B.			QUESTIONNAIRE C.
		1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles?*	4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?*	9. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard?*	8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?*	10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*	2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?*
Report. . .	13,951						
COLONIES ANGLAISES (Suite.)							
Cape	3,988	La double traction est régulièrement employée pour la remorque des trains de voyageurs sur les sections à fortes rampes. Ces sections comportent des déclivités atteignant parfois 25 millimètres par mètre et des courbes de 100 mètres de rayon.	Sur les sections de renfort comportant des rampes continues, la machine de renfort est placée en queue. Sur les sections à profil discontinu, elle est, au contraire, placée en tête.	...	...	...	Les machines employées comme renfort ne sont pas d'un type spécial.
Total. . .	17,939						
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.							
Nashville, Chattanooga & St. Louis .	1,600	La double traction est presque toujours employée pour la remorque des trains de voyageurs, ordinaires ou rapides, sur les sections à fortes déclivités dites « sections de montagne ». Dans certains cas, une troisième machine peut même être employée, si le train arrivant au pied de la rampe est déjà en double traction.	Les machines de renfort sont toujours placées en tête.	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	Les charges admises en simple et double traction, sur les sections de montagne, sont respectivement de 7 et 12 véhicules.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.	Les machines employées comme renfort sur les lignes de montagne sont des machines à huit ou à dix roues.
Southern Pacific	10,739	La double traction est presque toujours employée pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains express, sur les sections à fortes déclivités dites « sections de montagne », qui sont assez nombreuses sur le réseau et dont l'une d'elles atteint le développement de 160 kilomètres, les autres une trentaine de kilomètres environ. Plusieurs de ces sections comportent des rampes de 22 millimètres, l'une d'elles est même en rampe de 32 millimètres.	La machine de renfort est toujours placée en tête.	Le tracé des trains sur les « sections de montagne » est établi dans l'hypothèse que la circulation nécessite l'emploi constant de la double traction. En fait, la simple traction, sur ces lignes, est tout à fait exceptionnelle. En tout cas, il n'est pas fait de distinction de vitesse pour la double traction ou la simple traction. A la montée des rampes, la vitesse est très faible. Sur les parcours en pente, la sécurité exige une limite maximum peu élevée.	La charge d'un train remorqué en double traction peut atteindre la somme des charges que chacune des machines peut remorquer à la vitesse normale.	Sur les « sections de montagne », les prises d'eau sont, d'une façon générale, pourvues de deux tuyaux d'écoulement, auxquels les deux machines peuvent, par conséquent, s'alimenter simultanément.	Les machines employées pour donner la double traction sont des machines puissantes qui, d'une façon générale, sont affectées spécialement au service de renfort.
Pittsburgh & Western	407	La double traction est employée pour la montée des trains de voyageurs, ordinaires et rapides, sur la rampe de Bakerstown, lorsque la charge du train dépasse la charge normale d'une seule machine.	La machine de renfort est toujours placée en tête et en avant de la machine titulaire. Elle n'est pas mise en relation avec les freins du train.	Aucune réduction spéciale de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge d'un train remorqué en double traction peut atteindre la somme des charges correspondant à chaque machine.	La section de renfort n'est pas suffisamment étendue pour comporter des prises d'eau intermédiaires.	Les machines de renfort ne sont pas d'un type spécial.
A reporter. . .	12,746						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Questionnaire C. (Suite.)

DÉSIGNATION DES ADMINISTRATIONS.	NOMBRE DE KILOMÈTRES EXPLOITÉS.	QUESTIONNAIRE B. 1. *Employez-vous la double traction exceptionnellement ou régulièrement pour la remorque des trains de voyageurs et spécialement des trains à grande vitesse sur certaines sections de lignes à déclivités exceptionnelles ?*	QUESTIONNAIRE B. 4. *La machine de renfort est-elle placée en tête ou en queue du train? Dans ce dernier cas, est-elle attelée au train et les organes du frein continu de cette machine sont-ils mis en relation avec ceux du train?*	QUESTIONNAIRE B. 7. *Quelles sont les réductions imposées aux trains en double traction, pour les vitesses normales et pour les vitesses maximums permises en cas de retard ?*	QUESTIONNAIRE B. 8. *Quelles sont les charges admises en cas de simple et de double traction et quelles relations y a-t-il entre elles?*	QUESTIONNAIRE B. 10. *Comment procède-t-on alors pour alimenter les deux machines aux prises d'eau intermédiaires?*	QUESTIONNAIRE C. 2. *Quels sont les types de machines employés comme renfort en tête ou en queue? Ces machines offrent-elles des dispositions spéciales?*
Report. . .	12,746						
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE. (Suite.)							
Lehigh Valley	2,084	La double traction est employée, suivant les besoins, pour la remorque des trains de voyageurs sur les fortes rampes. En particulier, elle est à peu près régulièrement usitée sur deux rampes, l'une de 14 kilomètres, en déclivité de 18 millimètres, l'autre de 56 kilomètres, en déclivité de 9.5 millimètres.	La machine de renfort est placée en tête et ses organes du frein continu sont en relation avec ceux du train.	Aucune réduction de vitesse n'est imposée du fait de la double traction.	La charge admise en double traction est égale à la somme des charges correspondant à chaque machine.	Les deux machines s'alimentent successivement à la même grue.	Les machines employées en double traction sont du type ordinaire à voyageurs. Elles ne présentent pas de dispositions spéciales.
Illinois Central	4,648	...	...	...	...	...	...
New York, New Haven & Hartford.	2,043						
Total. . .	21,521						
RÉPUBLIQUE ARGENTINE.							
Central Argentine	1,271	La double traction est parfois employée pour la montée des trains de voyageurs lourds sur les fortes rampes. Les sections dans ce cas sont, d'ailleurs, de peu d'étendue, en général quelques kilomètres seulement.	La machine de renfort est placée en queue, sans être attelée au train.	...	...	Les sections de renfort ne sont pas suffisamment étendues pour comporter des prises d'eau intermédiaires.	Le renfort en queue, sur les sections de rampe, est donné par une machine quelconque.
Total. . .	1,271						

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SECTION

Séance du 22 septembre 1900 (matin).

PRÉSIDENCE DE M. FREDRIK ALMGREN.

Mr Abeles, *rapporteur pour l'Autriche-Hongrie, la Roumanie, les Pays-Bas, le Luxembourg, la Suisse et l'Allemagne*, donne lecture du résumé suivant :

Pour les trains rapides, l'emploi de la double traction avec deux locomotives à la tête des trains a lieu dans tous les cas où la force de traction d'une seule locomotive n'est pas suffisante.

Sur les lignes à faible déclivité pourtant, l'emploi de deux machines est de préférence limité au cas où, par suite d'une affluence extraordinaire de voyageurs, la puissance du type de locomotive régulièrement employé est insuffisante, ou bien encore quand le mauvais temps fait craindre que la puissance d'une seule locomotive ne permette pas d'effectuer le trajet dans le délai fixé.

Sur les lignes à fortes rampes et à courbes raides, l'emploi des machines de renfort en tête ou en queue est d'usage constant sur tous les chemins de fer de l'Union, ainsi qu'en Suisse.

Dans tous les cas où la force de traction des locomotives peut être entièrement utilisée sur la plus grande partie de la ligne, on préfère employer une seule machine de grande puissance pour la remorque des trains; d'autre part, il n'est pas avantageux d'employer de puissantes locomotives si leur travail ne peut être utilisé que pour une section de ligne relativement courte.

Néanmoins, on emploie aussi deux locomotives sur des lignes comportant des parcours à rampes continues, dans beaucoup de cas où la commande de nouvelles machines ne saurait marcher de front avec les exigences du trafic.

Dans la plupart des cas où l'on se sert d'une deuxième machine, on préfère l'employer comme machine de renfort en tête; cependant, l'emploi de machine de renfort en queue est aussi en usage, notamment sur des sections à fortes rampes et en cas de forte charge de trains; on donne surtout la préférence à ce dernier mode de renfort quand la rampe s'étend seulement sur une partie de la ligne; la locomotive n'ayant pas besoin d'être dételée, quitte le train purement et simplement; on gagne donc du temps par la suppression d'un arrêt.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'emploi d'une locomotive de renfort, soit en tête, soit en queue des trains rapides, n'est considéré nulle part comme dangereux ou comme impliquant un manque de sécurité, pourvu, toutefois, que la vitesse maximum prévue pour chacune des locomotives ne soit pas dépassée. La question de savoir si, dans certaines circonstances, il est plus avantageux d'employer deux locomotives à la remorque des trains ou une locomotive unique plus puissante, est plutôt une question financière.

Les éléments dont il y a lieu de tenir compte dans la solution de cette question et l'importance relative de chacun de ces éléments ne permettent pas de formuler une réponse générale s'appliquant à tous les cas qui peuvent se présenter et on est obligé de se borner à la solution de chaque cas particulier, en tenant compte des éléments et des circonstances spéciales qui y sont afférents.

Mr Lancrenon, *rapporteur*. — Messieurs, avant d'entamer le résumé de mon rapport et du rapport de Mr Antochine, que celui-ci m'a demandé de vous présenter, je dois vous faire connaître que nous avons légèrement modifié la question posée par la Commission internationale. Cette question était conçue comme il suit :

« Quelles sont les conditions d'exploitation où la double traction peut être utilement employée pour les trains à grande vitesse (vitesses réglementaires et vitesses normalement atteintes, charges maximums, rampes et courbes principales)? »

Ici encore se présentait la difficulté de définir les trains à grande vitesse. Il y a des trains qui sont considérés comme très rapides dans tel pays et qui ne sont pas considérés comme très rapides dans tel autre. Il était malaisé de faire une distinction et nous avons donc décidé de prendre tous les trains de voyageurs.

Un rapporteur a été désigné pour l'Autriche-Hongrie, la Roumanie, les Pays-Bas, le Luxembourg, la Suisse et l'Allemagne; un autre rapporteur pour la Russie, et j'ai été désigné pour les autres pays. D'un commun accord, les trois rapporteurs ont rédigé un questionnaire à adresser à toutes les administrations adhérentes au Congrès. Mr Abeles vient de nous résumer rapidement les réponses faites par les administrations des lignes de l'Union des chemins de fer allemands. Je vais vous résumer rapidement le rapport de Mr Antochine, qui concerne la Russie.

Après une introduction et une partie historique, Mr Antochine expose que, au début des chemins de fer, des accidents graves se sont produits en Russie à des trains à double traction. A la suite de ces accidents, on a formellement interdit la double traction. Plus tard on a reconnu qu'on était allé un peu loin, une réaction s'est produite et, actuellement, la double traction est employée en Russie non pas d'une façon générale, mais cependant dans une mesure assez large. Certaines lignes y recourent couramment et même systématiquement. Sur les lignes de Vladicaucase, de Kharkov-Nikolaïev, les trains sont régulièrement remorqués sur certaines sections en double traction. Sur la ligne Catherine, sur la ligne Transcaspienne et sur d'autres lignes encore, on emploie la double traction d'une façon continue. Sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'autres lignes, on n'y recourt que dans des cas spéciaux, lorsque le mauvais temps, la charge ou le retard l'exige, mais on arrive toujours à avoir une proportion assez considérable de trains à double traction. Pendant les années 1895-97, la proportion de la double traction au parcours total, pour les trains de voyageurs, a été, sur les différentes lignes, de 3 à 10 et même 13.3 p. c. Si l'on y ajoute les parcours permanents en double traction, on arrive, sur certaines lignes, à 25 p. c. du parcours total. C'est vous dire que la double traction, en Russie, est employée d'une manière courante.

Au point de vue de la vitesse de marche, on avait d'abord imposé des restrictions : la vitesse était réduite de 10 p. c. en été et de 15 p. c. en hiver pour les trains à double traction. Ces restrictions ont maintenant été supprimées et on impose seulement aux trains à double traction comme vitesse-limite celle de la machine la moins rapide.

Pour la formation des trains, on réduit légèrement la charge, c'est-à-dire qu'avec deux machines de même puissance on ne double pas la charge, on la multiplie seulement par 1.8 ou 1.7.

Au point de vue de l'alimentation, aucune disposition spéciale n'est prise. On alimente d'abord la première machine, puis on fait avancer le train de la longueur nécessaire pour alimenter la seconde. On tient beaucoup à éviter de refaire souvent les attelages, de découpler la première machine et de la réaccoupler. Avec le climat très rigoureux de la Russie, ce travail peut être très pénible pour les agents.

En ce qui concerne la place à donner aux machines, on prescrit de mettre en tête la machine ayant les roues les plus petites; mais cette prescription tient à ce que la plupart des machines de renfort sont des machines à marchandises non munies des organes de freinage et, par conséquent, la machine à voyageurs doit se trouver nécessairement la plus rapprochée du train, avec lequel elle est en relations par l'intermédiaire du frein.

Mr Antochine a cherché à établir quels sont, au point de vue financier, les résultats de l'emploi de la double traction. Ces résultats sont naturellement assez difficiles à déterminer. Cependant, sur la ligne de Syzrane-Viazma, où le naphte est employé comme combustible, on est arrivé à déterminer que la dépense par 100 tonnes kilométriques était de 0.194 poud (3.178 kilogrammes) de résidus du naphte pour une locomotive lourde et qu'avec deux locomotives légères en double traction, la consommation atteignait 0.292 poud (4.783 kilogrammes), soit une augmentation considérable. Cette augmentation était d'ailleurs facile à prévoir. Pour les locomotives légères en simple traction, on arrive à une consommation de 0.245 poud (4.013 kilogrammes); cela tient à ce que ces machines doivent fournir un travail trop considérable et ne travaillent pas dans des conditions économiques.

La plupart des chemins de fer russes estiment que la double traction est un système qu'il faut employer dans certains cas, lorsqu'on ne peut pas faire autrement, mais qu'il ne faut pas adopter régulièrement. Il ne faut cependant pas hésiter à l'employer lorsque les circonstances l'exigent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici les conclusions que Mr Antochine croit pouvoir tirer des renseignements fournis dans son rapport :

« 1° La double traction est employée sur toutes les lignes des chemins de fer russes et ne provoque aucune crainte au point de vue de la sécurité et de la régularité de la marche des trains;

« 2° Dans les cas exceptionnels, pour des parcours de faible longueur, mais d'un profil difficile, la double traction présente une réelle utilité, et alors la deuxième locomotive se place indifféremment en tête ou en queue du train, en observant les règles établies par l'expérience, notamment au point de vue de la vitesse;

« 3° Lors de la commande de nouvelles locomotives, il faut donner la préférence au type qui permet d'assurer le service des trains en simple traction. Si l'on possède des locomotives de ce type, la question de les remplacer, dans des buts économiques d'exploitation, par des types plus puissants, dépend des conditions locales. »

J'en arrive maintenant, messieurs, à mon rapport personnel, que je vais tâcher de résumer le plus rapidement possible.

J'ai oublié de vous dire, en commençant, que deux cas très différents se présentent, celui où la double traction est employée d'une façon courante, générale, sur une ligne tout entière, lorsqu'on n'a pas de machines suffisamment puissantes pour remorquer les trains que l'exploitation impose, et celui du renfort donné à certains trains sur des sections plus ou moins difficiles.

L'emploi de la double traction sur la ligne entière, quand une seule machine ne suffit pas pour assurer la traction des trains de voyageurs, est assez répandu. Il est à peu près général, sans qu'aucune restriction soit mise à son usage, en Angleterre, dans une partie des colonies anglaises, en Belgique, en Italie, en Allemagne et en Espagne. Cependant, sur le Nord de l'Espagne, la vitesse en double traction est limitée à 50 kilomètres.

En ce qui concerne les États-Unis, je n'ai obtenu que très peu de renseignements. Une seule des administrations qui ont répondu emploie la double traction dans ces conditions.

En France, la pratique varie d'une compagnie à l'autre. Le Midi et le Nord admettent la double traction sans restriction. Sur le Paris-Lyon-Méditerranée, l'Orléans, l'Ouest, la double traction n'est admise que pour les trains de voyageurs, à l'exclusion des rapides. L'État et l'Est ont la double traction pour tous les trains, mais avec une légère réduction de la limite de vitesse.

J'aborde ici un point important, qui soulèvera peut-être une discussion, mais sur lequel je tiens à exposer franchement ma manière de voir. Toutes ces restrictions ont été, le plus souvent, imposées sur la demande du Contrôle, à la suite d'incidents ou d'accidents arrivés à des trains remorqués par deux machines, et certaines personnes considèrent qu'il peut y avoir danger à faire marcher rapidement des trains de ce genre. J'estime que ces craintes sont exagérées et que, si l'on examinait les accidents ou les incidents qui les ont motivées, on arriverait à démontrer qu'ils sont dus non pas à l'emploi de deux machines, mais presque toujours à l'emploi de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machines non susceptibles d'atteindre sans danger sur les lignes considérées, même isolément, les vitesses réalisées effectivement. Il est bien certain que les trains à double traction sont généralement dans des conditions assez défectueuses : ils sont lourds, généralement en retard, et, dans les parties faciles, les mécaniciens ont une tendance à regagner du temps et à dépasser les limites permises. En outre, il arrive fréquemment que la double traction est donnée au dernier moment, lorsque l'affluence des voyageurs se manifeste, et alors on est à même de prendre comme seconde machine n'importe quelle locomotive, souvent même une machine qui n'est pas susceptible de prendre les vitesses auxquelles on doit marcher.

Avec les dispositions d'attelages existant en Europe, c'est-à-dire avec les tampons qui permettent le déplacement latéral des tenders par rapport aux locomotives, et de la première locomotive par rapport à la seconde, il suffit d'un effort latéral de quelques centaines de kilogrammes pour vaincre la résistance des tampons. Or, quand une machine se met à prendre des mouvements de lacet sous l'influence des irrégularités de la voie et de la vitesse, ces efforts, qui peuvent aller jusqu'à la destruction de la voie, se chiffrent par tonnes et même par dizaines de tonnes. Dans ces conditions, la présence d'une locomotive derrière la première ne doit pas, à mon avis, avoir une grande influence sur le résultat final.

Cette manière de voir est confirmée par la pratique de tous les pays qui font de la double traction d'une façon un peu systématique. En Angleterre, par exemple, où la double traction est d'un emploi excessivement fréquent, jusqu'à présent, aucun accident ne lui a été attribué. Sur le réseau de l'Est, nous avons, pendant plusieurs années, remorqué, pendant la saison d'été, les express de Paris à Bâle au moyen de deux machines, l'une étant une locomotive d'un de nos anciens types décrits dans le rapport de Mr Herdner, machine à deux essieux couplés et essieu porteur à l'avant, l'autre étant une Crampton, et jamais nous n'avons eu le moindre incident. Cette année encore, à défaut de machines assez puissantes, nous avons dû recommencer à appliquer le même système, et nous n'avons eu ni accidents ni incidents.

En somme, je ne crois pas que la double traction, par elle-même, puisse donner lieu au moindre danger et, comme vous avez pu le voir, c'est aussi l'opinion absolument arrêtée de mes co-rapporteurs.

Ce premier point fixé, il reste à rechercher dans quelles circonstances la double traction peut être employée. Quelle que soit la puissance des machines dont on dispose, il arrivera toujours des cas où un train dépassera la limite de charge d'une machine et où l'on se trouvera, par conséquent, dans la nécessité de recourir à la double traction ou de dédoubler le train. Quelle est alors la solution qu'il faut choisir? C'est surtout une question d'exploitation.

Au point de vue de la conduite du train, la double traction n'est certainement pas une pratique recommandable; les deux machines se contrarient plus ou moins, les mécaniciens ne marchent pas toujours d'accord; en outre, les trains très longs sont plus difficiles à conduire et à arrêter; on risque d'avoir des ruptures d'attelages; dans les gares, le service se fait plus difficilement. Au contraire, au point de vue du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouvement général des trains, un seul train encombre évidemment moins la voie et offre de plus grandes facilités pour les croisements, les correspondances, les évitements, le gardiennage des passages à niveau et pour toute une série d'autres éléments du service.

Mais il y a une considération qui doit souvent prévaloir. Lorsqu'on dédouble les trains, si on ne veut pas gêner trop les correspondances et retarder trop l'arrivée des voyageurs, les deux trains doivent se suivre à très courte distance. Or, tout le monde sera d'accord pour penser qu'il n'est pas prudent de lancer sur une même voie deux trains rapides, se suivant à très courte distance, sans précautions spéciales pour éviter une rencontre. Si donc la ligne est exploitée par block-system, il conviendra, en général, de dédoubler le train; si elle n'est pas exploitée d'après ce système, il y aura, le plus souvent, un avantage sérieux à recourir à la double traction.

Même dans le cas de lignes exploitées d'après le block-system, il pourra quelquefois être nécessaire de recourir, dans des cas spéciaux, à la double traction; je citerai, par exemple, le cas où le train doit franchir une ligne de douane; en effet, si on dédouble le train, les voyageurs pourront se trouver dans un train et leurs bagages enregistrés dans l'autre, d'où inconvénients et difficultés pour la visite de la douane. On peut parer à ces difficultés, mais il n'est pas toujours possible de le faire à l'improviste et la double traction peut s'imposer.

Il reste maintenant à considérer la double traction employée comme renfort sur une section spéciale, cas qui se rencontre très fréquemment. Tel est, par exemple, le cas du Gothard, qui met la double traction à presque tous ses trains montant de fortes rampes et qui emploie la simple traction ailleurs. Lorsqu'il existe sur une ligne une section spécialement difficile, il est évident qu'il y a, généralement, intérêt à donner le renfort sur cette section et à ne pas employer des machines qui ne trouveraient pas une utilisation complète sur le reste de la ligne. Cependant, l'application du renfort a des inconvénients, celui, par exemple, de nécessiter un arrêt du train au moment où il faut atteler et découpler la machine de renfort.

Je signalerai, pour mémoire, le renfort par la queue qui est quelquefois employé, notamment en Angleterre. Au départ de certaines stations, à Newcastle, par exemple, sur l' « East Coast », lorsqu'un train doit partir en courbe ou en rampe, une seconde machine le pousse pour l'aider à se mettre en vitesse. Sur le Jura-Simplon, on emploie le renfort en queue pour certains trains de voyageurs, dont quelques-uns ont déjà deux machines en tête.

Il est donc bien entendu que la question de savoir s'il convient de donner le renfort ou s'il faut avoir des machines plus puissantes dépend essentiellement des circonstances de la ligne. Il me reste maintenant à indiquer les conclusions qui pourraient être soumises au Congrès. Ces conclusions sont un peu longues; nous pourrons peut-être arriver à les réduire, elles sont d'ailleurs absolument d'accord avec celles qui résultent des exposés de Mrs Antochine et Abeles :

« L'emploi de la double traction en général, c'est-à-dire de deux machines en tête des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trains sur une ligne quelconque, même pour les trains les plus rapides, lorsque, pour un motif quelconque, la remorque de ces trains ne peut être faite convenablement avec une seule machine, est d'un usage courant sur un grand nombre de réseaux.

« Cette pratique ne semble présenter aucun danger pour la sécurité, mais à la condition formelle que chacune des deux machines employées puisse atteindre isolément sur les lignes considérées, sans aucun inconvénient, la vitesse maximum qui peut être atteinte effectivement par ces trains.

« La mise en marche de trains de forte composition, remorqués par deux machines, présente des inconvénients au point de vue de la bonne utilisation des machines, de la rapidité des arrêts, des chances de ruptures d'attelages, de l'alimentation des machines et du service dans les gares. De semblables trains sont plus exposés que d'autres à prendre des retards. En principe, il est préférable de dédoubler les trains, quand on veut assurer efficacement la protection du premier train contre celui qui le suit à faible distance et quand les conditions de l'exploitation permettent de faire facilement ce dédoublement. Quand il n'en est pas ainsi, on peut avoir utilement recours à la double traction.

« L'emploi d'une seconde machine comme renfort, dans une section de ligne où la traction est notablement plus difficile que sur le reste de la ligne, est d'un usage fréquent sur presque tous les réseaux et même régulier sur certains. C'est un mode de traction normal et rationnel.

« Le renfort est ordinairement donné par la tête. Il faut alors que la machine de renfort puisse atteindre sans inconvénient les vitesses à réaliser dans la section considérée.

« Le seul défaut de ce procédé, et qui en limite l'emploi pour les trains rapides, est d'exiger souvent des arrêts supplémentaires. On peut perdre ainsi une partie du temps gagné avec l'aide du renfort.

« Le renfort par la queue peut être aussi donné dans des cas spéciaux où le train ne peut pas atteindre une forte vitesse, par exemple pour monter une forte rampe au départ d'une station d'arrêt. Il est alors possible d'éviter un arrêt supplémentaire au sommet de la rampe, soit en n'attelant pas la machine de renfort, soit, mieux, en la munissant de dispositifs permettant de la dételer sans arrêt au moment convenable. »

Mr le Président. — Messieurs, nous devons de sincères remerciements aux trois rapporteurs qui ont traité cette question et à Mrs Abeles et Lancrenon pour les résumés qu'ils viennent de nous faire.

La question peut, je crois, se diviser en deux. Il y a d'abord l'usage courant de la double traction, qui, comme Mr Lancrenon vient de le constater, existe sur un grand nombre de réseaux. Il y a ensuite la question du danger que peut présenter la double traction. C'est là un point d'un très grand intérêt. Mr Lancrenon vient de nous dire qu'il n'y a pas de danger au point de vue de la sécurité, à la condition formelle que chacune des deux machines employées puisse atteindre isolément, sur la ligne considérée et sans aucun inconvénient, la vitesse maximum à réaliser.

Mr Worms de Romilly, Ministère des travaux publics, France. — Messieurs, je vous demande la permission de vous donner connaissance d'une note que Mr Vicaire, inspecteur général des mines, professeur du cours de chemins de fer à l'école des mines, a préparée sur cette question et dans laquelle il conteste quelque peu les conclusions de Mr Lancrenon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici cette note :

« Les conclusions des rapporteurs sur cette question ne comportent aucune réserve quant à la sécurité. C'est ce qu'indiquent expressément celles que propose Mr l'ingénieur en chef Lancrenon. Il n'admet, en effet, qu'une condition qui s'impose également en simple traction, c'est que *chacune des deux machines employées puisse atteindre isolément sur la ligne considérée, sans aucun inconvénient, la vitesse maximum qui peut être atteinte effectivement par ces trains.*

« A propos des restrictions admises sur certains réseaux français, il s'exprime ainsi :

« *Toutes ces restrictions ont été imposées, le plus souvent, sur la demande du contrôle de l'État, à la suite d'incidents ou d'accidents survenus à des trains remorqués par deux machines, et bien des personnes considèrent qu'il peut y avoir danger à faire ainsi remorquer des trains de vitesse par deux machines.*

« *J'estime, en ce qui me concerne, que ces craintes sont tout à fait exagérées, et si on reprenait un à un les incidents ou accidents qui les ont motivées, on arriverait à démontrer, j'en suis certain, que ces accidents sont dus non pas à l'emploi de deux machines, mais, presque toujours, à l'emploi de machines non susceptibles d'atteindre, même isolément, sans danger, sur les lignes considérées, les vitesses qui ont été réalisées effectivement.* »

« Une semblable appréciation exigerait quelques justifications. Quant à moi, j'estime que l'emploi de deux machines en tête d'un train apporte par lui-même un danger spécial de déraillement, et voici, je pense, la cause, sinon unique, du moins très prépondérante de ce danger.

« L'effort de traction appliqué à l'arrière d'une machine a pour effet de décharger l'essieu d'avant et de charger celui d'arrière. Les choses se passent comme si le centre de gravité était reporté vers l'arrière d'une quantité proportionnelle à l'effort de traction et à la hauteur à laquelle il est appliqué au-dessus du rail. Cet effet est toujours de même sens, contrairement à une théorie inexacte d'après laquelle il dépendrait de la position de la ligne de traction au-dessous ou au-dessus de l'axe des essieux moteurs.

« Dans un train à double traction, cet effet se produit sur la deuxième machine avec une intensité considérable, puisque le train est particulièrement lourd. Il est vrai que si la machine de tête tire convenablement, elle produit un effet inverse qui doit rétablir l'état normal. Mais s'il arrive que cette machine se laisse pousser, la réaction qui en résulte vient, au contraire, aggraver la situation, et on comprend que l'essieu d'avant de la seconde machine puisse alors se trouver déchargé d'une manière excessive et que la moindre réaction latérale puisse le faire dérailler. Cet effet sera surtout à craindre si la réaction entre les deux machines se produit brusquement, par exemple si la première vient à serrer ses freins soudainement. Il est évident, d'ailleurs, que c'est surtout dans les grandes vitesses que cet effet sera à redouter, parce que les variations d'allures sont plus brusques et que l'effort

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de traction est alors à son maximum, ainsi que toutes les causes ordinaires de déraillement.

« Parmi les faits qui m'ont conduit à cette manière de voir, je puis citer deux accidents qui sont particulièrement caractéristiques. Le premier est le déraillement tristement célèbre de Moirans, sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée (13 juillet 1889); le second a eu lieu le 15 novembre 1893, sur le réseau de l'Est, entre Étival et Raon-l'Étape, sur la ligne d'Épinal à Saint-Dié.

« Dans les deux cas, la machine de tête, restée sur la voie tandis que la seconde déraillait, se trouva séparée de celle-ci non par la rupture de l'attelage intermédiaire, mais parce que le maillon du tendeur sauta hors du crochet. Ce décrochage suppose une réaction brusque et violente entre les deux machines; cette réaction n'a pu se produire après le déraillement, qui, en retardant la seconde machine, n'aurait pu qu'augmenter la tension de l'attelage; elle l'a donc précédé et l'on est fondé à admettre qu'elle en a été la cause déterminante.

« L'effet en question est d'autant moins à redouter que la seconde machine est plus lourde et la première plus légère.

« Pour l'éviter complètement, les deux machines doivent être conduites de telle manière que l'attelage intermédiaire soit toujours tendu toutes les fois que la seconde machine tire elle-même sur le train. Quelques règles énumérées ci-après contribueront évidemment à ce résultat, mais ne sauraient dispenser les deux mécaniciens, principalement celui de tête, d'y veiller constamment. Il ne semble pas très difficile d'imaginer un appareil simple qui ferait connaître aux deux équipes si cet attelage est oui ou non tendu. Un semblable appareil, surtout s'il était enregistreur, serait certainement très utile.

« En conséquence, je propose de modifier les conclusions de Mr le rapporteur Lancrenon, en remplaçant le deuxième paragraphe par ce qui suit :

« Sur beaucoup de chemins de fer, cette pratique n'est admise qu'avec certaines limitations quant aux vitesses. Des précautions de ce genre semblent recommandées par la prudence. Toutefois, il semble qu'on pourrait y renoncer, si l'on pouvait avoir la certitude que l'attelage entre les deux machines sera toujours tendu, chaque fois que la seconde machine tirera elle-même sur le train. Un appareil qui permettrait aux deux équipes de savoir à tout instant s'il est tendu rendrait de grands services.

« Dans la formation des trains en double traction, on doit placer en tête la machine la plus légère. A égalité de poids, on mettra en tête la plus rapide. Le mécanicien de tête doit toujours ouvrir son régulateur le premier et le fermer le dernier. Les freins de sa machine ne doivent, en aucun cas, être serrés avant ceux de la seconde. »

Je crois que, dans la pratique, il serait assez difficile de trouver un appareil permettant aux mécaniciens de savoir à tous les instants s'il y a traction ou tension entre les deux machines. Cependant, la première partie de la note de Mr Vicaire subsiste et je crois que son interprétation des accidents est absolument juste et qu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

y a, par conséquent, un avantage certain à imposer certaines limites de vitesse aux trains à double traction, même quand les machines sont toutes deux susceptibles d'atteindre la même vitesse.

Mr Herdner, Ch. de fer du Midi français. — La machine se soulève à l'avant, nous dit-on. En effet, si on considère l'équilibre du châssis d'une machine, on constate que ce châssis est soumis à un couple dont les forces sont, d'une part, l'effort de traction appliqué au crochet d'attelage, d'autre part, la résultante des efforts dus à l'action de la vapeur et transmis au châssis par les essieux ou par les fonds de cylindres. Ces forces constituent un couple toutes les fois que la hauteur des essieux au-dessus du rail n'est pas la même que la hauteur du crochet d'attelage.

S'il s'agit d'une machine à petite vitesse, dans laquelle, généralement, le crochet est plus élevé que l'essieu, il y a, en effet, soulèvement ou tendance au soulèvement de l'avant. Lorsqu'il s'agit, au contraire, d'une machine dont l'essieu se trouve à peu près à la hauteur du crochet d'attelage, la tendance est bien moindre, sinon tout à fait nulle.

Il serait peut-être intéressant de se rendre compte de la valeur de ce moment et de la décharge qui peut en résulter pour l'essieu d'avant. Je crois que cette décharge doit être extrêmement minime.

Ensuite, je ne vois pas très bien comment la fermeture du régulateur de la première machine provoquerait dans la seconde un mouvement brusque plus sensible que celui produit sur la machine de tête elle-même. En effet, cette machine se trouve dans les mêmes conditions, et si on ferme son régulateur il se produit un mouvement. Pourquoi le galop qui se produit à la seconde machine serait-il plus fort que celui produit sur la première? Je ne m'en rends pas très bien compte.

Mr Worms de Romilly. — Lorsque vous fermez le régulateur de la première machine, celle-ci ne tire plus du tout; par conséquent, elle n'agit plus sur la seconde machine.

Mr Herdner. — Elle repose sur des ressorts!

Mr Worms de Romilly. — Elle reste tranquille.

Mr Herdner. — Elle fait des oscillations.

Mr Worms de Romilly. — La seconde machine se trouve alors dans les conditions d'une machine qui tire seule le train; elle est, par conséquent, tirée par l'arrière, elle n'est pas tirée par l'avant. Voilà la manière de voir de Mr Vicaire.

Mr Noblemaire, Ch. de fer de Paris-Lyon-Méditerranée. — En étant tirée par l'arrière, la machine tend à soulever son avant, mais en poussant la machine de tête, elle tend à abaisser son avant. Il me semble que les deux actions sont en sens inverse.

Mr Herdner. — J'admets qu'il se produise des oscillations au moment de la fermeture du régulateur, mais je ne vois pas pourquoi ces oscillations seraient plus fortes pour une machine que pour l'autre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Veuillez bien remarquer que je ne suis pas, en principe, partisan de la double traction. Je laisse même de côté les considérations d'exploitation fort justes développées par Mr Lancrenon; je suis opposé à ce système en tant que tractionnaire. Nous avons, malheureusement, des lignes où le ballast est très friable et où le passage des trains soulève une poussière intense. Avec la double traction, les organes de la seconde machine sont naturellement envahis par la poussière soulevée par la première locomotive, et il se produit des chauffages. Mais à part les incidents qui sont parfois la conséquence de ces chauffages, je ne vois pas comment la double traction des trains de très grande vitesse pourrait, par elle-même, constituer un danger. Je crois même que, dans tous les cas où des déraillements ont été attribués au fait de la double traction, on a tout simplement commis le sophisme : *post hoc propter hoc*.

Mr Baudry, Ch. de f. de Paris-Lyon-Méditerranée. — Voici une considération qui me paraît confirmer la thèse de Mr Herdner. Lorsque deux machines placées l'une devant l'autre tirent un train et qu'on cesse de faire tirer la première, il me paraît qu'on ne change en rien les conditions d'équilibre de la seconde machine. En effet, on diminue exactement de la même quantité l'effort sur le tendeur qui réunit les deux machines et l'effort sur le tendeur entre la seconde et le train. On supprime donc dans cette machine deux efforts égaux et de sens contraire appliqués à la même hauteur et, par conséquent, on ne change en aucune façon le moment auquel Mr Vicaire attribue beaucoup d'importance.

Si la première machine se fait pousser, il en résulte, il est vrai, un effort appliqué à l'avant de la seconde et agissant sur elle dans le même sens que l'effort de traction du train; mais ce dernier est diminué d'autant, car la somme des deux efforts en question ne saurait dépasser l'effort dont est capable la seconde machine.

Si, d'ailleurs, on voulait faire entrer en ligne de compte la considération des forces vives, on reconnaîtrait que le ralentissement causé par la fermeture du régulateur de la machine de tête ne se transmet au train que par une diminution de l'effort de traction exercé à l'arrière de la seconde machine.

Mr Lancrenon, *rapporteur*. — Je voudrais ajouter un seul mot : c'est que le raisonnement de Mr Vicaire s'applique absolument au cas de la simple traction. Si une machine cesse à un moment donné de tirer son train, il se produira une modification dans son équilibre et des oscillations, les essieux se trouveront plus ou moins déchargés. Je ne vois pas bien ce que la double traction peut changer à cette situation.

Mr Worms de Romilly. — Ce n'est pas tout à fait exact, je crois, parce qu'il y a un changement brusque qui se produit.

Mr Lancrenon. — Lorsqu'on ferme le régulateur d'une machine placée en tête d'un train lourd, il se produit bien un changement brusque : on passe de la traction à la propulsion.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr Worms de Romilly. — Mais alors, il n'y a pas un obstacle devant, tandis que dans le cas de la double traction, il y en a un devant la seconde machine qui peut contribuer à produire l'effet signalé. Je ne prétends pas que l'explication de Mr Vicaire soit absolument complète et qu'elle rende compte de tous les phénomènes, mais je crois qu'elle est exacte dans une certaine mesure.

Mr Sauvage, *secrétaire principal.* — Je crois très juste l'observation de Mr Herdner que je me permets d'appuyer : c'est que les actions qui peuvent se produire dans les circonstances défavorables sont dues à un certain couple. Je crois que dans certains cas spéciaux, on peut reconnaître que ce couple existe et qu'il agit bien dans le sens indiqué; seulement, ce n'est là qu'une indication qualitative, et il faudrait aussi, comme le signalait Mr Herdner, une indication quantitative : il faudrait pouvoir calculer la valeur numérique de ce couple dans les cas les plus défavorables. Si on pouvait y arriver, on constaterait, je crois, que sa valeur numérique est assez faible et pour ainsi dire négligeable en pratique.

Mr le Président. — Messieurs, je crois que nous sommes à peu près d'accord que le danger de la double traction réside dans ce fait qu'une des locomotives ne serait pas faite pour marcher à la vitesse exigée. Nous pourrions adopter la conclusion de Mr Lancrenon sur ce point :

« L'emploi de la double traction en général, c'est-à-dire de deux machines en tête des trains sur une ligne quelconque, même pour les trains les plus rapides, lorsque, pour un motif quelconque, la remorque de ces trains ne peut être faite convenablement avec une seule machine, est d'un usage courant sur un grand nombre de réseaux.

« Cette pratique ne semble présenter aucun danger pour la sécurité, mais à la condition formelle que chacune des deux machines employées puisse atteindre isolément sur les lignes considérées, sans aucun inconvénient, la vitesse maximum qui peut être atteinte effectivement par ces trains. »

— Adopté.

« La mise en marche de trains de forte composition, remorqués par deux machines, présente des inconvénients au point de vue de la bonne utilisation des machines, de la rapidité des arrêts, des chances de ruptures d'attelages, de l'alimentation des machines et du service dans les gares. De semblables trains sont plus exposés que d'autres à prendre des retards. »

— Adopté.

« En principe, il est préférable de dédoubler les trains quand on peut assurer efficacement la protection du premier train contre celui qui le suit à faible distance et quand les conditions de l'exploitation permettent de faire facilement ce dédoublement. Quand il n'en est pas ainsi, on peut avoir utilement recours à la double traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« L'emploi d'une seconde machine comme renfort dans une section de ligne, où la traction est notablement plus difficile que sur le reste de la ligne, est d'un usage fréquent sur presque tous les réseaux et même régulier sur certains. C'est un mode de traction normal et rationnel. »

— Adopté.

« Le renfort est ordinairement donné par la tête. Il faut alors que la machine de renfort puisse atteindre sans inconvénient les vitesses à réaliser dans la section considérée.

« Le seul défaut de ce procédé, et qui en limite l'emploi pour les trains rapides, est d'exiger souvent des arrêts supplémentaires. On peut perdre ainsi une partie du temps gagné avec l'aide du renfort.

« Le renfort par la queue peut être aussi donné dans des cas spéciaux où le train ne peut pas atteindre une forte vitesse, par exemple, pour monter une forte rampe au départ d'une station d'arrêt. Il est alors possible d'éviter un arrêt supplémentaire au sommet de la rampe, soit en n'attelant pas la machine de renfort, soit, mieux, en la munissant de dispositifs permettant de la dételer sans arrêt au moment convenable. »

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Je propose de supprimer cette partie des conclusions et de dire simplement : « Le renfort par la queue peut être donné dans des cas spéciaux. »

— Cette proposition est adoptée.

Mr Baudry. — Ces conclusions doivent-elles être comprises comme s'appliquant aux trains de voyageurs et de marchandises ou aux trains de voyageurs seulement?

Mr Lancrenon. — Aux trains de voyageurs seulement.

Mr Baudry. — Il faudrait le dire.

Mr Bertoldo, Ch. de f. italiens de la Méditerranée. — Pour les trains de marchandises, on pourrait même admettre l'emploi de deux machines de renfort en queue.

Mr Souschinsky, Ministère des voies de communication, Russie. — Le côté positif de la double traction, c'est qu'elle permet aux trains d'aller plus vite sur les rampes et d'y conserver une vitesse plus uniforme. Chez nous, les trains de marchandises ne font pas plus de 15 kilomètres en rampe et font 40 à 50 kilomètres en descente.

Mr le Président. — Nous pourrions dire : « L'emploi de la double traction des trains de voyageurs en général... »

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Pourquoi ajouterions-nous : des trains de voyageurs?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr Baudry. — Parce que, dans le troisième paragraphe, vous parlez de la double traction comme d'une chose exceptionnelle, alors que cependant nous l'admettons systématiquement pour les trains de marchandises. Pour les deux premiers paragraphes, une réserve n'est pas nécessaire, mais il est nécessaire de spécifier que le troisième ne s'applique qu'aux trains de voyageurs.

Mr Bertoldo. — Il y a des lignes sur lesquelles il n'y a pas moyen de ne pas recourir à la double traction pour les trains de voyageurs. Cela présente évidemment des inconvénients, mais on donne des instructions pour que ces inconvénients soient éliminés autant que possible.

Mr Baudry. — Je propose de modifier ainsi le troisième paragraphe : « La mise en marche de trains de voyageurs de forte composition, remorqués par deux machines, présente des inconvénients..., etc. »

— Adopté.

Mr Sauvage, *secrétaire principal.* — Mr Bertoldo avait parlé, il y a un instant, de l'emploi de deux machines de renfort pour les trains de marchandises.

Mr le Président. — La question que nous discutons ne concerne que les trains de grande vitesse.

Mr Baudry. — D'accord avec mon collègue Mr Clérault, je vous propose d'ajouter aux conclusions que nous venons de voter une dernière phrase ainsi conçue : « Il n'y a, dans tous les cas, aucun inconvénient à admettre la double traction quand la machine supplémentaire est ajoutée au train pour retourner à son dépôt sans prendre de charge supplémentaire. »

Mr Clérault. — Cela est indispensable.

Mr Baudry. — Cela se rattache à une question très grave, celle du retour des machines non utilisées. Lorsqu'une machine a fait un train supplémentaire dans un sens et qu'il n'y a pas de train correspondant en sens contraire, elle doit retourner à son point de départ sans être utilisée. Elle ne peut le faire que de deux façons : isolément, et alors c'est un danger pour les passages à niveau et une difficulté sur les lignes à grande circulation, ou en adjonction à un train qui va dans la direction du retour. Dans ce cas, la double traction ne change rien à la composition du train, ni aux conditions normales d'exploitation.

Mr Souschinsky. — La circulation d'une machine isolée cause toujours une grande difficulté pour les services.

Mr Clérault. — L'addition proposée par Mr Baudry est d'autant plus indispensable que, sur les lignes à voie unique (et il y en a beaucoup dans notre réseau), on ne peut pas faire autrement, pour renvoyer une machine, que de la joindre à un autre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

train. C'est là une nécessité absolue, et il est indispensable que notre résolution la constate.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Nous pourrions dire, après le troisième paragraphe des conclusions : « La double traction peut aussi être admise pour éviter la circulation des machines isolées. »

Mr Clérault. — « Peut » est bien faible. Je dirais plutôt : « doit en particulier être employée. »

Mr Worms de Romilly. — Disons : « Il y a aussi intérêt à admettre la double traction, pour éviter la circulation des machines isolées. »

— Cette addition est adoptée.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*, donne lecture des conclusions modifiées, lesquelles sont adoptées. (*Voir* ci-après les conclusions dans le compte rendu de la séance plénière.)

— La séance est levée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE

Séance du 29 septembre 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE Mr ALFRED PICARD.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : Mr L. WEISSENBRUCH.

Mr Sauvage, *secrétaire principal de la 2e section*, donne lecture du

Rapport de la 2e section.

(Voir *Bulletin* quotidien de la session, no 5, p. 6.)

« Mr ABELES donne une analyse de son exposé. Mr LANCRENON résume celui de Mr ANTOCHINE, d'où il résulte que la double traction, à un certain moment proscrite en Russie, y est largement employée. Au point de vue financier, l'emploi des locomotives puissantes est plus avantageux que l'usage systématique de la double traction; mais on ne doit pas hésiter à employer la double traction dès que les circonstances l'exigent. Le renfort peut être donné en queue.

« Mr LANCRENON résume ensuite son rapport personnel. Il estime que la double traction n'introduit, en elle-même, aucune cause spéciale de danger. Dans plusieurs pays, notamment en Angleterre, elle est d'un emploi très fréquent; sur le réseau de l'Est français, la double traction a été souvent employée pour les trains rapides.

« Suivant les cas, il est avantageux de recourir soit au dédoublement des trains, soit à la double traction.

« L'emploi de cette dernière est, d'ailleurs, admis sans conteste pour le passage de certaines sections spéciales. Le renfort est parfois donné en queue à certains trains de voyageurs.

« Mr LANCRENON donne ensuite lecture des conclusions qu'il propose d'accord avec les autres rapporteurs.

« Le point le plus important est de savoir si, effectivement, la double traction introduit ou non une cause spéciale de danger. Mr WORMS DE ROMILLY (*gouvernement français*) donne communication d'une note de Mr VICAIRE (*gouvernement français*) à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce sujet. D'après cette note, en cas d'application des freins de la première locomotive, l'essieu d'avant de la seconde pourrait être déchargé d'une manière exagérée, au point d'être exposé au déraillement. Certaines mesures spéciales de prudence seraient, par suite, nécessaires en cas de double traction.

« Mr Herdner (*Midi français*) dit que la valeur du couple qui tend ainsi à soulever la machine doit être toujours très faible. Il ne voit, à la double traction, d'autres inconvénients techniques que l'effet, sur la seconde machine, de la poussière soulevée par la première.

« Mrs Baudry (*Paris-Lyon-Méditerranée*) et Lancrenon ne sont pas non plus partisans de la théorie proposée par Mr Vicaire.

« Mr le Président met en discussion les conclusions proposées par Mr Lancrenon.

« Mr Bertoldo (*Chemins de fer italiens de la Méditerranée*) propose d'indiquer l'emploi de deux machines de renfort aux trains de marchandises, mais le rapport ne s'occupe que des trains de voyageurs.

« Mrs Baudry et Clérault (*Ouest français*) proposent d'indiquer que la double traction est aussi fort utile pour éviter la circulation des machines isolées.

« La section adopte finalement le projet de conclusions suivantes. »

Mr le Président. — Les conclusions sont libellées comme il suit :

CONCLUSIONS.

« L'emploi de la double traction en général, c'est-à-dire de deux machines en tête « des trains sur une ligne quelconque, même pour les trains les plus rapides, « lorsque, pour un motif quelconque, la remorque de ces trains ne peut être faite « convenablement avec une seule machine, est d'un usage courant sur un grand « nombre de réseaux.

« Cette pratique ne semble présenter aucun danger pour la sécurité, mais à la « condition formelle que chacune des deux machines employées puisse atteindre « isolément sur les lignes considérées, sans aucun inconvénient, la vitesse maximum « qui peut être atteinte effectivement par ces trains.

« La mise en marche de trains de voyageurs de forte composition, remorqués « par deux machines, présente des inconvénients, au point de vue de la bonne utilisation des machines, de la rapidité des arrêts, des chances de ruptures d'attelages, « de l'alimentation des machines et du service dans les gares.

« De semblables trains sont plus exposés que d'autres à prendre des retards. En « principe, il est préférable de dédoubler les trains, quand on peut assurer efficacement la protection du premier train contre celui qui le suit à faible distance « et quand les conditions de l'exploitation permettent de faire facilement ce dédoublement.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Quand il n'en est pas ainsi, on peut avoir utilement recours à la double traction.

« Il y a aussi intérêt à admettre la double traction, pour éviter la circulation des « machines isolées.

« L'emploi d'une seconde machine comme renfort dans une section de ligne où « la traction est notablement plus difficile que sur le reste de la ligne est d'un usage « fréquent sur presque tous les réseaux et même régulier sur certains; c'est un mode « de traction normal et rationnel.

« Le renfort par la queue peut être donné dans des cas spéciaux. »

— Ces conclusions sont ratifiées par l'assemblée plénière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

[621.133.7]

QUESTION XV.

Épuration des eaux d'alimentation des locomotives et désincrustants

A. *Procédés employés pour l'épuration préalable des eaux d'alimentation des locomotives.*

B. *Emploi de matières désincrustantes. Appareils spéciaux pour combattre la formation des incrustations.*

Rapporteur :

Tous les pays. — Mr Aspinall (J. A. F.), General Manager, Lancashire & Yorkshire Railway.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUESTION XV.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Exposé, par Mr J. A. F. Aspinall. (Voir le *Bulletin* d'août 1900, 1er fasc., p 4819.)	XV — 5
Discussion en section	XV — 145
Rapport de la 2e section	XV — 150
Discussion en séance plénière	XV — 150
Conclusions	XV — 151

N. B. — Voir aussi le tiré à part (à couverture brune) nº 55.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

[621 .133.7]

EXPOSÉ

Par J. A. F. ASPINALL,

DIRECTEUR GÉNÉRAL DES CHEMINS DE FER DU LANCASHIRE ET YORKSHIRE.

Le rapporteur a reçu soixante-neuf réponses à sa demande de renseignements relative à l'épuration de l'eau d'alimentation des locomotives et à l'emploi des désincrustants. (Question XV; V de la 2e section.)

Les chemins de fer qui ont répondu sont les suivants :

RÉPUBLIQUE ARGENTINE.

Buenos Ayres Great Southern.
Central Argentine.

AUTRICHE-HONGRIE.

A. — AUTRICHE.

État autrichien.
Sud de l'Autriche.
Austro-hongrois.
Nord Empereur Ferdinand.
Nord-Ouest autrichien.

B. — HONGRIE.

État hongrois.

BELGIQUE.

État belge.
Lignes Nord belges.
Société nationale des chemins de fer vicinaux.

ÉGYPTE.

État égyptien.

FRANCE.

État français.
Paris à Lyon et à la Méditerranée.
Paris à Orléans.
Ouest français.
Est français.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nord français.
Midi français.
Sud de la France.

ALLEMAGNE.

Sud-Est prussien.

GRANDE-BRETAGNE.

A. — Royaume-Uni.

Great Western.
London & North Western.
North Eastern.
North British.
Midland.
Caledonian.
Great Eastern.
Great Northern.
London & South Western.
Lancashire & Yorkshire.
Great Central.
Great Northern of Ireland.
Glasgow & South Western.
Highland Railway.
South Eastern.
Great North of Scotland.
Belfast & Northern Counties.
Furness.
Taff Vale.
London, Tilbury & Southern.
Metropolitan.
Metropolitan District.

B. — Inde et colonies.

New South Wales Government Railways.
Cape Government Railways (1).
New-Zealand Government Railways.
South Australian Government Railways.
Western Australia Government Railways.
Natal Government Railways.
East Indian.

ITALIE.

Chemins de fer de la Méditerranée.
Sud de l'Italie.
Nord de Milan.

NORVÈGE.

État norvégien (1).

PAYS-BAS.

Chemins de fer de l'État néerlandais.
Central néerlandais.
Chemin de fer allemand.

ROUMANIE.

État roumain.

RUSSIE.

Chemins de fer de l'empire russe (2 branches).
État de Finlande (2).
Vladicaucase.
Chemin de fer transcaspien (1).

ESPAGNE.

Madrid à Saragosse et à Alicante

SUISSE.

Central suisse.

ÉTATS-UNIS.

Southern Pacific.
Illinois Central.
New York, New Haven & Hartford.
Chesapeke & Ohio.
Lehight Valley Railroad.

---

(1) Ces administrations n'ont donné aucun renseignement sur le sujet.

(2) Cette administration, quoique n'ayant pas répondu aux questions, donne l'analyse de ses différentes eaux d'alimentation, mais comme ces renseignements ne jettent aucune lumière sur la question, ils n'ont pas été insérés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les questions qui ont été posées sont les suivantes :

1. Quel procédé employez-vous pour adoucir ou épurer l'eau d'alimentation?

2. Donnez quelques détails sur le procédé, les matières employées, etc.?

3. Quel est le prix de l'épuration par 1,000 gallons anglais (par 1,000 litres)?

4. Donnez une analyse de l'eau avant et après le traitement, en indiquant les résultats ci-après :

Carbonate de calcium.
Carbonate de magnésium.
Sulfate de calcium.
Sulfate de magnésium.

(Indiquer ici tout autre dépôt salin existant.)

Dépôt total formant résidu.
Matières totales dissoutes, séchées à 100° C.
Dureté totale .... degrés.
Dureté permanente .... degrés.

(Indiquer les degrés de dureté équivalents à un grain de carbonate de calcium par gallon anglais [0.01433 gramme par litre]).

Nous croyons nécessaire d'attirer l'attention des chemins de fer américains sur le fait que nous désirons avoir les renseignements exprimés en gallons anglais, car nous n'ignorons pas que le gallon américain diffère du gallon anglais et est moindre que ce dernier.

5. Quelle est la nature de l'incrustation formée par vos eaux non épurées?

6. Si possible, donnez une analyse de l'incrustation et de l'eau qui la produit.

7. Introduisez-vous une composition quelconque dans vos chaudières pour prévenir la formation des incrustations, et, dans l'affirmative, quelle est cette composition?

8. Éprouvez-vous quelque ennui parce que vos chaudières ou vos tubes se grêlent?

9. A quoi attribuez-vous cette action de grêlage?

10. Dans quelle partie de la chaudière cette action se produit-elle, et quelle relation a-t-elle avec la formation des incrustations?

11. Dans quelle partie de la chaudière aboutit le tuyau d'alimentation d'eau? Avez-vous observé quelque accroissement de grêlage en ce point?

12. Quels sont les métaux employés dans la construction :

a) Du corps de la chaudière;
b) De la boîte à feu;
c) Des tubes?

(Indiquer si les tubes sont tous de même métal.)

13. Quel moyen de graissage employez-vous pour la lubrification des cylindres?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

14. Avez-vous employé des blocs ou des plaques de zinc pour empêcher la formation des dépôts?

15. Comment ces plaques ou ces blocs étaient-ils attachés à la chaudière, et quels résultats avez-vous obtenus?

16. Quelle méthode employez-vous pour le lavage des chaudières, eau chaude ou eau froide?

17. Si vous employez l'eau chaude, quelle est sa température et de quelle manière est-elle chauffée?

Ces questions peuvent être convenablement groupées comme il est indiqué ci-dessous, d'après l'objet auquel elles se rapportent.

Division A :

Groupe	A. . . .	Questions 1, 2, 3 et 4 relatives à l'épuration de l'eau d'alimentation.
—	B. . . .	— 5 et 6 relatives aux incrustations et à l'eau qui les produisent.
—	C. . . .	Question 7 relative aux moyens de prévenir les incrustations par l'introduction d'une composition dans la chaudière.

Division B :

Groupe	D. . . .	Questions 8, 9, 10, 11, 12 et 13 relatives au grêlage des chaudières.
—	E. . . .	— 14 et 15 relatives à l'emploi de blocs en zinc pour prévenir les incrustations.
—	F. . . .	— 16 et 17 relatives aux méthodes de lavage des chaudières.

Les termes exacts des réponses n'ont pas été reproduits, mais les renseignements ont été condensés autant que possible. Les réponses des chemins de fer suivants sont données en entier :

Chemins de fer de l'État français	Annexe I.
Paris à Lyon et à la Méditerranée	— II.
Paris à Orléans.	— III.
Ouest français (avec note)	— IV.
Est français (avec deux notes)	— V.
Nord français (avec note)	— VI.
Midi français	— VII.
Sud de la France	— VIII.
Chemins de fer de l'État russe	— IX.
Chemins de fer de l'État danois	X.
Chemin de fer du Saint-Gothard.	— XI.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Division A.

Groupe A.

(Questions 1, 2, 3 et 4 relatives à l'épuration de l'eau d'alimentation.)

Parmi les administrations qui ont répondu, les suivantes seules ont adopté des méthodes d'épuration de l'eau :

RÉPUBLIQUE ARGENTINE.

Buenos Ayres Great Southern.

AUTRICHE-HONGRIE.

État autrichien.
Sud de l'Autriche.
Société austro-hongroise des chemins de fer de l'État.
Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande.
État hongrois.

BELGIQUE.

Chemins de fer vicinaux.

FRANCE.

État français.
Paris à Orléans.
Ouest français.
Est français.
Nord français.
Midi français.

GRANDE-BRETAGNE.

A. — Royaume-Uni.

Great Western.
London & North Western.
Midland.
Great Eastern.
Great Northern
Taff Vale.
Metropolitan.

B. — Colonies.

Cape Government Railways.

ITALIE.

Méditerranée.

PAYS-BAS.

Chemins de fer l'État néerlandais.

RUSSIE.

Vladicaucase.

ESPAGNE.

Madrid à Saragosse et à Alicante.

ÉTATS-UNIS.

Southern Pacific.

Les méthodes employées peuvent être divisées en deux classes :

Classe I. . . Traitement chimique.
Classe II. . . Élimination d'une partie des matières incrustantes par le chauffage préalable de l'eau.

Avant de traiter la question des divers procédés en usage, il est utile de passer rapidement en revue les substances qui se rencontrent généralement dans les différentes incrustations, ainsi que les réactions chimiques sur lesquelles sont basés les procédés permettant de les éliminer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les sels incrustants qui se rencontrent généralement dans l'eau sont les carbonates de calcium et de magnésium (lesquels sont tenus en dissolution par l'acide carbonique dissous), le sulfate de calcium et le sulfate de magnésium; certaines personnes ne considèrent pas ce dernier sel comme incrustant; mais comme, en présence du carbonate de calcium, à de hautes températures, il donne naissance à du sulfate de calcium et à du carbonate de magnésium (ce dernier se convertissant en hydrate de magnésium à une température suffisamment élevée) qui produisent des dépôts durs, on doit se préoccuper de sa présence dans l'eau.

Carbonate de calcium ($Ca\ Co_3$). — N'est que légèrement soluble dans l'eau pure, mais il se dissout facilement dans l'eau contenant de l'acide carbonique. Par l'ébullition, l'acide carbonique est chassé de la solution, et le carbonate de calcium insoluble est précipité à l'exception de 1 ou 2 grains par gallon, ce qui correspond à la quantité de carbonate de calcium soluble dans l'eau pure. Les incrustations auxquelles donne lieu la présence de ce sel dans l'eau d'alimentation sont généralement boueuses et peu adhérentes, mais cet état est modifié par la présence d'autres sels dans le dépôt.

Carbonate de magnésium ($Mg\ Co_3$). — Se comporte exactement comme le carbonate de calcium, mais il est un peu plus soluble; toutefois, les incrustations formées par ce sel contiennent généralement des oxydes de magnésium hydratés, car ce carbonate est plus facilement décomposé aux températures élevées (il se convertit en oxyde de magnésium et acide carbonique) que le carbonate de calcium.

Sulfate de calcium ($Ca\,So_4$). — Forme des incrustations excessivement dures et est par conséquent le plus pernicieux des sels incrustants. Il se dissout facilement à la température ordinaire et sa solubilité maximum est atteinte vers 100° Fahr. (37°7 C.). Au delà de cette température, sa solubilité diminue rapidement. Sa solubilité augmente également par la présence du chlorure de sodium ou d'autres sels.

Sulfate de magnésium ($Mg\ So_4$). — Par suite de sa solubilité, on ne le rencontre pas dans les dépôts incrustants, mais en raison de sa réaction sur le carbonate de calcium, laquelle donne lieu à la production d'un dépôt de carbonate de magnésium et de sulfate de calcium, on doit le considérer comme un sel produisant des incrustations, quelle qu'en soit la quantité contenue dans l'eau. Cette réaction est la suivante :

$$Ca\ Co_3 + Mg\ So_4 = Ca\ So_4 + Mg\ Co_3.$$

Les eaux contenant du chlorure ou du nitrate de magnésium doivent être écartées, car ces sels sont très corrosifs; on doit les éliminer de la même façon que le sulfate de magnésie. Pour épurer les eaux contenant les sels indiqués plus haut, on se base sur les réactions suivantes :

Carbonate de calcium; carbonate de magnésium. — On les élimine au moyen de la chaux, sous forme d'eau de chaux ou de lait de chaux. L'eau de chaux $Ca\ (OH)_2$ se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

combine avec l'acide carbonique dont la présence dans l'eau tient les carbonates en dissolution, et ceux-ci sont précipités sous forme de carbonate de calcium insoluble.

$$Ca\ Co_3 + Co_2 + Ca\ (OH)_2 = 2Ca\ Co_3 + H_2\ O.$$

$$\underbrace{Mg\ Co_3 + Co_2}_{\text{(Soluble.)}} + Ca\ (OH)_2 = \underbrace{Mg\ Co_3 + Ca\ Co_3}_{\text{(Insoluble.)}} + H_2\ O.$$

En présence d'un excès d'eau de chaux, une réaction ultérieure se produit avec le carbonate de magnésium précipité et donne lieu à une production d'hydrate de magnésie et de carbonate de calcium.

$$Mg\ Co_3 + Ca\ (OH)_2 = \underbrace{Mg\ (OH)_2 + Ca\ Co_3}_{\text{(Insoluble.)}}.$$

La soude caustique peut aussi être employée pour absorber l'acide carbonique et donner lieu ainsi à la précipitation des carbonates.

$$Ca\ Co_3 + Co_2 + 2Na\ OH = Ca\ Co_3 + Na_2\ Co_3 + H_2\ O.$$

$$Mg\ Co_3 + Co_2 + 2Na\ OH = \underbrace{Mg\ Co_3}_{\text{(Insoluble.)}} + \underbrace{Na_2\ Co_3}_{\text{(Soluble.)}} + H_2\ O.$$

Sulfate de magnésium, chlorure, etc., sont généralement éliminés par l'addition de soude caustique qui précipite les sels de magnésium sous forme d'hydrate.

$$Mg\ So_4 + 2\ Na\ OH = Mg\ (OH)_2 + Na_2\ SO_4.$$

Il est parfois d'usage de remplacer, dans un but d'économie, la soude caustique par la chaux et le carbonate de sodium; la réaction de ces deux derniers corps donne lieu à la formation d'hydrate de sodium qui précipite les sels de magnésium ainsi qu'il est indiqué plus haut.

$$Mg\ So_4 + Ca\ (OH)_2 + Na_2\ Co_3 = \underbrace{Ca\ Co_3 + Mg\ (OH)_2}_{\text{(Insoluble.)}} + Na_2\ So_4.$$

Les différentes méthodes d'épuration des eaux sont basées sur les réactions qui viennent d'être indiquées et il s'ensuit que la différence entre deux méthodes quelconques, pour une eau donnée, réside principalement dans la construction de l'appareil, dans le mode d'introduction du réactif et dans l'enlèvement des dépôts.

Les procédés en usage sur les différents chemins de fer sont indiqués ci-après :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	DÉTAILS DES PROCÉDÉS.	Coût en pence par 1,000 gallons (en francs par 1,000 litres).	ANALYSE DE L'EAU AVANT ET APRÈS LE TRAITEMENT. (La dureté est donnée en degrés anglais [en degrés français], les autres résultats d'analyse sont donnés en grains par gallon [en grammes par litre].)	Avant.	Après.
Buenos Ayres Great Southern Railway (République Argentine).	L'appareil « Tyacke » employé épure 2,000 gallons (9,087 litres) par heure. Le procédé consiste dans l'addition de chaux vive et de soude caustique à l'eau qui doit être épurée. La quantité de réactif et d'eau est réglée d'après la quantité à débiter par heure.	6 (0.137) Y compris le pompage.	Carbonate de calcium	10.78 (0.154)	2.52 (0.036)
			— de magnésium	7.35 (0.105)	5.74 (0.082)
			— de sodium	Rien.	7.07 (0.101)
			Sulfate de calcium	2.03 (0.029)	Rien.
			Nitrate de calcium	2.87 (0.041)	—
			Silice	2.52 (0.036)	3.08 (0.044)
			Dureté	25° (35°70)	9°8 (14°)
			Inscrustations déposées par évaporation	21 (0.300)	9.5 (0.135)
				Gramme par litre.	Gramme par litre.
Chemins de fer de l'État autrichien.	Cette administration emploie les procédés suivants : *a*) Filtre à gravier « Dervaux » ; *b*) Filtre à la fibre de bois « Desrumaux » ; *c*) « Beranger » ; *d*) « Beranger-Stingl » avec les dispositions du système « Dervaux ». Les réactifs sont composés de chaux et de soude, les précipités sont ensuite enlevés par décantation ou par filtration.	?	Carbonate de calcium	0.28916	0.00364
			— de magnésium	0.03933	0.03190
			Sulfate de calcium	0.37527	0.09131
			— de magnésium	...	...
			Dépôt total	58.94	43.47
			Dureté totale	34°03 allemands (60°27 français).	4°14 allemands (7°33 français).
			— permanente	13°50 allemands (23°91 français).	2°50 allemands (4°43 français).
Sud de l'Autriche.	L'appareil « Beranger et Stingl » est employé à Vienne, Molding et Voslaw, les réactifs utilisés étant le lait de chaux et la soude avec filtration subséquente. A Vienne, 300 mètres cubes environ sont épurés dans l'espace de 13 à 14 heures. L'appareil consiste en deux réservoirs à réactifs ayant chacun une capacité de 40 mètres cubes d'où le réactif est pompé dans une petite chambre de mélange d'une contenance de 4 mètres cubes et de là, à travers une plus grande chambre de mélange 6 mètres cubes, dans cinq filtres cylindriques de 10 à 15 mètres cubes de capacité; l'eau épurée est approvisionnée dans deux réservoirs ayant chacun une contenance de 90 mètres cubes.	kreuzer (0.0832) par mètre cube.	Chaux	0.1966	0.02
			Magnésie	0.1234	0.054
			Acide carbonique combiné	0.1868	0.0151
			Dureté totale	36° allemands (63°77 français).	9°5 allemands (16°71 français).
Société austro-hongroise privilégiée des chemins de fer de l'État.	L'appareil « Beranger et Stingl » est employé à Vienne seulement. Les réactifs sont la chaux vive et la soude caustique ou la chaux et la soude calcinée.	4 florin (0.0832) par 1,000 litres.	L'analyse a été donnée, mais l'on ne peut en tirer aucun renseignement.		
Chemin de fer Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande.	On emploie l'appareil autrichien « Stingl ». Les réactifs sont : 1° l'eau de chaux et la soude caustique pour les eaux contenant plus de carbonate que de sulfate de chaux; 2° la soude caustique seule pour les eaux qui contiennent le carbonate et le sulfate de chaux en proportions égales; 3° la chaux et la soude caustique pour les eaux contenant plus de sulfate que de carbonate. Les proportions de chaux et de soude sont calculées et pesées d'après les résultats de l'analyse.	4 à 7 kreuzer (0.0832 à 0.1456) par 1,000 litres.	*Vienne.*		
			Dureté totale	39°3 allemands (69°29 français).	11° allemands (19°43 français).
			Josefstadt.		
			Dureté totale	29°7 allemands (52°58 français).	4° allemands (7° français).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	DÉTAILS DES PROCÉDÉS.	Coût en francs par 1,000 litres.	ANALYSE DE L'EAU AVANT ET APRÈS LE TRAITEMENT. (La dureté est donnée en degrés anglais [en degrés français] et les autres résultats d'analyse sont donnés en grammes par litre.)	Avant.	Après.
État hongrois	Emploie l'appareil « Stingl-Beranger » ainsi que l'appareil « Pollacsek ». Les réactifs sont la soude et la chaux. L'appareil « Pollacsek » consiste en un réservoir d'une capacité d'environ 55 mètres cubes divisé en 2 compartiments par un plateau en bois; la partie inférieure du réservoir ayant une contenance de 14 mètres cubes, reçoit l'eau épurée. L'eau à épurer est pompée dans le compartiment supérieur et passe par un tuyau perforé dans un récipient métallique également perforé qui contient les réactifs, ceux-ci se dissolvent et tombent dans le réservoir où s'opère un brassage mécanique; le liquide passe ensuite à travers quatre filtres remplis de déchets d'éponges d'où l'eau traitée passe par un syphon dans le compartiment inférieur. (Fig. 1).	Stingl-Beranger 1 à 1.6 Kreuzer (0.029 à 0.0333) Pollacsek. 2.5 Kreuzer (0.052)	*Stingl-Beranger :*		
			Carbonate de calcium	0.242	0.016
			Sulfate de calcium	0.030	...
			Carbonate de magnésium	0.096	0.056
			Silice	0.009	0.0014
			Matières totales dissoutes	0.478	0.222
			Dureté totale	21°2 allemands (37°43 français).	4°6 allemands (8°14 français).
			Dureté permanente	1°2 allemand (2° français).	...
			Pollacsek :		
			Carbonate de calcium	0.205	0.089
			Sulfate de calcium	0.168	...
			Carbonate de magnésium	0.173	0.163
			Silice	0.013	0.011
			Matières totales dissoutes	0.778	0.680
			Dureté totale	30° allemands (53°14 français).	15°9 allemands (28°14 français).
			Dureté permanente	11° allemands (19°43 français).	...
Société Nationale des chemins de fer vicinaux (Belgique).	Sept services de cette administration ont répondu; mais le seul qui emploie un système d'épuration préalable de l'eau est la ligne d'Ixelles-Boendael. Elle a adopté le système « Dervaux » qui consiste dans le filtrage de l'eau, après que celle-ci a été traitée, par un mélange de carbonate de soude et d'eau de chaux.	0.02	Carbonate de calcium	0.240	0.005
			Carbonate de magnésium	0.030	0.020
			Sulfate de calcium	0.050	0.050
			Sulfate de magnésium	0.046	0.042
			Dépôt total	0.395	0.13
Chemins de fer de l'État français	Dans sa réponse, cette Compagnie donne la description et les dessins de trois appareils différents; cette réponse est insérée en entier. (*Voir* annexe I.) Ces trois systèmes sont : 1. Un système intermittent dans lequel, après avoir mélangé l'eau avec de la chaux et du carbonate de soude, on laisse reposer le mélange pendant 12 heures; puis on le filtre; 2. L'épurateur « Beranger-Stingl »; 3. L'épurateur « Gaillet ». Celui-ci consiste en une caisse rectangulaire garnie de chicanes qui rassemblent les dépôts et permettent de les évacuer au moyen de robinets convenablement placés.	Variable. Le coût moyen pour les matières et la main-d'œuvre est de 0 fr. 1615.	*Épurée par l'appareil Beranger-Stingl :*	Gramme par litre.	Gramme par litre.
			Carbonate de calcium	0.145	0.050
			Carbonate de magnésium	0.082	0.015
			Sulfate de calcium	0.075	0.014
			Sulfate de magnésium	0.031	0.012
			Dureté totale	31° (44°3)	8° (11°4)
			Dureté permanente	29° (41°4)	8° (11°4)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	DÉTAILS DES PROCÉDÉS.	Coût en francs par 1,000 litres.	ANALYSE DE L'EAU AVANT ET APRÈS LE TRAITEMENT. (La dureté est donnée en degrés français, les autres résultats d'analyse sont donnés en grammes par litre.)	Avant.	Après.
Paris-Orléans	*Voir* réponse complète, annexe III. Le réactif est le lait de chaux (10° Baumé) qui est mélangé avec l'eau pendant le pompage. On laisse reposer le mélange d'eau et de réactif jusqu'à ce qu'il soit devenu clair, l'eau épurée est alors extraite pour être employée.	Pour les matières et la main-d'œuvre 0.141	Dureté totale	30°	14°5
			— permanente	7°	...
			Résidu solide séché à 100° C par litre	0.480 gramme.	0.318 gramme.
			Teneur en carbonates alcalino-terreux	0.248 —	0.077 —
				Gramme par litre.	Gramme par litre.
Est français	*Voir* réponse complète, annexe V. Si la dureté n'excède pas 50°, on se sert de la soude seule; lorsque la dureté est supérieure à ce chiffre, on emploie un lait de chaux. Après avoir opéré le mélange des deux réactifs, ceux-ci sont mélangés mécaniquement avec l'eau à épurer dans la proportion de 1/25. Ce mélange se rend ensuite dans des réservoirs de décantation, d'où l'eau est recueillie à la surface au moyen d'un tuyau flottant. Cette épuration préliminaire est pratiquée dans un seul dépôt.	0.045	Résidu solide total	0.684	0.540
			Carbonate de calcium	0.303	0.086
			Carbonate de magnésium	0.134	0.113
			Sulfate de calcium	0.151	...
			Sels alcalins	...	0.271
			Dureté totale	46°2 (66°)	15°4 (22°)
			Dureté permanente	21°7 (31°)	8°4 (12°)
				Gramme par litre.	Gramme par litre.
Ouest français.	*Voir* la réponse complète et la note sur l'appareil « Desrumaux » à l'annexe IV. En général, cette Compagnie n'épure pas ses eaux d'alimentation. Mais l'appareil « Desrumaux » est à l'essai à Saint-Germain. Une description très complète de cet appareil est donnée dans la note dont il est question plus haut. Les réactifs employés sont la chaux et le carbonate de soude; le procédé est continu. *N. B.* — La dureté de l'eau non épurée atteint parfois 80° C., on se contente d'une épuration partielle si celle-ci est suffisante pour prévenir la formation des incrustations. De cette façon on évite l'emploi d'un excès de réactif.	0.088	Carbonate de calcium	0.308	0.018
			Carbonate de magnésium	0.106	0.051
			Sulfate de calcium	0.062	0.025
			— de magnésium	0.009	0.006
			Chlorures et sulfates alcalins	0.166	0.223
			Oxydes de fer et d'alumine	0.006	0.005
			Silice	0.010	0.008
			Total des matières incrustantes	0.685	0.349
			Total des matières solides dissoutes	0.760	0.374
			Dureté totale	66°	18°5
			Dureté permanente	44°	10°6
				Gramme par litre.	Gramme par litre.
Nord français	*Voir* la réponse complète et la note sur l'épuration de l'eau à l'annexe VI. Les réactifs sont le lait de chaux et le carbonate de soude « Solvay ». L'appareil consiste en réservoirs de réaction et de décantation dont les derniers servent également de réservoirs de distribution. Cette Compagnie a employé, à titre d'expérience, différents appareils du type continu.	Pour les matières, la main-d'œuvre, etc. 0.006 à 0.008.	Carbonate de calcium	0.200 à 0.400	...
			Sulfate de calcium	0 à 0.250	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	DÉTAILS DES PROCÉDÉS.	Coût en pence par 1,000 gallons (ou francs par 1,000 litres).	ANALYSE DE L'EAU AVANT ET APRÈS LE TRAITEMENT. (La dureté est donnée en degrés anglais [en degrés français] les autres résultats d'analyse sont donnés en grains par gallon [en grammes par litre].)	Avant.	Après.
Midi français	*Voir* réponse complète, annexe VII. On emploie la chaux pour les eaux qui ne contiennent que du carbonate de calcium. Elle est ajoutée directement dans le réservoir d'alimentation sous forme de chaux contenant 5 p. c. de Ca O. La décantation s'opère dans les mêmes réservoirs et la clarification est plus rapidement obtenue quand la saturation du bicarbonate de calcium n'est pas tout à fait complète. La soude caustique est moins souvent employée et seulement quand l'eau à épurer contient des sels incrustants autres que le carbonate de calcium. Le réactif est employé sous forme de solution contenant 36 p. c. de soude.	ux, 0.018 franc r 1,000 litres.	*Épuration à la chaux (94 grammes de Ca O par 1,000 litres).*	Grammes par litre.	Grammes par litre.
			Carbonate de calcium	0.175	0.045
			Carbonate de magnésium	Traces	Traces.
			Sulfate de calcium	—	—
			Sulfate de magnésium	—	—
			Matières incrustantes totales	0.165	0.027
			Total des matières solides dissoutes, séchées à 180° C.	0.226	0.094
			Dureté totale	13° (22°9)	6° (8°5)
			Dureté permanente	6° (8°5)	6° (8°5)
		ude, 1.3 franc r 1,000 litres.	*Épuration par la soude caustique (80 grammes par 1,000 litres).*		
			Carbonate de calcium	0.107	...
			Carbonate de magnésium	Traces.	...
			Sulfate de calcium	0.083	...
			Sulfate de magnésium	Traces.	...
			Matières incrustantes totales	0.155	0.062
			Total des matières solides dissoutes, séchées à 356° F.	0.242	0.200
			Dureté totale	12° (17°1)	...
			Dureté permanente	10° (14°3)	...
Great Western Railway (Angleterre).	N'emploie aucun procédé régulièrement, mais de petites installations ont été établies en deux endroits, à titre d'expérience. *Procédé 1.* — L'eau de chaux est introduite dans des réservoirs de décantation où l'eau à épurer est amenée. Les matières précipitées sont enlevées par décantation. *Procédé 2.* — L'eau de chaux additionnée de soude naturelle, en légère proportion, est introduite dans des réservoirs de décantation où l'eau à épurer est amenée. Les matières précipitées sont enlevées par décantation.	1.2 (0.0046)	*Procédé 1.*		
			Carbonate de calcium	15.0 (0.214)	2.73 (0.039)
			Carbonate de magnésium	3.43 (0.049)	...
			Sulfate de calcium	...	2.16 (0.031)
			Sulfate de magnésium	4.71 (0.067)	2.80 (0.040)
			Matières incrustantes totales	23.14 0.330)	7.69 (0.110)
			Dureté totale	24°8 (35°4)	8°4 (12°)
			Dureté permanente	8°2 (11°7)	8°2 (11°7)
		0.8 (0.018)	*Procédé 2.*		
			Dureté totale	24°2 (34°6)	2°7 (3°9)
			Dureté permanente	8° (11°4)	2°5 (3°6)
London & North Western . .	Procédé de Clark modifié par MM. Porter et Howatson. La chaux ou la chaux et le carbonate de sodium sont ajoutés à l'eau, et les matières précipitées sont enlevées par filtration ou décantation.	ur les produits chimiques ement 0.1 à 0.2 0023 à 0.0046)	Carbonate de calcium	17.3 (0.247)	1.4 (0.020)
			Carbonate de magnésium	0.8 (0.011)	0.6 (0.009)
			Sulfate de calcium	1.1 (0.016)	1. (0.014)
			Silice, alumine, etc.	0.3 (0.004)	0.1 (0.014)
			Matières incrustantes totales	19.5 (0 278)	3.1 (0.044)
			Total des matières solides dissoutes, séchées à 212° F.	23.0 (0.328)	6.5 (0.093)
			Dureté totale	21°2 (30°3)	3.6° (5°1)
			Dureté permanente	3°6 (5°1)	1.6° (2°3)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	DÉTAILS DES PROCÉDÉS.	Coût en pence par 1,000 gallons (francs par 1,000 litres).	ANALYSE DE L'EAU AVANT ET APRÈS LE TRAITEMENT. (La dureté est donnée en degrés anglais en [degrés français] les autres résultats d'analyse sont donnés en grains par gallon [en grammes par litre].)	Avant.	Après.
Midland Railway	Emploie le procédé « Archbutt-Deeley ». C'est un procédé de précipitation rapide dans lequel on emploie comme réactifs la chaux et le carbonate de sodium L'épuration s'effectue dans des réservoirs et les matières fraîchement précipitées sont brassées (au moyen d'air insufflé par des tuyaux perforés placés au fond du réservoir) avec les matières précipitées provenant des opérations précédentes. Les fines particules précipitées adhèrent aux parties plus grossières et leur décantation s'opère rapidement L'eau épurée est recueillie à la partie supérieure et les précautions nécessaires sont prises en vue de prévenir une précipitation ultérieure due à la réaction de l'hydrate de calcium et du carbonate de magnésium, laquelle n'est pas tout à fait complète à la température ordinaire. Pour la description complète, *voir* le rapport sur le procédé « Archbutt-Deeley » pour adoucir et épurer l'eau. (*Proceedings of Mechanical Engineers*, juillet 1898.)	Pour les résultats chimiques seulement varie de 0.5 à 2 (011 à 0.05).	Carbonate de calcium	8.46 (0 121)	2.47 (0.035)
			— de magnésium	1.05 (0.015)	0.21 (0.003)
			Sulfate de calcium	3.65 (0.052)	Rien.
			— de magnésium	2.89 (0.041)	1.74 (0.025)
			Matières incrustantes totales	13.16 (0.188) (1)	2.68 (0.038) (1)
			Total des matières solides dissoutes	22.30 (0.318)	14.30 (0.204)
			Dureté totale	14.7° (21°)	4°2 (6°)
			(1) Ces chiffres se rapportent exclusivement au sulfate de magnésium. (*Le rapporteur.*)		
Great Eastern Railway . . .	A établi, dans un but expérimental, une petite installation « Archbutt-Deeley »; mais jusqu'à présent il n'a encore employé aucune méthode d'épuration.				
Great Northern Railway . .	N'épure pas l'eau des locomotives, mais emploie le procédé « Howatson » pour l'eau d'alimentation des chaudières fixes à Londres. Les réactifs sont la chaux et les cristaux de soude. Le précipité est enlevé par filtration à travers des copeaux.	0.13 (0.0030)	Carbonate de calcium	14.5 (0.207)	2.0 (0.028)
			Carbonate de magnésium	1.2 (0.017)	0.8 (0.011)
			Sulfate de calcium	1.8 (0.026)	Traces.
			Total des matières solides dissoutes	20 4 (0 291)	6.3 (0.090)
			Dureté totale	16.8° (24°)	2 7° (3°9)
			Dureté permanente	2.3° (3°3)	Rien.
Taff Vale Railway.	Emploie le procédé « Porter Clark ». Les réactifs sont la soude caustique et la chaux grasse. L'eau passe dans deux réservoirs où elle est mélangée aux réactifs. On la laisse ensuite reposer pour faire précipiter le carbonate de chaux.	1.76 (0 04)	Sulfate de calcium	1.7 (0.024)	0.2 (0.003)
			Total des matières solides dissoutes	25.8 (0.368)	60.2 (0.859)
			Dureté totale	17.7° (25°3)	8.4° (12°)
			— permanente	5°3 (7°6)	0.8° 1°)
Cape Government Railways .	A adopté le système « Porter Clark » dans deux ou trois stations. Cette Compagnie ne fournit aucun autre renseignement.				
				Gramme par litre.	
Chemins de fer de la Méditerranée (Italie).	Établissent deux installations, l'une du système « Howatson » et l'autre comportant l'appareil « Desrumaux ». On emploiera comme réactifs l'eau de chaux et le carbonate de soude « Solvay » au moyen desquels on se propose d'éliminer le bicarbonate de calcium de façon à obtenir de l'eau n'ayant pas une dureté supérieure à 16° due au sulfate de magnésium. L'installation « Howatson », à Voghera, débitera 340 mètres cubes par jour. L'installation « Desrumaux », à Salerne, débitera 240 mètres cubes par jour.	Pour les réactifs seulement, 0156 lire (0.0156) par mètre cube.	*Eau de Voghera.*		
			Résidu fixe	0.557	...
			Dureté	45°	...
			Eau de Salerne.		
			Résidu fixe	0.576	...
			Dureté	50°	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	DÉTAILS DES PROCÉDÉS.	...s en francs par 1,000 litres.	ANALYSE DE L'EAU AVANT ET APRÈS LE TRAITEMENT. (La dureté est donnée en degrés français, les autres résultats d'analyse sont donnés en grammes par litre.)	Avant.	Après.
Chemins de fer de l'État néerlandais.	A Maestricht, pendant que l'eau est pompée dans le réservoir, une solution de soude est ajoutée à l'eau d'alimentation, au moyen d'une petite pompe auxiliaire, à intervalles de deux heures, et dans la proportion de 16 kilogr. par 100 mètres cubes.	17 centimes mètre cube.	Carbonate de calcium	0.268	0.082
			Sulfate de calcium	0.126	0.112
			Sulfate de magnésium	0,162	0.162
			Dureté totale	34°7 anglais (49°57 français).	...
			Dureté permanente	21° anglais (30° français).	...
Chemins de fer de Vladicaucase (Russie).	Annuellement dix stations épurent 350,000 mètres cubes d'eau. On emploie l'appareil « Beranger-Stingl », sauf une exception dans laquelle l'appareil consiste en un cylindre épurateur fermé muni de cônes. En vue d'enlever complètement les impuretés, l'eau passe ensuite à travers un système de seize filtres. Le réactif dont on se sert est la soude caustique (il n'est pas possible, avec l'appareil employé par ce chemin de fer, de se servir de chaux et de soude) pour enlever le sulfate et le bicarbonate de magnésium. Par suite de la réaction de la soude caustique et du bicarbonate de magnésium, le carbonate de sodium est produit en quantité suffisante pour éliminer une partie de sulfate de calcium qui se trouve dans l'eau. La réaction est complètement terminée dans l'espace de 3/4 d'heure à 1 heure. La contenance totale des quatre cylindres de l'appareil « Beranger Stingl » est d'environ 21 mètres cubes et l'on épure par heure de 7 à 8 mètres cubes.	13 copecks (0.12 à 0.52) 1,000 litres.	Analyse montrant l'effet de l'épuration de l'eau contenant de petites quantités de sels de magnésium.		
			Eau de la station de Bataish.		
			Résidu séché à 120° C	1.012	0.7201
			Carbonate de magnésium	0.0882	Traces.
			Carbonate de calcium	0.1286	Rien.
			Sulfate de calcium	0.2774	0.109
			Dureté totale	43°8	8°
			Dureté permanente	20°5	8°
			Carbonate de sodium	...	0.1492
			Analyse montrant l'effet de l'épuration de l'eau contenant de grandes quantités de sels de magnésium.		
			Eau de la station de Tikhorietshoe.		
			Résidu séché à 120° C	3.108	3 158
			Carbonate de magnésium	0.3192	Rien.
			Sulfate de magnésium	0,3594	0.3564
			Sulfate de calcium	0.517	0.086
			Dureté totale	106°	35°
			Dureté permanente	68°	35°
			Carbonate de sodium	...	0.4876
Chemin de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante (Espagne).	On précipite le carbonate de chaux par la chaux et l'on sépare le précipité de l'eau d'alimentation par l'appareil « Gaillet ».	...setas (0.07).	Carbonate de calcium	0.135	...
			Sulfate de calcium	0.070	0.070
			Total des matières incrustantes	0.142 (?)	0.70
			Total des matières solides dissoutes, séchées à 100° C.	0 310	0.160
			Dureté totale	31° anglais (44°29 français).	...
			Dureté permanente	16° anglais (22°89 français).	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	DÉTAILS DES PROCÉDÉS.
Southern Pacific Railway . .	Emploie un procédé basé sur les principes chimiques du procédé « Clark ». « Le procédé consiste à injecter sans pression dans la conduite principale des solutions concentrées du réactif employé provenant de réservoirs convenablement placés et reliés à la conduite principale par des tuyaux d'alimentation. » Les réservoirs contenant les solutions chimiques sont reliés, à la partie supérieure, au moyen d'une tuyauterie, à un compresseur d'air; avant d'entrer dans le réservoir, l'air traverse une valve régulatrice de pression qui est réglée de façon que le contenu des réservoirs puisse être injecté, dans la proportion voulue, dans la conduite d'alimentation d'eau. En chacun des endroits où le tuyau d'alimentation des réactifs entre dans la conduite d'eau, celle-ci est interrompue par un réservoir de plus grand diamètre dans lequel l'eau entre par le bas et sort par le haut. Ce réservoir forme en réalité un renflement de la conduite. Il est cylindrique et sa longueur est égale à quatre fois le diamètre; il est placé debout. L'intérieur est divisé en compartiments par des cloisons partielles distantes d'un pied (305 millimètres) placées alternativement, de façon que l'eau puisse circuler au-dessus et au-dessous de ces cloisons, dans son mouvement ascensionnel à travers le réservoir. Comme les réactifs plus lourds se mêlent à l'eau avant de circuler dans le réservoir, ce mouvement facilite le mélange avec l'eau et l'action chimique. L'eau dans laquelle les matières précipitées sont tenues en suspension se rend dans des réservoirs de décantation où les précipités se déposent. L'eau d'alimentation est recueillie à la surface des grands réservoirs, où l'on obtient de l'eau claire exempte de matières incrustantes. De plus amples détails sur le procédé sont donnés dans l'*Engineering News*, de New-York, du 2 décembre 1897. Les matières employées sont la chaux vive sous forme de lait de chaux épais et la soude naturelle ou le carbonate de soude en solution. (Voir fig. 2 à 8.)

Classe II

Metropolitan Railway (Grande-Bretagne).	Les locomotives sont pourvues d'un appareil de condensation dont on se sert pendant la traversée des tunnels. Par ce moyen, l'eau des soutes s'épure partiellement, la chaux se déposant dans une proportion considérable.

Station d'eau	LES QUANTITÉS SONT EN GALLONS ANGLAIS.			
	PORT LOS ANGELES, CAL.		EL PASO, TEXAS.	
Traitement par 1,000 gallons	Chaux . . . . 1.9 livres. (0.862 kil.) Soude naturelle. 2 4 livres. (1.089 kil.)		Chaux . . . . 1.0 livre. (0.454 kil.) Soude naturelle. 1.8 livre. (0.816 kil.)	
Nature de l'échantillon	Non traité.	Traité.	Non traité.	Traité
Analyse des matières en dissolution:	Grains par gallon (grammes par litre).	Grains par gallon (grammes par litre).	Grains par gallon (grammes par litre).	Grains par gallon (grammes par litre).
Carbonate de chaux	17.15 (0 245)	0.80 (0.011)	11.62 (0.166)	1.08 (0.015)
Sulfate de chaux	6.08 (0.087)	0.35 (0.005)	9.86 (0.141)	0.42 (0.006)
Carbonate de magnésie	1.46 (0.021)	7.15 (0.102)	1.68 (0.024)	2.72 (0.039)
Sulfate de magnésie	20.58 (0.294)	1.95 (0.028)	5.24 (0.075)	1.02 (0.014)
Chlorure de magnésie	Rien.	Rien.	0.90 (0.013)	Rien.
Silice	1.61 (0 023)	0.13 (0.002)	1.74 (0.025)	1.90 (0.027)
Oxydes de fer et d'alumine	0.20 (0.003)	0.20 (0.003)	0.13 (0.002)	0.27 (0.004)
Sulfates alcalins	4.27 (0.061)	33.50 (0.478)	Rien.	14.67 (0 209)
Chlorures alcalins	10.50 (0.150)	6.85	23.07 (0.329)	23.07 (0.329)
Matières solides totales (séchées)	61.85 (0.882)	50.93 (0.726)	54.24 (0.774)	45.15 (0.644)
Total des sels incrustants	47.08 (0.671)	10 58 (0.151)	31.17 (0.445)	7.41 (0.106)
Dureté permanente	21°51 (30°7)	9°38 (13°4)	13°64 (19°5)	4°34 (6°2)
— temporaire.	18°90 (27°)	1°87 (2°7)	11°55 (16°5)	1°15 (1°65)
— totale	40°41 (57°7)	11°25 (16°1)	25°19 (35°9)	5°49 (7°8)

Les analyses de l'eau de Port Los Angeles données ci-dessus ont été faites à plusieurs mois de distance. Les résultats de l'analyse de l'eau non épurée représentent une moyenne des différentes analyses, lesquelles n'ont montré qu'une légère variation d'une saison à l'autre.

Classe II.

ANALYSE DE L'EAU AVANT LE TRAITEMENT.

	N° 1. Grains par gallon (grammes par litre).	N° 2. Grains par gallon (grammes par litre).
Carbonate de chaux	7.57 (0.108)	9.74 (0.139)
Sulfate de chaux	1.89 (0.027)	3.32 (0.047)
Sulfate de magnésie	0.90 (0.013)	...
Chlorure de magnésie	...	1.42 (0.020)
Silice	0 28 (0.004)	0.16 (0.0023)
Oxydes de fer et d'alumine	0.15 (0.6021)	0.14 (0 0020)
Total des matières solides dissoutes	15.12 (0 216)	19.04 (0 272)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

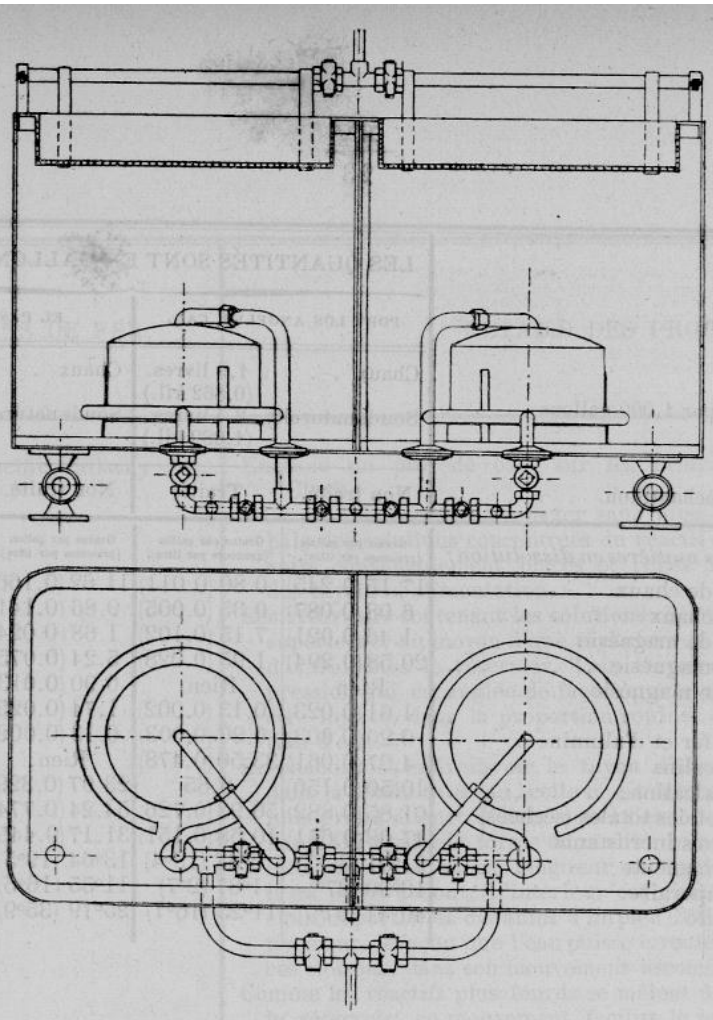


Fig. 1. — *État Hongrois.* — Purificateur.

Figs. 2 à 8. — *Southern Pacific Railway.* — Installation pour la purification de l'eau.

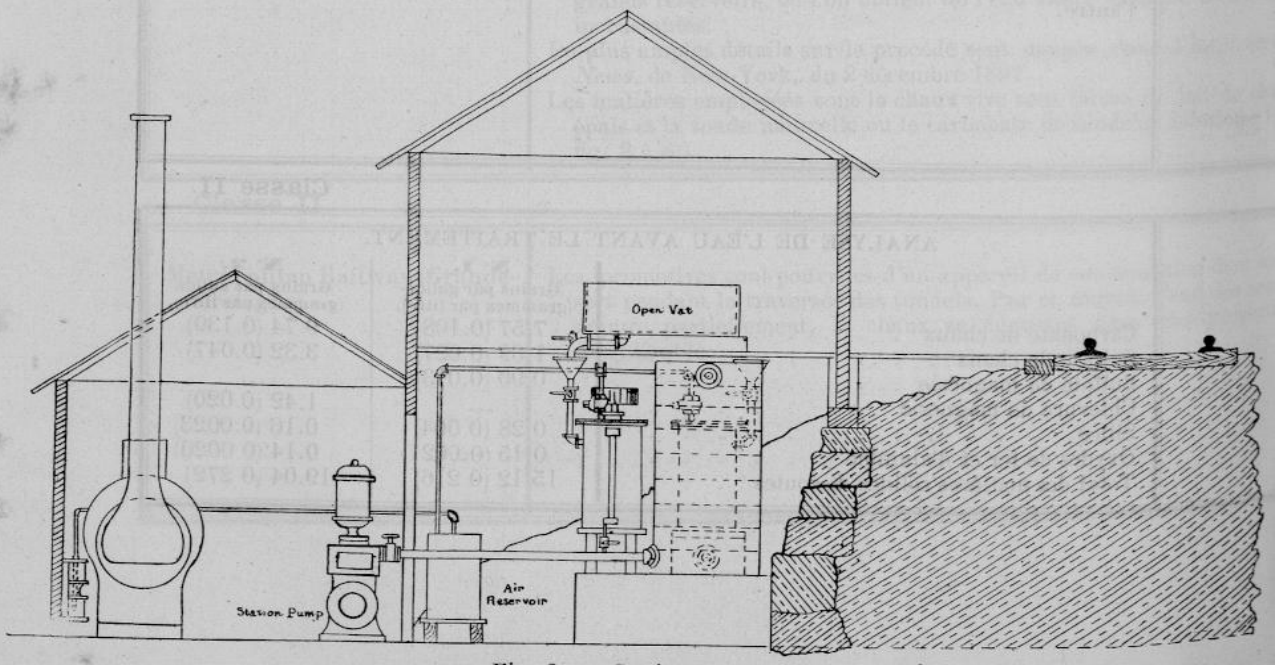


Fig. 2. — Section transversale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

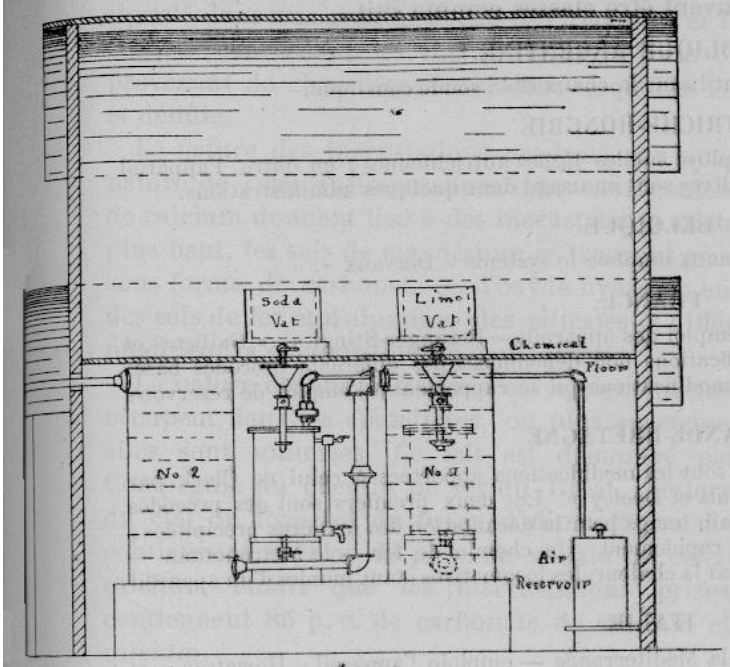


Fig. 3. — Élévation.

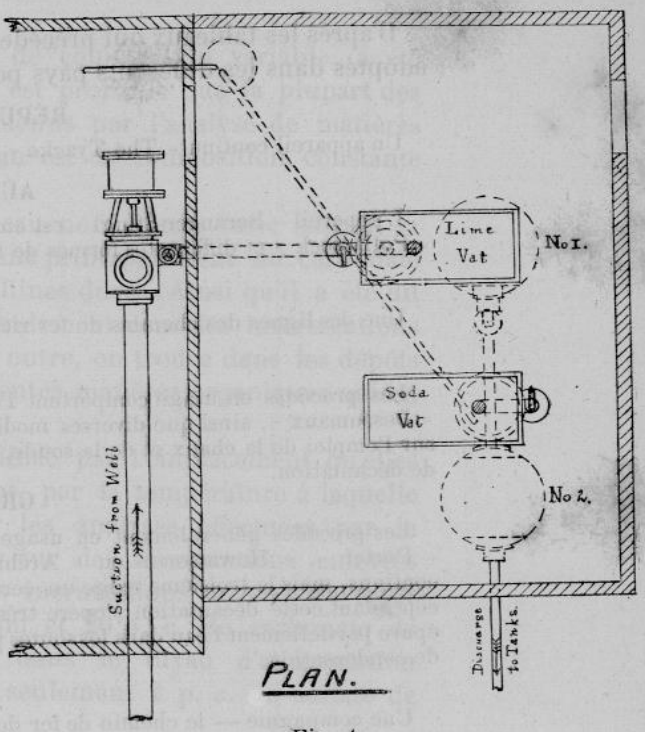


Fig. 4.

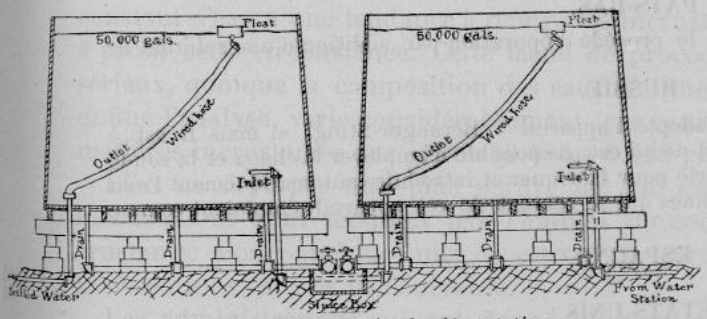


Fig. 5. —Réservoir de décantation.

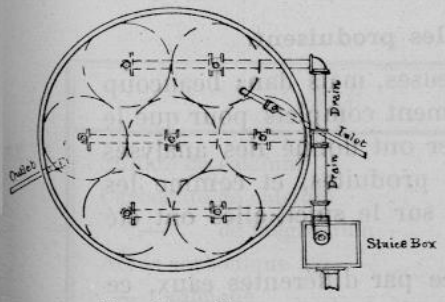


Fig. 6. — Plan.

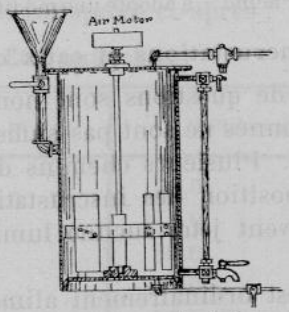


Fig. 7. — Réservoir chimique.

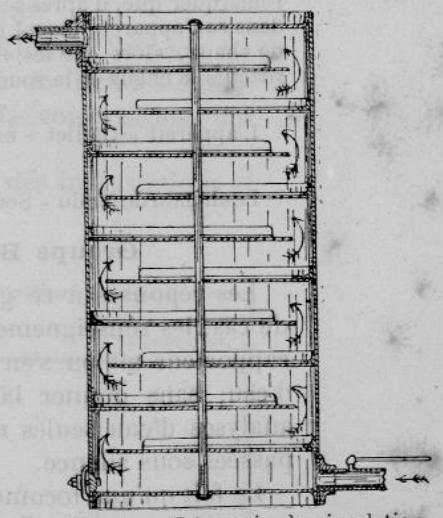


Fig. 8. — Réservoir de circulation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'après les tableaux qui précèdent, on voit que les procédés les plus généralement adoptés dans les différents pays peuvent être classés comme suit :

RÉPUBLIQUE ARGENTINE.

Un appareil continu « The Tyacke » utilisant la chaux et la soude caustique.

AUTRICHE-HONGRIE.

L'appareil « Beranger-Stingl » est employé sur les lignes autrichiennes ; en outre, l'appareil « Pollacseck » et différentes formes de filtres sont en usage dans quelques administrations.

BELGIQUE.

Une des lignes des chemins de fer vicinaux emploie le système « Dervaux ».

FRANCE.

Les procédés en usage comportent l'emploi des appareils « Beranger-Stingl », « Gaillet » et « Desrumaux », ainsi que diverses modifications non dénommées des différents procédés basés sur l'emploi de la chaux et de la soude, modifications qui se rapportent à l'emploi de réservoirs de décantation.

GRANDE-BRETAGNE.

Les procédés généralement en usage sont les modifications apportées à celui de Clark par « Porter », « Howatson » ou « Archbutt et Deeley ». Les deux premiers sont des procédés continus, mais le troisième exige un certain temps pour la décantation des matières précipitées ; cependant cette décantation s'opère très rapidement. Un chemin de fer — le Metropolitan — épure partiellement l'eau dans les soutes par la chaleur, les locomotives étant munies d'un appareil de condensation.

ITALIE.

Une compagnie — le chemin de fer de la Méditerranée — emploie l'appareil « Howatson » et l'appareil « Desrumaux ».

PAYS-BAS.

Les chemins de fer de l'État ont adopté le procédé d'épuration par addition d'une solution de soude à l'eau dans le réservoir.

RUSSIE.

Le chemin de fer de Vladicaucase a adopté l'appareil « Beranger-Stingl », mais il est à remarquer que, d'après ses déclarations, il ne lui est pas possible d'employer la chaux et la soude dans son appareil, lequel n'est pas approprié pour fabriquer et introduire automatiquement l'eau de chaux, alors que les lignes autrichiennes qui se servent de cet appareil, emploient comme réactifs la chaux et la soude caustique.

ESPAGNE.

L'appareil « Gaillet » est en usage.

ÉTATS-UNIS.

Le chemin de fer du « Southern Pacific » a adopté une modification du procédé « Porter-Clark ».

Groupe B. — Incrustations et eaux qui les produisent.

Les réponses à ce groupe de questions sont nombreuses, mais dans beaucoup de cas, les renseignements donnés ne sont pas suffisamment complets pour que le rapporteur ait pu s'en servir. Plusieurs chemins de fer ont donné des analyses d'eau, sans donner la composition des inscrustations produites, et comme les analyses d'eau seules ne peuvent jeter aucune lumière sur le sujet, elles ont été passées sous silence.

Le fait qu'une locomotive est ordinairement alimentée par différentes eaux, ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui donne lieu à la production d'incrustations de composition variable, a été signalé dans une grande partie des réponses et il est probable que la plupart des chiffres concernant les incrustations ont été obtenus par l'analyse de matières provenant de chaudières fixes, dans lesquelles l'eau est de composition constante et définie.

La nature des incrustations produite par une eau non épurée varie suivant la nature de l'eau d'alimentation. Des eaux contenant principalement du carbonate de calcium donnent lieu à des incrustations cristallines dures. Ainsi qu'il a été dit plus haut, les sels de magnésium se trouvent généralement dans les inscrustations sous forme de carbonate ou d'oxyde hydraté ; en outre, on trouve dans les dépôts des sels de fer et d'alumine, des silicates et différentes matières organiques qui en modifient la composition en conséquence.

La nature des inscrustations est également modifiée par l'emplacement qu'elles occupent dans les chaudières, ou plus exactement, par la température à laquelle elles sont soumises. Ce fait est démontré par les analyses effectuées par la Compagnie du chemin de fer du Great Western sur des incrustations enlevées du ciel du foyer et du tuyau d'alimentation. Les incrustations du ciel du foyer contiennent environ 49 p. c. de sulfate de calcium et 26 p. c. de carbonate de calcium, tandis que les inscrustations prises dans le tuyau d'alimentation contiennent 85 p. c. de carbonate de calcium et seulement 2 p. c. de sulfate de calcium.

Le chemin de fer Central Argentin déclare avoir constaté que le changement constant d'eau a une tendance à rendre les incrustations peu adhérentes, et il a mis à profit cette circonstance. Cette façon de procéder ne lui a causé aucun ennui sérieux, quoique la composition des eaux d'alimentation qu'il emploie et dont il a donné l'analyse, varie considérablement (ces eaux contiennent de 6 à 30 grains de matières incrustantes par gallon [0.086 à 0.428 gramme par litre]).

L'on ne doit pas non plus perdre de vue que la composition et l'aspect des incrustations sont modifiés par l'emploi de compositions ou de liquides désincrustants. Pour quelques-uns de ceux-ci la variation dans la composition des incrustations est très considérable.

Les administrations qui ont donné les résultats d'analyses des incrustations et des eaux qui les ont produites sont indiquées ci-après :

État autrichien.

EAU.	Milligrammes par litre.	Incrustations en pour cent.
Sulfate de calcium	126.0	44.7
Carbonate de calcium	115.0	40.0
— de magnésium	80.0	7.3
Acide carbonique	103.0	
— silicique	17.5 (Silicate de chaux, fer, alumine, etc.)	8.0

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sud de l'Autriche.

	I	II	III	IV		
Eau.	Grammes par litre.					
Matières solides.	0.410	0.490	0.760	0.440	...	...
Chaux	0.135	0.120	0.260	0.160	...	...
Magnésie	0.0576	0.070	0.062	0.024	...	...
Acide sulfurique	Traces.	0.034	0.113	0.020	...	...
Chlore	—	0.022	0.025	0.031	...	...
Dureté permanente.	6°16 allemands (10°86 français)	2°20 allemands (3°86 français)	16°20 allemands (28°57 français)	2°56 allemands (4°53 français)	...	...
Dureté totale	21°56 allemands (38°14 français)	21°80 allemands (38°58 français)	34°68 allemands (61°43 français)	19°36 allemands (24°29 français)	...	...
Incrustations.	Pour cent.				Incrustations formées par le mélange de I, II, III.	Incrustations formées par le mélange de I, II, III, IV.
Matières insolubles	7.25	5.80	6.45	...	2.50	9.15
Oxyde de fer	0.85	Traces.	0.23	...	0.28	1.32
Alumine.	3.65	0.47	3.15	...	5.22	15.18
Sulfate de calcium	3.38	0.43	60.79	.	39.61	2.95
Carbonate de calcium	36.30	62.08	12.00	...	3.53	20.35
Carbonate de magnésium . . .	48.57	9.72	15.26	...	46.86	31.05
Perte au feu.	...	21.50	...	...	... (1)	...

(1) Ces incrustations adhéraient si fortement à la tôle qu'elles n'ont pu être enlevées qu'avec la plus grande difficulté et en employant un burin.

Chemins de fer de l'État belge

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Grammes par litre.												
Analyse de diverses eaux.													
Silice	0.0114	0.0078	0.0045	0.0078	0.0068	0.0185	0.0086	0.0255	0.0195	0.0083	0.0084	0.0086	0.0170
Alumine	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022	0.0000	0.0000
Chaux	0.1556	0.1538	0.0207	0.1538	0.0805	0.1025	0.0940	0.1102	0.1344	0.1342	0.0845	0.1185	0.1458
Magnésie	0.0180	0.0190	0.0045	0.0190	0.0022	0.0125	0.0069	0.0154	0.0139	0.0132	0.0081	0.0167	0.0152
Acide sulfurique combiné	0.0462	0.0496	0.0000	0.0536	0.0076	0.0252	0.0174	0.0484	0.0622	0.0230	0.0205	0.0330	0.0341
Acide carbonique combiné	0.1133	0.0935	0.0154	0.0935	0.0550	0.0924	0.0869	0.0836	0.1078	0.0902	0.0638	0.0913	0.0979
Chlorure de sodium	0.0250	0.0716	0.0547	0.0716	0.0168	0.0392	0.0550	0.0336	0.0280	0.1120	0.0336	0.0448	0.0504
Divers	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0031	0.0087	0.0528	0.0049	0.0171	0.0070	0.0108
	0.3795	0.4053	0.0998	0.4453	0.1689	0.2912	0.3074	0.3254	0.4186	0.3863	0.2382	0.3129	0.3712
Résidu salin	0.0440	0.0401	0.0183	0.0401	0.0232	0.0369	0.0331	0.0228	0.0256	0.0463	0.0297	0.0493	0.0526
Matières organiques	0.4235	0.4454	0.0481	0.4454	0.1921	0.3281	0.3405	0.3482	0.4442	0.4326	0.2679	0.3562	0.4238
Résidu total séché à 110°	35°	44°	9°	44°	17°	25°	27°5	29°5	29°5	29°5	19°	27°	39°
Degré hydrotimétrique													
Analyse des incrustations.													
Eau	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.	P. c.
Silice	1.12	1.75	0.65	1.00	0.54	0.64	0.64	1.39	0.38	0.55	0.88	0.55	1.50
Oxyde de fer et alumine	16.36	20.83	26.46	10.62	10.78	11.50	11.25	12.05	17.13	7.10	8.14	10.62	9.65
Chaux	3.40	2.52	8.80	1.70	6.95	2.66	1.85	1.65	1.10	2.00	1.30	1.70	7.65
Magnésie	30.20	28.85	32.25	37.35	38.15	39.60	39.72	36.50	38.49	44.58	40.96	37.35	35.70
Acide sulfurique combiné	7.02	5.09	6.55	7.88	1.98	5.54	7.42	6.40	3.20	3.45	6.62	7.88	4.80
Acide carbonique combiné	10.54	16.73	1.36	10.92	1.73	7.97	1.09	14.79	14.52	2.75	4.93	10.92	5.51
Cuivre	24.86	20.46	22.55	27.50	13.11	29.70	32.56	24.31	24.20	39.37	27.50	27.50	24.86
Pertes au feu	0.32	0.05	1.12	0.02	1.08	0.12	0.02	0.68	0.98	0.20	0.12	0.02	...
Divers	2.52	...	...	...	1.43	0.49	3.15	...	...	...	7.02	...	8.57
	3.66	3.09	0.26	3.01	0.25	1.78	2.30	1.33	...	...	2.53	3.01	1.46
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Métal des tubes à fumée.													
	Fer homogène.	Fer homogène.	Fer homogène.	Fer homogène.	Fer homogène.	Laiton.	Laiton.	Laiton.	Laiton.	Laiton.	Laiton.	Laiton.	Laiton.
Nature des incrustations.													
	Les dépôts se présentent sous la forme de lamelles grises dures. Ne sont guère adhérents.		Les dépôts ne présentent sous la forme de lamelles brunes rougeâtres. Ne sont guère adhérents.	Les dépôts sont de même nature que celle indiquée aux colonnes 2 et 3.	Les dépôts sont constitués par une poussière grise, douce au toucher.	Dépôts en partie adhérents et en partie boueux.	Dépôts assez durs.	Dépôts d'une dureté moyenne.	Dépôts d'une dureté moyenne.	Dépôts peu durs.	Dépôts sans grande adhérence se maintenant à l'état boueux.	Dépôts d'une dureté moyenne.	Dépôts d'une dureté moyenne.

N. B. — Chacune des colonnes 2 à 14 de ce tableau indique l'analyse d'une eau, de l'incrustation qu'elle a produite, le métal des tubes de la chaudière et la nature de l'incrustation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Société nationale des chemins de fer vicinaux (Belgique).

EAU.		Grammes par litre.	INCRUSTATIONS.	Pour cent.
Ligne de Bruxelles à Boendael.	Résidu fixe à 100° C.	0.13	Matières organiques et eau.	6.4
	Carbonate de calcium	0.24	Silice.	17.5
	Sulfate de calcium	0.042	Sulfate de calcium.	5.9
	Sulfate de magnésium	0.05	Alumine.	11.9
	Dureté	37°	Magnésie.	3.6
			Carbonate de calcium.	46.1
			Divers.	8.4

Chemin de fer de l'Ouest français.

EAU.	Grammes par litre.	INCRUSTATIONS,	Pour cent.
Carbonate de calcium	0.308	...	85.45
Carbonate de magnésium	0.106	...	1.89
Sulfate de calcium	0.062	...	6.24
Sulfate de magnésium	0.009	...	...
Sulfates et chlorures alcalins	0.166	...	...
Oxydes de fer et d'alumine	0.006	...	0.57
Silice	0.010	...	1.20
Total des matières incrustantes	0.685	Eau de cristallisation et matières organiques.	4.65
Total des mat. dissoutes séchées à 100° C.	0.760	...	...
Dureté totale	66°	...	...
Dureté permanente	44°		

Chemin de fer de l'Est français.

EAU.	Grammes par litre.	INCRUSTATIONS.	Pour cent.
Résidu fixe à 180° C.	0.350	...	...
Carbonate de calcium	0.158	...	58·6
Sulfate de calcium	0.085	...	8·6
Carbonate de magnésium	0.039	Magnésie.	10·9
Dureté totale	27°	Matières siliceuses.	7·5
Dureté permanente.	12°	Oxydes de fer et d'alumine.	2·6

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

North Eastern Railway (Angleterre).

	I	II	III	IV
Analyses de l'eau en grains par gallon (grammes par litre).				
Résidu fixe total à 212° F. (100° C.)	219.00 (3.12)	27.00 (0.385)	34.60 (0.493)	33.80 (0.482)
Résidu fixe	162.00 (2.31)	16.00 (0.228)	18.60 (0.265)	18.00 (0.257)
Chlore dans les chlorures	3.90 (0.056)	1.20 (0.017)	2.00 (0.029)	3.60 (0.051)
Analyses du résidu fixe en grains par gallon (grammes par litre).				
Chaux	59.30 (0.846)	9.80 (0.140)	7.90 (0.103)	8.60 (0.123)
Magnésie	9.20 (0.131)	3.80 (0.054)	2.50 (0.036)	2.20 (0.031)
Anhydride sulfurique	86.20 (1.229)	0.50 (0.007)	4.90 (0.070)	1.70 (0.024)
Oxydes de fer et d'alumine	0.40 (0.006)	...	...	...
Silice	0.70 (0.010)	Chlorure de magnésie.		1.10 (0.016)
Chlorure de sodium	6.20 (0.068)	1.90 (0.027)	3·30 (0.047)	4.40 (0.063)
Analyses des incrustations produites en pour cent.				
Silice	4.42	4.31	4.53	4.25
Chaux	24.67	44.19	42.48	30.75
Magnésie	24.13	5 46	4.68	26.33
Oxydes de fer et d'alumine	1.06	1.31	2.29	1.07
Anhydride sulfurique	32.23	10.00	2.38	2.44
Acide carbonique	1.66	30.00	31.18	18.89
Eau combinée	10.84	3.66	10.70	15.61
Eau absorbée	0.99	1.07	1.76	0.66

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Great Western Railway.

EAU.	Dureté totale 19.2° F. (27°4 C.).	Dureté permanente 7.0° F. (10° C.).
Incrustations.	Ciel de la boite à feu. Grains par gallon (grammes par litre).	Tuyau d'alimentation. Grains par gallon (grammes par litre).
Carbonate de calcium	26.63 (0.380)	85.22 (1.215)
Sulfate de calcium	48.86 (0.697)	2 21 (0.032)
Hydrate de magnésium	10.79 (0.154)	4.15 (0.059)
Oyxdes de fer et d'alumine	1.34 (0.0191)	4.22 (0.060)
Silice	10.77 (0.154)	2.14 (0.031)
Chlorure de sodium	0.02 (0.000285)	0.03 (0.000428)
Matières organiques et huile (1)	1.36 (0.0194)	0.80 (0.011)
Eau (par différence)	0.23 (0.0033)	1.23 (0.018)

(1) On n'a trouvé que des traces de matières de nature oléagineuse.

Great Northern Railway.

EAU.	Grains par gallon (grammes par litre).	INCRUSTATIONS.	Pour cent.
Carbonate de calcium	14.5 (0.207)	...	39.2
Carbonate de magnésium	1.2 (0.017)	...	10.7
Sulfate de calcium	1.8 (0.026)	...	44.8
Dureté totale	16.8° (24°)	Silice, etc.	5.3
Dureté permanente.	2.3° (3°3)	...	...

London & South Western Railway.

EAU.	Grains par gallon (grammes par litre).	INCRUSTATIONS.	Pour cent.
Chaux.	8.84 (0.126)	...	8.98
Magnésie.	1.07 (0.015)	...	3.14
Soude.	8.02 (0.114)	Carbonate de calcium.	59.97
Potasse	22.50 (0.321)	Sulfate de calcium.	9.84
Oxydes de fer et d'alumine	1.79 (0.026)	...	6.84
Silice	0.82 (0.012)	...	5.23
Chlore	1.7 (0.024)	Eau et matières organiques	5.96
Acide sulfurique	6.66 (0.095)	...	...
Dureté totale	19° (27°1)	...	..
Dureté permanente.	7° (10°)	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lancashire & Yorkshire Railway.

	1	2	3	4	5	6
Analyses d'eau, en grains par gallon (grammes par litre).						
Carbonate de calcium	38.0 (0.542)	1.0 (0.014)	4.4 (0.063)	1.6 (0.023)	10.5 (0.150)	2.8 (0.040)
Carbonate de magnésium	1.5 (0.021)	0.3 (0.0043)	1.2 (0.017)	0.3 (0.0043)	8.6 (0.123)	0.9 (0.013)
Sulfate de calcium	5.5 (0.078)	0.9 (0.013)	3.1 (0.044)	1.7 (0.024)	0.5 (0.0071)	1.7 (0.024)
Sulfate de magnésium	12.6 (0.180)	0.4 (0.0057)	2.4 (0.034)	0.9 (0.013)	1.3 (0.019)	1.4 (0.020)
Chlore total.	2.6 (0.037)	1.1 (0.016)	1.5 (0.021)	0.7 (0.010)	1.2 (0.017)	1.2 (0.017)
Total des matières incrustantes.	57.6 (0.821)	2.6 (0.037)	11.1 (0.158)	4.5 (0.064)	20.9 (0.298)	6.8 (0.097)
Total des matières solides dissoutes séchées à 212° Fahr. (100° C.).	71.0 (1.013)	6.0 (0.086)	15.0 (0.214)	6.0 (0.086)	26.0 (0.371)	8.0 (0.114)
Réaction avec le tournesol	Neutre.	Neutre.	Neutre.	Neutre.	Neutre.	Neutre.
Analyses des incrustations des eaux ci-dessus, en pour cent.						
Aspect physique	Blanches et dures, analogues au n° 5 mais plus fines.	*Voir* photographie, couleur « brune ».	Poudre brunâtre.	*Voir* photographie, couleur « brune ».	*Voir* photographie couleur « grise ».	Dures, couleur brune grisâtre, analogues au n° 2.
Oxyde de calcium	38.60	18.20	9.30	0.90	28.20	38.00
Oxyde de magnésium	8.03	11.63	4.68	18.41	21.65	12.21
Matière siliceuses	2.70	13.20	5.10	31.00	14.20	7.40
Oxydes de fer et d'alumine	1.10	32.70	65 50	29.10	1.20	2.90
Anhydride carbonique	12.60	12.30	2.10	1.30	24.50	27.70
Anhydride sulfurique.	33.92	2.26	12.05	0.17	0.34	9.06
Chlorure de sodium	0.19	0.16	0.16	0.34	0.21	0.16
Matières organiques, eau d'hydratation et matières non déterminées	2.86	9.55	1.11	18.78	9.70	2.57
Composition des incrustations calculée en pour cent. Les incrustations ont approximativement la composition suivante (calculée d'après les analyses ci-dessus) :						
Sulfate de calcium.	57.6	3.8	20.4	0.3	0.6	15.4
Carbonate de calcium.	26.5	29.6	1.5	1.4	49.9	56.5
Carbonate de magnésium.	1.7	...	2.7	1.3	4.8	5.4
Hydrate de magnésium	10.4	16.8	4.9	24.7	28.0	13.9
Matières siliceuses	2.7	13.2	5.1	31.0	14.2	7.4
Oxydes de fer et d'alumine	1.1	32.7	65.5	29.1	1.2	2.9
Matières organiques	...	...	...	12.2	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Great Eastern Railway.

ANALYSES DE QUATRE ÉCHANTILLONS D'EAU ET D'INCRUSTATIONS
RECUEILLIES DANS LES CHAUDIÈRES DANS LESQUELLES CES EAUX ONT ÉTÉ EMPLOYÉES.

EAU.	1	2	3	4
	Grains par gallon (grammes par litre).			
Total des matières solides en dissolution	20.720 (0.296)	31.640 (0.451)	27.440 (0.391)	28.420 (0.405)
Consistant en :				
Matières organiques, eau combinée, etc.	4.200 (0.060)	4.760 (0.068)	6.160 (0.088)	5.320 (0.076)
— minérales	16.520 (0.236)	26.880 (0.383)	21.280 (0.303)	23.100 (0.329)
Les matières minérales consistant en :				
1. Sels produisant la « dureté temporaire » (carbonates de calcium et de magnésium)	8.680 (0.124)	0.280 (0.004)	1.960 (0.028)	14.700 (0.210)
2. Sels restant après que l'on a fait disparaître la « dureté temporaire » (sulfates de calcium et de magnésium chlorure de sodium, silice, etc.)	7.840 (0.112)	26.600 (0.379)	19.320 (0.276)	8.400 (0.120)
	16.520 (0.236)	26.880 (0.383)	21.280 (0.303)	23.100 (0.330)
Chlore combiné	1.242 (0.018)	4.423 (0.033)	4.572 (0.065)	1.988 (0.028)
(Égal au sel)	2.047 (0.029)	7.289 (0.104)	7.535 (0.107)	3.276 (0.047)
Réaction de l'eau après concentration pour expulser le gaz acide carbonique	Alcalinité égale à 0.297 grains p^r gallon (0.0042 gram. par litre) de carbonate de sodium.	Alcalinité égale à 0.890 grains p^r gallon (0.0127 gram. par litre) de carbonate de sodium.	Alcalinité égale à 0.816 grains p^r gallon (0.012 gram. par litre) de carbonate de sodium.	Alcalinité égale à 0.519 grains p^r gallon (0.0074 gram. par litre) de carbonate de sodium.
Nitrates et nitrites. Azote =	0.186 (0.0027)	0.198 (0.0028)	0.238 (0.0034)	0.229 (0.0033)
Dureté temporaire	8° (11°4)	...	1 3/4° (2.5°)	13° (18.6)
— permanente	6° 1/4 (8°9)	14° 1/2 (20°7)	14° (20°)	5° (7°1)
— totale	14° 1/4 (20°3)	14° 1/2 (20°7)	15° 3/4 (22°5)	18° (25°7)
	Incrustations de la chaudière, en pour cent.			
Eau d'hydratation	2.12	1.25	2.85	0.70
Matières organiques et eau combinée	4.38	7.01	5.77	1.02
Carbonate de calcium	18.96	...	35.57	44.21
— de magnésium	0.82	4.25	2.48	2.19
Sulfate de calcium	26.31	56.44	22.80	39.69
— de magnésium	...	0.67	...	...
Oxyde de magnésium	18.10	21.55	15.72	6.20
Silice	10.40	3.36	6.84	2.96
Oxydes de fer et d'alumine	15.40	1.30	4.20	0.30
Matières non estimées	3.51	4.17	3.77	2.73
	100.00	100.00	100.00	100.00

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 9 à 11. — *Lancashire & Yorkshire Railway.*

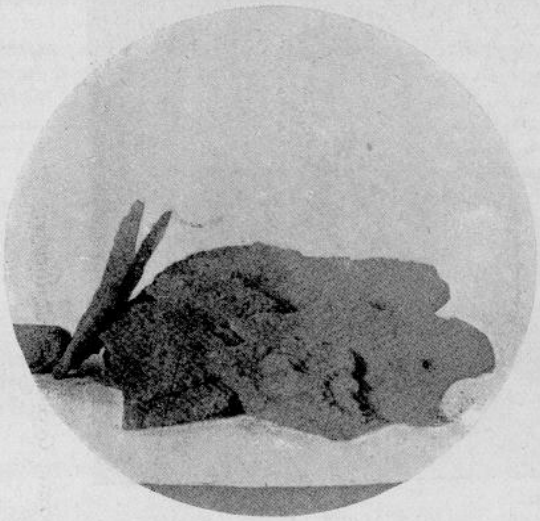


Fig. 9. — Incrustation nº 2.

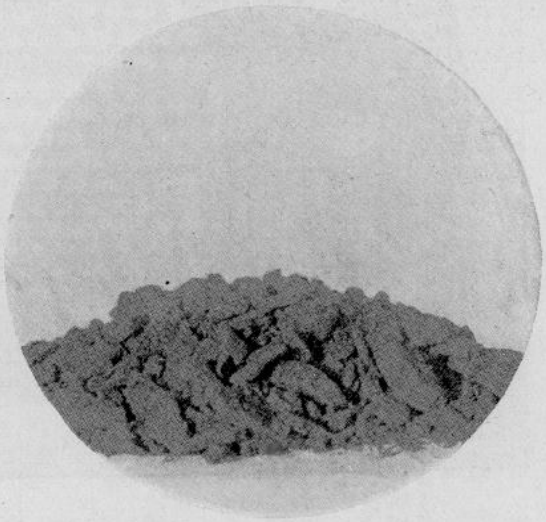


Fig. 10. — Incrustation nº 4.

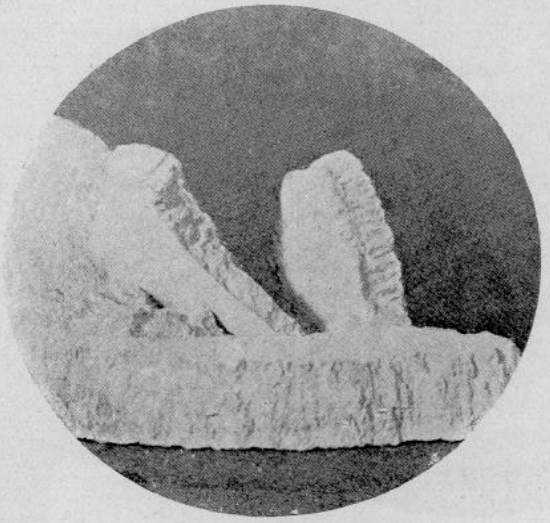


Fig. 11. — Incrustation nº 5.

Imprimé chez P. Weissenbruch.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

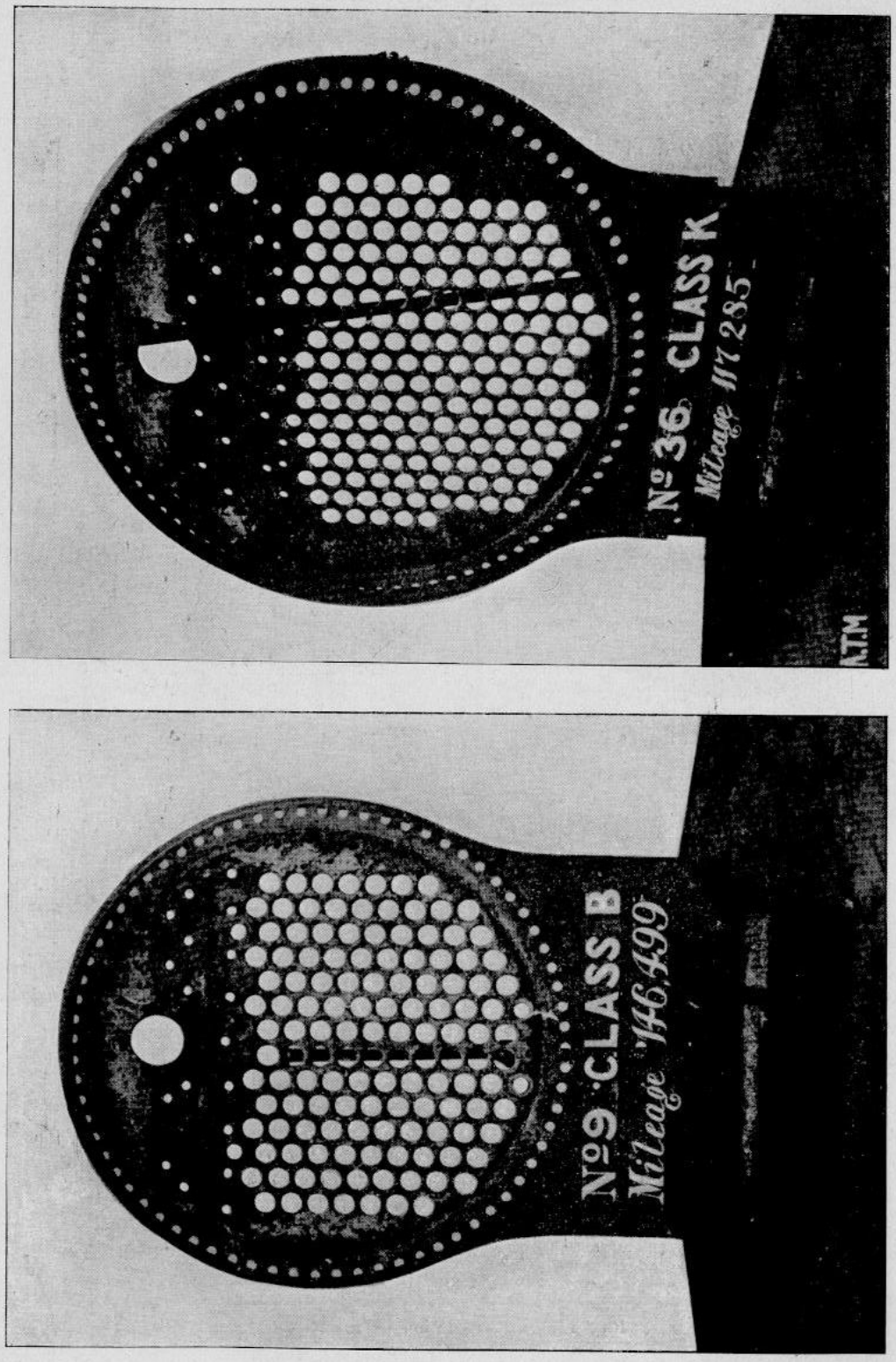


Fig. 12. — *Western Australia Government Railways.*

Imprimé chez P. Weissenbruch.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Western Australia Government Railways.

EAU.	Grains par gallon. (Grammes par litre).	INCRUSTATIONS.	Pour cent.
Chaux.	2.31 (0.033)	...	44.00
Magnésie.	3.13 (0.045)	...	4.40
Oxydes de fer et d'alumine . .	20.23 (0.289)	..	14.10
Sels alcalins	28.04 (0.400)	...	..
Chlore	45.64 (0.651)	Chlorure de sodium.	1.50
Sulfates	1.40 (0.020)	...	27.78
Carbonates	19.25 (0.275)	...	16.00
Dureté	15° (21°4)	...	..

État roumain.

EAU.	I	II	INCRUSTATIONS	I	II
	Gramme par litre.			Pour cent.	
Sulfate de calcium . .	0.098	0.289	Sulfate de calcium . . .	2.70	18.20
Carbonate de calcium . .	0.198	0.161	Carbonate de calcium . .	52.53	33.60
Carbonate de magnésium .	0.029	0.075	Carbonate de magnésium .	24.89	9.45
			Oxydes de fer et d'alumine	8.30	3.90
Matières incrustantes . .	0.325	0.525	Résidu insoluble. . . .	5 58	18.86
			Chlorure de sodium. .	3.17	12.70
			Eau	1.98	1.80
Chlorure de sodium . . .	0.035	0 304	Matières non estimées .	0.85	1.49

Chemins de fer de Vladicaucase (Russie).

EAU.	I	II	INCRUSTATIONS	I	II
	Gramme par litre.			Pour cent.	
Carbonate de magnésium .	0.2163	0 1172	Sulfate de calcium . . .	7.19	55.37
Sulfate de magnésium . .	0.0366	...	Carbonate de calcium . .	...	31.2
Carbonate de calcium . .	...	0.1756	Carbonate de magnésium .	3.89	...
Sulfate de calcium . . .	0.5798	0.291	Hydrate de magnésium. .	21.2	4.5
			Silice	1.8	2.8

Groupe C. — Moyens de prévenir les incrustations par l'emploi des désincrustants.

Pour prévenir les incrustations, on introduit différentes compositions soit dans la chaudière après le lavage, soit dans le tender ou la soute à eau de la locomotive. Ces compositions varient considérablement et agissent de deux façons, chimiquement ou mécaniquement. La plus grande partie des compositions employées consistent en carbonate de sodium ou contiennent une certaine quantité de ce sel,

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont l'action est de convertir le sulfate de calcium qui se trouve dans l'eau (et qui produit des incrustations dures) en carbonate de calcium qui se précipite sous forme d'une masse boueuse. La soude caustique est parfois employée soit seule, soit avec d'autres sels de sodium. La soude caustique se combine avec tout l'acide carbonique libre qui existe dans l'eau et se transforme en carbonate de sodium qui agit sur le sulfate de calcium de la façon indiquée plus haut. Elle agit également sur les sels de magnésium qui existent dans l'eau en les précipitant sous forme d'hydrate, pourvu que l'on ait ajouté une quantité suffisante de soude caustique.

L'emploi des différents sels de sodium est limité, parce que les produits solubles de la réaction (généralement le sulfate de sodium) qui restent en solution dans la chaudière produisent des projections d'eau surtout dans les locomotives.

Outre ces désincrustants salins, on emploie d'autres composés de diverses substances organiques. Sur une des lignes belges on utilise la pomme de terre, mais, le plus généralement, ces substances organiques consistent en tannate de soude ou en tanin sous forme d'extrait de bois de quebracho, etc., avec du carbonate de sodium, etc. Ces compositions à base de tanin sont le plus en faveur sur les lignes argentines et françaises. Une composition consistant en une infusion de feuilles d'eucalyptus est en usage sur les lignes du gouvernement de la Nouvelle-Zélande.

Le pétrole est employé par plusieurs lignes, principalement par les chemins de fer russes et autrichiens; il agit mécaniquement en empêchant l'adhérence des matières précipitées, chaque particule s'enduisant d'une mince couche d'huile.

Les différentes compositions dont il est question dans les rapports sont les suivantes :

Carbonate de calcium.

Le chemin de fer Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande ajoute de la soude à l'eau des réservoirs dans trois stations et de la soude caustique dans une autre.

Le chemin de fer de Paris a Lyon et a la Méditerranée introduit dans la soute à eau du tender une solution saturée, dans la proportion d'un litre par mètre cube d'eau; mais il se propose de régler la quantité de soude ajoutée, suivant la quantité de sulfate de calcium contenue dans chaque eau.

Le « London & South Western Railway » emploie une solution de cristaux de soude.

Le chemin de fer de la Méditerranée (Italie) ajoute du carbonate de sodium (95 p. c.) dont la quantité est déterminée par la méthode de M. Rossel.

Les chemins de fer de l'État néerlandais introduisent dans la chaudière, après chaque lavage, une composition formée principalement de sel de soude.

Les chemins de fer de Vladicaucase (Russie) emploient de la soude calcinée (98 p. c Na_2Co_3) pour les chaudières verticales des stations d'alimentation. Les incrustations sont pulvérulentes et s'enlèvent facilement par le lavage; elles consistent en carbonate de calcium et en hydrate de magnésium.

Le chemin de fer Central suisse introduit dans la chaudière, après chaque lavage, une quantité déterminée de soude « Solvay ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le « New York, New Haven & Hartfort Railroad » emploie la soude naturelle pour les chaudières fixes, là où les eaux donnent lieu à une accumulation rapide d'incrustations.

« Lehigh Valley Railroad ». — A l'extrémité occidentale de la ligne, cette Compagnie emploie de la soude naturelle pour épurer l'eau destinée à l'alimentation des locomotives. Le coût est d'environ 0.5 pence par 1,000 gallons (0.0114 franc par 1,000 litres).

Société nationale des chemins de fer vicinaux (Belgique). — Les lignes de Gand à Saffelaere et Gand-Zele-Hamme introduisent un litre de désincrustant tous les quatre jours de feu. Ce désincrustant a été analysé et on a trouvé qu'il consiste en 10.23 grammes de carbonate de sodium (anhydre) par 100 centimètres cubes, ce qui correspond à 27.60 grammes de « sel de soude » par 1,000 mètres cubes. Ce liquide judicieusement employé n'attaque ni les tôles de fer ni celles de cuivre

Hydrate de sodium.

Le chemin de fer Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande ajoute de la soude caustique à l'eau des réservoirs dans une station et de la soude dans trois autres.

Le chemin de fer privilégié de l'État austro-hongrois emploie une solution alcaline.

Le « North British Railway » emploie un mélange de 1 cwt. 70 twadel de soude caustique pour 2 cwts d'eau.

Mélanges de carbonate et d'hydrate de sodium.

Le chemin de fer de Lancashire & Yorkshire emploie une solution concentrée de carbonate de sodium à laquelle il ajoute environ 24 livres d'hydrate de sodium par tonne (11 kilogrammes par tonne métrique). Cette solution est introduite dans la chaudière après chaque lavage et quelquefois dans les soutes à eau de la locomotive ou du tender; la quantité utilisée varie suivant la nature de l'eau.

Les chemins de fer du gouvernement de la Nouvelle-Galles du Sud emploient la composition suivante :

3,750 gallons (17,038 litres) d'eau;
2,600 livres (1,179 kilogrammes) de soude caustique;
1,600 livres (726 kilogrammes) de soude naturelle.

Une petite quantité de ce mélange est introduite dans chaque tender avant que la locomotive quitte la remise.

Mélanges de silicate de sodium et de carbonate de sodium ou d'hydrate de sodium.

Les chemins de fer de l'État belge emploient un mélange composé de :

Eau	33	p. c.
Silicate de sodium	22·57	—
Carbonate de sodium	44·10	—

Le « Midland Railway » emploie une composition pour les chaudières de locomotives, mais pour les chaudières fixes il utilise de la soude caustique et du silicate de soude; quelquefois les tôles grêlées sont enduites au pinceau d'huile minérale.

Tannate de sodium.

Le « Caledonian Railway » a employé du tannate de soude.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quebracho.

Le « Buenos Ayres Great Southern Railway » se sert d'une poudre fabriquée qui contient environ 54 p. c. de tannin et qui est probablement préparée au moyen de bois de *Quebracho colorado* Elle donne des résultats très satisfaisants, particulièrement pour empêcher les projections d'eau. Depuis son introduction les mises hors feu en cours de route ont pratiquement disparu. Il en est résulté une économie de combustible et les trains ont mieux respecté les horaires. Ce désincrustant est mélangé à l'eau dans un baquet et introduit, par les injecteurs, lorsque l'eau se montre laiteuse, dans l'indicateur d'eau et quand les projections d'eau commencent.

Le chemin de fer Central argentin emploie une poudre fabriquée, laquelle, d'après ce que l'on suppose, consiste principalement en sciure de quebracho; elle contient probablement de la potasse. C'est un puissant désincrustant et l'on a constaté que son emploi permet d'espacer plus considérablement les lavages et que, dans quelques cas, il réduit les projections d'eau.

Les chemins de fer de l'État hongrois emploient quelquefois une lessive de quebracho préparée comme il est indiqué ci-après. Pour obtenir 1,000 litres de lessive, on fait bouillir, avec la quantité d'eau nécessaire, un mélange de 200 kilogrammes de sciure de quebracho et de 50 kilogrammes d'une solution de soude caustique à 80 p. c.

Ils ont employé la soude sur une grande échelle et ils versent en même temps de l'huile minérale dans la chaudière pour empêcher l'adhérence des dépôts.

Ils ont essayé également un anti-incrustant contenant de la soude et de l'acide tannique, ainsi qu'un extrait de tanin, simultanément avec la soude.

Le chemin de fer de l'Ouest français a adopté un désincrustant liquide fabriqué de la manière suivante :

Sciure de quebracho	24 kilogrammes.
Soude caustique	12 —

Ces matières sont mises dans une chaudière de 100 litres de capacité, on ajoute de l'eau et le tout est soumis à l'ébullition pendant trois heures. On soutire le liquide après l'avoir laissé reposer une heure. Une quantité d'eau égale à celle déjà utilisée est versée sur le résidu, et après trois heures d'ébullition, le liquide est soutiré comme dans l'opération précédente. Les liquides ainsi obtenus sont ensuite mélangés; après refoidissement, le mélange marque de 11° à 12° Baumé.

Au chemin de fer du Midi français, où l'épuration au moyen de la soude et de la chaux n'a pas donné des résultats satisfaisants, on emploie un extrait de bois de quebracho dans la proportion de 0.175 gramme de tanin pour 1 gramme de chaux ou de magnésie combinées contenues dans 1,000 litres d'eau vaporisée.

Le chemin de fer du Sud de la France fait usage d'un désincrustant préparé de la façon suivante :

Eau	100 litres.
Sciure de quebracho	24 kilogrammes.
Soude caustique	12 —

Ces matières sont soumises à l'ébullition pendant trois heures et le liquide est soutiré après décantation. Après refroidissement, il marque de 11° à 12° Baumé. 400 grammes de cette préparation sont introduits dans la chaudière, après chaque lavage, et 350 grammes dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soutes à eau, après un parcours de 100 kilomètres. Le coût par 1,000 litres d'eau traitée est de 5 centimes environ.

Compositions à base de campêche.

Les chemins de fer de l'État français introduisent, partie dans la chaudière et partie dans les soutes à eau du tender, un liquide composé comme suit :

Copeaux de bois de campêche	130 kilogrammes.
Carbonate de soude.	150 —

Ces quantités sont bouillies dans 1,000 litres d'eau. La quantité de liquide nécessaire est calculée à raison de 0.0156 kilogramme par mètre cube d'eau vaporisée et par degré hydrotimétrique.

Le chemin de fer de Madrid a Saragosse et a Alicante essaie en ce moment le bois de campêche mélangé à une solution de carbonate de soude.

Mélanges contenant des extraits de quebracho et de campêche.

La ligne de Bruxelles a Ixelles-Boendael de la Société nationale des chemins de fer vicinaux (Belgique) introduit dans les chaudières, après chaque lavage, 2 ou 3 litres du mélange suivant :

Carbonate de soude.	13
Copeaux de bois de campêche	15
Sciure de bois de quebracho	5

Le chemin de fer de Paris-Orléans répond à cette question d'une manière très complète (*voir* réponse à l'annexe III). Il a trouvé que la composition suivante est la meilleure, comme liquide désincrustant :

Carbonate de soude	50	
Orseille en pâte	80	
Bois de campêche et de quebracho. . .	80	$^3/_4$ d'extrait de bois de campêche. $^1/_4$ d'extrait de bois de quebracho.

L'on ajoute de l'eau en quantité suffisante pour que le liquide, après une ébullition prolongée dans un récipient conique chauffé à la vapeur, marque 8° à 10° au pèse-sel. Par suite de la difficulté de se procurer l'orseille à bon marché, la composition ci-dessus a été modifiée comme suit depuis quelque temps :

Eau. — La quantité nécessaire pour amener le liquide à 8 ou 10° au pèse-sel après une ébullition, comme dans le cas précédent.

Carbonate de soude.	60
Bois de campêche	75
Bois de quebracho	25

Ces compositions sont introduites dans la chaudière après chaque lavage et journellement dans le tender.

Pour les proportions employées, *voir* à l'annexe III la réponse à la question 7 On reconnaît que la quantité employée est convenable quand, au lieu d'incrustations, on n'enlève de la chaudière, par le lavage, que des matières boueuses; d'un autre côté, on reconnaît l'excès de désincrustant, lorsque des projections d'eau se produisent pendant la marche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Extraits de châtaignier.

Les chemins de fer de l'État français se servent d'un liquide dont la composition est la suivante :

Carbonate de soude (en poudre)	10 kilogrammes.
Extrait de châtaignier	12 —
Eau	78 —

L'extrait de châtaignier marque 25° Baumé et contient, en moyenne, 40 p. c. de matières fixes, dans lesquelles le tanin entre pour 30 p. c.

On introduit généralement dans le tender, par jour de feu, 2 litres de ce liquide; en outre, on en introduit directement 4 litres dans la chaudière après chaque lavage. Cette opération se fait généralement après neuf à dix jours.

Jusqu'à présent, cette manière de procéder a donné de bons résultats.

Pétrole et autres huiles minérales.

Le chemin de fer autrichien Nord Empereur Ferdinand a essayé d'injecter du pétrole dans la chaudière avant de la remplir d'eau, mais il a abandonné ce procédé qui ne lui a pas donné satisfaction.

Les chemins de fer de l'État hongrois, outre la lessive de quebracho (*voir* plus haut), emploient de l'huile minérale avec de la soude en vue d'empêcher l'adhérence des dépôts.

La ligne de Deynze a Audenarde de la Société nationale des chemins de fer vicinaux (Belgique) injecte $^1/_2$ litre de pétrole dans la chaudière, après le lavage et avant d'y introduire l'eau. Elle emploie également un désincrustant à base de soude dans la proportion de 1 litre pour 1,600 litres d'eau.

La ligne d'Anvers-Brasschaet a la frontière injecte un demi-litre de pétrole par jour. Elle emploie également un mélange de carbonate et d'hydrate de sodium, mais la quantité nécessaire est trop forte et corrode les tôles de la chaudière. Le coût, comprenant le prix du désincrustant et celui du pétrole, est d'environ un demi-centime par 1,000 litres d'eau consommée.

La ligne d'Anvers-Santvliet-Lillo emploie le pétrole.

Pommes de terre.

La ligne de Bruges a Swevezeele de la Société nationale des chemins de fer vicinaux (Belgique) introduit dans la chaudière de 1 à 1 $^1/_2$ kilogramme de pommes de terre après chaque lavage, ce qui rend les incrustations et les dépôts moins adhérents.

Eucalyptus.

Les chemins de fer du gouvernement de la Nouvelle-Zélande, où l'eau est dure, emploient une forte infusion de feuilles d'eucalyptus; un gallon environ de l'infusion est introduit dans la chaudière après chaque lavage hebdomadaire.

Le « North-Eastern Railway » (Angleterre) emploie une préparation dont la composition n'est pas donnée.

Le chemin de fer du Nord de Milan (Italie) emploie une préparation dont la composition n'est pas donnée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les chemins de fer du gouvernement de l'Australie occidentale ont essayé diverses préparations composées principalement d'extraits de différentes écorces ou de solutions de tannates de soude. Aucune n'a donné toute satisfaction, aussi n'emploie-t-on plus actuellement aucune préparation bien déterminée.

Les « Southern Pacific Railways » ont essayé un grand nombre de compositions liquides et semi-liquides consistant principalement en un mélange de matières organiques avec la soude caustique ou carbonatée, le tanin, le sucre, les huiles et les acides organiques.

Ils ont trouvé que certains de ces mélanges ont quelque valeur pour les chaudières fixes, mais dans le cas des chaudières de locomotives, aucune de ces compositions n'a donné des résultats satisfaisants. Quoique ne possédant aucune donnée positive à cet égard, ils ont été amenés à supposer que les matières organiques contenues dans ces préparations ont une tendance à se décomposer dans la chaudière, ce qui augmente la corrosion des tôles.

Avant d'abandonner cette question, le rapporteur serait désireux d'attirer l'attention sur ce point, que l'emploi d'un désincrustant, et même d'une eau épurée au préalable, peut parfois être considérée, à tort, comme nuisible, par suite du coulage des joints. Quand un désincrustant est employé pour la première fois, le coulage est généralement causé par la disparition des incrustations qui se sont déposées aux endroits où on le constate et non à une action quelconque du désincrustant sur le métal. Ce coulage est souvent constaté quand on emploie, pour la première fois, une préparation désincrustante dans une chaudière contenant beaucoup d'incrustations; mais le coulage cessera lorsque la chaudière aura été parfaitement nettoyée et que les joints auront été remis en bon état.

L'emploi d'une solution alcaline est également avantageuse avec les eaux ne contenant qu'une faible proportion de matières incrustantes et dans lesquelles il existe souvent des acides organiques; la solution alcaline neutralise ces acides et prévient la corrosion des tôles et des tubes, laquelle se produirait rapidement, car, dans ce cas, les tôles et les tubes ne sont pas protégés par une couche d'incrustations.

De l'avis du rapporteur, il est avantageux dans les endroits où l'on se sert d'eaux de l'espèce (généralement les eaux provenant de terrains marécageux sont exemptes de matières minérales), d'alimenter d'abord la locomotive avec une eau qui produit de minces incrustations dures, lesquelles forment un revêtement protecteur des tôles et des tubes et préviennent, dans une large mesure, l'action corrosive des eaux plus pures employées dans la suite.

Groupe D. — Questions relatives au grêlage et à la corrosion des chaudières.

Les questions de ce groupe sont au nombre de six. Trois d'entre elles se rapportent directement au grêlage (8, 9 et 10); les trois autres ont rapport aux matières que l'on suppose pouvoir provoquer le grêlage et la corrosion dans certaines circonstances.

Ces questions se rapportent aux métaux entrant dans la construction du corps de la chaudière, des tubes, de la boîte à feu (12), à la position du tuyau d'alimentation

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(soit au-dessous, soit au-dessus du plan d'eau), aux matières employées à la lubrification des cylindres.

En ce qui concerne cette dernière question, beaucoup d'administrations en ont évidemment mal compris la portée et ont répondu en donnant les détails des appareils lubrificateurs qu'ils emploient. Comme la question n'avait pas cette portée, les renseignements en question n'ont pas été insérés.

Grêlage et ses causes probables. — La plupart des administrations qui ont répondu à ces questions ont l'expérience du grêlage et de la corrosion des chaudières ou des tubes, soit des deux en même temps, et dans la majorité des cas les causes auxquelles cette action est attribuée sont analogues; celles qui sont le plus généralement mentionnées sont les suivantes :

a) Présence dans l'eau d'acides et de corps tels que le chlorure de magnésium, lequel se décompose aux températures élevées avec formation d'acide libre.

Le grêlage dû à cette cause s'observe le plus fréquemment dans les chaudières exemptes d'incrustations, et ainsi qu'il a été dit plus haut, une mince couche d'incrustations protégerait, dans une large mesure, le métal contre la corrosion.

b) Présence dans l'eau, de l'air et de gaz en dissolution (par exemple l'acide carbonique).

Le grêlage dû à ces causes doit se présenter le plus probablement dans le voisinage de l'endroit où s'opère la décharge du tuyau d'alimentation, car les gaz, chassés par l'ébullition, peuvent seulement agir pendant un court espace de temps. C'est pourquoi, lorsque l'on observe en ce point un grêlage considérable, celui-ci doit-il être attribué à la présence dans l'eau de gaz dissous.

c) Action galvanique.

Cette action peut se produire de différentes manières, mais il est probable qu'elle résulte en général de la présence de quelque substance étrangère qui est électro-négative par rapport au fer dans lequel elle est incrustée; le fer, formant le pôle électro-positif de cet élément, produit une oxydation autour de cette substance, ce qui donne naissance au grêlage.

Lorsque le grêlage a commencé, il s'accentue par suite de l'action galvanique qui s'exerce entre le métal et le fer déjà oxydé. Pour cette raison, le chemin de fer du Midland, au moment où le grêlage se montre, opère le nettoyage des piqûres de façon à enlever toute trace d'oxyde; ensuite, il enduit d'huile minérale tous les endroits grêlés.

On a supposé que les métaux différents composant les diverses parties de la chaudière peuvent produire une action galvanique et donner lieu aux corrosions qui en sont la conséquence; la réponse du chemin de fer Central Argentin a confirmé cette opinion.

d) Altérations locales du métal provenant des opérations telles que l'emboutissage, le poinçonnage, etc., ainsi que des efforts mécaniques qui s'exercent pendant le fonctionnement de la chaudière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Beaucoup de personnes supposent que c'est là une cause de corrosion.

e) Frottement produit par les tringles de nettoyage.

Les « New South Wales Government Railways » et l' « East Indian Railway » attribuent à cette cause les corrosions qu'ils ont constatées ; l'ingénieur en chef de la traction de cette dernière ligne s'exprime comme suit à ce sujet :

« A mon avis, ces avaries sont dues dans une large mesure aux tringles de « nettoyage ; ceci est certainement le cas pour les corrosions en forme de sillon qui « se produisent près du cadre du foyer, et je crois pouvoir aisément démontrer que « le grêlage dans le corps de la chaudière est dû à une cause analogue. »

f) Présence de graisse ou d'huile grasse.

Ceci ne se présente probablement que dans les chaudières dont l'eau d'alimentation est chauffée par la vapeur d'échappement provenant des cylindres ou lorsque l'on marche à contre-vapeur dans les locomotives qui ne sont pas munies d'une soupape de contre-pression ; dans ce cas, les lubrifiants des cylindres sont refoulés dans la chaudière. Lorsque ces lubrifiants contiennent des matières grasses, ils sont très sujets à produire des corrosions, parce que les huiles grasses et les graisses sont décomposées par l'action de la vapeur surchauffée en glycérine et acides gras libres qui attaquent le fer auquel ils se combinent pour former des savons ferrugineux. L'huile minérale ne se décompose pas de cette façon, et, par conséquent, les locomotives dont les cylindres sont uniquement lubrifiés au moyen d'huile minérale ne présentent pas cette forme de grêlage.

g) Action du fer sur l'eau aux températures élevées.

Le chemin de fer de l'Est français pense que c'est là une cause de corrosion et, d'après lui, cette action se produit au-dessus de 100° C. Il y a une divergence d'opinion quant à la facilité relative avec laquelle s'opère la corrosion de l'acier et du fer.

Par exemple, le chemin de fer de l'Est français dit que « les tôles d'acier semblent être moins sujettes au grêlage que les tôles de fer », tandis que le chemin de fer « Central Argentin » trouve que « les récentes chaudières en acier montrent des « signes de grêlage beaucoup plus rapidement que les chaudières en fer Low Moor « des anciennes locomotives dont quelques-unes, après trente années, sont encore « capables de faire le service en réduisant la pression ».

Le chemin de fer du « Southern Pacific » mentionne également que les locomotives qui actuellement marchent à une pression de vapeur de 180 livres (12.66 kilogrammes par centimètre carré), présentent plus de corrosion et de grêlage que celles dont la pression maximum était de 120 livres (8.44 kilogrammes par centimètre carré) et qui circulaient sur les mêmes sections et consommaient les mêmes eaux.

Le chemin de fer de l'Est français a étudié d'une façon très complète la question des corrosions et du grêlage, et l'on trouvera, dans l'annexe V, une note contenant les résultats de ses recherches.

Les renseignements obtenus en réponse à ce groupe de questions sont donnés dans les tableaux suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué. Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*	*Position du tuyau d'alimentation. Quelque accroissement du grêlage a-t-il été observé en ce point ?*	*Métaux employés dans la construction de la chaudière : a) Corps de la chaudière; b) Boîte à feu; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal).*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
RÉPUBLIQUE ARGENTINE.				
Buenos Ayres Great Southern Railway.	N'éprouve aucun ennui appréciable par suite du grêlage.	Dans l'axe du corps cylindrique à environ $^1/_3$ de la longueur de ce dernier, à partir de la boîte à fumée. Augmentation d'incrustations, mais pas de grêlage.	*a*) Fer de Yorkshire. *b*) Cuivre. *c*) Laiton ou cuivre.	Huile minérale.
Central Argentine Railway. .	N'éprouve aucun ennui sérieux par suite du grêlage, si ce n'est dans certaines chaudières dont la boîte à feu est en fer et la tôle porte-tubes en cuivre. Le fer se corrode considérablement dans le voisinage du cuivre, ainsi qu'autour des entretoises en cuivre. Ces corrosions sont attribuées à l'action galvanique. Ce chemin de fer a trouvé que les chaudières récentes en acier montrent des signes de grêlage beaucoup plus rapidement que les chaudières en fer Low Moor des locomotives anciennes, les conditions d'emploi étant les mêmes. D'autres cas de grêlage sont attribués à l'action corrosive de certaines eaux et ils se produisent seulement à la partie inférieure du corps cylindrique, là où les incrustations sont dures et ont une épaisseur d'environ $^1/_{16}$ pouce (1.59 millimètre); les trous de piqûres sont exempts d'incrustations.	Au centre de la virole d'avant du corps cylindrique. Aucun.	1° Pratique ancienne. *a*) Fer Low Moor. *b*) Fer Low Moor. *c*) Fer avec tôles tubulaires en fer Cuivre avec tôles tubulaires en cuivre. 2° *a*) Fer Low Moor *b*) Cuivre. *c*) Laiton 3° *a*) Acier ou fer. *b*) Cuivre. *c*) Fer, cuivre ou laiton (1).	Huile « Vacuum » et huile de colza.
AUTRICHE-HONGRIE.				
État autrichien	Attribue le grêlage : *a*) Au mouvement dans les matériaux; *b*) A l'oxydation; *c*) A l'influence des sels et acides existant dans les eaux d'alimentation; *d*) A l'influence de l'air existant dans les eaux d'alimentation. Il se produit surtout dans les replis ou dans le voisinage de ceux-ci, aux joints verticaux, aux entretoises, au ciel de la boîte à feu, aux tôles du corps cylindrique, aux trous de lavage.	A la partie supérieure de la chaudière, au milieu de la virole d'avant. Aucun.	*a*) Fer : acier Martin sur sole basique *b*) Cuivre : acier Martin sur sole basique. *c*) Acier Martin sur sole basique avec ou sans bouts en cuivre.	Vaseline (lubrification centrale).
Chemin de fer du Sud de l'Autriche.	Oui. Attribué à ce que les surfaces des tôles et des tubes n'étant pas homogènes, il se produit une oxydation, principalement quand l'eau contient des acides organiques. Il apparaît le plus souvent à la partie inférieure du corps cylindrique et dans la partie de la boîte à feu occupée par l'eau, surtout juste au-dessus du cadre du foyer. C'est dans les endroits où il prédomine que le dépôt d'incrustations présente le plus d'épaisseur.	Généralement dans l'axe de la chaudière, à une distance de l'extrémité de la boîte à fumée variant entre la moitié et le tiers de la longueur de la chaudière. Aucun.	*a*) Fer. *b*) Cuivre. *c*) Acier Martin avec bouts en cuivre du côté de la boîte à feu.	L'huile de colza pour les locomotives express, et l'huile minérale pour toutes les autres locomotives.
Société austro-hongroise privilégiée des chemins de fer de l'État.	Oui, il se produit dans toutes les parties en contact avec l'eau, mais principalement à la partie inférieure de la chaudière où la circulation de l'eau est la plus lente.	Généralement dans la première virole. Aucun.	*a*) Acier Martin. *b*) Cuivre. *c*) Acier.	Un mélange d'huile minérale et de suif.

(1) Dans la pratique actuelle on emploie généralement le cuivre ou le laiton.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué. Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*
Chemin de fer du Nord Empereur Ferdinand	Oui. Attribué aux effets chimiques et mécaniques du combustible et des eaux d'alimentation, il semble qu'il est dû en même temps aux formes différentes qu'affectent les diverses parties de la chaudière. Il se manifeste principalement dans la partie inférieure de la circonférence des parois de la chaudière et particulièrement à la partie la plus basse où il se montre par grandes plaques. Pour prévenir le grêlage des parties inférieures de la chaudière, on y place un bloc de cuivre de 2 millimètres d'épaisseur (système Feldbacher) qui, en général, maintient ces parties en bon état. Les piqûres et la rouille dues aux causes mécaniques diffèrent considérablement suivant la construction de la chaudière.
Chemin de fer Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande.	Pas beaucoup. Attribué à l'eau d'alimentation douce et boueuse, à la lente circulation de l'eau, à la présence de matières organiques, des nitrates, du chlorure de magnésium, de l'air et de l'acide carbonique dans l'eau d'alimentation, aux dépôts boueux et à la légère rouille qui se forment sur les surfaces inégales des tôles. Les eaux contenant en dissolution des acides organiques, de l'acide nitrique ou des composés contenant du chlore, exercent un effet pernicieux sur les tubes et principalement au point le plus bas des joints des viroles du corps cylindrique. Des incrustations dures empêchent le grêlage, tandis qu'un emploi abondant d'eaux douces et boueuses l'augmente.
Chemins de fer de l'État hongrois.	Oui. Attribué à l'acide carbonique dissous dans l'eau d'alimentation, ainsi qu'à la présence du chlorure, du nitrate et du carbonate de magnésium qui se décomposent aux pressions et aux températures élevées, en mettant en liberté l'acide correspondant, lequel attaque alors les parois des chaudières et les tubes. Le grêlage se produit dans les parties inférieures et supérieures de la chaudière et sur toute la surface des tubes de fer. Les surfaces recouvertes d'incrustations sont moins sujettes au grêlage que celles qui en sont exemptes.
BELGIQUE.	
Chemins de fer de l'État belge.	Oui, il affecte surtout les tubes. Attribué à ce que par suite de la formation des incrustations et de leur adhérence aux tubes et aux tôles, il se produit une rapide oxydation du fer sous ces dépôts. Il se manifeste à la partie inférieure de la chaudière et à la partie supérieure des tubes, endroits où adhèrent les incrustations.
Lignes Nord belges	Oui, il se produit à la partie inférieure du corps cylindrique de la chaudière et sur les tubes de fer près de la boîte à feu.

Position du tuyau d'alimentation. Quelque accroissement de grêlage a-t-il été observé en ce point ?	*Métaux employés dans la construction de la chaudière :* *a) Corps de la chaudière ; b) Boîte à feu ; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal) ?*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
Le plus souvent dans la première virole, sur le côté, et au-dessus de l'axe de la chaudière Oui, mais le grêlage n'est pas aussi considérable que celui qui se manifeste à la partie inférieure de la chaudière.	*a)* Acier sur sole basique. *b)* Cuivre. *c)* Fer avec bouts en cuivre aux extrémités d'arrière.	L'huile de colza est généralement employée pour les trains de voyageurs. Ce chemin de fer se sert généralement d'huile minérale pour les locomotives à marchandises et les locomotives de manœuvre. Une qualité supérieure d'huile minérale a été essayée aux machines à voyageurs.
Principalement sur le côté de la première virole, au milieu du corps cylindrique ; mais dans quelques chaudières il entre par le bas. On trouve toujours des piqûres près de l'orifice du tuyau d'alimentation, surtout quand l'eau entre directement par le bas de la chaudière.	*a)* Acier doux. *b)* Cuivre (deux locomotives sont munies de foyers en acier doux, à titre d'essai). *c)* Fer ou acier.	Une huile minérale épaisse.
Généralement au milieu de la chaudière au-dessous du plan d'eau. Aucun.	*a)* Acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Acier doux.	L'huile de colza ainsi que l'huile minérale mélangée à 25 p. c d'huile grasse.
Deux tuyaux d'alimentation sur les côtés et vers le milieu de la chaudière au-dessous du plan d'eau Quelques ateliers ont observé un accroissement du grêlage, d'autres ne l'ont pas observé	*a)* Fer ou acier doux *b)* Cuivre. *c)* Laiton composé de 70 parties de cuivre et 30 de zinc.	Mélange d'huile minérale brute avec 40 p. c. de suif au maximum (Ce chemin de fer a envoyé des détails très complets sur les graisseurs qu'il emploie, mais comme la question n'avait pas cette portée, ces renseignements n'ont pas été insérés.)
Sur les côtés près du milieu de la chaudière et, dans quelques locomotives, à la partie inférieure du corps cylindrique près de la boîte à feu. Des incrustations, mais aucun accroissement de corrosion.	*a)* Fer et acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Laiton, lequel est actuellement remplacé par l'acier doux.	Les renseignements donnés se rapportent aux méthodes de lubrification.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué. Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*
Société Nationale des chemins de fer vicinaux	(Sept lignes différentes ont répondu, mais le rapporteur ne reproduit que la suivante comme étant la seule qui se rapporte complètement à la question du grêlage.)
(Lignes d'Anvers-Brasschaet à la frontière.)	Oui. Attribué aux eaux mauvaises et acides qui corrodent la partie inférieure des tirants par suite d'une action galvanique. Il se manifeste à la partie inférieure des tirants verticaux, le long des tubes et dans les parties inférieures de la boîte à feu et du corps de la chaudière.
ÉGYPTE.	
Chemins de fer de l'État égyptien.	Les tubes ne sont pas grêlés; les chaudières le sont seulement après vingt ans; certaines chaudières, même après trente ans de service, ont un aspect parfaitement brillant. Il se produit à la partie inférieure de la chaudière et affecte principalement les tôles du corps cylindrique. Les incrustations se produisent près de la tôle tubulaire d'avant.
FRANCE.	
Chemins de fer de l'État français.	Oui, dans les chaudières. Attribué aux altérations ou à la variation de la nature du métal, donnant lieu, avec l'eau, à une action galvanique. *Voir* annexe I pour la réponse complète et les dessins.
Paris à Lyon et à la Méditerranée.	Pas avec les chaudières. Oui, avec les tubes en fer ou en acier, aussi bien par l'emploi des eaux pures que des eaux impures. Il se manifeste à la partie inférieure du corps cylindrique.
Chemin de fer de Paris à Orléans.	Oui, sur les tubes. Attribué à la qualité du métal que l'on emploie actuellement pour la fabrication des tubes en fer et en acier. Il se manifeste à la partie inférieure des tubes sous l'orifice du tuyau d'alimentation. La plus grande accumulation d'incrustations a été observée en ces points.
Chemin de fer de l'Ouest français	Les corrosions ne s'étendent pas au delà des parties baignées par l'eau et restent confinées aux endroits voisins de l'orifice du tuyau d'alimentation.
Chemin de fer de l'Est français.	Les réponses sont trop considérables pour être insérées ici; elles sont accompagnées d'une note très détaillée sur cette question, que l'on trouvera à l'annexe V. En quelques mots, la corrosion est attribuée aux différents sels et aux gaz dissous dans les eaux d'alimentation et à la réaction entre le fer et l'eau, au-dessus de 100° C. Les tôles d'acier semblent être moins sujettes au grêlage que les tôles de fer. Les plus fortes corrosions s'observent toujours aux endroits où il se forme le plus d'incrustations, c'est-à-dire à la partie inférieure du corps cylindrique du côté opposé aux robinets d'alimentation et au bas de la boîte à feu, près du cadre du foyer.

Position du tuyau d'alimentation. Quelque accroissement de grêlage a-t-il été observé en ce point?	*Métaux employés dans la construction de la chaudière: a) Corps de la chaudière; b) Boîte à feu; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal)?*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
Au milieu. Aucun.	*a)* Fer *b)* Cuivre. *c)* Laiton.	Du suif ainsi que de l'huile minérale verte épaisse.
Dans quelques cas sur le côté à l'avant et dans d'autres, à environ 4 pieds (1.219 mètre) de la tôle tubulaire d'arrière et sous le plan d'eau. Aucun.	*a)* Fer. *b)* Cuivre. *c)* Laiton.	Emploient l'huile minérale depuis huit ans; auparavant ils utilisaient le suif.
Toutes les chaudières ont deux tuyaux d'alimentation dont l'orifice se trouve à 60 millimètres environ au-dessous de l'axe de la chaudière et à une distance de la boîte à feu, variant de 1.40 à 3.50 mètres. Aucun.	*a)* Fer. Acier dans quatre locomotives récemment construites. *b)* Cuivre. *c)* Laiton. *Voir* note dans la réponse au sujet du raboutage des tubes en cuivre rouge.	Huile minérale.
Sur le côté, sous le plan d'eau, et à une distance de la tôle tubulaire d'arrière variant du quart au dixième de la longueur de la chaudière. Aucun.	*a)* Fer ou acier. *b)* Cuivre. (Exceptionnellement l'acier.) *c)* Fer ou acier. (Il existe encore beaucoup de tubes en laiton.)	Huile de colza additionnée de 3 à 4 p. c. d'huile de palme.
A une distance de la plaque tubulaire d'avant égale au tiers environ de la longueur du corps cylindrique et à quelques centimètres au-dessus de l'axe de la chaudière. Oui, le grêlage des tubes et de la chaudière est plus profond et plus étendu sous cet orifice.	*a)* Acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Fer, acier doux ou laiton. (Le cuivre est à l'essai.)	Mélange de suif et d'huile. On emploie la plus grande quantité possible de suif, car dans ces conditions, le mélange est moins fluide et lubrifie mieux; en outre, il est probablement moins sujet à être refoulé dans la chaudière quand on marche à contre-vapeur.
Chaque locomotive est pourvue de deux tuyaux d'alimentation qui entrent dans la chaudière de chaque côté, vers l'extrémité de la première virole et à peu près à la hauteur de l'axe du corps cylindrique.	*a)* Fer. (Acier récemment.) *b)* Cuivre. *c)* Laiton et fer. (Acier récemment.)	Huile de naphte additionnée de 10 à 15 p. c. d'huile de colza.
Le rapport donne les détails de trois différentes dispositions. Pour deux de celles-ci, l'orifice du tuyau d'alimentation se trouve sous le plan d'eau et pour l'autre dans la chambre de vapeur; mais dans ce dernier cas, l'eau est renvoyée sous le plan d'eau au moyen d'un écran en fer.	*a)* Acier Martin-Siemens. *b)* Acier Martin-Siemens. *c)* Acier doux.	Un mélange d'huile minérale (naphte noir de Russie, appelé Mazout) et de 25 à 60 p. c. d'huile de colza non épurée, suivant les conditions du service.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué. Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*
Chemin de fer du Nord français.	Oui. Attribué aux bulles d'air et d'acide carbonique qui adhèrent à la surface rugueuse du métal et sont la cause des corrosions locales et des piqûres. Il se produit dans les parties inférieures de la chaudière et de la boîte à feu. La grande virole du corps cylindrique est généralement plus attaquée que les autres, ce qui provient probablement de ce que l'eau ne s'écoule pas aussi facilement de ces endroits, lorsque l'on vide ou qu'on lave la chaudière. Les tubes les plus affectés sont ceux de la partie inférieure du faisceau; le grêlage est le plus prononcé à proximité des tôles tubulaires. Les corrosions apparaissent également à la brasure des tubes, lorsque ceux-ci sont à bouts en cuivre, ce qui est dû probablement à une action thermo-électrique entre les bouts en cuivre et l'acier des tubes. En ce qui concerne la relation qui existe entre la formation des incrustations et le grêlage, on a supposé que les cavités produites par la corrosion présentent une surface rugueuse qui retient les dépôts.
	Voir réponse complète à l'annexe VI.
Chemin de fer du Midi français.	Aucune.
Chemin de fer du Sud de la France.	Avant l'emploi du liquide désincrustant, la tôle porte-tubes d'avant souffrait considérablement. Elle se déformait et se crevassait. Il se formait d'abord une mince couche de carbonate accompagnée d'un grêlage très fort. Ce grêlage se produisait contre la tôle tubulaire d'avant et dans la partie des tubes située près de la boîte à feu.
GRANDE-BRETAGNE.	
Great Western Railway . .	Oui, exceptionnellement, mais pas d'une façon considérable. Attribué à la mauvaise qualité des eaux. Il se produit à la partie inférieure du corps cylindrique qui est tout à fait exempte d'incrustations.
London & North Western Railway.	Oui, dans les chaudières et aux tubes en acier. Attribué à l'oxygène et à l'acide carbonique en dissolution dans l'eau. Il se produit dans toutes les parties de la chaudière baignées par l'eau, mais plus particulièrement là où les surfaces sont le moins protégées par les incrustations.
North Eastern Railway . .	Oui. Attribué aux acides qui existent dans l'eau et dont les incrustations doivent contenir une grande proportion. Il se produit surtout à la partie inférieure du corps cylindrique où les dépôts s'amassent; la largeur de la surface grêlée varie de 1 pied 6 pouces à 2 pieds 6 pouces (457 à 762 millimètres). La tôle tubulaire se corrode au bas à l'intérieur et d'une façon considérable à l'extérieur, à cause de l'humidité provenant des fuites aux bouchons et aux tubes ainsi que des cendres humides.
North British Railway . . .	Légèrement. Attribué à l'impureté des eaux. Se produit principalement à la partie inférieure du corps cylindrique, près des joints circonférentiels.

Position du tuyau d'alimentation. Quelque accroissement du grêlage a-t-il été observé en ce point?	*Métaux employés dans la construction de la chaudière : a) Corps de la chaudière; b) Boîte à feu; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal)?*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
Dans les types de locomotives récentes, l'orifice se trouve près de la boîte à feu, un peu au-dessous du plan d'eau. Aucun.	*a)* Fer et acier. *b)* Cuivre. *c)* Acier doux.	Huile minérale russe pure mélangée à 12.5 p. c. d'huile de colza. Pour les graisseurs, on emploie une huile spéciale connue sous le nom de cylindrine mélangée à $^2/_3$ d'eau et légèrement chauffée.
...	*a)* Acier. *b)* Cuivre *c)* Acier.	Huile de naphte.
A l'avant. Aucun.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Fer.	Un mélange de 75 p. c. d'huile minérale et de 25 p. c. d'huile de colza. On a essayé et on est sur le point d'adopter l'huile américaine « Vacuum ».
A l'avant du corps cylindrique. Aucun.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Fer.	Huile de colza ou huile minérale, principalement la dernière.
A l'avant. Aucun.	*a)* Acier Bessemer et Siemens. *b)* Cuivre. *c)* Cuivre ou acier doux avec bouts en cuivre.	Un mélange d'huile minérale de cylindre non corrosive (point d'inflammation 500° Fahr. [260° C.]) et d'huile de colza épurée.
Généralement dans la virole du milieu du corps cylindrique. Aucun.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Laiton ou acier.	Un mélange d'huile minérale et d'huile végétale.
A environ 2 pieds (0.610 mètre) de la tôle tubulaire d'avant. Aucun.	*a)* Fer du Yorkshire et acier Siemens. *b)* Cuivre. *c)* Laiton étiré.	Huile minérale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué. Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*
Midland Railway	Les chaudières exceptionnellement, les tubes très rarement quand ils sont en laiton ou en cuivre. Attribué à la présence du chlore ou de matières grasses dans la chaudière. Il se produit à la partie inférieure et aux parois latérales à la hauteur du plan d'eau. Selon toute apparence, il n'existe aucune relation entre le grêlage et la quantité d'incrustations produites. On enduit parfois les parties grêlées des chaudières au moyen d'huile minérale.
Caledonian Railway	Seulement sur une section de la ligne. Attribué à la nature de l'eau de ce district. Il se manifeste à l'intérieur de l'embouti de la tôle porte-tubes d'avant de la chaudière.
Great Eastern Railway	Aucune.
Great Northern Railway	Aucune.
London & South Western Railway.	Oui. Attribué à la présence du chlorure de magnésium dans l'eau. Il se produit principalement aux tubes ; les incrustations ne sont pas très considérables.
Lancashire & Yorkshire Railway.	Oui, avec certaines eaux et avec les tubes en fer et en acier. Attribué à l'acide humique qui se rencontre dans quelques-unes de ces eaux, ainsi qu'à l'air dissous dans l'eau d'alimentation. Il se produit principalement vers l'avant, à la partie inférieure du corps cylindrique et des tubes. Le grêlage est le plus considérable dans les chaudières ayant le moins d'incrustations. Pour prévenir le grêlage, ce chemin de fer enduit d'une légère couche de mastic le corps cylindrique, jusqu'au plan d'eau.
Great Central Railway	Oui. Attribué aux compositions corrosives qui existent dans l'eau. Il se manifeste à la partie inférieure de la chaudière, principalement vers l'avant. Moins d'incrustations qu'au-dessus du plan d'eau.
Great Northern Railway of Ireland.	Aucun.
Glasgow & South Western Railway.	Rien en ce qui concerne les tubes, mais a observé de profonds sillons aux arrondis des tôles de l'enveloppe de la boîte à feu à l'endroit de leur assemblage avec le cadre du foyer, ainsi qu'à la partie inférieure de la tôle tubulaire d'avant, du côté du corps cylindrique. Attribué en partie aux légères déformations de ces parties, résultant de la dilatation.

Position du tuyau d'alimentation. Quelque accroissement du grêlage a-t-il été observé en ce point ?	*Métaux employés dans la construction de la chaudière : a) Corps de la chaudière ; b) Boîte à feu ; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal) ?*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
ers le milieu. ucun.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Cuivre.	Huile minérale pour cylindres « réduite » mélangée avec de l'huile de colza.
1 pied 3 pouces (0.381 mètre) environ de la boîte à fumée.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Tombac rouge (autrefois acier et laiton).	Huile minérale noire.
rès de la tôle porte-tubes d'avant.	*a)* Acier doux (acier Martin-Siemens sur sole acide). *b)* Cuivre. *c)* Acier doux.	Huile de pétrole exempte d'huile grasse. Poids spécifique, 0.90 ; point d'inflammation, 550° Fahr. (287.7°C) (essai très sévère) ; très grande viscosité.
ur le côté, à peu près à la moitié de la longueur des tubes et à 12 pouces (0.305 mètre) sous le plan d'eau. ucun.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Cuivre.	Huile minérale noire.
ers l'extrémité de la boîte à fumée. ien de spécial.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Cuivre.	Un mélange d'huile minérale pure et lourde.
énéralement à l'avant. Le grêlage est plus considérable près du tuyau d'alimentation. Dans différentes locomotives dont l'orifice du tuyau d'alimentation ne se trouve pas au même endroit, on a observé que le grêlage est toujours le plus considérable en ces points.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Tubes en acier et en cuivre. Également tubes en acier avec bouts en cuivre laminé.	Huile minérale pure s'enflammant à 500° Fahr. (260°C).
ers le milieu de la longueur du corps cylindrique.	*a)* Acier Martin-Siemens. *b)* Cuivre. *c)* Cuivre ou acier.	Huile pour cylindres.
ers le milieu de la longueur du corps cylindrique.	*a)* Acier Martin-Siemens. *b)* Cuivre. *c)* Laiton.	Huile « Vacuum » pour cylindres.
ur le côté et vers le milieu du corps cylindrique. L'eau d'alimentation est conduite à quelques pouces sous le plan d'eau au moyen d'un tuyau en cuivre.	*a)* Acier doux Siemens. *b)* Cuivre. *c)* Laiton.	Huiles végétales analogues à l'huile de colza. On emploie dans quelques cas l'huile minérale lourde.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*
Highland Railway	Aucune.
South Eastern Railway . . .	Inappréciable dans les chaudières, nul dans les tubes; quand il se produit on n'observe aucun dépôt d'incrustations.
Great Northern of Scotland .	Dans des limites restreintes. Attribué à l'emploi des tubes en cuivre et à la présence d'acides dans les eaux d'alimentation. Il se produit principalement au premier joint circonférentiel du corps cylindrique, près de la boîte à feu. Il se manifeste également au second joint, mais d'une façon moins prononcée Des corrosions noires.
Belfast & Northern Counties (Ireland).	Pas sérieusement.
Furness Railway	Aucune.
Taff Vale Railway	Oui. Attribué à l'action de l'eau sur les tubes en laiton, ce qui donne lieu à la production de dépôts sur les tôles de fer et d'acier et entraîne le grêlage Il se produit autour du cadre du foyer, au bas de la boîte à feu et à la partie inférieure du corps cylindrique. « Une matière pulvérulente noire entre les incrustations et la tôle. »
London, Tilbury & South End Railway.	Pas d'une manière appréciable. Attribué aux acides provenant du suif et de l'huile qui se déposent sur les tôles et les tubes.
Metropolitan Railway . . .	Aucun.
Metropolitan District Railway.	Dans des limites restreintes; « toutes les piqûres qui valaient la peine d'être notées ont été causées par l'emploi d'un soi-disant épurateur ».

Position du tuyau d'alimentation. Quelque accroissement du grêlage a-t-il été observé en ce point?	*Métaux employés dans la construction de la chaudière : a) Corps de la chaudière; b) Boîte à feu; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal)?*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
A l'avant de la boîte à feu; également sur le côté de la tôle d'avant de la chaudière. Aucun.	*a)* Acier et fer du Yorkshire. *b)* Cuivre. *c)* Laiton.	Huile « Vacuum » pour cylindres.
En dessous du centre de la tôle d'avant de la chaudière Aucun.	*a)* Acier Martin-Siemens. *b)* Cuivre. *c)* Laiton et laiton rouge.	Matières lubrifiantes diverses.
Au milieu de la chaudière, un peu en dessous du plan d'eau. Aucun.	*a)* Fer Low Moor et également acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Cuivre, laiton, fer au bois, acier.	Huile végétale.
Au milieu du corps cylindrique au-dessus des tubes.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Laiton.	Huile « Vacuum » pour cylindres.
A l'avant.	*a)* Acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Fer et acier.	Huile.
Quand le tuyau déchargeait sur le côté du corps cylindrique de la chaudière, le grêlage se produisait autour du trou; mais depuis qu'on a adopté une disposition qui permet de conduire l'eau d'alimentation, au moyen d'un tuyau, au centre et à l'avant de la chaudière, ce grêlage ne s'est plus montré.	*a)* Fer du Yorkshire. Acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Laiton contenant 70 p. c. de cuivre et 30 p. c. de zinc.	Huile hydro-carbone
A 6 pieds (1.829 mètre) environ de la tôle tubulaire d'avant. Aucun.	*a)* Fer. *b)* Cuivre. *c)* Laiton.	Huile de colza
Au centre de la chaudière à 3 pieds (0.914 mètre) environ de la tôle tubulaire d'avant.	*a)* Acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Laiton, acier.	Huile minérale.
...	*a)* Acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Laiton.	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué. Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*	*Position du tuyau d'alimentation. Quelque accroissement du grêlage a-t-il été observé en ce point?*	*Métaux employés dans la construction de la chaudière : a) Corps de la chaudière; b) Boîte à feu; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal)?*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
COLONIES.				
New South Wales Government Railways.	Oui, légèrement. Attribué à l'impureté de l'eau qui donne lieu à la formation de piqûres dans le corps cylindrique et à la partie inférieure de l'enveloppe de la boîte à feu; ces dernières corrosions sont augmentées par le frottement des tringles de nettoyage.	Entre le milieu de la chaudière et la tôle porte-tubes d'avant. Si le tuyau d'alimentation décharge contre les tôles, le grêlage est beaucoup plus prononcé.	*a)* Fer de Yorkshire. Acier doux. *b)* Cuivre. Tombac rouge. *c)* Les tubes en fer et en acier sont mis rapidement hors de service. Le cuivre donne de meilleurs résultats.	Glynn.
New Zealand Government Railways.	Dans les chaudières, oui; aux tubes, non. Attribué à la présence d'acides dans l'eau, ce qui donne lieu à des réactions chimiques avec les tôles. Il se produit principalement à la partie inférieure du corps cylindrique sur une largeur de 3 pieds (0.914 mètre). Il y a très peu d'incrustations dans les chaudières où l'on observe cette forme de corrosion.	Le tuyau d'alimentation décharge ordinairement vers le milieu de la longueur du corps cylindrique ou un peu en avant ou en arrière de ce point. Aucun.	*a)* Fer de Yorkshire, récemment l'acier. *b)* Cuivre, récemment l'acier. *c)* Laiton. Cuivre durci dans les chaudières à foyer en cuivre. Acier dans les chaudières à foyer en acier.	Huile pour cylindres filtrée deux fois.
South Australia Government Railways.	Très peu sur les tôles. A cause du grêlage, ces chemins de fer n'emploient pas les tubes en fer ou en acier. Il se produit à la partie inférieure du corps cylindrique et à la hauteur du cadre du foyer. Incrustations épaisses.	Amené au milieu de la chaudière par un tuyau partant de l'arrière de la boîte à feu.	*a)* Acier. *b)* Cuivre. *c)* Laiton et acier.	Suif.
Western Australia Government Railways.	Oui. Attribué à la présence de l'acide humique et d'autres acides, ainsi qu'aux sels corrosifs dont les eaux contiennent une grande quantité. Il se produit principalement dans le rayon de 1 pied (0.305 mètre) de l'orifice du tuyau d'alimentation. En cet endroit de la tôle les incrustations sont généralement quelque peu plus épaisses. Ainsi que le montre la photographie (fig. 12), le bas de la tôle porte-tubes d'avant souffre également beaucoup du grêlage.	La décharge se fait en différents endroits, mais dans tous les cas, toujours au-dessous du plan d'eau.	*a)* Fer, acier. *b)* Cuivre. *c)* Cuivre, tombac rouge, acier.	Huile minérale répondant aux conditions suivantes : point d'inflammation pas inférieur à 540° F. (282°2 C.). Point de congélation pas supérieur à 40° F. (4°4 C.). Viscosité n'excédant pas 114° à 74° F. (45° à 23°3 C.) et au moins égale à 8 à 140° F. (— 13°3 à 60° C.). La viscosité est déterminée par le viscomètre de Redwood.
Natal Government Railways .	Ont observé très peu de grêlage; quand celui-ci se manifeste, il reste confiné dans la virole d'avant du corps cylindrique.	Au milieu de la longueur du corps cylindrique et juste au-dessus de la rangée supérieure des tubes.	*a)* Acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Cuivre durci. Tombac rouge.	Huile « Vacuum » pour cylindres.
East Indian Railway. . . .	Le grêlage se produit à l'intérieur du corps cylindrique et s'étend à la partie inférieure sur un quart environ de la circonférence. Attribué à l'enlèvement des incrustations par les moyens mécaniques de diverses espèces (*voir* note sous l'entête : « Frottement causé par l'emploi des tringles de nettoyage » dans les remarques préliminaires de ce groupe de questions). Couvert assez bien d'incrustations, mais pas d'une manière uniforme.	Au-dessus du foyer. Aucun.	*a)* Fer, acier. *b)* Cuivre. *c)* Laiton, fer.	Huile de ricin et huile minérale.
ITALIE.				
Chemin de fer du Sud de l'Italie.	Ne possède aucun renseignement à ce sujet.	...	*a)* Fer, acier. *b)* Cuivre. *c)* Laiton, fer.	Un mélange d'huile minérale, d'huile d'olive et de suif.
Chemin de fer du Nord de Milan.	...	A une distance d'environ 1 mètre de la tôle tubulaire d'avant. Aucun.	*a)* Acier extra-doux. *b)* Cuivre. *c)* Acier extra-doux.	Huile minérale verte.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué. Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*	*Position du tuyau d'alimentation. Quelque accroissement de grêlage a-t-il été observé en ce point ?*	*Métaux employés dans la construction de la chaudière : a) Corps de la chaudière; b) Boîte à feu; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal)?*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
PAYS-BAS.				
Chemins de fer de l'État néerlandais.	Oui. Il se produit à la partie inférieure du corps cylindrique et sur toute la surface des tubes. La cause est inconnue, mais on a remarqué que l'action du grêlage est beaucoup plus grande avec les tôles et les tubes dont l'acier a été obtenu par le procédé basique, qu'avec les les autres matières.	Devant, à une distance de la plaque tubulaire d'un quart environ du diamètre du corps cylindrique. Aucun.	*a)* Fer; récemment acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Fer et acier doux	Huile minérale.
Chemin de fer allemand . .	Pas dans les chaudières, mais d'une façon très considérable, dans certains cas, sur les tubes. Attribué au métal dont les tubes sont fabriqués ainsi qu'au chlorure de sodium contenu dans l'eau d'alimentation. Les tubes se grêlent beaucoup plus dans le voisinage de la tôle tubulaire d'arrière.	Au milieu de la chaudière. Aucun.	*a)* Fer, acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Fer au bois, acier.	Huile minérale.
Chemin de fer Central néerlandais.	Oui. Attribué aux eaux impures. Il se produit autour des tubes.	A la partie inférieure de la chaudière. Aucun	*a)* Fer Low Moor, acier doux. *b)* Cuivre *c)* Fer au bois, acier.	...
ROUMANIE.				
État roumain	Oui, spécialement sur les tubes. Attribué à la qualité des matériaux, ainsi qu'à l'action des acides contenus dans les eaux. Il se produit d'un bout à l'autre de la longueur de la chaudière et accélère la formation des incrustations.	De chaque côté, au milieu de la chaudière et généralement dans le plan horizontal passant par l'axe longitudinal du corps cylindrique.	*a)* Fer. *b)* Cuivre. *c)* Fer avec bouts en cuivre du côté de la boîte à feu.	Huile de colza brute.
RUSSIE.				
Chemins de l'État russe.				
Ligne de Moscou à Koursk et à Nijni-Novgorod.	...	A l'avant de la chaudière. On trouve également à cet endroit plus d'incrustations et par conséquent un grêlage plus considérable.	*a)* Fer, acier doux. *b)* Cuivre *c)* Fer (dans quelques cas avec bouts en cuivre); laiton (dans les anciennes chaudières seulement).	Mélange de suif et de résidu filtré de naphte. Pour les locomotives à voyageurs : 1/2 suif, 1/2 résidu de naphte. Pour les locomotives à marchandises, 1/3 suif, 2/3 résidu de naphte.
Ligne de Kharkov-Nicolaïev .	Oui. Attribué à la mauvaise qualité de quelques-unes des eaux. Il se manifeste à la partie inférieure de la chaudière sous le plan d'eau. On a observé que sur les sections où l'eau est dure et forme des dépôts considérables, le grêlage se produit rapidement.	Au delà du milieu de la longueur du corps cylindrique de la chaudière. Aucun.	*a)* Fer *b)* Cuivre. *c)* Fer avec bouts en cuivre.	Mélange de suif et d'huile minérale
Chemin de fer de Vladicaucase.	Oui. Il se manifeste à la partie supérieure et latérale des tubes inférieurs, ainsi que dans la chaudière à la hauteur du plan d'eau. Là où le grêlage se manifeste, on observe de minces plaques (oxyde de fer) de couleur jaune, mélangées aux incrustations. Sous cette couche se trouvent de petites particules d'une substance noire qui s'enlève facilement par grattage, de la partie grêlée. Une analyse de cette substance noire a montré qu'elle consiste surtout en oxyde magnétique de fer. Elle s'observe aussi bien avec les eaux épurées qu'avec les eaux non épurées.	A l'avant, le plus loin possible de la boîte à feu. Aucun. Mais autrefois, quand le tuyau d'alimentation était pourvu d'un collier en étain, le collier lui-même et la partie de la chaudière du côté opposé étaient fortement corrodés, dans un temps excessivement court.	*a)* Fer et acier. *b)* Cuivre. *c)* Fer avec bouts en cuivre.	Suif, ainsi qu'un mélange d'huile minérale et de résidu de naphte.

Analyse de la substance noire.

Oxyde ferrique ($Fe_2 O_3$)	42.64	Oxyde magnétique de fer.	$Fe_3 O_4$ = 61.81 p. c.
Oxyde ferreux (Fe O)	19.17		
Oxyde de calcium (Ca O)	11.24		
Oxyde de magnésium (Mg O)	4.05		
Anhydride sulfurique (So_3)	14.21		
Alumine ($Al_2 O_3$)	0.37		
Anhydride phosphorique ($P_2 O_5$)	0.28		
Silice ($Si O_2$)	4.12		
Pertes au feu	4.03		
	100 11		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHEMINS DE FER.	*Ennuis éprouvés par suite du grêlage. Cause à laquelle le grêlage est attribué. Partie de la chaudière dans laquelle l'action du grêlage se produit et sa relation avec la formation des incrustations.*	*…sition du tuyau d'alimentation. …lque accroissement de grêlage a-t-il été observé en ce point ?*	*Métaux employés dans la construction de la chaudière : a) Corps de la chaudière ; b) Boîte à feu ; c) Tubes (à moins d'indications contraires, tous les tubes sont du même métal).*	*Matières employées pour le graissage des cylindres.*
ESPAGNE.				
Chemin de fer de Madrid à Saragosse et à Alicante.	Oui, avec les chaudières. Attribué à la qualité des tôles, car on a observé que parmi les locomotives d'un district quelques-unes sont grêlées et les autres pas. Il se produit à la partie inférieure du corps cylindrique de la chaudière et à la hauteur du plan d'eau.	…vant dans l'axe du corps cylindrique.	*a)* Fer et acier. *b)* Fer. *c)* Laiton.	Mélange de 70 p. c. de naphte et de 30 p. c. d'huile d'olive.
SUISSE.				
Chemin de fer Central suisse .	Oui. Attribué aux incrustations. Il se produit dans la moitié inférieure du corps cylindrique et le long des bords de la selle.	…vant de la chaudière. C'est en cet …droit que le grêlage apparaît le …us rapidement.	*a)* Acier doux. *b)* Cuivre. *c)* Fer.	…
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.				
Southern Pacific Railway . .	Oui. Attribué à la décomposition de certains sels qui se trouvent dans l'eau d'alimentation, mais plus fréquemment au surchauffage du foyer et des tubes, ce qui amène probablement la décomposition des sels acides qui sont stables à une moindre température, ou de l'eau en minces couches dont l'activité chimique amène, à la longue, l'oxydation des tôles. Les locomotives dont la pression de vapeur atteint actuellement 180 livres (12.66 kilogrammes par centimètre carré), montrent plus de corrosions et de grêlage que celles qui faisaient autrefois le service sur les mêmes sections et employaient les mêmes eaux, mais qui ne marchaient qu'à la pression de 120 livres (8.44 kilog. par centimètre carré). Le grêlage est local et s'observe principalement là où le métal a subi les opérations d'emboutissage et de poinçonnage ou bien aux endroits où il se produit des efforts alternatifs dus à la dilatation et à la contraction. Il se manifeste également d'une façon considérable dans les parties de la chaudière où la température est la plus élevée et le dépôt d'incrustations le plus épais. Dans beaucoup de cas, les tôles latérales et le ciel de la boîte à feu ainsi que les tubes ont été trouvés très fortement corrodés et grêlés. Aucun signe de grêlage n'a été observé sur les parties des tôles qui ne sont pas baignées par l'eau.	…peu près dans l'axe du corps cylindrique de la chaudière et généralement beaucoup plus près de la tôle tubulaire d'avant que du foyer. La décharge se fait un peu au-dessus du milieu du faisceau tubulaire. …un.	*a)* Acier doux. *b)* Acier doux. *c)* Fer au bois et également acier très doux (demi-acier).	Mélange de 75 p. c. d'huile minérale et 25 p. c. d'huile animale.
Illinois Central Railroad . .	Oui. Attribué à l'emploi d'eaux contenant des acides. Il se produit généralement à la partie inférieure de la chaudière. Dans ce cas, les incrustations sont peu épaisses et les dépôts se composent (en outre des incrustations) d'une certaine quantité de rouille provenant des tôles de la chaudière.	…s l'axe de la chaudière, à 15 pouces (0.356 mètre) environ de la tôle tubulaire d'avant.	*a)* Acier pour chaudières. *b)* Acier pour boîtes à feu. *c)* Fer au bois.	Huile pour valves Galena.
New York, New Haven & Hartford Railroad.	Aucun.	…s l'axe de la chaudière vers l'avant.	*a)* Acier. *b)* Acier pour boîtes à feu. *c)* Fer au bois.	Huile pour cylindres Galena.
Chesapeake & Ohio Railway .	Aucun.	…avant à une distance de 20 pouces (0.508 mètre) environ de la tôle porte-tubes.	*a)* Acier. *b)* Acier. *c)* Fer avec bouts en cuivre.	Huile pour soupapes de qualité supérieure.
Lehigh Valley Railroad . . .	Oui. Attribué à la présence d'acide sulfurique dans l'eau. Il se produit à l'extérieur des tubes, aux joints, à la partie inférieure du corps cylindrique et dans la boîte à feu, près du cadre du foyer.	…avant du corps cylindrique. …un.	*a)* Acier Martin-Siemens sur sole acide. *b)* Acier Martin-Siemens sur sole acide. *c)* Fer au bois.	Huile pour cylindres Galena.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Groupe E. — Questions 14 et 15 relatives à l'emploi de blocs en zinc pour prévenir les incrustations.

L'emploi du zinc comme moyen préventif des incrustations est très limité, l'opinion n'étant pas, en général, favorable à ce procédé.

Beaucoup de chemins de fer n'ont trouvé aucun avantage à l'employer, et dans la plupart des cas où il a donné de bons résultats, son emploi a été abandonné pour des raisons économiques. Son action est due à la formation d'un couple voltaïque avec le fer de la chaudière, ce qui provoque l'expulsion de l'hydrogène de toutes les parties de la chaudière, empêchant ainsi l'adhérence des incrustations. Un fait curieux à noter à ce sujet, c'est que le zinc pur ne décompose pas l'eau au point d'ébullition, tandis que le zinc commercial la décompose en mettant l'hydrogène en liberté; ce phénomène explique en grande partie les pertes résultant de l'emploi du zinc.

Les blocs en zinc fondu, en raison de leur nature cristalline, se désagrègent rapidement; il est probable que cet inconvénient serait évité, dans une large mesure, par l'emploi du zinc laminé.

Le mode de fixation des blocs de zinc est très variable, ainsi qu'on le verra par les réponses; mais pour que le procédé donne des résultats satisfaisants, il est essentiel qu'une connexion métallique soit établie entre le zinc et le fer de la chaudière; s'il en était autrement, aucune action voltaïque ne s'établirait et l'on n'obtiendrait aucun résultat utile.

Les réponses reçues sont les suivantes :

Buenos Ayres Great Southern Railway Company. — Divers systèmes de moyens préventifs basés sur l'action galvanique ont été essayés, mais aucun résultat satisfaisant n'a été obtenu.

Chemins de fer de l'État autrichien. — Oui, les blocs étaient placés dans le corps cylindrique de la chaudière et sur le ciel du foyer; les incrustations dures se détachaient facilement. Le système a été abandonné par suite de l'oxydation rapide des blocs.

Chemins de fer privilégiés de l'État austro-hongrois. — Ont fait quelques essais de plaques de zinc placées dans la chaudière et non fixées. Les résultats obtenus n'ont pas été satisfaisants.

Chemin de fer Nord-Ouest autrichien et Jonction Nord-Sud allemande. — A essayé les blocs en zinc pour prévenir les corrosions des chaudières. Ces blocs étaient simplement déposés dans la chaudière. Ils maintenaient une texture poreuse, mais il n'en résultait aucune diminution sensible des corrosions. Actuellement la partie inférieure de la chaudière est revêtue d'une tôle de fer de 4 millimètres d'épaisseur; cette disposition a été imaginée par M. l'ingénieur en chef Feldbacher des chemins de fer de l'État austro-hongrois.

Chemins de fer de l'État hongrois. — Non. Ces chemins de fer ont supposé que les blocs ne seraient d'aucune utilité, car par suite de l'action de l'eau ou de la vapeur à haute pression, il se forme de l'oxyde de zinc avec mise en liberté d'hydrogène; il en résulte que ce procédé ne prévient pas les incrustations, mais, au contraire, les augmente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chemin de fer de Paris a Orléans. — Emploie des bandes de zinc de 1 mètre × 0m05 × 0m01. Deux de ces bandes sont placées à la partie inférieure du corps cylindrique de la chaudière. Elles ne sont jamais placées sur le ciel du foyer ni aux endroits où les tôles sont soumises à l'action directe du feu; elles sont remplacées après usure.

Chemin de fer de l'Ouest français. — Les essais effectués par cette Compagnie sont antérieurs à 1882. Des blocs de zinc de 30 centimètres de longueur et de 35 millimètres d'épaisseur étaient fixés par séries à une lame de fer. Ils étaient introduits dans le bas de la chaudière par l'autoclave de la boîte à fumée. Après quelque temps, ces blocs se déplaçaient sur leur support et il devenait très difficile de les retirer de la chaudière pour les examiner. Dans la suite, on a procédé à l'essai au moyen d'un simple bloc de 1 mètre de longueur placé dans la chaudière.

Après une semaine de marche, ce bloc se désagrégeait et s'émiettait au moindre contact.

En 1885, une nouvelle tentative a été faite par l'essai de l'électrogène de Hannay, de Manchester. Cet appareil consistait en une boule de zinc de 18 centimètres de diamètre environ, traversée par une tige de cuivre. De cette tige partaient deux fils de cuivre dont les extrémités étaient soudées aux tubes de la chaudière. La boule de zinc était suspendue dans la chaudière à l'aide d'un support fixé contre les trois entretoises d'arrière de la rangée supérieure du côté gauche. D'après l'inventeur, le zinc de l'élément voltaïque absorbant l'oxygène permet à l'hydrogène libre de se répandre dans toutes les parties de la chaudière et d'empêcher, sinon le dépôt des incrustations, tout au moins leur adhérence aux parois de la chaudière. Pour faciliter le fonctionnement de l'appareil, 12 kilogrammes de sel marin étaient introduits dans la chaudière après chaque lavage.

Les résultats n'étant pas sensiblement différents de ceux obtenus avec le désincrustant au bois de quebracho, l'appareil a été abandonné pour des raisons économiques.

Chemin de fer du Nord français. — A employé l'électrogène Honnay décrit ci-dessus, suspendu au moyen d'un support en fer aux barres d'entretoises entre la boite à feu et le corps cylindrique. L'appareil, ainsi que les extrémités des fils de l'électrogène, lesquels étaient soudés à la tête étamée d'une vis en bronze insérée dans le ciel du foyer, étaient placés sous le niveau de l'eau; les fils étaient également fixés aux deux extrémités de la tige de cuivre qui traverse la boule de zinc.

Suivant l'espace disponible, on a employé soit un simple bloc de 165 millimètres de diamètre, pesant 18 kilogrammes, soit deux blocs ayant chacun 130 millimètres de diamètre, dont le poids était de 9 kilogrammes, placés l'un à droite et l'autre à gauche dans la chaudière.

Après trois ou quatre mois de fonctionnement, période correspondant à la durée de l'appareil, les chaudières ont été trouvées exemptes de tartre, mais l'appareil n'a pas été renouvelé.

« Actuellement, nous n'avons pas de chaudière pourvue de cet appareil; nous employons « seulement ce dernier lorsque nous voulons nettoyer une chaudière couverte de tartre. « L'efficacité du zinc est indiscutable. »

Chemin de fer du Midi français. — A fait l'essai, mais sans succès.

London & North Western Railway. — Oui, placé sur l'autoclave du trou de vidange. Diminue le grêlage et la corrosion des tôles.

Midland Railway. — Oui. Fixés dans une niche rivée au corps cylindrique de la chaudière. Ne donne lieu à aucune réduction d'incrustations.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lancashire & Yorkshire Railway. — Des blocs de zinc ont été essayés. Ils étaient placés dans le trou de vidange. Les blocs se désagrègent rapidement et le système a été trouvé peu avantageux.

New South Wales Government Railways. — Oui, suspendus dans les lames d'eau de la boîte à feu. Ce procédé réduit les incrustations, mais il n'a pas été trouvé avantageux, le zinc se désagrégeant rapidement.

South Australian Government Railways. — Oui, attachés à la chaudière au moyen de supports fixés à l'intérieur du corps cylindrique à peu près à la hauteur du ciel du foyer.

Chemin de fer de Vladicaucase (Russie). — A essayé des blocs et des plaques de zinc. Les blocs de zinc étaient fixés au ciel du foyer ainsi qu'à la partie inférieure de la chaudière. Les plaques avaient une épaisseur de 5 millimètres et une surface de 2,000 centimètres carrés environ.

Elles étaient placées sur le ciel du foyer et sur les tubes. Le zinc donne lieu à une vive émulsion et produit des incrustations dures, mais moins dures cependant que celles qui se déposent lorsque l'on n'emploie pas le zinc. On a constaté que les plaques de zinc sont plus efficaces que les blocs.

Cependant, en règle générale, les résultats obtenus étaient loin d'être satisfaisants, la consommation de zinc s'élevant à 10 livres par 100 verstes (3.84 kilogrammes par 100 kilomètres); le procédé a été reconnu trop coûteux.

Southern Pacific Railway. — N'ont jamais employé de blocs de zinc dans les chaudières de locomotives. Ces blocs ont été utilisés dans les chaudières des bateaux à vapeur, comme correctifs de l'action que l'eau exerce sur les têtes de rivets et sur la chaudière à la hauteur du plan d'eau.

Les blocs d'environ 10 pouces (0m254) de long, ayant une surface ondulée, étaient suspendus aux entretoises de la boîte à feu et plongeaient dans l'eau. On n'a pas constaté que leur emploi ait produit quelque effet comme moyen préventif du grêlage dans les steamers Ferry; mais l'effet de ces blocs serait probablement avantageux dans les steamers employés à la navigation maritime où ils préviendraient le grêlage sur la surface du condenseur, à la hauteur du plan d'eau et aux têtes de rivets.

Groupe F. — Questions 16 et 17 relatives au lavage des chaudières et aux méthodes de chauffage en cas d'emploi de l'eau chaude.

D'après les soixante-trois réponses relatives à ce groupe de questions, vingt-six relatent l'emploi de l'eau chaude et les trente-sept restantes l'emploi de l'eau froide, pour le lavage des chaudières.

Dans la majorité des cas où l'eau chaude est employée, aucun appareil spécial n'est utilisé pour le chauffage de l'eau; le lavage est effectué au moyen de l'eau provenant du tender d'une autre locomotive, la vapeur employée pour faire fonctionner l'injecteur étant suffisante pour chauffer l'eau à la température voulue, c'est-à-dire à 120° à 140° Fahr. (48°8 à 60° C.).

Quatre administrations se servent d'un appareil spécial pour le lavage des chaudières au moyen de l'eau chaude, ce sont: le chemin de fer de l'Est français, le chemin de fer de Paris à Orléans, les lignes Nord belges et, aux États-Unis, l' « Illi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nois Central Railway ». La première des compagnies mentionnées a envoyé une note très complète à ce sujet, laquelle est insérée dans l'annexe V. Il est à remarquer que plusieurs lignes françaises et autrichiennes emploient de l'eau chaude pour toutes les chaudières dont le foyer est en acier, tandis que pour les autres, ils emploient l'eau chaude ou l'eau froide selon leurs convenances. En Italie, les chemins de fer méridionaux emploient l'eau chaude pour les chaudières en acier et l'eau froide pour les autres.

Les chemins de fer de l'État roumain injectent du pétrole dans la chaudière avant de remplir celle-ci au moyen de l'eau servant au lavage ; cette eau étend le pétrole sur toute la surface de la chaudière, et le fait pénétrer dans les incrustations qu'il détache.

Les réponses sont données ci-après :

Méthode de lavage et système adoptés pour le chauffage de l'eau en cas d'emploi de l'eau chaude. Température de l'eau chaude.

RÉPUBLIQUE ARGENTINE.

Buenos Ayres Great Southern Railway. — Lorsqu'on a le temps, on emploie l'eau froide ; dans les autres cas on fait usage de l'eau chaude, après avoir jeté le feu. Dans ce cas, on amène à côté de la machine à laver une locomotive sous pression dont l'injecteur fournit l'eau chaude nécessaire pour le lavage.

Central Argentine Railway. — On laisse les chaudières se refroidir pendant douze heures, puis on fait procéder au lavage à l'eau froide par des agents bien surveillés.

AUTRICHE-HONGRIE.

État autrichien. — Les chaudières dont le foyer est en acier sont toujours lavées à l'eau chaude. Les autres sont lavées à l'eau froide ou à l'eau chaude. La température de l'eau est de 40° à 80° C.

Sud de l'Autriche. — En temps ordinaire on emploie l'eau froide. Avant le lavage, il est indispensable de laisser la chaudière pendant douze heures au moins à la remise. Quand on ne dispose pas du temps nécessaire, la chaudière est lavée, après avoir été vidée, au moyen d'eau chaude dont la température varie de 60° à 80° C., fournie par l'injecteur d'une autre locomotive sous pression ; la chaudière est ensuite remplie d'eau chaude à la même température.

Chemins de fer privilégiés de l'État austro-hongrois. — Emploient l'eau froide injectée sous pression.

Chemin de fer autrichien Nord Empereur Ferdinand. — Emploie l'eau froide injectée par de petites pompes à main, après que les incrustations ont été détachées au moyen de la tringle de nettoyage.

Nord-Ouest autrichien et Jonction Sud-Nord allemande. — Lorsque la chose est possible, on emploie l'eau chaude (50° à 60° C.) fournie par l'injecteur d'une locomotive voisine. Dans le cas contraire, on emploie l'eau froide après refroidissement complet de la chaudière. Le refroidissement des chaudières s'opère en amenant à la surface une quantité d'eau froide égale à celle de l'eau chaude qui s'écoule par la partie inférieure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chemins de fer de l'État hongrois. — Le lavage se fait généralement à l'eau froide, mais en hiver et pendant la période de trafic intense, on emploie de l'eau chaude à la pression de 4 ou 5 atmosphères fournie par l'injecteur d'une machine en feu. La température de l'eau est d'environ 50° C.

BELGIQUE.

Chemins de fer de l'État. — Emploient généralement de l'eau froide, mais lorsque l'intervalle entre deux trains n'est pas suffisant pour permettre le refroidissement convenable de la chaudière, on emploie de l'eau chaude empruntée à une locomotive sous pression. La température est de 70° à 80° C.

Lignes Nord belges. — Emploient de l'eau chaude sous pression.

« L'eau employée au lavage est prise dans les réservoirs d'alimentation. Elle est chauffée et distribuée au moyen d'un injecteur Griffard vertical auquel est fixé un tuyau attaché le long du mur de la remise. Ce tuyau porte des soupapes à eau dont chacune dessert trois fosses au moyen d'un tuyau flexible muni d'une lance à son extrémité. La vapeur nécessaire au fonctionnement de l'injecteur est fournie par la chaudière de la machine fixe de l'atelier, laquelle se trouve à quelques mètres de l'injecteur. Le robinet d'eau est fixé à la conduite principale de la remise, l'appareil lui-même est ainsi alimenté par de l'eau sous pression. La pression de la chaudière est de 5 atmosphères, la pression à l'extrémité de la lance, mesurée au manomètre, a été trouvée égale à 2 $^1/_2$ atmosphères. L'amplitude du jet est de 25 mètres. La longueur du tuyau de lavage est de 30 à 40 mètres.

« La température de l'eau en marche normale est de 50° à 55° C. On peut la faire varier en réglant la quantité de vapeur alimentant l'injecteur. Toutefois, au delà de 60° C. l'ouvrier a très difficile à tenir la lance en mains. Dans certaines remises, où il n'existe pas de chaudière fixe, l'eau nécessaire au lavage est fournie par l'injecteur d'une locomotive placée sur une voie voisine. »

Société nationale des chemins de fer vicinaux (Belgique). — Emploie l'eau froide.

ÉGYPTE

Chemins de fer de l'État égyptien. — Emploient la méthode ordinaire avec un réservoir de 8.43 mètres de hauteur. Eau froide.

FRANCE.

Chemins de fer de l'État français. — Eau chaude ou froide selon le temps dont on dispose. Pour le lavage à l'eau chaude, l'eau nécessaire est empruntée au tender d'une locomotive sous pression, au moyen d'un boyau en caoutchouc raccordé au tuyau d'alimentation de l'injecteur.

L'eau est chauffée par l'envoi d'un jet de vapeur dans la soute à eau du tender, ainsi que par la vapeur servant au fonctionnement de l'injecteur. Elle est utilisée à une température de 70° C. environ. Quand la hauteur des réservoirs le permet, on utilise la pression ordinaire des conduites pour le lavage à l'eau froide ; dans le cas contraire, on emploie une petite pompe à vapeur montée sur chariot.

Chemin de fer de Paris a Lyon et a la Méditerranée. — Emploie généralement de l'eau froide, se sert d'eau chaude pour les chaudières à foyer en acier, et dans quelques dépôts pour toutes les locomotives. La température varie de 50° à 60° C. Une chaudière provenant d'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ancienne locomotive produit la vapeur qui, au moyen d'un injecteur, entraîne un courant d'eau pris aux bornes-fontaines et chauffé par l'injecteur. (*Voir* note à ce sujet, annexe II.)

Chemin de fer de Paris a Orléans. — Dans tous les dépôts importants, le lavage est effectué au moyen d'un pulsomètre ou de petites pompes à vapeur. Lorsque l'on emploie des pulsomètres, la température de l'eau est de 40° C.

Dans quelques dépôts, le lavage est effectué au moyen de l'injecteur d'une locomotive en feu, à la pression de 4 kilogrammes par centimètre carré.

Dans les dépôts peu importants, l'eau de lavage est employée à la température ambiante et sous la seule pression résultant de la hauteur du réservoir dans lequel elle est prise directement. De temps en temps des lavages plus complets sont effectués au moyen de la pompe à incendie.

Chemin de fer de l'Ouest français. — Le lavage est effectué à l'eau froide au moyen d'injecteurs.

Chemin de fer de l'Est français. — Eau chaude.

La température de l'eau utilisée pour le lavage varie de 35° à 45° C., par conséquent est sensiblement égale à la température de la chaudière après un refroidissement de dix-huit heures ce qui est, en service normal, le cas pour tous les lavages. La Compagnie de l'Est emploie deux appareils distincts pour chauffer l'eau. Le premier est un simple réchauffeur ou boîte de mélange qui est interposé sur le tuyau de refoulement d'une pompe spéciale servant au lavage des chaudières. Ce réchauffeur consiste en un cylindre d'un diamètre plus grand que celui de la conduite sur laquelle il est monté et suivant l'axe duquel un jet de vapeur est lancé par la tuyère de l'injecteur d'une locomotive sous pression ou de la chaudière de la pompe. Le second appareil est un éjecteur du type Bohler qui réchauffe l'eau pendant que le jet est projeté. Cet appareil n'est employé que dans les dépôts de peu d'importance, où la seule pression dont on dispose est celle des réservoirs.

Des ajutages convenables permettent, tout en réduisant le débit, de faire varier la température dans certaines limites, afin d'éviter toute contraction de la chaudière pendant le lavage.

Pour les instructions spéciales qui ont été données aux dépôts pour le lavage des chaudières, *voir* la note insérée dans l'annexe V.

Chemin de fer du Nord français. — Emploie habituellement l'eau froide. Dans quelques petits dépôts où aucune pression ne peut être utilisée, on lave au moyen des injecteurs depuis de nombreuses années.

Chemin de fer du Midi français. — Eau froide.

Chemin de fer du Sud de la France. — A l'eau froide, au moyen d'une pompe à vapeur donnant une pression de 2 1/2 kilogrammes par centimètre carré. Les chaudières sont lavées après un parcours maximum de 1,600 kilomètres.

GRANDE-BRETAGNE.

A. — Royaume-Uni.

Great Western Railway. — Dans la plupart des cas, les chaudières sont lavées à l'eau froide.

London & North Western Railway. — En règle générale, le lavage et le remplissage des chaudières est fait au moyen de l'eau froide. La question de l'emploi de l'eau chaude pour effectuer ces opérations est actuellement à l'étude.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

North Eastern Railway. — Emploie l'eau froide pour le lavage, après refroidissement de la chaudière.

North British Railway. — L'eau est chauffée à la température de 160° F. (71°1 C.) environ, au moyen de la vapeur passant par l'injecteur.

Midland Railway. — Emploie un jet d'eau froide.

Caledonian Railway. — Emploie l'eau chaude où et quand la chose est possible. Les chaudières sont lavées invariablement au moyen de l'eau fournie par l'injecteur d'une autre locomotive. Température 90° F. (32° 2 C.) environ.

Great Eastern Railway. — Emploie la méthode ordinaire de lavage à l'eau froide.

Great Northern Railway. — Eau froide.

London & South Western Railway. — Emploie l'eau chaude à 140° F. (60° C.) environ, introduite dans la chaudière au moyen d'un injecteur fonctionnant par l'action de la vapeur.

Lancashire & Yorkshire Railway. — Effectue le lavage de la manière ordinaire au moyen d'un jet d'eau froide.

Great Central Railway. — Eau froide.

Great Northern Railway (Ireland). — Emploie l'eau froide après refroidissement.

Glasgow & South Western Railway. — On laisse la vapeur s'échapper pendant la nuit de façon que la chaudière soit refroidie le matin, et on lave ensuite à l'eau froide.

Highland Railway. — Emploie l'eau froide provenant de la conduite de la ville.

South Eastern Railway. — Emploie l'eau froide.

Great North of Scotland Railway. — Laisse refroidir la chaudière, puis opère le lavage à l'eau froide.

Belfast & Northern Counties Railway. — Emploie l'eau froide sous une pression de 60 livres (4.22 kilogrammes par centimètre carré).

Furness Railway. — Eau froide prise à la conduite.

Taff Vale Railway. — Eau froide.

London, Tilbury & Southend Railway. — On tire le feu et on laisse la chaudière se refroidir jusqu'à la température de 100° F. (37° 7 C.) environ, on y introduit alors de l'eau froide et on enlève les bouchons de lavage. La chaudière est ensuite lavée à l'eau froide.

Metropolitan Railway. — Laisse les chaudières se refroidir et les lave ensuite à l'eau froide ; cette opération est effectuée hebdomadairement.

Metropolitan District Railway. — Emploie l'eau froide provenant des conduites à haute pression.

B. — Colonies.

New South Wales Government Railways. — Emploient l'eau froide, mais laissent s'écouler au moins un intervalle de huit heures entre le moment où le feu est tiré et le lavage.

New Zealand Government Railways. — Les chaudières sont lavées régulièrement chaque semaine et plus souvent lorsque la chose est nécessaire par suite de la mauvaise qualité

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des eaux. Avant le lavage, on laisse les locomotives au repos jusqu'à ce que l'eau qu'elles contiennent soit refroidie ; elles sont alors vidées et lavées à l'eau froide. On emploie des outils en cuivre pour enlever les incrustations.

South Australian Government Railways. — Emploient l'eau froide provenant de réservoirs surélevés ; l'eau de lavage est amenée au moyen de boyaux.

Western Australia Government Railways. — Emploient l'eau froide sous pression ; celle-ci varie de 30 à 60 livres par pouce carré (2.11 à 4.22 kilogrammes par centimètre carré).

Natal Government Railways. — Emploient uniquement l'eau froide. Les chaudières possèdent des bouchons de lavage en nombre suffisant pour permettre de projeter l'eau au moyen de la lance, à la partie supérieure et sur les côtés de la boîte à feu, ainsi qu'au sommet du faisceau tubulaire et à la partie inférieure du corps cylindrique. L'eau s'écoule par les trous de vidange qui se trouvent juste au-dessus du cadre du foyer. Les incrustations sont également enlevées par les trous de vidange. Le but poursuivi est de laver la chaudière pendant que le dépôt est encore boueux.

East Indian Railway. — Emploie l'eau froide projetée au moyen de lances, se sert également de tringles de nettoyage.

ITALIE.

Chemin de fer de la Méditerranée. — Emploie l'eau froide injectée au moyen de pompes « Faivre ».

Chemins de fer Méridionaux de l'Italie. — Dans quelques dépôts, nous employons l'eau froide pour les chaudières en fer et l'eau chaude pour les chaudières en acier. L'eau chaude est employée à la température de 40° à 50° C., elle est fournie par une locomotive placée à côté de celle à laver ou par le réservoir de la station ; dans ce cas, l'eau est réchauffée par la vapeur d'une autre locomotive. Nous avons mis à l'étude la question de l'emploi de l'eau chaude pour le lavage des chaudières dans tous les dépôts.

Chemin de fer du Nord de Milan. — Emploie de l'eau à la température de 65° C. environ, réchauffée au moyen de l'injecteur « Bohler ».

PAYS-BAS.

Chemins de fer de l'État néerlandais. — Eau froide.

Chemin de fer allemand. — L'eau de lavage est lancée dans la chaudière au moyen d'un injecteur fonctionnant par la vapeur d'une autre locomotive. L'eau est employée à la température de 60° C.

Chemin de fer Central néerlandais. — Emploie l'eau chaude et l'eau froide. L'eau est chauffée au moyen de la vapeur de la conduite.

ROUMANIE.

Chemins de fer de l'État roumain. — Emploient l'eau chaude et l'eau froide ainsi que le pétrole. Les opérations s'effectuent dans l'ordre suivant :

« *a*) Introduction du pétrole dans la chaudière ;
« *b*) Lavage à l'eau froide ;
« *c*) Lavage à l'eau chaude.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Les deux premières opérations sont conduites de la manière indiquée ci-après :

« Pour le lavage au pétrole, nous remplissons la chaudière à un niveau aussi élevé que pos-
« sible; nous laissons alors la locomotive dans cet état jusqu'à complet refroidissement et nous
« y introduisons ensuite par un des trous de remplissage ou par les tuyaux d'alimentation
« 1 à 2 kilogrammes de pétrole suivant la capacité de la chaudière. Nous laissons la chaudière
« dans cet état pendant dix à quinze minutes, afin de permettre au pétrole de se répandre uni-
« formément à la surface de l'eau, puis nous ouvrons le robinet de vidange de façon que par
« l'abaissement graduel du niveau de l'eau, le pétrole puisse recouvrir complètement les parois
« intérieures de la chaudière. Après écoulement de l'eau, nous laissons la chaudière dans cet état
« pendant une demi-heure ou trois quarts d'heure, pour permettre au pétrole de pénétrer dans
« les incrustations. Ensuite nous procédons au lavage à l'eau froide. Dans quelques dépôts où
« l'eau forme des incrustations plus dures, nous injectons le pétrole au moyen d'une pompe.
« Après deux ou trois parcours, nous vidons la chaudière et nous enlevons toutes les incrustations
« détachées (pour effectuer cette opération, il est parfois nécessaire d'ôter quelques tubes), puis
« nous procédons au lavage à l'eau froide de la manière ordinaire.

« L'eau chaude employée au lavage des chaudières de locomotives est fournie par l'injecteur
« d'une autre locomotive sous pression. Suivant le modèle d'injecteur employé, la température de
« l'eau varie de 45° à 60° C. »

RUSSIE.

Chemins de fer de l'État russe (ligne de Moscou a Koursk & Nijni-Novgorod). — Se servent généralement d'eau froide pour le lavage des chaudières des locomotives. Dans quelques dépôts on emploie simplement l'eau sous pression provenant de la conduite, et dans d'autres on utilise une pompe à vapeur « Worthington » ou « Blake », de façon à produire un jet suffisamment puissant pour débarrasser la chaudière de tous les dépôts et incrustations.

Le remplissage de la chaudière se fait également au moyen d'eau froide. Le lavage et le remplissage à l'eau chaude s'effectuent seulement dans des cas exceptionnels, savoir, quand on ne dispose pas du temps nécessaire pour permettre à la chaudière de se refroidir suffisamment avant le lavage. Après chaque grande réparation, les locomotives sont lavées à l'eau chaude, afin de faire disparaître les résidus de suif, pétrole, etc.

En cas de lavage à l'eau chaude, nous faisons emploi de l'eau du tender d'une autre locomotive, à la pression de 4 à 7 atmosphères, en nous servant de l'injecteur de cette locomotive. La température de l'eau réchauffée par l'injecteur varie de 50° à 60° C.

Ligne de Kharkov a Nicolaïev. — Emploie l'eau froide, ainsi que l'eau chaude fournie par l'injecteur d'une autre locomotive. Dans ce dernier cas, la température de l'eau est d'environ 60° à 70° C.

Chemin de fer de Vladicaucase. — Emploie généralement l'eau froide, mais dans quelques cas le lavage est opéré au moyen d'un violent jet d'eau chauffée à 100° C. et fournie par l'injecteur d'une autre locomotive.

ESPAGNE.

Chemin de fer de Madrid a Saragosse et a Alicante. — Emploie l'eau froide à haute pression.

SUISSE.

Chemin de fer Central suisse. — La chaudière est lavée au moyen de l'eau froide.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

Southern Pacific Railway. — « On laisse refroidir la chaudière, puis on enlève les bouchons « de lavage des angles inférieurs de la face arrière, au-dessus du cadre du foyer, ou bien ceux « placés au niveau du ciel du foyer ou en d'autres endroits. La chaudière est alors lavée au « moyen de boyaux dont on introduit la lance là où la chose est possible. Nous employons de « préférence l'eau chaude, mais parfois les circonstances s'y opposent.

« Quelquefois, en service, une chaudière de locomotive ne peut se refroidir d'elle-même entiè- « rement à défaut du temps nécessaire.

« En certains endroits, nous ne pouvons nous procurer l'eau chaude nécessaire.

« En règle générale, l'eau pour le lavage des chaudières est réchauffée au moyen d'un injecteur. « La température varie de 100° à 140° F. (37°7 à 60° C.) »

Illinois Central Railroad. — « L'eau chaude est employée pour le lavage des chaudières. « Après avoir fait entrer la locomotive dans la remise, la chaudière est raccordée, au moyen « d'un boyau flexible qui vient s'adapter à une soupape placée sur le sommet du dôme, à un « tuyau attaché au toit de la remise et régnant sur tout le pourtour de celle-ci. Ce tuyau aboutit, « sous le niveau de l'eau, dans un réservoir d'une contenance d'environ 100,000 gallons « (454,350 litres). La vapeur ainsi amenée dans le réservoir chauffe l'eau. Lorsque, après avoir « jeté le feu, la pression de vapeur est suffisamment réduite dans la chaudière de la locomotive, « le boyau de lavage est adapté au tuyau d'alimentation et la chaudière est refroidie en y intro- « duisant de l'eau. Quand la pression de vapeur est entièrement tombée et la chaudière complè- « tement remplie d'eau, les bouchons des trous de lavage sont enlevés et la chaudière vidée. La « chaudière est bien lavée au moyen d'un boyau muni d'un ajutage dont la forme est appropriée « à l'emplacement qu'occupent les bouchons de lavage. Des baguettes de petit diamètre sont « utilisées pour déloger les incrustations qui tombent à la partie inférieure de la boîte à feu et « qui sont alors expulsées au moyen de l'eau. Les trous de lavage sont placés aux endroits les « plus convenables de la chaudière dans les parois latérales, dans la plaque arrière de la boîte à « feu, etc., de façon que le ciel de la boîte à feu et toutes les parties de la chaudière puissent « être atteints.

« L'eau qui a été utilisée au lavage, après avoir passé par plusieurs bassins de décantation, « est renvoyée dans le réservoir où elle est réchauffée par la vapeur des locomotives dont on a « jeté le fer ou par la vapeur des machines fixes ou pompes installées dans la remise. La tempé- « rature est d'environ 120° F. (48°8 C.) et correspondant à celle que peut supporter la main de « l'homme qui tient la lance du boyau de lavage. »

New York, New Haven & Hartford Railroad. — Les chaudières sont lavées à l'eau chaude au moyen d'un boyau. La température de l'eau varie de 90° à 100° F. (32°2 à 37°7 C.).

Chesapeake & Ohio Railroad. — Emploie l'eau chaude fournie par une autre locomotive sous pression et dont la température atteint 212° F. (100° C.).

Lehigh Valley Railroad. — Le lavage des chaudières de locomotives s'effectue au moins une fois par mois, et plus souvent si la chose est nécessaire, par suite de la qualité de l'eau consommée. On jette le feu et on laisse la chaudière se refroidir graduellement. L'eau est employée à la pression d'environ 80 livres (5.63 kilogrammes par centimètre carré).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il résulte de ce qui précède que l'eau chaude est d'un emploi presque général pour le lavage des chaudières, à l'exception des chemins de fer de la Grande-Bretagne mentionnés plus haut, dont la plupart emploient l'eau froide. En ce qui concerne les États-Unis d'Amérique, les compagnies qui ont répondu emploient exclusivement l'eau chaude.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Annexe I.

—

Chemins de fer de l'État français.

1. Il existe sur le réseau deux systèmes d'installations pour épuration d'eau, l'un à fonctionnement intermittent, l'autre à fonctionnement continu.

Les eaux de nos alimentations sont à peu près de même nature, elles sont toutes plus ou moins chargées de carbonate de chaux; les sulfates, les autres sels et les matières organiques sont en très faible quantité.

L'épuration se fait en mélangeant aux eaux un réactif composé de chaux et de carbonate de soude, de façon à transformer en carbonates insolubles les bi-carbonates et les sulfates en dissolution; les précipités sont extraits après dépôt, par décantation et filtrage.

2. Les réactifs sont préparés dans des bacs spéciaux munis d'agitateurs, les uns mécaniques, les autres à air. Les agitateurs mécaniques se composent d'un arbre vertical garni de palettes qui tournent au milieu du réactif. Lorsque le réactif est brassé au moyen de l'air, celui-ci est fourni sous pression par une pompe ou par un éjecteur compresseur et arrive par le fond du bac.

L'agitation par injection d'air est préférable à l'agitation mécanique, en ce qu'elle détermine un brassage plus complet et donne un réactif plus homogène.

Le mélange du réactif avec l'eau à épurer se fait à l'entrée de celle-ci dans les appareils d'épuration; le réglage du débit du réactif se fait au moyen d'un robinet manœuvré soit à la main, soit automatiquement.

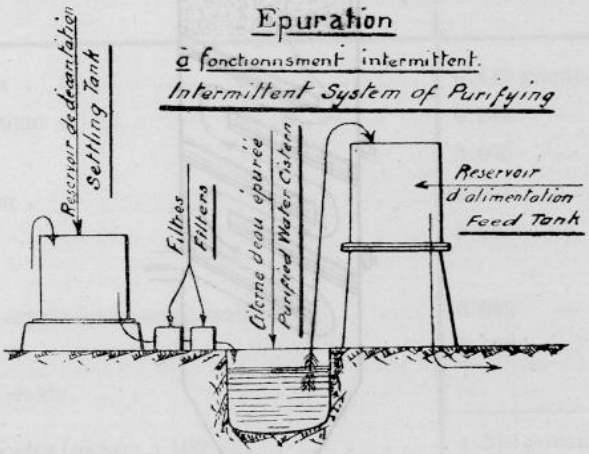


Fig. 13.

Avec le premier système indiqué plus haut (fonctionnement intermittent), la décantation se fait dans un réservoir métallique dans lequel le mélange de l'eau à épurer et du réactif séjourne douze heures environ; en sortant de ce réservoir l'eau passe par des filtres pour aller dans une citerne, d'où elle est élevée, par une pompe, dans le réservoir d'alimentation de la gare.

Avec le deuxième système (appareils continus), le mélange de l'eau à épurer et du réactif circule d'une manière continue dans des appareils en tôle d'où l'eau sort décantée, filtrée et prête à être employée.

Le schéma (fig. 14) indique la disposition du décanteur continu du système « Béranger & Stingl ». L'appareil se compose de plusieurs couples formés chacun de deux tubes emboités l'un dans l'autre;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'eau circule dans ces tubes suivant le sens des flèches ; les précipités se déposent rapidement par suite du changement brusque du sens du courant dans chaque couple.

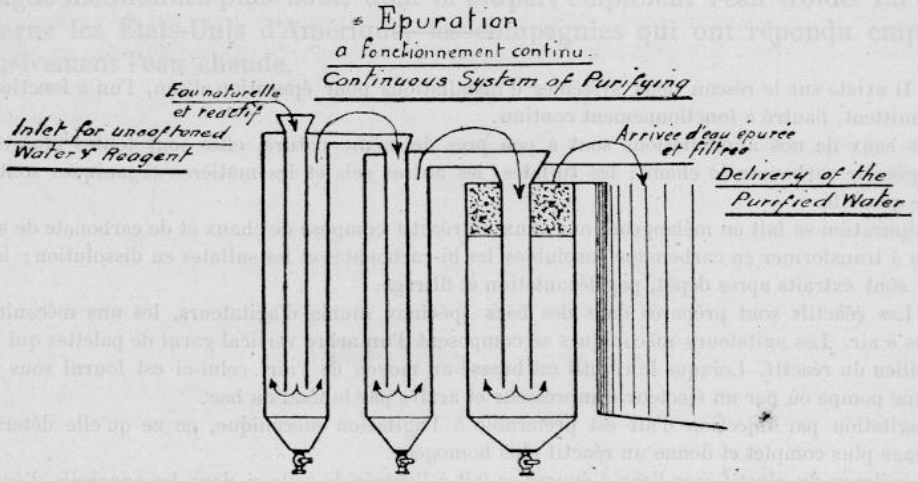


Fig. 14.

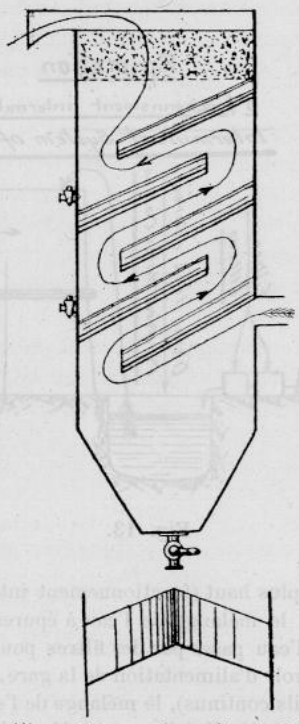


Fig. 15. — Vue en bout d'une chicane.

La partie supérieure du tube extérieur du dernier couple est munie d'un filtre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le schéma (fig. 15) donne la disposition d'un autre décanteur du système de M. Gaillet, constructeur à Lille. Cet appareil se compose d'une caisse rectangulaire garnie de chicanes, de façon à faciliter le dépôt des précipités. L'eau est introduite dans la partie basse et sort par la partie supérieure, après avoir traversé un filtre ; la section, entre les chicanes, va en augmentant dans le sens de l'entrée à la sortie de l'eau, de façon à diminuer la vitesse et à permettre le dépôt des précipités légers qui ont pu être entraînés par un courant à vitesse trop forte. Enfin, des robinets, placés à la partie inférieure de l'appareil et vers la partie basse de chaque chicane, permettent l'évacuation des dépôts.

3. Le prix de revient du mètre cube d'eau épurée est très variable ; les chiffres suivants sont des moyennes qui correspondent à une quantité d'eau à épurer de 100 mètres cubes par jour :

	Franc.
Matières (combustible, carbonate de soude, chaux, etc.)	0.0170
Main-d'œuvre	0.0875
Intérêt et amortissement du prix de l'appareil continu. 0.035	0.0570
et d'un réservoir supplémentaire 0.022	
Total par mètre cube	0.1615

Ce prix de revient est à peu près celui de l'épuration dans les appareils intermittents.

4. *Analyse de l'eau d'alimentation de Loudun.*

Les eaux de Loudun ont pour composition :

	AVANT LE TRAITEMENT.	APRÈS LE TRAITEMENT. (Appareil Béranger & Stingl.)
Carbonate de calcium	0.145 gramme.	0.050 gramme.
— de magnésium	0.082 —	0.015 —
Sulfate de calcium	0.075 —	0.014 —
— de magnésium	0.031 —	0.012 —
Chlorure de sodium	0.016 —	0.016 —
Sulfate de sodium	...	0.083 —
Matières organiques exprimées en acide oxalique	0.015 —	0.009 —
Nitrites	0.000 —	0.000 —
Dépôt total formant résidu	...	...
Matières totales dissoutes (séchées à 100° C.)	4.380 grammes.	0.200 gramme.
Dureté totale	31°	8°
Dureté permanente	29°	8°

5. Les incrustations formées par les eaux non épurées sont composées surtout de carbonates alcalins terreux et de sulfate de calcium ; tantôt c'est le carbonate de calcium qui domine dans l'incrustation, tantôt c'est le sulfate de calcium.

6. Les machines d'un même dépôt s'alimentent à diverses prises d'eau. On ne pourrait donc répondre à la question posée qu'en donnant avec l'analyse d'une incrustation, celle des *diverses eaux* qui ont concouru à la former ; or, le renseignement ainsi fourni semble présenter peu d'intérêt. Nous nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bornerons, en conséquence, à indiquer les résultats des analyses de deux incrustations, l'une riche en carbonate de chaux, l'autre riche en sulfate de calcium :

	ANALYSE DES INCRUSTATIONS RETIRÉES DES CHAUDIÈRES DES DÉPÔTS DE	
	Loudun.	Bressuire.
Carbonate de chaux.	80.24	3.55
— de magnésium	3.78	8.90
Sulfate de calcium	3.73	69.50
Alumine et oxyde de fer	3.25	3.00
Oxyde de cuivre.	Traces.	Traces.
Silice	7.00	9.50
Matières organiques	0.50	0.55
Humidité.	1.50	5.00
Totaux . . .	100.00	100.00

7. On introduit, partie dans les chaudières et partie dans les caisses à eau des tenders, un liquide dit antitartrique.

Composition du liquide antitartrique : on fait bouillir 130 kilogrammes de bois de campêche en copeaux et 150 kilogrammes de carbonate de soude dans 1,000 litres d'eau.

La quantité de liquide antitartrique à employer est calculée sur un dosage de 0.0156 kilogramme par mètre cube d'eau vaporisée et par degré hydrotimétrique.

8. Le grêlage se manifeste sur la plupart de nos chaudières.

Sous cette action, la tôle finit par se percer en certains points, ce qui exige l'arrêt de la machine et son envoi en réparation aux ateliers; le plus souvent la réparation consiste à rapporter une pièce de tôle sur la partie avariée; quelquefois il est nécessaire, par suite du grêlage, de remplacer toute une demi-virole inférieure.

Ainsi qu'il est dit plus loin (en réponse à la question n° 12), les tubes sont généralement en laiton, de sorte que le grêlage ne s'y produit pas.

Six tubulures en acier doux ont été mises successivement en essai depuis juillet 1889; la plus ancienne porte des traces de piqûres ou de grêlage qui n'ont encore causé aucun ennui, mais qui font présumer qu'un certain nombre de tubes ($^1/_8$ environ) devront être mis au rebut dans un délai peu éloigné.

Nous avons de plus, dix nouvelles machines avec tubes « Serve », en acier, mais leur mise en service est trop récente pour qu'on ait pu constater sur ces tubes l'action du grêlage.

9. Pour répondre à cette question, nous devons laisser de côté l'usure uniforme des tôles due à l'action des sels contenus dans l'eau d'alimentation et des corps gras susceptibles de s'introduire dans la chaudière, pour nous occuper exclusivement du grêlage, c'est-à-dire des corrosions locales. L'usure uniforme des tôles est d'ailleurs extrêmement lente.

Le grêlage se manifeste en premier lieu, aux points où l'homogénéité du métal a été altérée par le travail aux ateliers pendant la construction de la chaudière.

Ce fait autorise à admettre qu'en ces points des courants électriques prennent naissance dans l'eau d'alimentation rendue conductrice par les sels qu'elle contient en dissolution : cette eau est décomposée et oxyde le fer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le grêlage s'observe aussi en des points où le métal n'a pas été soumis à des efforts violents pendant la construction de la chaudière ; dans ces endroits, la tôle présente probablement un défaut d'homogénéité qui s'est produit au moment même du laminage, et l'explication donnée plus haut est encore admissible ; ces points se rencontrent d'ailleurs surtout dans la partie basse du corps cylindrique où des flaques d'eau séjournent après le vidage de la chaudière.

L'observation suivante met en évidence l'influence de l'homogénéité plus ou moins grande des tôles, c'est-à-dire de la qualité des tôles, sur le grêlage : de deux chaudières faisant le même service, s'alimentant aux mêmes prises d'eau, on constate parfois que la moins ancienne est plus grêlée que la seconde.

10. Ainsi qu'il est dit dans la réponse à la question nº 9, le grêlage se produit aux points où le métal a été soumis à des efforts violents pendant la construction de la chaudière, et aux endroits où l'eau peut former des flaques après le vidage de la chaudière.

Ces points sont les suivants (fig. 16 à 22 se rapportant à une chaudière en service depuis dix-sept ans, dont la plaque tubulaire a été remplacée une première fois) :

1º Au corps cylindrique (fig. 16 et 18), la partie inférieure sur le tiers environ du développement des viroles. Le grêlage est plus accentué à la partie inférieure des grandes viroles ;

2º A la plaque tubulaire de boite à fumée (fig. 17), autour du trou de l'autoclave et en forme de sillon sur la demi-circonférence inférieure de l'embouti de raccordement de la plaque tubulaire avec le corps cylindrique. Certaines plaques tubulaires de boite à fumée sont percées complètement vers la partie inférieure de l'embouti au bout de huit à dix ans (1) ;

3º A la face avant de la boite à feu (fig. 19), autour des trous des autoclaves et des entretoises ; en forme de sillons le long du cadre du foyer et le long de l'embouti de raccordement avec le corps cylindrique ;

4º A la face arrière de la boite à feu (fig. 20), autour des entretoises, autour du cadre de la porte du foyer ; en forme de sillons le long du cadre du foyer et dans le congé de l'embouti de raccordement avec les faces latérales du foyer ;

5º Aux faces latérales de la boite à feu (fig. 21 et 22), autour des trous des autoclaves et des entretoises ; en forme de sillon le long du cadre du foyer.

Tous les points qui viennent d'être signalés sont en même temps ceux où se logent de préférence les incrustations.

11. Chacune de nos chaudières possède deux tuyaux d'alimentation. Ces tuyaux débouchent à 6 centimètres environ au-dessous du plan médian horizontal du corps cylindrique, à une distance de la face avant du foyer, variable (de 1.40 à 3.50 mètres) avec le type de la machine.

Nous n'avons observé aucun accroissement du grêlage aux endroits où débouchent les tuyaux d'alimentation dans la chaudière.

12. *a*) Le corps de la chaudière est en tôle de fer. Nous avons toutefois quatre machines récemment livrées dont la chaudière est en tôle d'acier.

b) La boite à feu est en cuivre rouge.

c) Les tubes sont en laiton et ont été jusqu'ici munis d'un rabout en cuivre rouge du côté du foyer.

Nous venons de renoncer au raboutage des tubes en cuivre rouge.

Les tubes en laiton seront, à l'avenir, placés sans raboutage préalable, et lorsque le raboutage sera nécessaire, il se fera en laiton, du côté de la boite à fumée.

Nous possédons toutefois dix machines nouvelles dont les tubes sont du système « Serve » (à ailettes) en acier.

Sur une même chaudière, les tubes sont tous du même métal.

13. Nous employons l'huile minérale distribuée par graisseurs automatiques.

---

(1) Nous remplaçons actuellement les plaques tubulaires en fer hors d'usage par des plaques en cuivre rouge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 16 à 22. — *Chemins de fer de l'État français. — Locomotive n° 3057. Date de la mise en service : année 1878. Parcours jusqu'au mois de mars 1895, date à laquelle les érosions ci-dessous ont été relevées à l'atelier des machines d'Orléans : 678,462 kilomètres.*

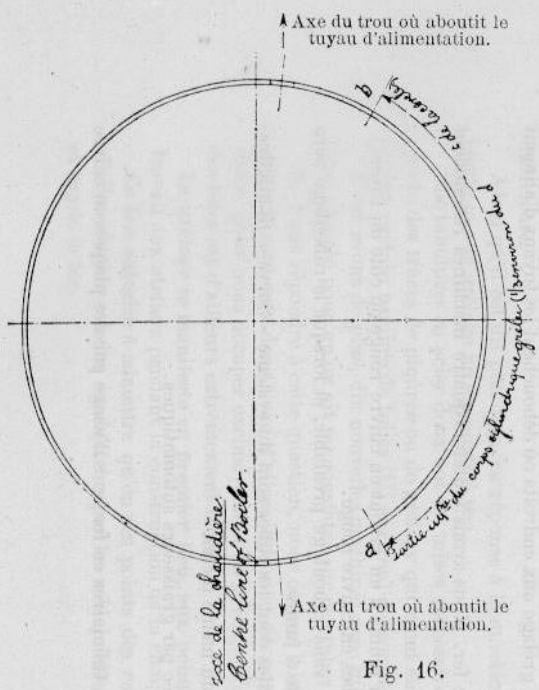


Fig. 16.

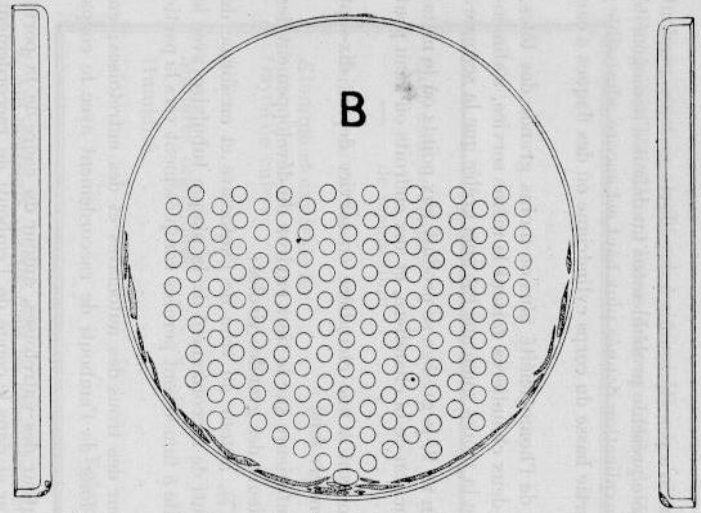


Fig. 17. — Plaque tubulaire de boîte à fumée (plaque en fer).
Cette plaque était complètement percée à sa partie inférieure de chaque côté du trou d'autoclave.

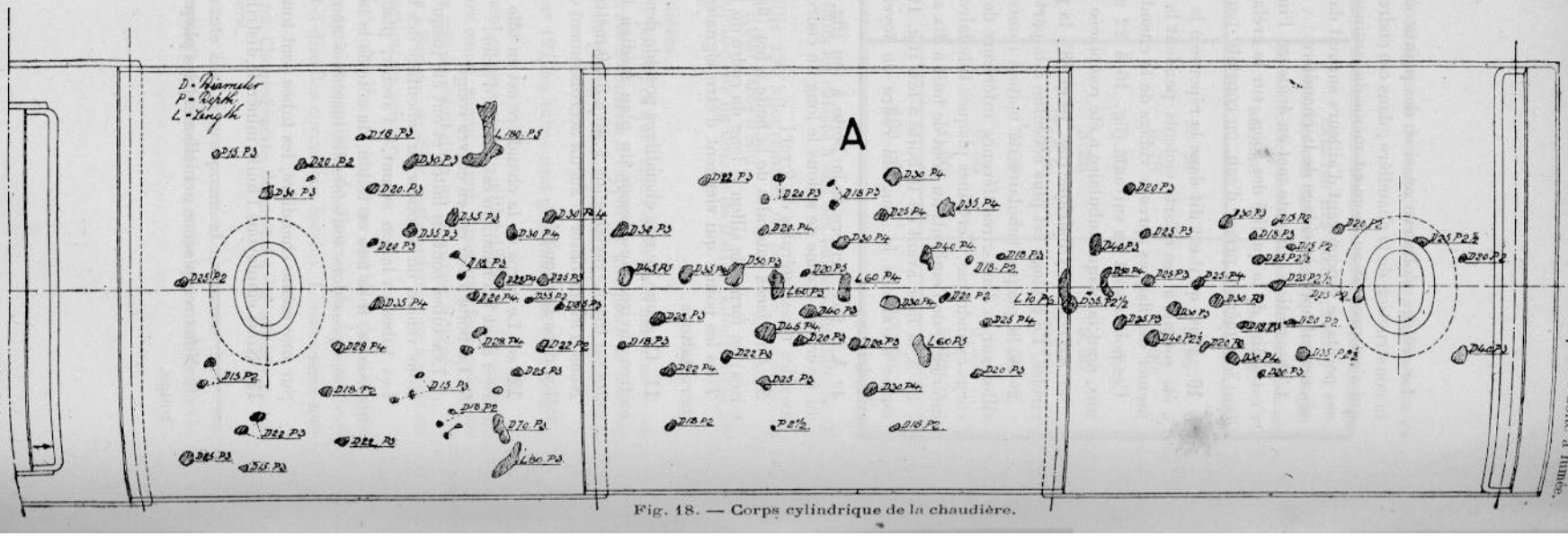


Fig. 18. — Corps cylindrique de la chaudière.

Fig. 19 et 20. — *Chaudières.*

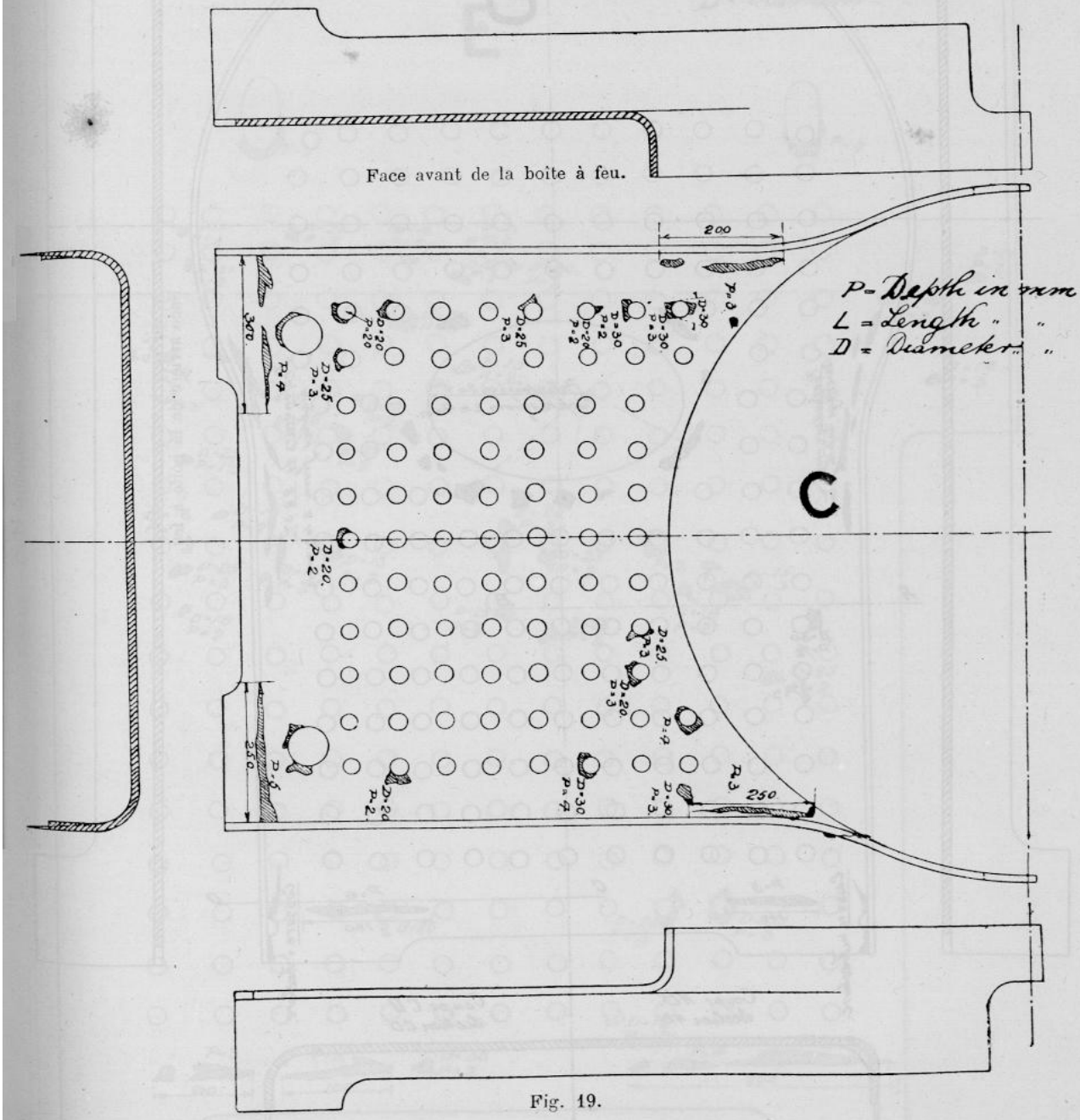


Fig. 19.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

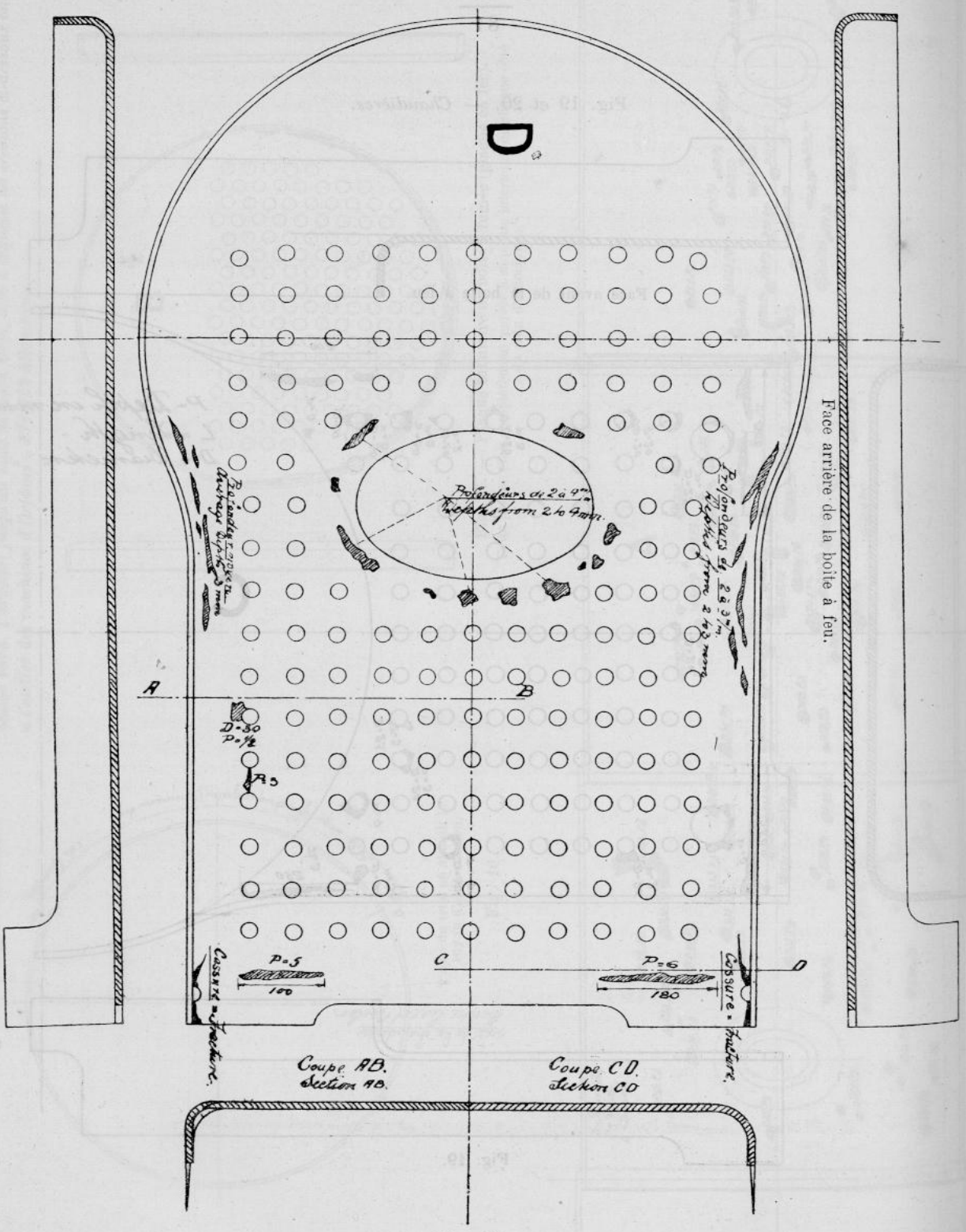


Fig. 20.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

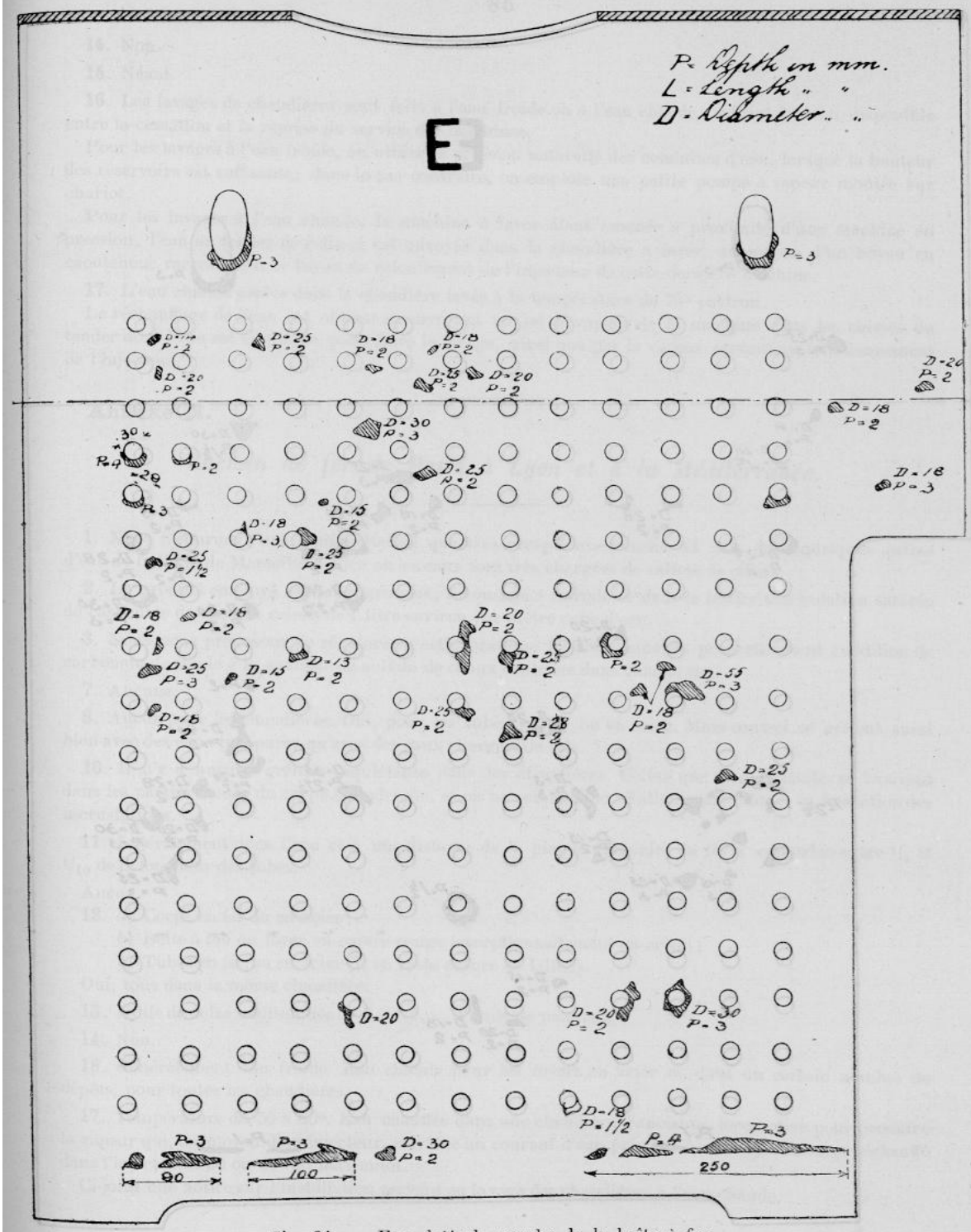


Fig. 21. — Face latérale gauche de la boîte à feu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

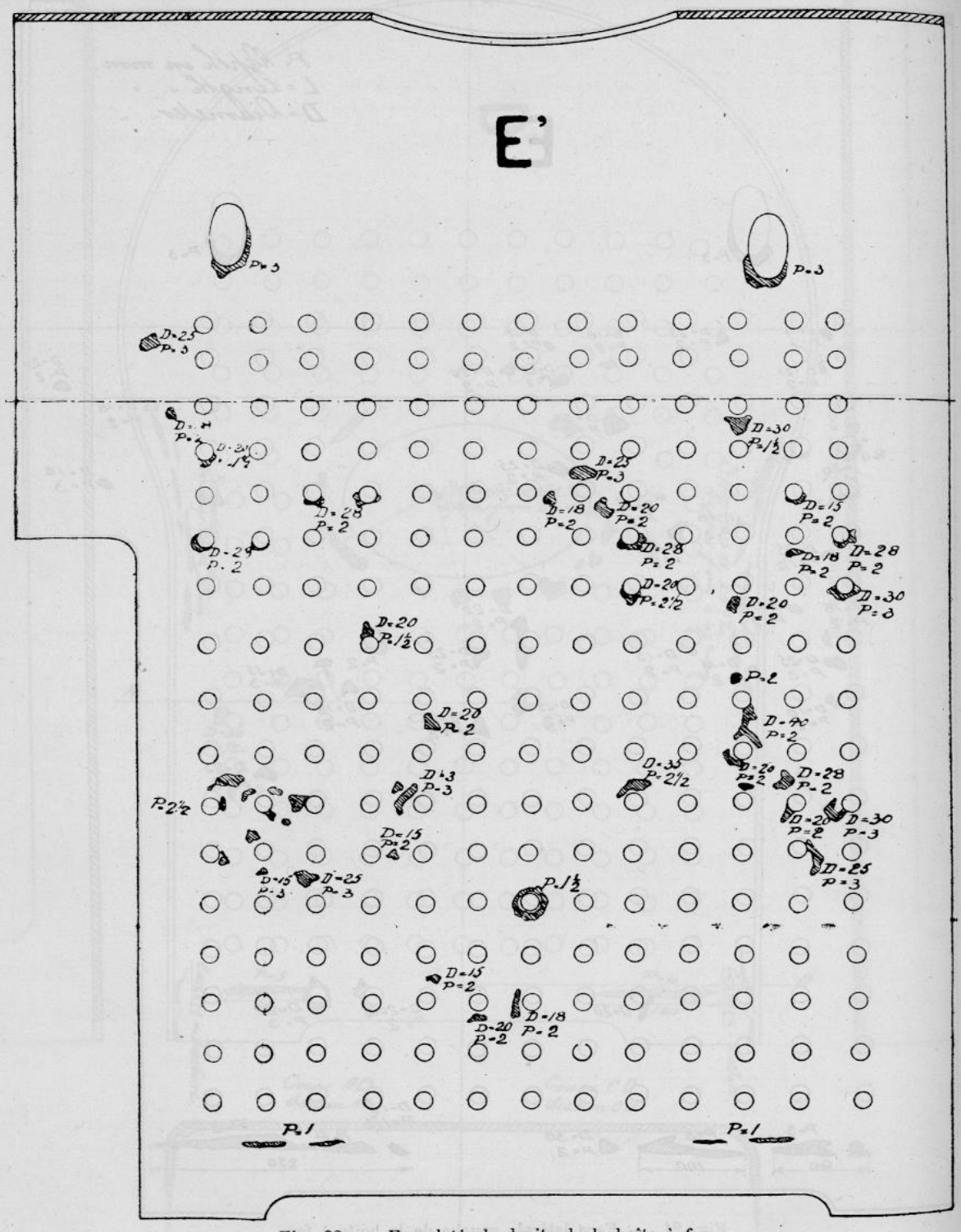


Fig. 22. — Face latérale droite de la boîte à feu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

14. Non.

15. Néant.

16. Les lavages de chaudières sont faits à l'eau froide ou à l'eau chaude, suivant le délai disponible entre la cessation et la reprise du service des machines.

Pour les lavages à l'eau froide, on utilise la pression naturelle des conduites d'eau, lorsque la hauteur des réservoirs est suffisante; dans le cas contraire, on emploie une petite pompe à vapeur montée sur chariot.

Pour les lavages à l'eau chaude, la machine à laver étant amenée à proximité d'une machine en pression, l'eau du tender de celle-ci est envoyée dans la chaudière à laver, au moyen d'un boyau en caoutchouc raccordé sur le tuyau de refoulement de l'injecteur de cette dernière machine.

17. L'eau chaude arrive dans la chaudière lavée à la température de 70° environ.

Le réchauffage de l'eau est obtenu en envoyant un jet de vapeur de la machine dans les caisses du tender dont l'eau est employée pour faire le lavage, ainsi que par la vapeur servant au fonctionnement de l'injecteur.

Annexe II.

—

Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

---

1. Nous n'épurons l'eau d'alimentation que très exceptionnellement, et cela dans quelques prises d'eau de la ligne de Marseille à Nice où les eaux sont très chargées de sulfate de chaux.

2. Le procédé employé est assez grossier; il consiste à introduire dans le tender une solution saturée de carbonate de soude à raison de 1 litre environ par mètre cube d'eau.

3. Nous nous proposons de régulariser cette pratique fort ancienne en proportionnant l'addition de carbonate de soude à la quantité de sulfate de chaux contenue dans chaque eau.

7. Aucune.

8. Aucun pour les chaudières. Oui, pour les tubes en fer ou en acier. Mais ceux-ci se grêlent aussi bien avec des eaux très pures qu'avec des eaux chargées de sels.

10. Il n'y a aucune grêlure inquiétante dans les chaudières. Celles que l'on constate se trouvent dans les parties basses du corps cylindrique, et on ne voit aucune relation entre elles et la formation des incrustations.

11. Latéralement dans l'eau et à une distance de la plaque tubulaire du foyer comprise entre $^1/_4$ et $^1/_{10}$ de la longueur des tubes.

Aucun.

12. *a*) Corps en fer ou en acier;
b) Boîte à feu ou foyer en cuivre rouge (exceptionnellement en acier);
c) Tubes en fer ou en acier (il en reste encore en laiton).

Oui, tous dans la même chaudière.

13. Huile de colza additionnée de 3 à 4 p. c. d'huile de palmiste.

14. Non.

16. Généralement eau froide. Eau chaude pour les foyers en acier et, dans un certain nombre de dépôts, pour toutes les chaudières.

17. Température de 50 à 60°. Eau chauffée dans une chaudière d'ancienne locomotive pour produire la vapeur qui, au moyen d'un injecteur, entraîne un courant d'eau pris aux bornes-fontaines, et réchauffé dans l'injecteur à 50 ou 60° au maximum.

Ci-joint une notice sur l'installation servant au lavage des chaudières à l'eau chaude.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOTICE.

Lavage des chaudières de locomotives par l'eau chaude.

L'eau chaude est fournie par l'injecteur Giffard d'une locomotive placée à côté de celle à laver. Le jet d'eau chaude est lancé par un boyau en caoutchouc raccordé sur le robinet purgeur de l'injecteur. Ce robinet étant ouvert, l'eau fournie par le Giffard se rend dans le boyau en caoutchouc, plutôt que dans la chaudière génératrice, en raison de la résistance qu'elle aurait à vaincre pour pénétrer dans cette dernière.

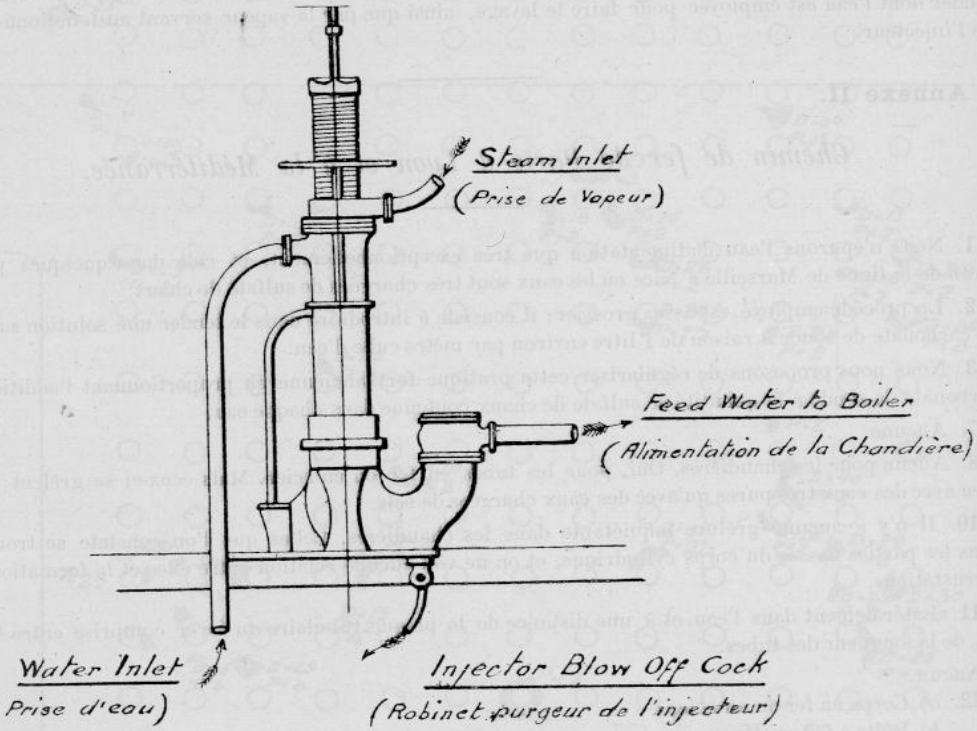


Fig. 23.

La pression dans la chaudière qui fournit l'eau chaude est maintenue entre 4 et 5 kilogrammes ; cette pression est suffisante pour produire un jet puissant d'eau à la température de 50 à 60° environ. Une température plus élevée offre l'inconvénient de laisser échapper par l'orifice du jet de lavage une assez grande quantité de vapeur très gênante pour les laveurs. La température de 50 à 60° suffit d'ailleurs pour éviter les contractions inégales des foyers et les fuites autour des entretoises, des tubes, etc., qui en sont la conséquence. Elle permet de réduire l'intervalle entre l'arrêt de la locomotive et son lavage et elle facilite la mise en pression après le lavage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Annexe III.

—

Chemin de fer de Paris à Orléans.

1. Le seul procédé employé jusqu'ici à la Compagnie d'Orléans est le procédé à la chaux.

2. Il a pour but de précipiter les carbonates alcalino-terreux, en combinant à de la chaux l'excès d'acide carbonique à la faveur duquel ces carbonates étaient dissous à l'état de bicarbonates.

Ainsi, pour le carbonate de chaux, la réaction est représentée par la formule :

$$Ca\,O\,2\,(CO^2) + CaO = 2\,Ca\,O\,CO^2.$$

La chaux est ajoutée sous forme de lait marquant 10° Baumé.

Une petite quantité de sulfates de chaux et de magnésie est entraînée dans la précipitation du carbonate de chaux.

Un dispositif approprié permet de régler l'écoulement du lait de chaux afin d'obtenir le mélange régulier pendant toute la durée du pompage.

L'eau, après pompage et addition du lait de chaux, est laissée en repos dans le réservoir pour permettre au dépôt de carbonates de se rassembler.

L'eau claire et limpide est décantée et s'écoule dans une citerne où elle est repompée pour être envoyée au réservoir de distribution.

3. Le prix de revient de l'eau épurée a été, en moyenne, de 0.141 franc le mètre cube pour les années 1896 et 1897.

Ce prix comprend les dépenses de combustible, graissage, entretien, réactif et temps de chauffeur. Il ne tient pas compte des dépenses d'installation.

4. Le procédé cité ci-dessus est appliqué tel que à la prise d'eau de Neuville-aux-Bois (ligne d'Orléans à Malesherbes).

Nous n'avons pas l'analyse complète de l'eau avant et après le traitement.

Voici les résultats que nous possédons :

	AVANT TRAITEMENT.	APRÈS TRAITEMENT.
Degré hydrotimétrique. Eau naturelle	30 degrés.	14.5 degrés.
— — (Après ébullition)	7 —	...
Résidu sec à 100° (par litre)	0.480 gramme.	0.318 gramme.
(dont en carbonates alcalino-terreux)	0.248 —	0.077 —

Remarque. — Antérieurement à la mise en marche de l'épuration de Neuville, la Compagnie avait installé une épuration à Aigrefeuille (Charente Inférieure).

L'ensemble de l'installation était la même. La seule différence notable consistait dans l'emploi de filtres à éponges que l'eau épurée et décantée devait traverser avant de s'écouler dans la citerne.

L'eau naturelle marquait 23 à 25° et était ramenée à 7 à 8°.

Le degré hydrotimétrique français correspond à 0.0057 gramme de chaux (CaO) par litre.

5 et 6. Nous avons 293 prises d'eau ayant fourni, en 1897, 7,844,431 mètres cubes d'eau ; les incrustations sont donc très variables suivant les stations où les locomotives s'approvisionnent d'eau.

Lors de l'installation des prises d'eau, nous recherchons les eaux les moins incrustantes ; nous allons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autant que c'est possible aux fleuves, rivières ou cours d'eau et nos instructions prescrivent aux machinistes de s'approvisionner aux prises d'eau les plus pures qui leur sont signalées.

Les prises d'eau où l'eau est mauvaise sont indiquées et les machinistes ne doivent y prendre de l'eau qu'en cas d'absolue nécessité.

7. On fait usage depuis plus de trente ans au chemin de fer d'Orléans, pour les chaudières des machines à vapeur et des locomotives, d'un liquide spécial composé de manière à atténuer l'effet incrustant des diverses eaux employées sur le réseau.

Ce liquide est composé de matières organiques tinctoriales extrêmement ténues, d'eau et de carbonate de soude.

Le but que l'on cherche à atteindre en employant des matières organiques tinctoriales est d'introduire dans la formation même du dépôt ou dans la composition des dépôts incrustants anciens un élément organique pouvant, lorsqu'il se trouve en contact avec le métal à une température élevée, se transformer par la chaleur en charbon assez complètement pour déterminer la séparation du métal et de l'incrustation; c'est donc seulement dans ce cas un effet physique que l'on obtient. Quant à l'action chimique qui est à noter également, elle résulte de la combinaison des matières tinctoriales avec les sels calcaires contenus dans les eaux pour former des laques.

On sait, en effet, que les oxydes métalliques, à l'état d'hydrates, possèdent une très grande affinité pour les principes colorants.

L'emploi du carbonate de soude a pour résultat non seulement d'aider à la désagrégation des matières tinctoriales dans la préparation du liquide désincrustant, mais il est employé également dans un autre but : formant partie constituante du liquide désincrustant et mêlé ainsi à l'eau des chaudières, il opère la transformation du sulfate de chaux en sulfate de soude soluble et en carbonate de chaux insoluble.

Le carbonate de chaux est moins à redouter pour les chaudières que le sulfate de chaux, très peu soluble à chaud comme à froid, et qui, se déposant lentement, au fur et à mesure de l'évaporation de l'eau, produit des incrustations très adhérentes aux parois des chaudières.

Ce procédé, comme tous les procédés de désincrustation, n'est qu'un palliatif, mais il a toujours donné au chemin de fer d'Orléans des résultats satisfaisants et répond à la plus grande généralité des cas pour les eaux de qualité moyenne.

La meilleure composition à suivre pour la préparation du liquide désincrustant est la suivante :

Carbonate de soude	50	
Orseille en pâte	80	
Bois de campêche et de quebracho	80	($^3/_4$ teinture de bois de campêche.) ($^1/_4$ teinture de bois de quebracho.)
Eau	...	

On ajoute la quantité d'eau nécessaire pour que le liquide puisse marquer après une ébullition prolongée dans une cuve en tôle conique chauffée à la vapeur, 8 à 10° au pèse-sel.

Par suite de la difficulté de se procurer de l'orseille à bon marché, la composition ci-dessus a été ainsi modifiée depuis quelque temps :

Carbonate de soude.	60
Bois de campêche	75
Bois de quebracho	25
Eau	...

Comme pour la préparation précédente, on ajoute la quantité d'eau nécessaire pour que le liquide, après une ébullition prolongée dans une cuve conique en tôle, chauffée au moyen d'un serpentin à vapeur, puisse marquer au pèse-sel 8 à 10°.

Quant à la règle à suivre pour obtenir avec le liquide désincrustant tout l'effet désiré, on ne peut arriver à un bon usage que par voie de tâtonnements.

Ce que l'on peut affirmer, c'est qu'il n'y a aucun inconvénient à employer, par machine à voyageurs,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même jusqu'à 300 litres par mois du liquide désincrustant ayant une des deux compositions que nous venons d'indiquer. C'est le chef de dépôt, en suivant attentivement le lavage de ses machines, qui peut le plus sûrement fixer lui-même la meilleure proportion de liquide à employer par machine et par mois dans son dépôt.

En général, la quantité de liquide à introduire dans les chaudières est de 0.016 kilogramme par degré hydrotimétrique et par mètre cube, mais, ainsi que nous venons de l'indiquer, cette quantité peut même être doublée sans qu'il puisse en résulter aucun inconvénient.

RÈGLE SUIVIE DANS LES DÉPÔTS.

Suivant la qualité des eaux, on introduit :

1° Dans les chaudières, après chaque lavage :

Aux voyageurs.	de	6 à 12	kilogrammes de liquide.
Aux marchandises	—	12 à 24	— —

2° Dans les tenders, chaque jour :

Aux voyageurs.	de	5 à 10	kilogrammes de liquide.
Aux marchandises	—	8 à 16	— —

On reconnaît que la quantité du liquide employé est trop grande lorsqu'en marche il se produit des ébullitions dans les chaudières.

La proportion employée, au contraire, est convenable lorsque, au lieu de tartre, on ne retire que de la boue de la chaudière pendant le lavage.

Lorsque ce dernier résultat sera constaté, on aura la certitude d'avoir obtenu du liquide désincrustant tout l'effet qu'on peut en attendre.

8 et **9**. En ce qui concerne les chaudières avec des eaux de qualité ordinaire, il est rare que la rentrée d'une machine aux ateliers soit provoquée par le grêlage.

Toutefois, cette action n'en constitue pas moins un inconvénient sérieux et occasionne à la longue des réparations.

Les piqûres sur les tubes, qui ne se présentent d'ailleurs que sur les tubes en fer et en acier doux, nécessitent des remplacements assez nombreux ; l'essentiel est qu'elles ne donnent pas lieu à détresse, ce qui est généralement évité, grâce au suintement que l'on constate lors du ramonage des tubes dès qu'il y a perforation du métal.

Le grêlage, à notre avis, semble provenir de la qualité des métaux employés aujourd'hui pour la fabrication des tubes en fer ou en acier.

10. Cette action se produit surtout dans la partie inférieure du faisceau tubulaire, au-dessous de l'arrivée d'eau d'alimentation. C'est également dans cet endroit que l'on constate la formation la plus considérable des incrustations.

11. Ce tuyau aboutit vers le tiers de la longueur du corps cylindrique du côté de la plaque tubulaire de la boîte à fumée, à quelques centimètres au-dessus de l'axe de la chaudière.

Oui, sur les tubes, c'est généralement dans cette région que l'on rencontre les piqûres les plus profondes et les plus nombreuses, et sur la chaudière, c'est dans la partie inférieure du corps cylindrique, au-dessous de l'arrivée de l'eau d'alimentation.

12. Acier doux ; cuivre rouge ; fer, acier doux ou laiton (en cuivre pour essai).

Oui, tous en fer, tous en acier doux ou tous en laiton dans une même chaudière.

Conditions de réception. — Chaque tube doit supporter une pression hydraulique intérieure par centimètre carré de 20 kilogrammes pour le laiton, 25 kilogrammes pour l'acier doux et le fer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

13. Le graissage se fait au moyen d'un mélange d'huile et de suif par des appareils indiqués ci-dessous pour les cylindres à vapeur.

On emploie la plus grande quantité possible de suif. Le mélange est moins fluide et plus lubrifiant et il y a, de plus, un certain avantage au point de vue de la bonne conservation des tôles de chaudières.

En effet, en cas de marche à contre-vapeur, sans emploi régulier de l'appareil à contre-vapeur, les matières employées pour le graissage sont en plus ou moins grande quantité envoyées dans la chaudière. Or, les corps gras et surtout les huiles végétales sont décomposables par l'action seule de la vapeur d'eau à haute température et haute pression en glycérine et acides gras. Ces derniers s'émulsionnent facilement avec l'eau et corrodent rapidement les tôles en formant des savons ferrugineux. Il y a donc intérêt à forcer la proportion de suif qui est un peu plus stable que les huiles végétales.

Appareils à main . . .	manœuvrables seulement pendant l'arrêt et en se tenant à terre à côté de la machine ; manœuvrables en marche de la plate-forme de la machine.
Appareils automatiques .	à condensation (système « Schober ») ne graissent que pendant la marche avec régulateur fermé ; à mécanisme (syst. « Drevdal ou Bourdon »), graissage continu en marche (huile seule).

Appareil automatique (système « Wenger ») pour la pompe des freins à air.

14 et 15. Pour empêcher ou réduire les corrosions des chaudières des locomotives, ateliers, prises d'eau, etc., on a recours au zinc. On l'emploie sous forme de bandes de : $1 \times 0.05 \times 0.01$ mètre ; deux de ces bandes sont placées à la partie inférieure du corps cylindrique de la chaudière.

Les bandes de zinc ne sont jamais placées dans le ciel du foyer ni dans les parties où les tôles sont soumises à l'action directe du feu.

Elles sont remplacées chaque fois que leur usure est constatée.

16. Dans tous les dépôts un peu importants, le lavage se fait au moyen de pulsomètres ou de petites pompes à vapeur. L'eau de lavage, dans le cas d'emploi des pulsomètres, peut atteindre à une température de 40°.

Nous faisons aussi dans quelques dépôts le lavage au moyen de l'injecteur d'une machine en feu avec la pression de 4 kilogrammes.

Dans les dépôts peu importants, l'eau de lavage est prise directement dans les réservoirs d'alimentation et utilisée à la température de l'air ambiant sous la seule pression que donne la hauteur de chute du réservoir. De temps en temps, on fait des lavages plus complets avec la pompe à incendie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Annexe IV.

—

Chemin de fer de l'Ouest français.

1. — L'épuration préalable n'est pas, en général, pratiquée sur notre réseau pour les machines locomotives, mais un essai est en cours à Saint-Germain en Laye, où toute l'eau nécessaire à l'alimentation des machines est épurée avant son introduction dans le réservoir.

Cette épuration est faite au moyen de l'appareil Desrumaux en fonctionnement à Saint-Germain depuis l'année 1896.

2. — *Voir* note ci-annexée.

3. — Le prix de revient de l'épuration est de 0.088 franc par 1,000 litres.

4. *Eau traitée par l'appareil « Desrumaux ».*

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	EAU NATURELLE PAR LITRE.	EAU ÉPURÉE PAR LITRE.
Carbonate de chaux.	0.308 gram.	0.018 gram.
Carbonate de magnésie	0.106 —	0.051 —
Sulfate de chaux.	0.062 —	0.025 —
Sulfate de magnésie.	0.009 —	0.006 —
Chlorures alcalins	0.070 —	0.071 —
Sulfates alcalins.	0.096 —	0.152 —
Oxydes de fer et alumine	0.006 —	0.005 —
Silice.	0.010 —	0.008 —
Dépôt total formant résidu	0.685 —	0.349 —
Matières totales dissoutes (séchées à 100° C.) . .	0.760 —	0.374 —
Dureté totale	66° (1)	18°5 (1)
Dureté permanente	44°	10°6

(1) Le titre de l'eau à épurer s'élevant parfois jusqu'à 80 degrés, on se borne à une épuration partielle, suffisante pour empêcher les incrustations, afin d'éviter un excès de réactif.

L'eau tenant en dissolution 0.25 gramme de chlorure de calcium ou 0.22 gramme de carbonate de chaux par litre, marque 22 degrés hydrotimétriques français, ou 15.4 degrés hydrotimétriques anglais, 1 degré français correspondant donc à 0.70 degré anglais.

5. — Les incrustations sont à l'état de boues et de tartre adhérent.

6. — Ci-dessous le résultat de l'analyse des résidus recueillis dans une chaudière alimentée par de l'eau non épurée :

Eau de cristallisation et matières organiques.	4.65
Carbonate de chaux.	85.45
Sulfate de chaux.	6.24
Carbonate de magnésie	1.89
Fer et alumine	0.57
Silice.	1.20
	100.00

Voir la réponse à la question 4 pour l'analyse des eaux non épurées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7. — En dehors du point spécial de Saint-Germain et de l'essai qui y est en cours, voici comment nous opérons dans l'ensemble du réseau :

Après de nombreux essais de la plupart des désincrustants, tartrifuges et autres produits analogues préparés par l'industrie privée, la Compagnie a adopté en 1882 un liquide désincrustant qu'elle fabrique elle-même et dont voici la composition :

Bois de quebracho en poudre	24 kilogrammes
Soude caustique	12 —

Ces matières sont placées dans une chaudière de 100 litres de capacité, puis on ajoute une quantité d'eau telle que l'ébullition ne fasse pas déborder; on fait bouillir pendant trois heures, on laisse reposer pendant une heure et on décante. Après décantation, on verse sur le résidu une quantité d'eau égale à la première, on porte de nouveau à l'ébullition pendant trois heures, puis on décante comme la première fois et on mélange les deux liquides ainsi obtenus. Le liquide final doit marquer à froid 11 à 12 degrés à l'aréomètre de Baumé.

8 et **9**. — Les corrosions qui se produisent n'ont donné lieu à aucun incident : leur cause n'a pu être déterminée.

10. — Les corrosions ne s'étendent pas au delà des parties baignées par l'eau et ne sont pas localisées aux abords des points où les tuyaux d'alimentation pénètrent dans la chaudière.

11. — Chaque machine porte deux tuyaux d'introduction, l'un à gauche, l'autre à droite. Ces tuyaux pénètrent vers l'avant de la première virole à peu près à la hauteur de l'axe du corps cylindrique.

12. — *a*) Le corps cylindrique est en acier pour toutes les machines de construction récente; il est en fer pour les autres.

b) La boîte à feu proprement dite est en cuivre rouge, son enveloppe est en tôle de fer ou d'acier.

c) Il existe encore un certain nombre de tubulures en laiton et fer, mais les tubulures de toutes les machines neuves sont en acier.

Dans une même chaudière tous les tubes sont en même métal.

13. — La matière employée pour la lubrification des cylindres est l'huile minérale de naphte additionnée d'une faible quantité d'huile de colza (10 à 15 p. c.).

14 et **15**. — Les essais faits à la Compagnie de l'Ouest remontent à l'année 1882. On employait des lingots de zinc de 30 centimètres de longueur et de 35 millimètres d'épaisseur fixés les uns à la suite des autres, sur une lame de fer plat. On les introduisait par l'autoclave de la boîte à fumée dans le bas de la chaudière. Au bout d'un certain temps ces lingots se déplaçaient sur leur support et il devenait très difficile de les sortir de la chaudière pour les examiner. On essaya ensuite d'introduire dans la chaudière un lingot unique de 1 mètre de long. Après huit jours de marche, ce lingot était réduit en fragments s'émiettant au moindre contact. Pas de résultat. On y a renoncé.

En 1885, on fit une nouvelle tentative en essayant l'électrogène d'Hanney, de Manchester. Cet appareil se composait d'une boule de zinc de 18 centimètres environ de diamètre, traversée par une tringle de cuivre d'où partaient deux fils de même métal, dont les extrémités étaient soudées aux tubes de la chaudière. La boule de zinc était soutenue dans la chaudière par un support assujetti contre les trois entretoises arrière de la rangée supérieure de la lame d'eau C.G. D'après l'inventeur, le zinc de l'élément voltaïque absorbant l'oxygène devait laisser l'hydrogène libre de se répandre sur toutes les parties de la chaudière et empêcher le tartre, sinon de se déposer, du moins d'adhérer aux parois. Pour faciliter le fonctionnement de l'appareil, il fallait ajouter dans la chaudière, après chaque lavage, 12 kilogrammes de sel marin.

Les résultats du détartrement n'ayant pas été sensiblement différents de ceux obtenus avec le désincrustant au quebracho décrit ci-dessus, l'appareil a été abandonné pour des raisons économiques.

16. — Les lavages se font à l'eau chaude au moyen d'éjecteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Note sur l'appareil « Desrumaux ».

Le procédé est basé sur l'emploi de la chaux et du carbonate de soude.

La chaux précipite les bicarbonates de chaux et de magnésie. Le carbonate de soude donne par double décomposition, en présence du sulfate de chaux, du carbonate de chaux, qui précipite, et du sulfate de soude soluble en toute proportion dans l'eau et, par suite, non incrustant.

Le carbonate de soude étant assez soluble dans l'eau, il suffit, pour le distribuer proportionnellement au volume d'eau à corriger, de le dissoudre en quantité déterminée dans un petit réservoir conditionné pour se vider totalement dans l'intervalle de temps qui sépare deux chargements. Ces chargements ont lieu toutes les vingt-quatre heures.

La seule précaution à prendre consiste à régulariser le débit du réservoir à soude, de manière à obtenir un écoulement constamment régulier, quel que soit le niveau de la solution de réactif dans le bac.

Dans l'épurateur « Desrumaux », ce résultat estobtenu en prenant la solution de réactifaumoyen d'un flotteur en ébonite, relié à un tuyau d'écoulement dans lequel le liquide entre sous charge invariable. L'orifice par lequel la solution se déverse dans le tuyau d'écoulement étant maintenu par le flotteur à une distance toujours égale du niveau du liquide, la pression de ce dernier reste constante.

La chaux étant toujours mélangée de pierres, d'incuits et, de plus, chargée d'une quantité extrêmement variable d'humidité absorbée, on ne peut se baser sur l'évaluation de son poids ; il faut, pour arriver à ajouter à l'eau exactement le poids de chaux nécessaire, mettre à profit la propriété qu'elle possède, de ne pouvoir se dissoudre dans l'eau au delà d'une proportion déterminée. L'eau, en effet, mise en présence de la chaux, même en grand excès, n'en dissout que 1.25 gramme par litre. Pour obtenir un poids de chaux voulu, il suffit donc de prendre un volume correspondant d'eau saturée de chaux.

La saturation de l'eau de chaux est obtenue en malaxant l'eau avec la chaux au moyen d'une roue hydraulique mise automatiquement en mouvement par l'eau à épurer elle-même.

Le saturateur « Desrumaux » comprend un récipient cylindrique, terminé par un fond conique et portant à sa partie supérieure un petit réservoir servant à l'extinction de la chaux.

Le saturateur est terminé inférieurement par un clapet de purge, auquel fait suite une colonne supportant tout l'appareil, et qui est utilisé, en outre, pour l'évacuation de la chaux épuisée.

La partie centrale du saturateur est traversée, dans toute sa longueur, par un tube vertical, inférieurement muni de palettes. Comme l'indique la vue intérieure que nous reproduisons ci-après (fig. 24 et 25), le tube central sert tout à la fois d'arbre pour le malaxage et de conduit pour l'introduction de l'eau à saturer dans le fond du saturateur. Le malaxeur, nous l'avons déjà dit, est actionné directement par un moteur hydraulique mû par l'eau à épurer.

On charge journellement le saturateur en introduisant une quantité voulue de chaux en pierres dans le récipient extincteur où, baignée par l'eau, elle s'éteint d'elle-même. On la fait descendre dans la caisse du malaxeur en ouvrant une vanne à crémaillère mettant en communication le fond de l'extincteur avec un large conduit concentrique au tube central et s'arrêtant un peu au-dessus de la première palette.

Quant à l'eau servant à la préparation du réactif, elle se déverse par le godet qui termine supérieurement le tube central, dans l'intérieur de celui-ci, arrive ainsi au fond du saturateur et sort, par des ouvertures ménagées dans le pivot, pour se mélanger intimement à la chaux contenue dans la caisse de malaxage. Par le mouvement des palettes qu'elle rencontre en remontant, l'eau se sature de chaux et poursuit son mouvement ascensionnel en se décantant rapidement et en abandonnant l'excès de chaux momentanément entraîné, qui retourne dans la caisse de malaxage, où il est repris jusqu'à épuisement complet. Au-dessus du malaxeur, des cloisons fixes, rayonnantes, facilitent la décantation en arrêtant le remou dû aux révolutions du malaxeur.

L'eau saturée de chaux et parfaitement claire sort par le haut du saturateur et va se mélanger, dans le décanteur, à l'eau tombant du moteur hydraulique et à la solution de carbonate de soude que contient un récipient demi cylindrique, posé directement sur le décanteur.

L'addition des divers réactifs à l'eau à épurer donne immédiatement naissance à des réactions qui troublent le liquide et lui donnent un aspect laiteux, dû à la précipitation des sels dissous.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 24 et 25. — *Chemin de fer de l'Ouest français.* — Appareil « Desrumaux ».

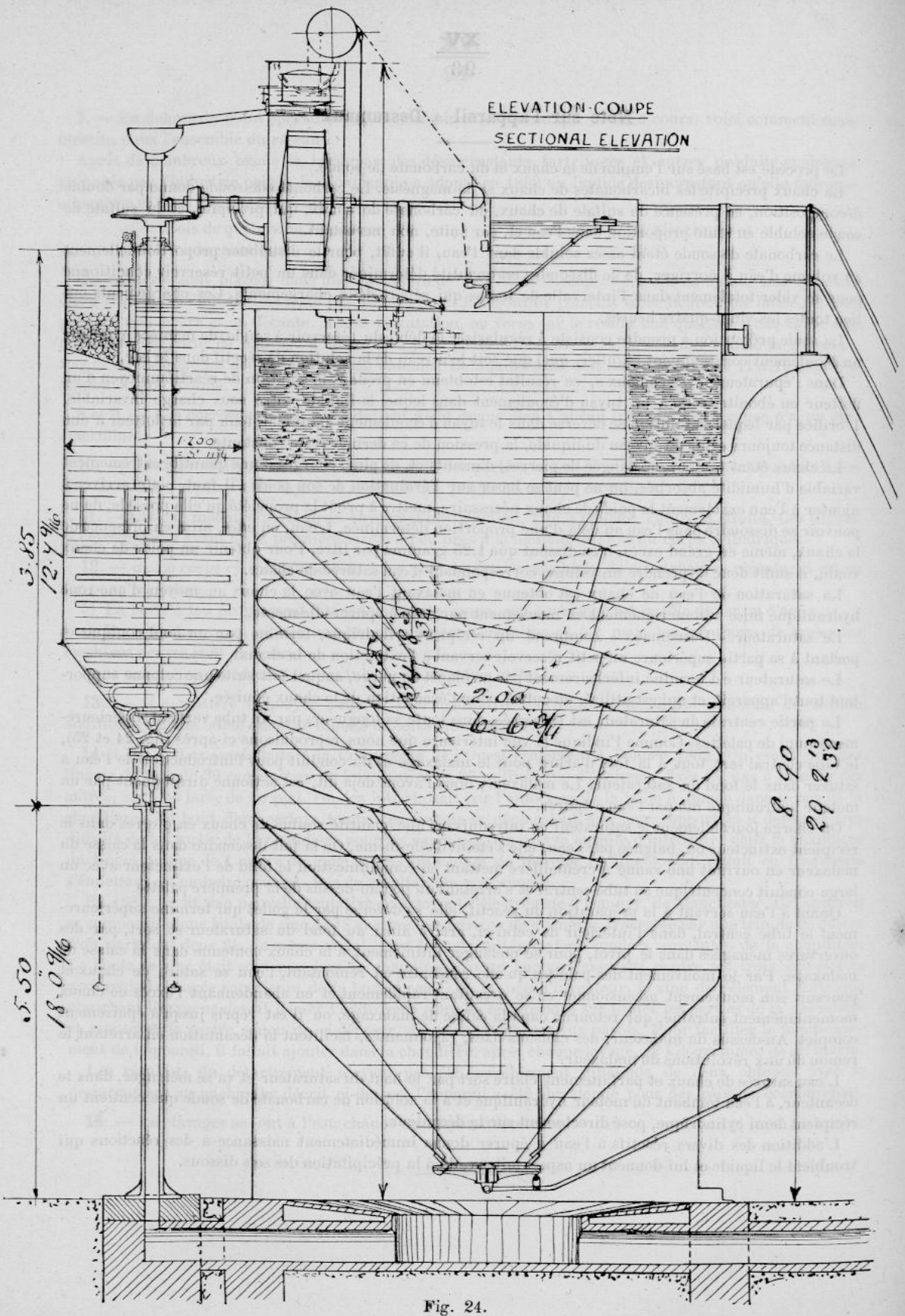


Fig. 24.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

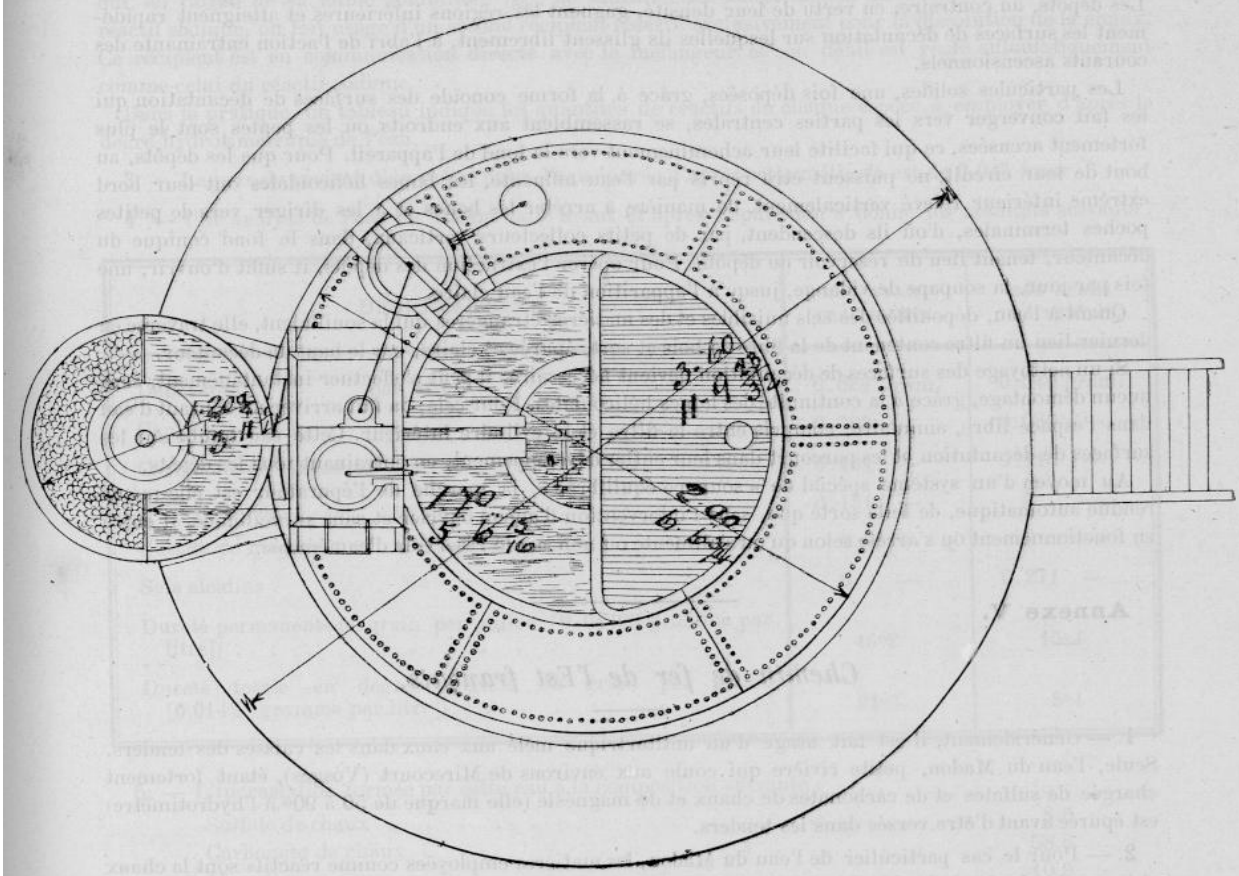


Fig. 25. — Plan.

Pour achever l'épuration, il ne reste plus qu'à séparer les précipités formés, ainsi que les matières étrangères que l'eau contient en suspension.

Cette séparation s'opère dans l'appareil de décantation.

Le décanteur de l'épurateur « Desrumaux » se compose d'un grand récipient cylindrique, disposé verticalement et terminé par un fond conique portant une soupape de vidange. Dans le centre du décanteur se trouve un cylindre ouvert à chaque extrémité et autour duquel s'enroulent des lames métalliques tenant du cône par leur inclinaison et de l'hélice par le développement.

Voici le fonctionnement de ce décanteur :

L'eau et les réactifs épurants se déversent dans le cylindre intérieur formant « colonne de réaction » et descendent vers le fond de l'appareil. Passant ensuite sous la tranche du cylindre, l'eau prend un mouvement ascensionnel et se divise entre les hélices.

En s'élevant dans le système hélicoïdal, le liquide en réaction se trouve naturellement partagé en tranches distinctes, séparées les unes des autres par les lames hélico-conoïdales, de telle sorte que les dépôts abandonnés par les couches supérieures ne peuvent, en tombant, souiller les nappes des spires inférieures, en train de se clarifier.

Par suite du mouvement ascensionnel dont elle est animée, l'eau, en s'élevant et en se clarifiant progressivement, suit constamment les régions supérieures des espaces compris entre les hélices.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dépôts, au contraire, en vertu de leur densité, gagnent les régions inférieures et atteignent rapidement les surfaces de décantation sur lesquelles ils glissent librement, à l'abri de l'action entraînante des courants ascensionnels.

Les particules solides, une fois déposées, grâce à la forme conoïde des surfaces de décantation qui les fait converger vers les parties centrales, se rassemblent aux endroits où les pentes sont le plus fortement accusées, ce qui facilite leur acheminement vers le fond de l'appareil. Pour que les dépôts, au bout de leur circuit, ne puissent être repris par l'eau affluente, les lames hélicoïdales ont leur bord extrême inférieur relevé verticalement, de manière à arrêter les boues et à les diriger vers de petites poches terminales, d'où ils descendent, par de petits collecteurs verticaux, dans le fond conique du décanteur, tenant lieu de réservoir de dépôts. Pour opérer l'extraction des dépôts, il suffit d'ouvrir, une fois par jour, la soupape de vidange, jusqu'à l'apparition de l'eau claire.

Quant à l'eau, dépouillée des sels nuisibles et des matières étrangères qui la souillaient, elle traverse en dernier lieu un filtre contenant de la fibre de bois et sort, épurée et claire, par le haut du décanteur.

Si un nettoyage des surfaces de décantation devient nécessaire, il peut s'effectuer instantanément, sans aucun démontage, grâce à la continuité des lames hélicoïdales. Pour cela, on fait arriver un courant d'eau dans l'espace libre, annulaire, compris entre le filtre et le cylindre intérieur. Cette eau tombe sur les surfaces de décantation et les parcourt dans leur entier développement, en entraînant tous les dépôts.

Au moyen d'un système spécial de « soupape équilibrée », la marche de l'épurateur est elle-même rendue automatique, de telle sorte que, sans l'intervention d'aucun ouvrier et sans surveillance, il entre en fonctionnement ou s'arrête selon qu'on s'alimente ou non sur le réservoir d'eau épurée.

Annexe V.

Chemin de fer de l'Est français.

1. — Généralement, il est fait usage d'un antitartrique mêlé aux eaux dans les caisses des tenders. Seule, l'eau du Madon, petite rivière qui coule aux environs de Mirecourt (Vosges), étant fortement chargée de sulfates et de carbonates de chaux et de magnésie (elle marque de 50 à 90° à l'hydrotimètre) est épurée avant d'être versée dans les tenders.

2. — Pour le cas particulier de l'eau du Madon, les matières employées comme réactifs sont la chaux et la soude. Lorsque le degré hydrotimétrique de l'eau ne dépasse pas 50°, on peut n'employer que la soude ; dans le cas contraire, il faut, en même temps, avoir recours à la chaux pour précipiter séparément le bicarbonate de chaux.

Voici comment on opère :

On détermine la composition chimique de l'eau, on néglige tous les sels autres que le sulfate et le bicarbonate de chaux. Cette détermination permet de calculer ce qu'il faut employer de réactifs, chaux et soude, pour épurer un mètre cube d'eau.

Le réactif sodique se prépare au moment de l'emploi de la manière suivante :

On verse dans un récipient, contenant en eau le $^1/_{25}$ du volume total à épurer, la quantité de carbonate de soude nécessaire pour épurer ce volume ; d'autre part, quelques heures auparavant, la quantité de chaux vive nécessaire pour la décomposition du carbonate de soude et la saturation du liquide a été éteinte et réduite en bouillie. Celle-ci est versée dans le récipient lorsque le carbonate de soude est complètement dissous. Un appareil, commandé mécaniquement, agite le mélange jusqu'à ce que l'eau perde son aspect laiteux, ce qui indique que la réaction est complète.

Le réactif ainsi préparé est ensuite mélangé mécaniquement à l'eau à épurer dans la proportion de $^1/_{25}$, puis le mélange se rend dans des bassins de décantation où l'eau est recueillie à la surface au moyen d'une crépine à flotteur ; de cette façon, l'eau du fond a souvent plusieurs journées de repos avant son emploi et elle est parfaitement éclaircie.

Lorsque l'élévation du degré hydrotimétrique de l'eau à épurer nécessite en outre l'emploi de la chaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui, en raison de sa faible solubilité, $^1/_{800}$, ne saurait être complètement dissoute dans le récipient à réactif sodique, on fait usage d'un second récipient réservé exclusivement pour la dissolution de la chaux. Ce récipient est en communication directe avec le mélangeur et son débit est réglé automatiquement comme celui du réactif sodique.

Dans la pratique, un tableau indique les quantités de réactifs de chaque espèce à employer d'après le degré hydrotimétrique de l'eau.

3. — Le prix de revient d'un mètre cube d'eau épurée d'après cette méthode est de 0.045 franc.

4. — Une analyse de l'eau du Madon faite avant et après l'épuration a donné les résultats suivants :

DÉSIGNATION.	EAU AVANT TRAITEMENT.	EAU APRÈS TRAITEMENT.
Dépôt total par litre	0.684 gram.	0.540 gram.
Carbonate de chaux —	0.303 —	0.086 —
Carbonate de magnésie —	0.134 —	0.113 —
Sulfate de chaux —	0.151 —	0 —
Sulfate de magnésie —	0 —	0 —
Sels alcalins	0 —	0.271 —
Dureté permanente (1 grain par gallon [0.01426 gramme par litre])	46°2	15°4
Dureté totale en degrés anglais (1 grain par gallon [0.01426 gramme par litre])	21°7	8°4

5. — L'incrustation formée par cette eau a la composition suivante :

Sulfate de chaux	8.6
Carbonate de chaux	58.6
Magnésie	10.9
Silice, sable, argile	7.5
Oxyde de fer et alumine	2.6

6. — Ci-dessous analyse de l'eau qui produit cette incrustation :

Résidu fixe à 180°. — Par litre d'eau filtrée 0.350 gramme.

Degré hydrotimétrique total	27°
— — après ébullition, corrigé	12°
Chaux totale par litre	0.124 gramme.
Magnésie —	0.019 —
Acide sulfurique —	0.050 —
Chlore	0.008 —
Matières organiques ou volatiles	0.064 —

Ces résultats d'analyse conduisent aux quantités de sels suivantes :

Sulfate de chaux	0.085
Carbonate de chaux	0.158
— de magnésie	0.039

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7. — Pour prévenir la formation des incrustations dans les chaudières de ses locomotives, la Compagnie de l'Est fait usage d'un liquide antitartrique dont la composition est la suivante :

Carbonate de soude en poudre	10 kilogrammes.
Extrait de châtaignier	12 —
Eau ordinaire.	78 —
Total. . .	100 kilogrammes.

L'extrait de châtaignier marque 25° Baumé; il renferme en moyenne 40 p. c. de matières fixes dont 30 p. c. de tanin.

D'une manière générale, on verse 2 litres de ce liquide dans chaque tender, par journée de service de la machine, et l'on en introduit directement 4 litres dans chaque chaudière au moment du lavage, opération qui se répète tous les neuf ou dix jours en moyenne. Cette manière d'opérer a donné jusqu'ici de bons résultats.

8. — Le grêlage des chaudières ou des tubes de locomotives de la Compagnie de l'Est n'a jamais causé de graves ennuis en service.

Les seules conséquences résultant du grêlage consistent dans le remplacement partiel ou total des parties rongées ou dans l'application de doublures sur les parties attaquées.

Si les rongeures sont peu importantes, la réparation est faite dans les ateliers des dépôts.

Lorsqu'elles présentent quelque gravité, les machines sont envoyées en réparation aux grands ateliers d'Épernay.

Les conséquences du fait du grêlage se bornent donc, soit à des frais d'entretien qui varient avec l'importance des réparations à effectuer, soit à une immobilisation de la locomotive dans les ateliers.

9. — Nous ne sommes pas exactement fixés sur les causes du grêlage.

Les études entreprises jusqu'à ce jour par le service du matériel et de la traction, les analyses de toutes sortes effectuées par le laboratoire dépendant de ce service, analyses qui ont porté sur les eaux d'alimentation, sur les dépôts de sels recueillis dans les chaudières et aussi dans les poudres qui remplissent habituellement les cavités de la tôle, n'ont donné aucun renseignement précis sur la nature de l'agent destructeur.

Nous pensons, comme beaucoup de chimistes et d'ingénieurs, que l'eau ou plus exactement les matières en dissolution dans l'eau : sels, acides et gaz (acide carbonique et oxygène) sont les principaux agents déterminants du grêlage.

L'action des gaz dissous est certainement notable, et c'est surtout à cette action que peuvent être attribuées les corrosions observées dans des chaudières de machines fixes alimentées avec des eaux très pures. Il semble même que l'oxygène et l'acide carbonique dissous ont une action plus énergique dans l'eau pure que dans l'eau chargée de sels calcaires.

Il est, d'ailleurs, une autre cause d'attaque des tôles, qui est inévitable : c'est la réaction du fer sur l'eau elle-même, qui est décomposée au-dessus de 100° en donnant de l'hydrogène et de l'oxyde de fer.

Nous croyons, en outre, pouvoir affirmer que l'importance des corrosions ne varie pas avec la provenance des tôles; en effet, dans les dépôts du réseau de l'Est où l'on constate de fortes rongeures, après huit à dix années de service, sur les tôles des chaudières de certaines séries de machines, on n'a jamais remarqué de différences appréciables dans la forme ou dans l'importance des corrosions, alors que les tôles provenaient d'usines et de fournitures différentes.

Ces remarques ne s'appliquent qu'aux tôles de fer.

Quant aux tôles d'acier, elles nous ont paru d'une façon générale être moins sujettes au grêlage que les tôles de fer, mais ces remarques, ne portant que sur un petit nombre de chaudières de construction ancienne, — deux chaudières en tôles d'acier puddlé nos 1000 et 1001, construites en 1866 et démolies en 1892 et 1893, et trente-huit boîtes à feu en tôle d'acier fondu sur sole, montées sur des chaudières construites en 1866 (nos 0526 à 0541), en 1869 (nos 0542 à 0557), en 1872 (nos 0558 à 0563) — ou sur des chaudières construites à partir de 1891, et par conséquent de construction trop récente, il n'est guère possible de formuler une conclusion bien nette à ce sujet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les recherches sur l'action du grêlage se poursuivent en faisant l'analyse des eaux d'alimentation des dépôts de tartre et des incrustations provenant non seulement des chaudières de locomotives fortement rongées, mais également des chaudières des machines fixes et des machines d'alimentation dans lesquelles on constate une forte action de grêlage.

10. — Les corrosions s'observent en différents points de la chaudière.

La note ci-jointe sur « Les corrosions, cassures et fissures de toute nature observées dans les chaudières des locomotives de la Compagnie des chemins de fer de l'Est » répond d'une façon aussi complète que possible à la question posée.

D'une manière générale, la corrélation des corrosions et des incrustations est évidente; c'est toujours aux endroits les plus sujets aux dépôts d'incrustations que l'on observe les corrosions les plus importantes, c'est-à-dire à la partie inférieure du corps cylindrique, vis-à-vis des robinets d'alimentation, et à la partie inférieure de la boîte à feu, près du cadre du foyer.

11. — En réponse à la première partie de la présente question, voici les dispositions adoptées par la Compagnie de l'Est pour l'alimentation de trois types récents de chaudières de locomotives :

a) Chaudières de locomotives à trois essieux accouplés et bogie à l'avant, nos 3401 à 3430.

Le tuyau d'alimentation aboutit à la deuxième virole au niveau de l'axe de la chaudière et par conséquent dans l'eau.

b) Chaudières à deux corps, type Flaman, des locomotives à deux essieux accouplés, nos 801 à 840.

Le tuyau d'alimentation aboutit à la première virole du corps cylindrique supérieur au niveau de l'axe de ce corps, mais il est prolongé à l'intérieur de la chaudière par un tuyau qui débouche dans la communication avant. Ce n'est en réalité qu'une variante de la première disposition.

c) Chaudières de locomotives-tenders à trois essieux accouplés, nos 613 à 742.

Le tuyau d'alimentation aboutit à la troisième virole au-dessus de l'axe de la chaudière, dans la partie réservée à la vapeur. Cette position est nécessitée par la présence des soutes à eau placées des deux côtés de la chaudière. Mais, dans ce cas, un écran en tôle, plongeant au-dessous du niveau de l'eau, dirige l'eau refoulée au-dessous de ce niveau.

Les observations faites jusqu'à ce jour n'ont pas permis de constater des avantages ou des inconvénients bien marqués dans les différentes dispositions adoptées sur les locomotives de l'Est.

12. — A l'occasion des Congrès de Saint-Pétersbourg et de Londres, la Compagnie de l'Est a fourni des renseignements très complets sur les matières employées dans la construction des chaudières et des tubes.

Voir note II de l'Administration des chemins de fer de l'Est sur la question XV-G (renseignements techniques relatifs aux chaudières de locomotives), par M. Salomon, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie de l'Est; pour la quatrième session, Saint-Pétersbourg, 1892, note publiée dans le *Compte rendu* de ce Congrès, et l'exposé de M. Sauvage, alors ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction de la Compagnie de l'Est, rapporteur de la question V (chaudières, foyers et tubes à fumée de locomotives. [Note publiée dans le *Bulletin* de septembre 1894]);

Ainsi que les annexes: formulaire F, par M. Belleroche : « Les chaudières des locomotives » (note de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, *Bulletin* de juillet 1895), et formulaire E, par M. Hodeige : « Les foyers des locomotives » (note de la Compagnie des chemins de fer de l'Est) pour la cinquième session, Londres, 1895. (*Bulletin* de juillet 1895.)

Le seul changement apporté depuis l'établissement de ces notes consiste dans la suppression du recuit de toutes les tôles au four dormant. Actuellement les ateliers d'Epernay ne recuisent plus que les tôles embouties, par la méthode dite à la *volée*, méthode qui consiste en un chauffage rapide de la tôle jusqu'à la température du recuit, suivi d'un refroidissement sur le sol de l'atelier à l'abri des courants d'air et de l'humidité.

Les viroles du corps cylindrique et l'enveloppe de la boîte à feu ne sont plus recuites dans un four dormant.

a et *b*) Dans les chaudières neuves, toutes les tôles du corps cylindrique et de la boîte à feu sont en acier fondu sur sole.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les parties embouties sont en tôle d'acier, dite TB, caractérisée par une résistance de 35 à 40 kilogrammes par millimètre carré et un allongement moyen minimum après rupture de 30 p. c. calculé sur une longueur entre repères $l = \sqrt{66.67S}$.

Les tôles du corps cylindrique de la chaudière et de l'enveloppe de boîte à feu sont en tôle, dite TA, caractérisée par une résistance de 40 à 45 kilogrammes par millimètre carré et un allongement moyen minimum après rupture de 28 p. c. calculé sur une longueur entre repères $l = \sqrt{66.67S}$.

Les conditions de réception exigées pour la fourniture des tôles de chaudières de la Compagnie sont indiquées dans le cahier des charges, n° 16 MP (tirage de juin 1897), ci-joint.

Au 1er janvier 1899, sur 1,350 chaudières de locomotives en service, la Compagnie de l'Est en possédait 156 en tôle d'acier, savoir :

40 machines à grande vitesse à deux essieux accouplés et bogie, nos 801 à 840.
2 — — — — — nos 508 et 509.
50 machines-tenders de banlieue à trois essieux accouplés, nos 693 à 742.
17 machines à marchandises à trois essieux accouplés, série 0250 à 0500.
10 — — à quatre essieux accouplés, série 0501 à 0691.
19 — — à trois essieux accouplés, nos 1002 à 1005, 3001 à 3015.
3 — à voyageurs, nos 454, 540 et 671.
15 — — à trois essieux accouplés et bogie, nos 3401 à 3415.

c) Tous les tubes employés dans les chaudières neuves sont en acier doux.

Les conditions de réception des tubes en acier doux pour chaudières sont indiquées dans le cahier des charges, n° 97 MP (tirage d'avril 1894), ci-joint.

Dans les anciennes chaudières, on conserve les tubes en laiton jusqu'à leur usure complète. Ces tubes en laiton sont appelés à disparaître assez rapidement et seront remplacés par des tubes en acier doux.

L'essai des tubes à ailerons du système « Serve », dont il a été parlé dans les notes du Congrès précédemment rappelées, se poursuit sur quelques séries de locomotives.

Actuellement la situation des tubulures des 1,350 chaudières de locomotives en service est la suivante :

NATURE DU MÉTAL.	Type de tube.	Diamètre extérieur.	Nombre	Total.
Acier doux	Ordinaire.	40 millimètres.	129	
—	—	48 3/4 —	531	
—	Bère.	48 3/4 —	3	754
—	Ordinaire.	55 —	70	
—	« Serve ».	70 —	21	
Laiton	Ordinaire.	48 3/4 —	476	596
—	—	55 —	120	

En cas de réparation, les tubes en acier comme les tubes en laiton sont exclusivement raboutés avec des bouts de même métal.

Les tubes en acier ne reçoivent pas de viroles et ils ne sont rivés que dans les chaudières dont le timbre est supérieur à 9 kilogrammes.

13. — En principe, le graissage employé pour la lubrification des cylindres est un mélange d'huile minérale (naphte noire de Russie, dite Mazout) et d'huile de colza brute dans des proportions variables de 25 à 60 p. c. selon la difficulté du service à assurer.

Sauf quelques exceptions, les appareils employés sont des récipients munis d'un robinet d'arrêt et de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tuyaux faisant communiquer ces récipients avec la boîte à vapeur du tiroir ou avec le cylindre. Le graissage se fait par conséquent à régulateur fermé.

14. — Non.

15. — Néant.

16. — Eau chaude.

17. — La température de l'eau employée pour le lavage des chaudières varie entre 35 et 45° et est, par suite, sensiblement égale à la température des chaudières après un refroidissement de dix-huit heures environ, ce qui est, en service normal, le cas général de tous les lavages.

Pour opérer le réchauffage de l'eau, la Compagnie de l'Est emploie deux appareils distincts :

Le premier appareil est un simple réchauffeur ou boîte de mélange qui s'interpose sur la conduite de refoulement d'une pompe spéciale affectée au lavage des chaudières. Ce réchauffeur consiste en un cylindre de plus fort diamètre que celui de la conduite sur laquelle il est monté et dans l'axe duquel arrive, par une tuyère d'injecteur, un jet de vapeur provenant d'une locomotive en pression ou de la chaudière même de la pompe.

Le deuxième appareil est un éjecteur, système « Bohler », qui, tout en réchauffant l'eau, projette un jet d'eau. Ce dernier appareil est employé dans les dépôts peu importants, qui ne disposent que de la pression de leur réservoir.

Des ajutages convenables permettent, en réduisant le débit, de faire varier la température dans des limites suffisantes pour éviter toute contraction de la chaudière pendant le lavage.

Nous joignons d'ailleurs à la présente réponse une note contenant les instructions spéciales données à nos dépôts pour le lavage des chaudières.

Note technique n° 127 sur les corrosions, cassures et fissures de toute nature observées dans les chaudières de locomotives de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, par M. Desgeans, ingénieur des ateliers d'Epernay (décembre 1898).

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Les observations qui suivent ont été faites surtout sur des chaudières en tôle de fer.

Cependant, les observations recueillies sur deux chaudières en tôle d'acier puddlé nos 1000 et 1001, démolies en 1892 et 1893, et sur trente-huit boîtes à feu en tôle d'acier fondu (chaudières nos 0526 à 0563), dont trente sont encore en service, concordent sensiblement avec celles qui ont été faites sur les chaudières en tôle de fer, tout en laissant plutôt un léger avantage aux tôles d'acier qui paraissent moins sujettes au grêlage.

Quant aux chaudières en tôle d'acier de construction récente, dont l'application se poursuit d'une façon exclusive depuis 1891 (1), elles sont encore en trop petit nombre et depuis trop peu de temps en service pour avoir donné des indications précises sur la façon dont elles subissent l'action corrosive des eaux.

D'une façon générale, dans toutes les chaudières de locomotives on constate, après détubage et nettoyage complet des tôles, que ces dernières sont grêlées plus ou moins et qu'elles présentent des rongeures et des corrosions de formes très diverses.

Les mêmes défauts se manifestent sur les tubes.

---

(1) Sauf dix chaudières en tôle de fer pour machines nos 0250 à 0500.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CORROSIONS PUSTULAIRES. — LEURS CAUSES PROBABLES.

A. La plupart des corrosions semblent dues à une action chimique de l'eau, indépendamment de toute action mécanique résultant du travail des tôles.

Les tôles présentent alors une série de cavités de forme lenticulaire dont le diamètre peut atteindre 20 à 25 millimètres et la profondeur 3 à 5 millimètres, et même plus. Ces cavités sont nettement isolées les unes des autres ou bien enchevêtrées les unes dans les autres en constituant des corrosions d'une certaine étendue. M. Olry, ingénieur en chef des mines, leur a donné le nom de corrosions pustulaires.

Ces cavités, ainsi qu'on le constate lors du piquage de la chaudière, sont remplies d'une poudre brunâtre composée en grande partie d'oxyde de fer qui se produit aux dépens du fer de la tôle. Cette poudre forme un volume plus grand que celui du fer qui lui a donné naissance.

Il semble bien que l'on doit attribuer ces corrosions à une action chimique qui se produit sous l'influence combinée de l'eau portée à une température élevée (160° à 180°) et des sels ou acides ou même des gaz : acide carbonique ou oxygène, dissous dans l'eau. La couverture de la tôle, couche mince d'oxyde, provenant du travail de laminage et du recuit, n'est pas complètement imperméable ; du reste, les dilatations et retraits successifs crevassent cette couche légère, et une fois l'attaque commencée, la nature poreuse du produit d'oxydation favorise son développement. C'est, d'ailleurs, un fait d'observation générale que la nature poreuse ou rugueuse des surfaces favorise la production des corrosions ; nous l'avons surtout constaté sur des tubulures dont l'étirage laissait à désirer.

CORROSIONS EN FORME DE SILLONS. — LEURS CAUSES PROBABLES.

B. Les autres corrosions sont causées plus spécialement par une action mécanique.

Elles se rencontrent dans certaines parties de la chaudière soumises à une série de flexions et contre-flexions résultant des dilatations et des contractions successives de la chaudière en service.

La fatigue des tôles soumises à la pression de la vapeur, la répercussion contre la chaudière des chocs violents et efforts divers supportés par le bâti ont aussi une grande influence.

Parfois même il peut arriver que le travail de forge préalable a pu produire une détérioration interne, rendant la tôle beaucoup plus sensible en certains points.

Il est bien évident d'ailleurs que, pour ces corrosions, si l'eau ou l'élément destructeur qu'elle contient en dissolution n'est pas l'agent primordial de l'attaque, elle est du moins l'agent propagateur très actif : la nature rugueuse des surfaces suivant lesquelles se produisent les déchirures favorisant toujours la production des corrosions.

Dans les foyers, à l'intérieur de la chaudière, l'eau ne semble exercer qu'une faible action sur le cuivre et ce n'est qu'exceptionnellement que les fissures constatées dans les foyers présentent l'aspect de corrosions.

Afin de grouper avec un certain ordre les diverses sortes de corrosions observées dans les chaudières des locomotives de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, on a adopté la classification suivante :

I. — *Chaudières en fer ou en acier.*

1° Corrosions intérieures :

a) Corrosions dues exclusivement à une action chimique;

b) Corrosions et fissures dues à une action mécanique, exagérée par l'action chimique.

2° Corrosions extérieures.

II. — *Foyers en cuivre rouge.*

1° Corrosions et fissures (côté de l'eau);

2° Corrosions et fissures (côté du feu).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III. — *Tubes.*

Toutes ces corrosions et fissures sont décrites dans les tableaux ci-après.

Pour certaines corrosions particulièrement importantes, nous avons indiqué le numéro de la locomotive, le dépôt d'origine, la profondeur des corrosions et le parcours de la chaudière ; mais, bien entendu, les mêmes genres de corrosions, criques et fissures se retrouvent, à des degrés moindres, dans d'autres locomotives.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

I. — Chaudières.

1° CORROSIONS INTÉRIEURES.

A. — *Corrosions dues à une action exclusivement chimique.*

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
1. A la partie inférieure des corps cylindriques des chaudières, sur une largeur variable de 30 à 60 centimètres, en pleine tôle. En dehors de cette zone, on n'observe plus que des rongeures isolées sans importance. (Fig. 26 et 27.)	Action destructive de l'eau ou d'éléments dissous dans l'eau.	Affaiblissement des parois, généralement sans gravité, mais nécessitant quelquefois l'application de doublures ou le remplacement des parties attaquées.
2. Dans quelques cas plus rares, les rongeures s'étendent jusqu'à une hauteur correspondant au niveau le plus élevé que l'eau atteint quelquefois dans la chaudière. Dans ce cas, les corrosions sont plus accentuées dans la région comprise entre le niveau inférieur et le niveau supérieur de l'eau que dans les régions inférieures : en un mot, il y a généralement une zone indemne entre les rongeures inférieures du n° 1 et celles du n° 2.	Dito.	Affaiblissement des parois sans gravité.
3. Aux trous de lavage de la chaudière, situés à la partie inférieure du corps cylindrique ou des plaques de boîte à feu. (Fig. 28.)	Il peut se produire en ces points des fuites légères donnant lieu, lors des refroidissements, à des rentrées d'air qui oxydent le métal. Le frottement des outils peut aussi causer une usure en ces points. Enfin, ces trous se trouvent aux points bas de la chaudière, les plus corrodés par conséquent.	Corrosions légères affaiblissant le métal et nécessitant l'application de pièces.
4. Sur les flancs de la boîte à feu, corrosions de grande étendue, mais généralement peu profondes. (Fig. 29.)	Action chimique de l'eau.	Affaiblissement des parois généralement sans gravité.
5. Au bas du dôme sur le corps cylindrique. Corrosions très légères qui n'ont été constatées qu'exceptionnellement à la Compagnie de l'Est où l'application des dômes ne remonte qu'à 1878. (Fig. 30.)	Action chimique de l'eau condensée en ce point.	Dito.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

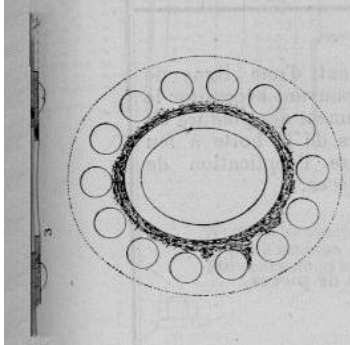


Fig. 28.

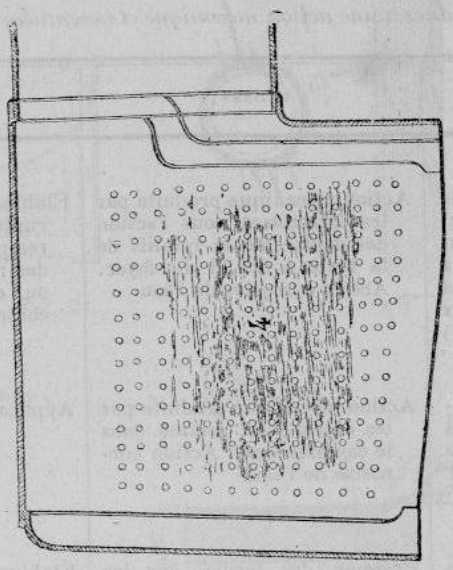


Fig. 29.

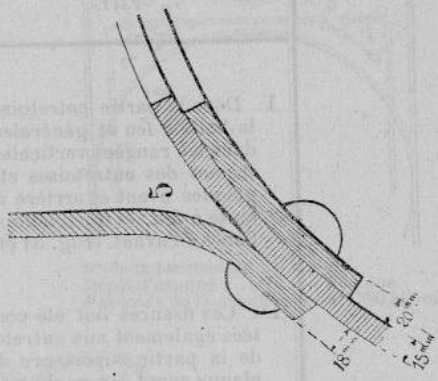


Fig. 30.

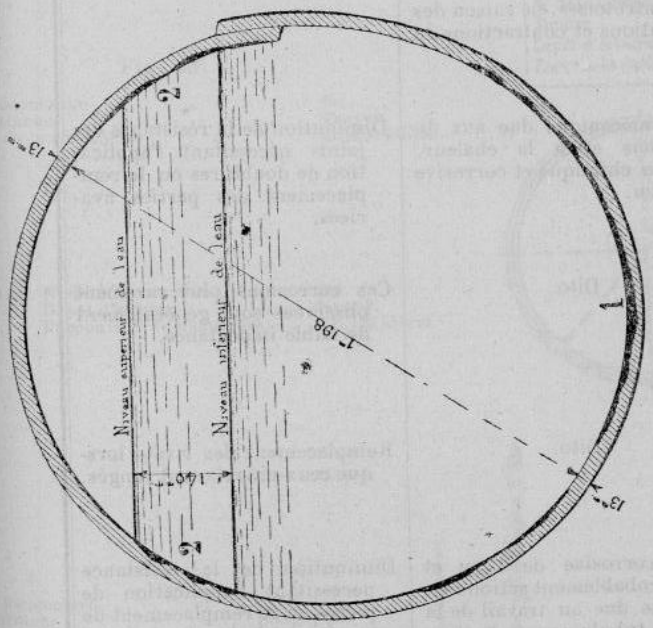


Fig. 26.

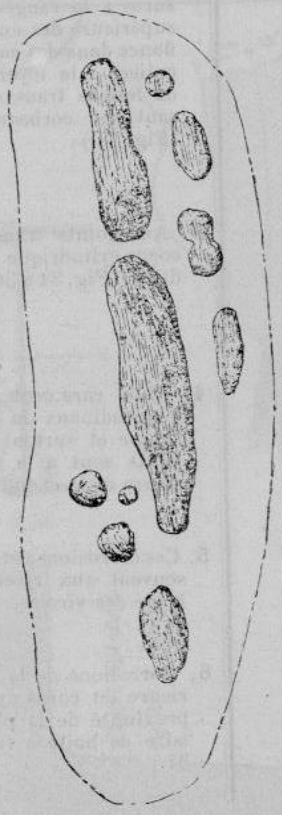


Fig. 27.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — *Corrosions et fissures dues à une action mécanique et accentuées par l'action chimique.*

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
1. Dans la partie entretoisée de la boîte à feu et généralement dans les rangées verticales extrêmes des entretoises et aux plaques avant et arrière de la boîte à feu, et quelquefois aux flancs à l'avant. (Fig. 31 et 32.)	Action mécanique produite par les entretoises, sous l'action des déplacements relatifs de la boîte à feu et du foyer. Action corrosive de l'eau.	Établissement d'une ligne de rupture pouvant nécessiter le remplacement des plaques ou des flancs de la boîte à feu ou encore l'application de contre-pièces.
1a. Ces fissures ont été constatées également aux entretoises de la partie supérieure de la plaque avant des machines 801 à 840.	Action mécanique produite par les entretoises, comme dans le cas précédent. Action corrosive de l'eau.	Application de pièces.
2. Nous avons eu l'occasion de constater également des cassures à la rangée horizontale supérieure des entretoises des flancs dans des cas tout particuliers : le foyer était muni de fermes transversales reposant sur corbeaux latéraux. (Fig. 33.)	Pression des fermes sur les corbeaux tendant à faire pivoter la partie de l'enveloppe portant le corbeau autour de la première ligne d'entretoises sollicitées déjà par la pression de la vapeur. Flexion des entretoises en raison des dilatations et contractions du foyer.	Établissement d'une ligne de rupture nécessitant l'application de pièces ou le remplacement de l'enveloppe.
3. Aux joints transversaux du corps cylindrique de la chaudière. (Fig. 34 à 36.)	Action mécanique due aux dilatations et à la chaleur. Action chimique et corrosive de l'eau.	Diminution de la résistance des joints nécessitant l'application de doublures ou le remplacement des parties avariées.
4. Plus rarement aux joints longitudinaux du corps cylindrique et surtout lorsque ces joints sont à la partie inférieure de la chaudière.	Dito.	Ces corrosions plus rarement observées sont généralement de faible importance.
5. Ces corrosions s'étendent assez souvent aux rivets d'assemblage des viroles.	Dito.	Remplacement des rivets lorsque ceux-ci seuls sont rongés.
6. Corrosions de la partie inférieure du corps cylindrique à proximité de la plaque tubulaire de boîte à fumée. (Fig. 37.)	Action corrosive de l'eau et très probablement action mécanique due au travail de la plaque tubulaire sous l'action de la poussée des tubes.	Diminution de la résistance nécessitant l'application de pièces ou le remplacement de la demi-virole de boîte à fumée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

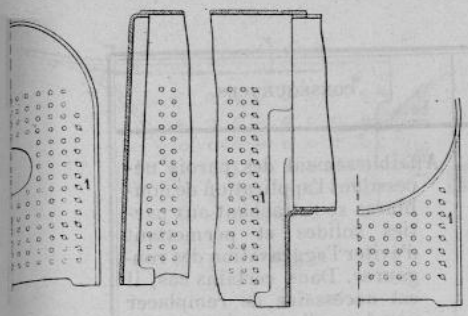
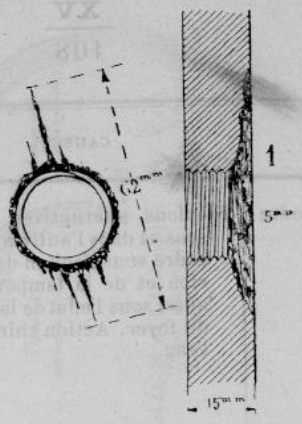


Fig. 31.



N° de la locomotive . . . . . 0,682.
Dépôt d'attache . . . . . Longuyon,
Parcours de la chaudière . . . . . 301,920 kilom.

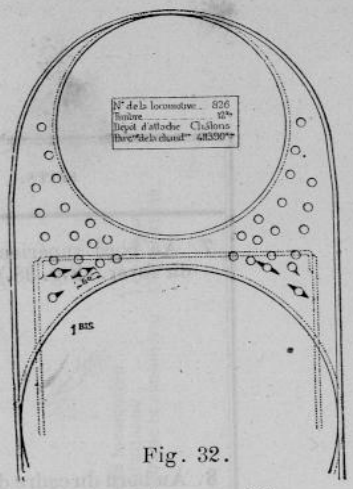


Fig. 32.

N° de la locomotive . . 826.
Dépôt d'origine . . . . Châlons.
Parcours de la chaudière. 411,390 kilom.

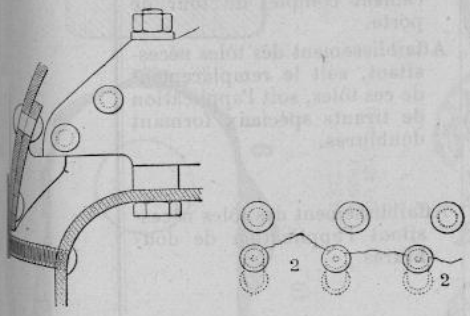
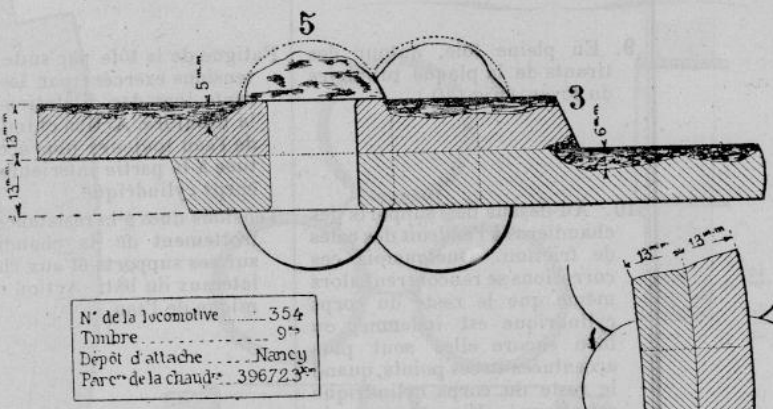


Fig. 33.

N° de la locomotive . . . . . 454.
Dépôt d'attache. . . . . Troyes.
Parcours de la chaudière. . . . . 562,430 kilom.



N° de la locomotive 354
Timbre ..... 9 kg
Dépôt d'attache ..... Nancy
Parcours de la chaudre. 396723 km

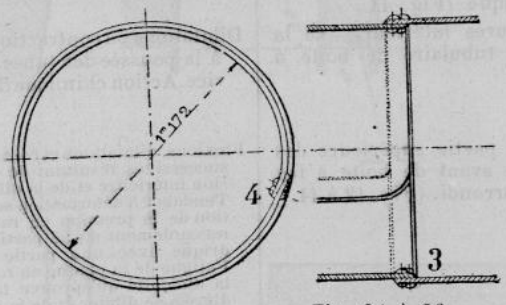


Fig. 34 à 36.

Fig. 34 à 36. N° de la locomotive. . . . 354.
Dépôt d'attache . . . . . Nancy.
Parcours de la chaudière. . 396,723 kilom.

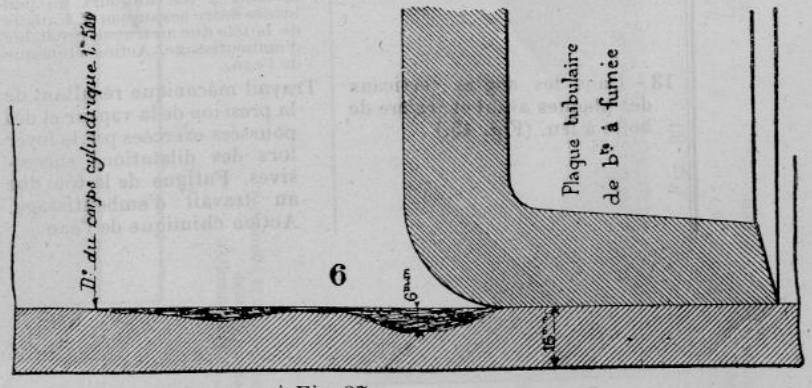


Fig 37.

N° de la locomotive. . . . . 0,688.
Dépôt d'attache . . . . . Longuyon.
Parcours de la chaudière . . . . 339,549 kilom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
7. Au bord supérieur du cadre du foyer. (Fig. 38.)	Flexions alternatives dans un sens et dans l'autre autour du cadre sous l'action de la pression et de la température et aussi sous l'effet de la poussée du foyer. Action chimique de l'eau.	Affaiblissement des parois nécessitant l'application de doublures se rattachant aux parties solides et permettant d'éviter l'aggravation des rongeures. Dans certains cas, il est nécessaire de remplacer par des rallonges les parties inférieures des plaques et des flancs.
8. Au bord du cadre de la porte : cette rongeure ne se produit que rarement. (Fig. 39.)	Dito.	Affaiblissement des parois nécessitant l'application de pièces et plus rarement le remplacement complet du tour de porte.
9. En pleine tôle, autour des tirants de la plaque tubulaire du foyer. (Fig. 40.)	Fatigue de la tôle par suite des tensions exercées par les tirants lors des dilatations de la tubulure. Action chimique de l'eau toujours plus accentuée à la partie inférieure du corps cylindrique.	Affaiblissement des tôles nécessitant, soit le remplacement de ces tôles, soit l'application de tirants spéciaux formant doublures.
10. Au-dessus des supports des chaudières à l'endroit des cales de friction. Quelquefois ces corrosions se rencontrent alors même que le reste du corps cylindrique est indemne, ou bien encore elles sont plus accentuées en ces points, quand le reste du corps cylindrique est attaqué. (Fig. 41.)	Tensions dues à la résistance au frottement de la chaudière sur ses supports et aux chocs latéraux du bâti. Action chimique de l'eau.	Affaiblissement des tôles nécessitant l'application de doublures.
11. Cassures intérieures de la plaque tubulaire de boîte à fumée.	Dilatations ou contractions dues à la poussée des tubes en service. Action chimique de l'eau.	Cassures des plaques nécessitant l'application de petites pièces en huit dans les intervalles ou le remplacement des plaques.
12. A la partie supérieure des plaques avant de boîte à feu dans l'arrondi. (Fig. 42 à 44.)	Flexions, dilatations et contractions successives résultant de la pression intérieure et de la dilatation. Tendance à déformation sous l'action de la pression en raison du raccordement d'une partie cylindrique avec une partie plane. Fatigue de la plaque en raison de la difficulté qu'éprouve la chaudière à se dilater et de la poussée qu'exerce le corps cylindrique sur la boîte à feu toujours un peu bridée entre ses supports. Fatigue de la tôle due au travail préalable d'emboutissage. Action chimique de l'eau.	Affaiblissement de ces parties nécessitant l'application de doublures ou le remplacement des plaques.
13. Dans les angles verticaux des plaques avant et arrière de boîte à feu. (Fig. 45.)	Travail mécanique résultant de la pression de la vapeur et des poussées exercées par le foyer lors des dilatations successives. Fatigue de la tôle due au travail d'emboutissage. Action chimique de l'eau.	Dito.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 38.

N° de la locomotive . . . . . 541.
Dépôt d'attache . . . . . Reims
Parcours de la chaudière . . . . . 1,089,466 kilom.

Fig. 39.

N° de la locomotive . . . . . 0,681.
Dépôt d'attache . . . . . Longuyon.
Parcours de la chaudière. . . . . 249,657 kilom.

Fig. 40.

N° de la locomotive 0,347
Dépôt d'attache . . . . . Nancy.
Parcours de la chaudière . . . . . 410,489 kilom.

Fig. 41.

Fig. 42.

N° de la locomotive . . 0,088.
Dépôt d'attache . . . . Longuyon.
Parcours de la chaudière. 330,549 kilom.

Fig. 43.

Fig. 44.

Fig. 43 et 44. N° de la locomotive . . 0,443.
Dépôt d'attache . . . . Nancy.
Parcours de la chaudière. 503,773 kilom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
14. Au contour de la plaque tubulaire de boîte à fumée.	Flexion résultant de la pression intérieure et de la poussée des tubes. Fatigue de la tôle due au travail d'emboutissage. Action chimique de l'eau à la partie inférieure.	Cassure de la plaque et fuites à l'extérieur nécessitant l'application de doublures, cornières ou le remplacement de la partie de la plaque qui porte les tubes.
	2° CORROSIONS EXTÉRIEURES.	
1. A la partie inférieure de la boîte à feu, près du cadre, aux joints des plaques avant ou arrière avec l'enveloppe. (Fig. 46 et 47.)	Action corrosive de l'eau provenant de fuites qu'on peut attribuer, en raison de la fréquence relative de ces corrosions, au travail auquel est soumis le cadre, du fait de la pression considérable exercée sur le ciel et de la dilatation à laquelle il est soumis sous l'action de la chaleur. Travail défectueux de chaudronnerie.	Ces corrosions sont généralement peu importantes. Le plus souvent, il suffit de gratter l'oxyde et de mater, ou encore de mettre une pièce.
2. A la partie inférieure de la boîte à feu, près du cadre, aux rivets. (Fig. 48.)	Fuite causée par une fatigue du joint ou par la pose défectueuse du rivet.	Corrosions en général insignifiantes. Il suffit de débarrasser de l'oxyde et de mater ou bien de remplacer le rivet.
3. A la partie inférieure des tôles de boîte à feu.	Fuites au cadre.	Corrosions en général insignifiantes. Il suffit de débarrasser de l'oxyde et de mater.
4. Corrosions extérieures à la partie inférieure du corps cylindrique aux joints transversaux.	Corrosion locale due non seulement à la fatigue proprement dite de la clouure et aux dilatations et contractions causées par l'arrivée de l'eau froide, mais aussi à l'action corrosive de l'eau lorsque des fuites viennent à se déclarer.	Affaiblissement des tôles nécessitant l'application de doublures.
5. Corrosions extérieures aux joints longitudinaux. (Fig. 49 et 50.)	D.to.	Ces corrosions sont plus rares et en tout cas moins accentuées que les précédentes. Un léger matage suffit généralement pour arrêter les fuites et par suite la corrosion.
6. Corrosions extérieures autour des bouchons et trous de lavage au corps cylindrique et aux parois de la boîte à feu. (Fig. 51.)	Fuites.	Affaiblissement des tôles nécessitant l'application de doublures ou de pièces.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

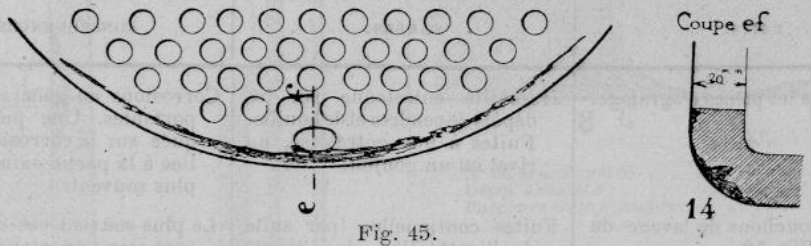


Fig. 45.

N° de la locomotive . . . . . 109.
Dépôt d'attache . . . . . Chalindrey.
Parcours de la chaudière . . . . . 763,825 kilom.

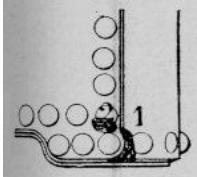
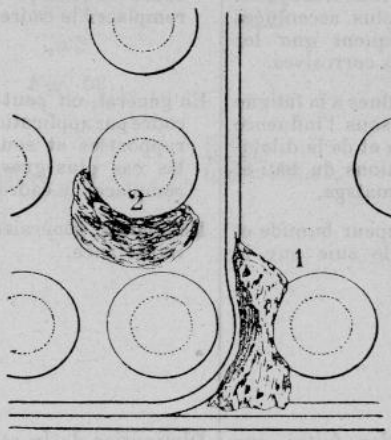


Fig. 46.



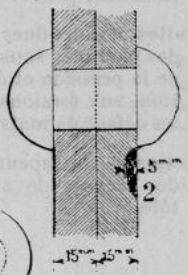


Fig. 47.

N° de la locomotive . . . . . 651.
Dépôt d'attache . . . . . La Villette.
Parcours de la chaudière . . . . 467,459 kilom.

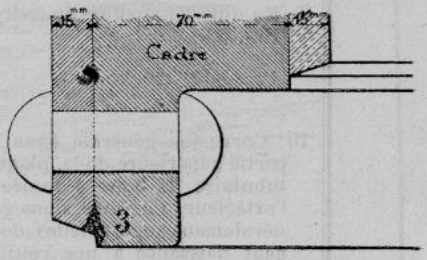


Fig. 48.

N° de la locomotive . . . 616.
Dépôt d'attache . . . . La Villette.
Parcours de la chaudière . 761,859 kilom.

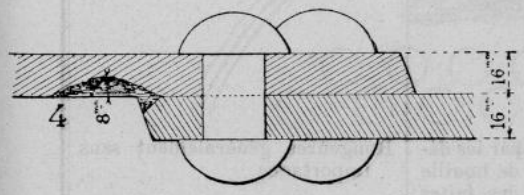


Fig. 49.

Fig. 49 et 50. N° de la locomotive . . . 0,681.
Dépôt d'attache. . . . . Longuyon.
Parcours de la chaudière . 249,657 kilom.

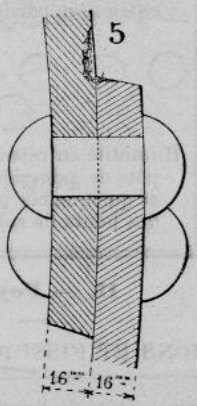


Fig. 50.

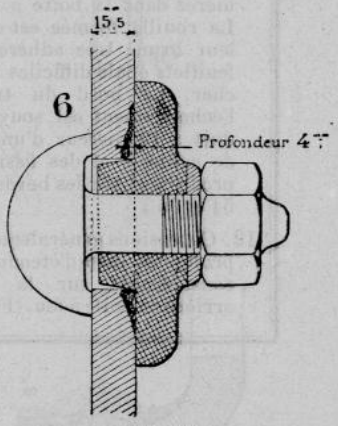


Fig. 51.

N° de la locomotive . . 656.
Dépôt d'attache . . . . La Villette.
Parcours de la chaudière 570,656 kilom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
7. Derrière les pièces d'agrafage.	Humidité entretenue par les dépôts de cendres et de houille. Fuites à une entretoise, un rivet ou un goujon.	Corrosions en général peu importantes. Une pièce appliquée sur la corrosion et reliée à la partie saine suffit le plus souvent.
8. Aux bouchons de lavage du cadre. (Fig. 52.)	Fuites continuelles (par suite de l'inattention des agents chargés de l'entretien des locomotives). Ces rongeures sont d'autant plus fortes que les corrosions intérieures sont elles-mêmes plus accentuées et par conséquent que les eaux sont plus corrosives.	Le plus souvent ces corrosions sont sans importance. Si elles sont aussi développées que sur le croquis, il existe certainement d'autres points du cadre fort attaqués et il faut remplacer le cadre.
9. En différents points du cadre. (Fig. 53.)	Fuites au cadre dues à la fatigue des clouures sous l'influence de la pression et de la dilatation, aux torsions du bâti et au défaut de matage.	En général, on peut réparer le cadre par application de pièces rapportées et soudées. Dans les cas plus graves, il faut remplacer le cadre.
10. Corrosion générale dans la partie supérieure de la plaque tubulaire de boîte à fumée à l'extérieur. Ces corrosions généralement superficielles donnent naissance à une rouille de couleur claire en feuilles très minces et généralement peu adhérentes.	Action de la vapeur humide et des dépôts de suie sur la tôle.	Rongeures généralement sans importance.
11. Corrosion générale ou locale des parois, têtes de rivets, cornières dans la boîte à fumée. La rouille formée est de couleur brune très adhérente en feuillets épais difficiles à détacher. Le bord du trou de l'échappement est souvent réduit à l'épaisseur d'une lame de couteau et des fissures se produisent sur les bords. (Fig. 54 et 55.)	Conséquences des fuites aux tubes et aux clouures et de l'humidité générale qui règne dans la boîte à fumée, humidité aggravée par la présence d'escarbilles enflammées et entraînées par le tirage.	Diminution de la résistance du joint; difficulté d'en assurer l'étanchéité. Application de doublures ou remplacement de la demi-virole de boîte à fumée.
12. Corrosions généralement peu profondes, mais d'étendue assez considérable sur la plaque arrière de boîte à feu. (Fig. 56.)	Humidité entretenue par les dépôts de poussières de houille et quelquefois par des fuites des joints de robinets.	Rongeures généralement sans importance.

II. — Foyers.

1° CORROSIONS ET FISSURES (COTÉ DE L'EAU).

D'une manière générale, les corrosions (côté de l'eau) des foyers sont peu fréquentes. L'eau et les matières en dissolution dans l'eau qui exercent sur les tôles de fer ou d'acier et par conséquent sur le fer une action corrosive énergique ne semblent exercer sur les tôles de cuivre qu'une faible action.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

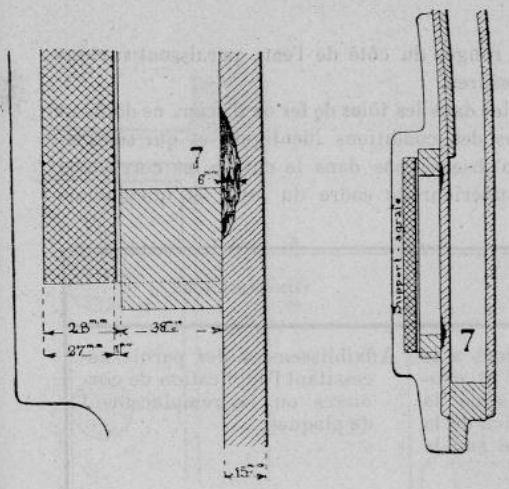


Fig. 52.

N° de la locomotive . . . . . 0,760.
Dépôt d'attache . . . . . Reims.
Parcours de la chaudière. . . . . 509,677 kilom.

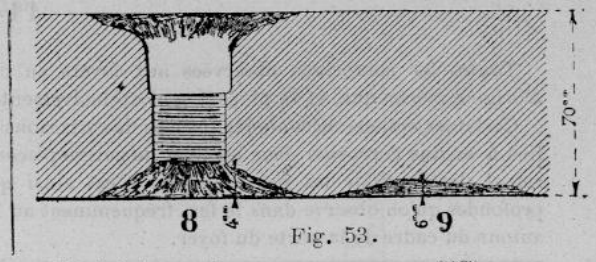


Fig. 53.

N° de la locomotive . . . . . 0,585.
Dépôt d'attache . . . . . Longuyon.
Parcours de la chaudière . . . . . 337,431 kilom.

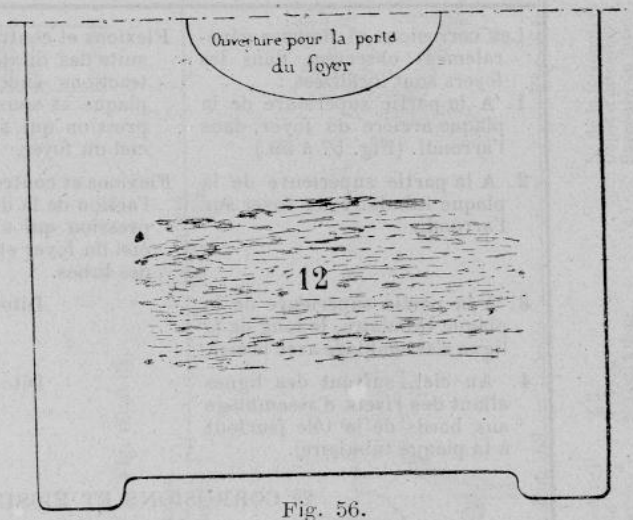


Fig. 56.

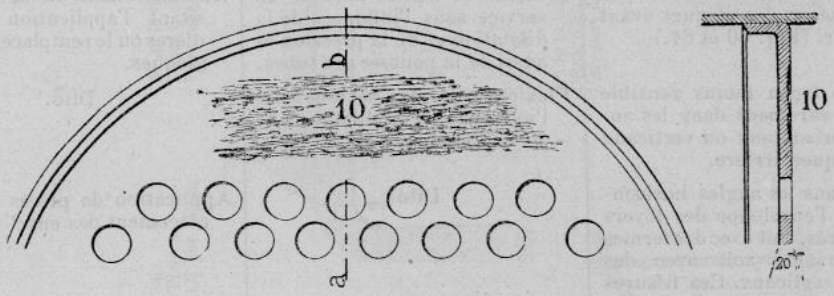


Fig. 54.

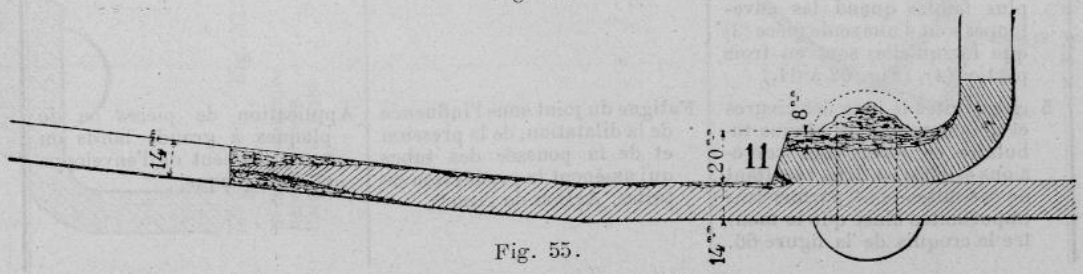


Fig. 55.

Fig. 54 et 55. N° de la locomotive . . 109.
Dépôt d'attache . . . . Chalindrey.
Parcours de la chaudière. 763,825 kilom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Toutes les corrosions observées aux foyers en cuivre rouge, du côté de l'eau, paraissent surtout d'origine mécanique, et la plupart sont exclusivement des fissures.

Certaines actions mécaniques, causes de corrosions notables dans les tôles de fer ou d'acier, ne donnent lieu à aucune corrosion dans les tôles de cuivre placées dans des conditions identiques et qui sembleraient devoir subir les mêmes effets. C'est ainsi qu'on n'observe pas dans le cuivre les corrosions profondes qu'on observe dans le fer, fréquemment au bord supérieur du cadre du foyer et quelquefois autour du cadre de la porte du foyer.

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
Les corrosions et fissures généralement observées dans les foyers sont localisées : 1. A la partie supérieure de la plaque arrière du foyer, dans l'arrondi. (Fig. 57 à 59.)	Flexions et contre-flexions à la suite des dilatations et contractions successives de la plaque et sous l'action de la pression qui s'exerce sur le ciel du foyer.	Affaiblissement des parois nécessitant l'application de cornières ou le remplacement de plaques.
2. A la partie supérieure de la plaque tubulaire du foyer sur l'arrondi.	Flexions et contre-flexions sous l'action de la dilatation, de la pression qui s'exerce sur le ciel du foyer et de la poussée des tubes.	Dito.
3. A la partie supérieure de la plaque tubulaire, le long de la ligne d'assemblage avec le ciel.	Dito.	Dito.
4. Au ciel, suivant des lignes allant des rivets d'assemblage aux bords de la tôle (surtout à la plaque tubulaire).	Dito.	Application de pièces ou de plaques tubulaires à grands bords, ou remplacement de l'enveloppe.
2° CORROSIONS ET FISSURES (COTÉ DU FEU).		
1. Dans les angles horizontaux et verticaux des plaques avant de foyer. (Fig. 60 et 61.)	Flexions et contre-flexions en service sous l'influence de la dilatation et de la pression et aussi de la poussée des tubes.	Affaiblissement du métal nécessitant l'application de cornières ou le remplacement des plaques.
2. D'une façon moins sensible et plus rarement dans les angles horizontaux ou verticaux des plaques arrière.	Flexions et contre-flexions sous l'influence de la dilatation et de la pression.	Dito.
3 et 4. Dans les angles horizontaux de l'enveloppe des foyers armaturés, soit avec des fermes transversales, soit avec des tirants verticaux. Ces fissures sont généralement beaucoup plus faibles quand les enveloppes sont d'une seule pièce (3) que lorsqu'elles sont en trois parties (4). (Fig. 62 à 64.)	Dito.	Application de pièces en remplacement des enveloppes.
5. Aux fuites le long des rivures et notamment à la plaque tubulaire de foyer. Les corrosions et déformations résultant de ces fuites sont parfois très importantes ainsi que le montre le croquis de la figure 66.	Fatigue du joint sous l'influence de la dilatation, de la pression et de la poussée des tubes qui amènent la production de fuites. Action de l'eau.	Application de pièces ou de plaques à grands bords ou remplacement de l'enveloppe et de la plaque.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 57.

N° de la locomotive . . . 546.
Dépôt d'attache. . . . . Troyes.
Parcours du foyer . . . . 471,551 kilom.

Fig. 58.

N° de la locomotive . . . 734.
Dépôt d'attache. . . . . La Villette.
Parcours du foyer . . . . 32,437 kilom.

Fig. 59.

Fig. 60 et 61.

N° de la locomotive . . . . . 734.
Dépôt d'attache . . . . . La Villette.
Parcours du foyer. . . . . 32,437 kilom.

Fig. 62.

N° de la locomotive . . 1005.
Dépôt d'attache . . . . Noisy-le-Sec.
Parcours du foyer . . . 212,872 kilom.

Fig. 63

N° de la locomotive . . 459.
Dépôt d'attache . . . . Troyes.
Parcours du foyer . . . 583,026 kilom.

Fig. 64.

N° de la locomotive . . 518.
Dépôt d'attache . . . . Mohon.
Parcours du foyer . . . 338,710 kilom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
6. Cassures dans la plaque tubulaire. (Fig. 65 à 67.)	Poussée des tubes en service.	Application de pièces en huit à la plaque tubulaire ou remplacement de la plaque.
7. Corrosions et fissures aux boulons de ferme. (Fig. 68 et 69.)	Fatigue du métal sous l'action de la dilatation et de la pression. Insuffisance de lavage : les incrustations accumulées sur le ciel rendent plus difficile la transmission de la chaleur. Manque d'eau.	Réforme du ciel du foyer.
7a. Dans certains cas, ces corrosions s'observent non plus dans l'axe des boulons, mais latéralement comme l'indique la figure 69.	Dito.	Dito.
8. Corrosions autour des têtes des boulons de ferme.	Mêmes causes que ci-dessus et en outre boulons mal posés.	Dito.
9. Fissures transversales entre boulons de ferme au ciel du foyer. (Ce cas est assez rare.) (Fig. 70 à 72.)	Entartrement intérieur s'opposant à la transmission de la chaleur et permettant une élévation anormale de température, d'où résultent des déformations sous l'action de la pression.	Dito.
Il est bon de signaler, à propos des corrosions des foyers, l'usure que l'on observe généralement à la partie inférieure du foyer, dans la région du feu et un peu au-dessus. Deux cas sont à distinguer.		

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

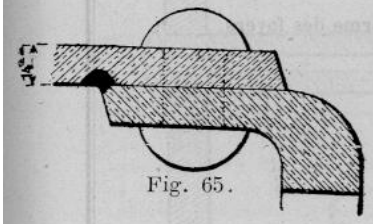


Fig. 65.

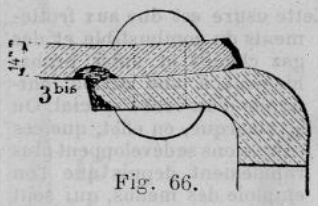


Fig. 66.

Fig. 65 et 66. N° de la locomotive . . 550.
Dépôt d'attache . . . . Troyes.
Parcours du foyer . . . 528,593 kilom.

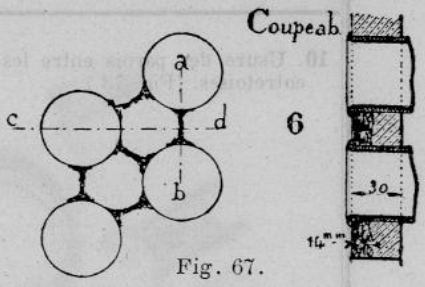


Fig. 67.

N° de la locomotive . . . 527.
Dépôt d'attache . . . . Reims.
Parcours du foyer. . . . 407,685 kilom.

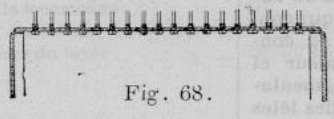


Fig. 68.

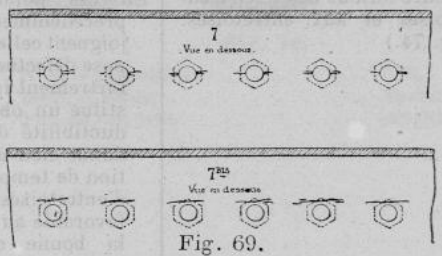


Fig. 69.

N° de la locomotive . . . . . 441.
Dépôt d'attache. . . . . Chaumont.
Parcours du foyer . . . . . 605,630 kilom.

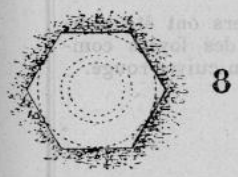


Fig. 70. — Vue en dessous de la tête du boulon de ferme.

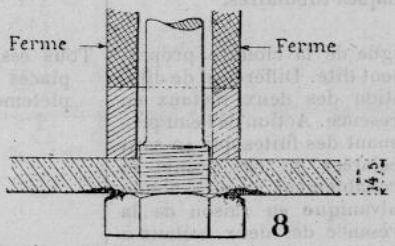


Fig. 71. — Coupe verticale.

N° de la locomotive . . . . 458.
Dépôt d'attache. . . . . Troyes.
Parcours du foyer . . . . . 459,207 kilom.

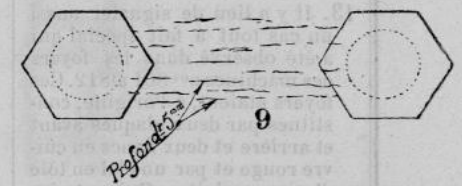


Fig. 72. — Vue en dessous des têtes des boulons de ferme.

N° de la locomotive . . . . 221.
Dépôt d'attache. . . . . Sézanne.
Parcours du foyer . . . . . 489,712 kilom.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
10. Usure des parois entre les entretoises. (Fig. 73.)	Cette usure est due aux frottements du combustible et des gaz chauds et aussi probablement à une action chimique d'un ordre spécial. On a remarqué, en effet, que ces corrosions se développent plus rapidement depuis que l'on emploie des menus, qui sont toujours mouillés et malaxés de façon à constituer une sorte de mortier avant l'emploi et il est probable que l'eau ou ses éléments oxydent les parois avec lesquelles ils sont en contact.	Réforme des foyers.
11. Usure autour des têtes d'entretoises et aux entretoises. (Fig. 74.)	En ces points, aux actions précédemment indiquées se joignent celles résultant d'une pose défectueuse ou d'un entartrement intérieur qui constitue un obstacle à la conductibilité de la chaleur et donne lieu à une augmentation de température des têtes d'entretoises éminemment défavorable au point de vue de la bonne conservation du métal.	
12. Les mêmes corrosions s'observent sur la plaque tubulaire autour des tubes.	Aux causes précédemment indiquées s'ajoutent les suivantes : poussée des tubes et fuites se déclarant entre les tubes et les parois des trous des plaques tubulaires.	Corrosions généralement peu importantes, mais pouvant cependant entraîner le remplacement des plaques.
13. Il y a lieu de signaler aussi un cas tout à fait spécial qui a été observé dans les foyers des machines nos 801 à 812. Ces foyers étaient, à l'origine, constitués par deux plaques avant et arrière et deux flancs en cuivre rouge et par un ciel en tôle d'acier ondulée. Suivant les lignes horizontales d'assemblage des flancs avec le ciel, on a constaté une série de corrosions profondes affectant le cuivre des flancs et telles qu'en certains points il ne restait plus que très peu de métal entre le rivet et le bord de la tôle. (Fig. 75.)	Fatigue de la clouure proprement dite. Différence de dilatation des deux métaux en présence. Action de l'eau provenant des fuites qui se sont déclarées en ces points et probablement aussi : action galvanique en raison de la présence des deux métaux à température élevée.	Tous ces foyers ont été remplacés par des foyers complètement en cuivre rouge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

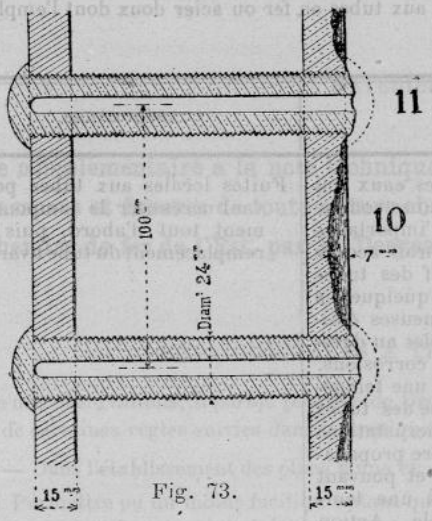


Fig. 73.

N° de la locomotive	617.
Dépôt d'attache.	La Villette.
Parcours du foyer	591,579 kilom.

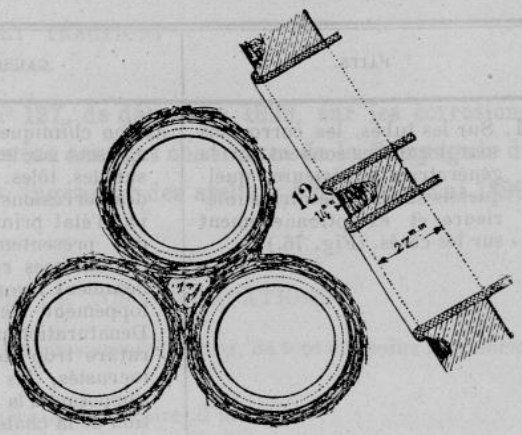
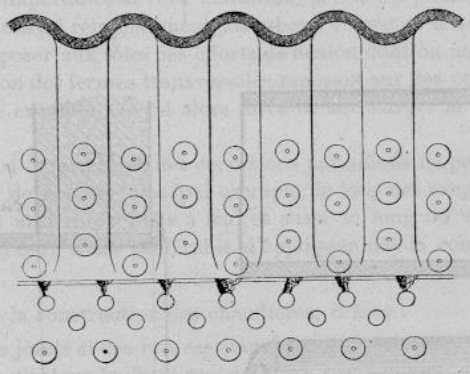


Fig. 74.

N° de la locomotive	0,17.
Dépôt d'attache	Epinal.
Parcours du foyer	426,081 kilom.



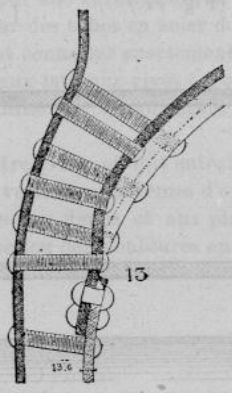


Fig. 75.

N° de la locomotive	807.
Dépôt d'attache	Châlons.
Parcours du foyer	451,023 kilom.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III. — Tubes.

Les tubes en laiton n'ayant jamais donné lieu dans leurs parties en contact avec l'eau à des corrosions, les observations ci-après se rapportent exclusivement aux tubes en fer ou acier doux dont l'emploi se généralise de plus en plus à la Compagnie.

FAITS.	CAUSES.	CONSÉQUENCES.
1. Sur les tubes, les corrosions sont localisées souvent sur la génératrice supérieure, quelquefois sur la génératrice inférieure et exceptionnellement sur les côtés. (Fig. 76.)	Action chimique des eaux qui agissent sur les tubes comme sur les tôles. L'importance des corrosions paraît accrue par l'état primitif des tubes qui présentent quelquefois des surfaces rugueuses éminemment favorables au développement des corrosions. Dénaturation par une température trop élevée des tubes incrustés, les incrustations s'opposant à la libre propagation de la chaleur et pouvant amener le tube à une température anormale. Action mécanique due aux flexions causées par la dilatation des tubes en service.	Fuites locales aux tubes pouvant nécessiter le tamponnement tout d'abord, puis le remplacement du tube avarié.
2. Corrosion des rivures des tubes dans le foyer (côté du feu). (Ce genre de corrosion se remarque aussi bien sur les tubes en acier que sur les tubes en laiton). (Fig. 77.)	Action de l'eau provenant de fuites qui se déclarent sous l'influence de causes diverses : poussée des tubes sur des plaques, rivures défectueuses, frottement des gaz enflammés et des poussières entraînées.	Affaiblissement du tube nécessitant l'application d'une virole ou le remplacement du tube.

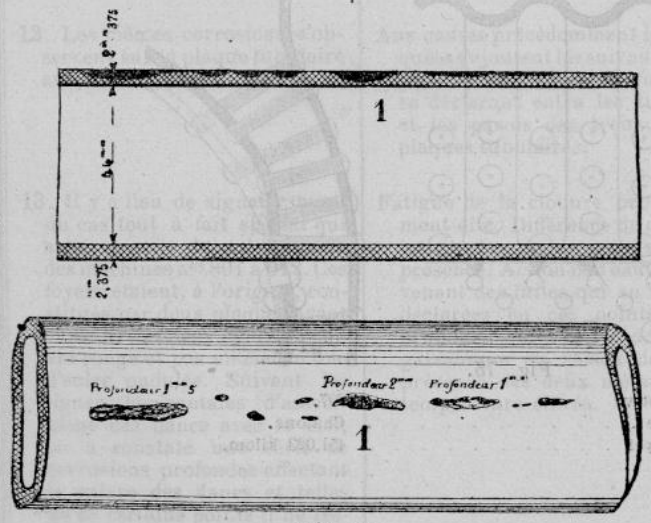


Fig. 76.

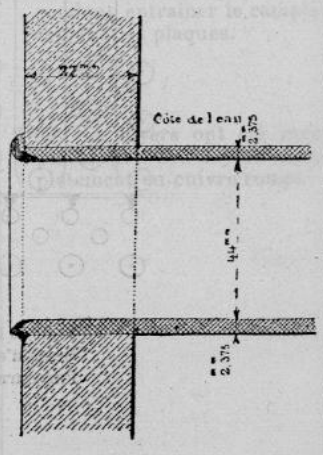


Fig. 77.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chemins de fer de l'Est français.

MATÉRIEL ET TRACTION.

Note complémentaire à la note technique n° 127, de décembre 1898, sur les corrosions, cassures et fissures de toute nature observées dans les chaudières de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, par M. Desgeans, ingénieur des ateliers d'Épernay (mai 1899).

ENSEIGNEMENTS A TIRER DE NOS OBSERVATIONS.

De nos observations, il paraît possible de tirer quelques enseignements, ou tout au moins la confirmation de certaines règles suivies dans la pratique :

I. — Dans l'établissement des plans d'une chaudière de locomotive, il faut :

a) Permettre ou du moins faciliter autant que possible la dilatation des diverses parties.

« Les congés des pinces des tôles de la boîte à feu doivent avoir de grands rayons.

» Le ciel du foyer, surtout du côté de la plaque tubulaire, doit pouvoir se lever librement : dans les petits foyers, on doit préférer l'armaturage du ciel au moyen de fermes longitudinales reposant sur les arrondis supérieurs des plaques avant et arrière ; dans les grands foyers, la disposition Belpaire (1) (foyers des locomotives, n° 3400) ou l'armaturage du ciel au moyen de fermes transversales reposant directement sur les flancs du foyer (foyer du 604 et des 800) semblent bien supérieurs à l'emploi d'entretoises vissées dans un berceau cylindrique (foyers des 3000). » (*Voir* les figures 78 à 80.)

b) Diminuer l'importance de cette dilatation, si cela est possible, par une substitution de matières.

« Tel a été le cas du remplacement des tubes à fumée en laiton par des tubes en acier doux. »

c) Éviter d'imposer aux tôles des efforts de flexion dont on ne peut connaître exactement l'importance.

« La disposition des fermes transversales reposant sur des corbeaux latéraux rivés à l'enveloppe extérieure en est un exemple. On est alors forcé de surcharger la machine par l'application de plaques de renfort.

« Cependant, si la formation des corrosions par sillons ne peut être évitée et doit entraîner le remplacement ultérieur de grandes tôles (par exemple, le long des rangées verticales extrêmes d'entretoises, aux plaques avant et arrière de boîte à feu, et aussi le long du cadre aux flancs et aux plaques avant et arrière de boîte à feu), il est préférable d'appliquer dès la construction des doublures en tôle de fer ou d'acier. »

II. — Lors de la construction des chaudières, il faut :

a) Obtenir des joints et des rivures étanches.

« L'emploi du rivetage hydraulique doit être recommandé. »

b) Faire en sorte que le travail des tôles (pliage, étirage des pinces) ne produise ni pli, ni érosion, ni commencement de fissures.

« Sous ce rapport, la tôle d'acier paraît préférable à la tôle de fer. »

c) Employer des tôles et des tubes en acier à surface saine et lisse, c'est-à-dire exempte de défauts de laminage et d'étirage.

(1) Disposition que toutes les compagnies françaises viennent successivement d'adopter pour leurs plus récentes constructions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III. — Pendant le service des locomotives, il convient :

a) D'employer des eaux non incrustantes et ne contenant ni acides, ni chlorures, ni matières organiques.

b) Si l'on ne peut éviter d'introduire dans les chaudières des eaux incrustantes, mélanger à ces eaux un liquide antitartrique et faire des lavages à chaud suffisamment fréquents.

c) Dès qu'une fuite se produit, refaire le joint ou mater à nouveau la pince ou le rivet pour arrêter la fuite.

« Le dérobage de la chaudière à intervalles périodiques est tout indiqué pour éviter la formation de corrosions à l'extérieur. »

Fig. 78 à 80. — *Coupe transversale de boîtes à feu.*

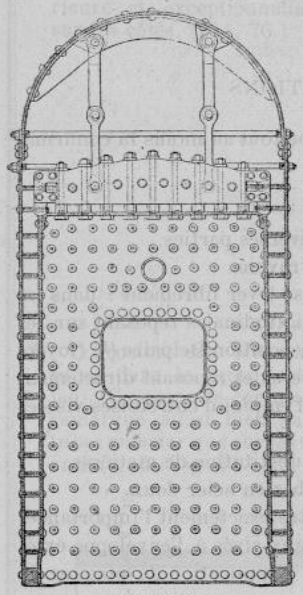


Fig. 78.

Armaturage au moyen de fermes transversales.
Locomotive 800.

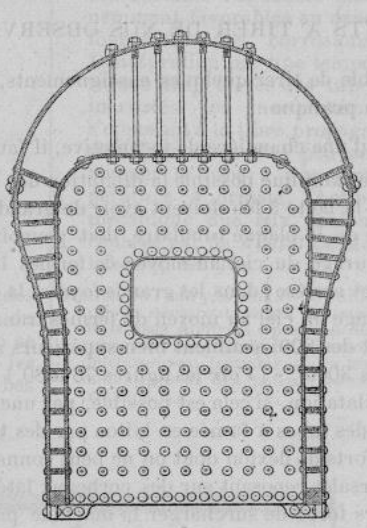


Fig. 79.

Armaturage au moyen d'entretoises verticales.
Locomotive 3000.

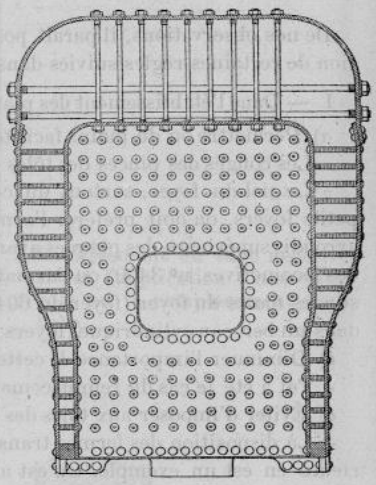


Fig. 80.

Armaturage au moyen d'entretoises et de tirants transversaux.
Disposition Belpaire.
Locomotive 3400.

d) Éviter d'une façon générale toute mesure pouvant déterminer des variations brusques de température dans les tôles du foyer et de la chaudière, ou pouvant s'opposer à leur libre dilatation.

« Veiller à la conduite régulière du feu ; ne pas laisser de combustible mouillé sur les parois du foyer ; éviter le serrage exagéré de l'échappement et l'emploi fréquent du souffleur ; laisser le feu s'éteindre doucement à la descente de service d'une machine ; ne faire le lavage à chaud de la chaudière qu'après avoir laissé la pression de la vapeur arriver lentement à la pression atmosphérique ; s'assurer souvent de la libre dilatation de la chaudière sur ses supports. »

e) Éviter l'emploi de combustible trop sulfureux.

f) Vider et sécher avec soin les chaudières de locomotives retirées momentanément du service.

Bien entendu, il convient de tenir d'autant plus compte des observations qui précèdent que les chaudières doivent fonctionner ou fonctionnent à une pression plus élevée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chemins de fer de l'Est français.

MATÉRIEL ET TRACTION.

Note technique n° 96 sur le lavage et le remplissage à chaud des chaudières de locomotives (juillet 1897).

On sait que l'introduction d'eau froide dans une chaudière encore chaude doit être rigoureusement interdite. Rien n'est plus propre, en effet, à provoquer des fuites aux tubes et des déformations aux parois, que les variations brusques de température qui saisissent la chaudière et le foyer, et sont d'autant plus nuisibles qu'elles n'atteignent jamais tous leurs points à la fois.

Pour ne pas fatiguer les chaudières, il faut donc, avant de les laver à l'eau froide, les laisser refroidir lentement et complètement; mais cette précaution exige pour les locomotives de longs arrêts, souvent incompatibles avec les nécessités du service. Toutefois on peut, sans inconvénient, réduire le stationnement, à condition de faire le lavage avec de l'eau chaude; on n'a plus besoin, dans ce cas, d'attendre le refroidissement complet pour commencer l'opération.

Pour les mêmes raisons, il est avantageux de remplir les chaudières à l'eau chaude. On atténue les différences de température qui se produisent pendant l'allumage, entre les surfaces soumises directement à l'action du feu et les surfaces en contact avec l'eau froide, et, comme conséquence, les déformations aux parois du foyer qui peuvent en résulter; en outre, on réduit le temps nécessaire à la mise en pression.

Il y a donc un grand intérêt, tant au point de vue de la bonne conservation des machines que pour les facilités du service, à employer de l'eau chaude pour le lavage et le remplissage des chaudières de locomotives.

A cet effet, nous avons expérimenté différents appareils et, après des essais répétés, on a adopté deux types distincts, destinés, l'un, aux dépôts qui possèdent une pompe de lavage et où, par suite, le jet a une force suffisante, et l'autre, aux dépôts qui font le lavage avec la seule pression du réservoir et où il est nécessaire par conséquent d'augmenter la puissance du jet.

Les deux appareils choisis sont :

1° Le réchauffeur, qui élève simplement la température de l'eau sans augmenter sa pression; c'est l'appareil donné aux dépôts pourvus d'une pompe « Thirion » ;

2° L'éjecteur « Bohler » qui, tout en réchauffant l'eau, augmente par son fonctionnement la force de projection du jet; c'est l'appareil donné aux dépôts non pourvus d'une pompe « Thirion ».

Des essais, effectués aux dépôts de La Vilette et de Châlons, ont montré qu'en faisant varier le débit de la pompe ou l'ouverture de la prise d'eau, et en changeant le diamètre d'orifice de la lance, on pouvait obtenir (*voir* tableau à la fin de la présente note) :

1° *Avec le réchauffeur et une pompe « Thirion » :*

Un jet dont le débit varie de 180 à 245 litres à la minute;
Un jet dont la portée varie de 27 à 35 mètres;
Une élévation de température de 23 à 31°.

2° *Avec l'éjecteur « Bohler » seul :*

Un jet dont le débit varie de 150 à 225 litres à la minute;
Un jet dont la portée varie de 21 à 30 mètres;
Une élévation de température de 20 à 30°.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 81 à 83. — *Dépôts pourvus d'une pompe de lavage « Thirion ».*

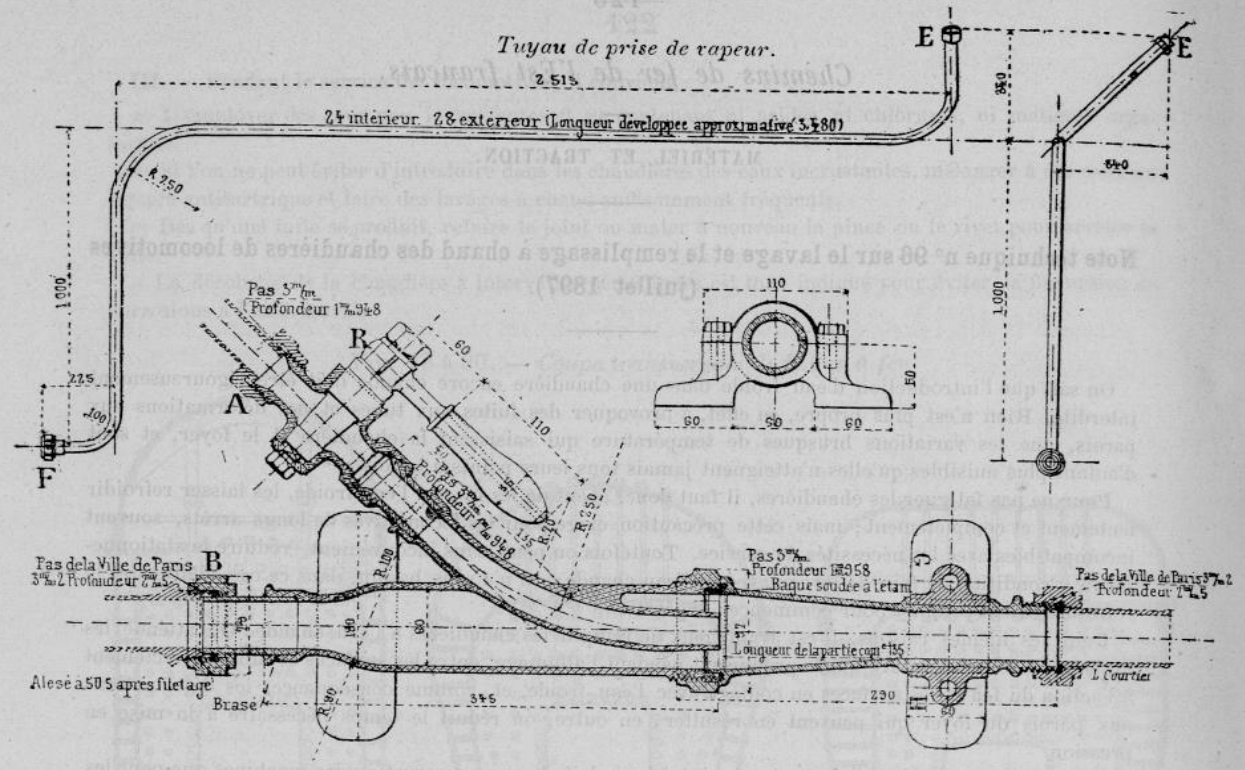


Fig. 81. — Appareil réchauffeur.

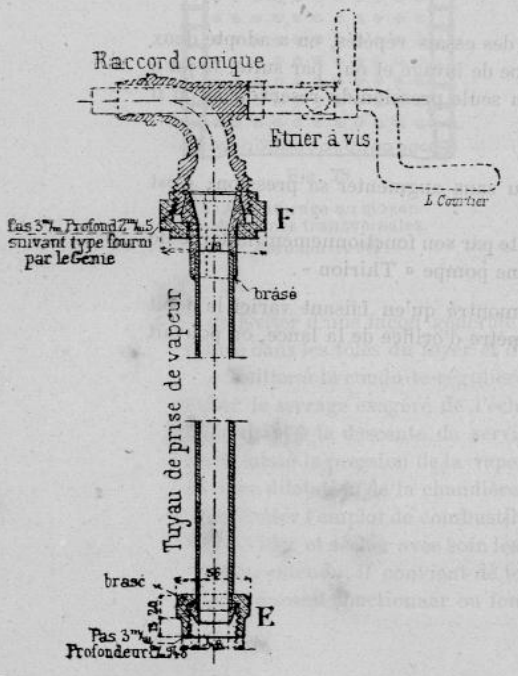


Fig. 82.

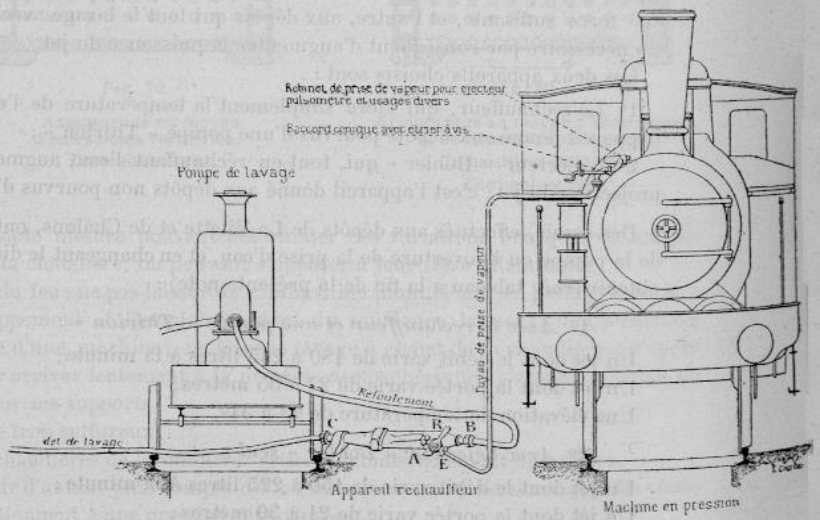


Fig. 83. — Ensemble du montage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On peut donc modifier à volonté, dans les limites nécessaires, la puissance et le débit du jet, ainsi que la température de l'eau.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

Appareil réchauffeur. — L'ensemble de l'appareil réchauffeur comprend (fig. 81 à 83) :

1° Un raccord conique de prise de vapeur avec étrier à vis, formant tubulure de prise de vapeur et partie mâle du robinet de prise de vapeur pour pulsomètre, éjecteur et nettoyage des tubes ;

2° Un tube rigide en cuivre de 24 millimètres de diamètre intérieur, réunissant le raccord conique au réchauffeur ;

3° Le réchauffeur proprement dit, servant de boite de mélange d'eau et de vapeur. Cet appareil est muni d'un robinet R permettant de supprimer l'arrivée de vapeur pendant le lavage ou le remplissage, sans qu'il soit nécessaire de fermer le robinet spécial de la machine qui fournit la vapeur.

Le croquis ci-annexé (fig. 81 à 83) fait suffisamment comprendre le montage de cet appareil. Le réchauffeur est intercalé par ses deux extrémités B et C sur la conduite de refoulement; l'ajutage A reçoit l'extrémité E du tube rigide, dont l'autre extrémité F s'adapte au raccord conique; celui-ci se fixe sur le robinet spécial à trois voies pour éjecteur ou pulsomètre, d'une machine quelconque en pression, au moyen de l'étrier à vis, de la même façon qu'on y fixe le boyau flexible pour nettoyage des tubes à la vapeur.

Éjecteur « Bohler ». — L'ensemble de l'appareil comprend (fig. 84 à 88) :

1° Un raccord conique, avec étrier à vis et tube rigide, identiques à ceux du réchauffeur ;

2° Un éjecteur « Bohler », muni également d'un robinet R permettant de supprimer facilement l'arrivée de vapeur pendant le lavage.

L'éjecteur se monte, comme le réchauffeur, sur la conduite de refoulement, branchée directement sur la prise d'eau. Il peut du reste, lorsque les dispositions le permettent, être monté directement sur la prise d'eau par son raccord B, le raccord C recevant la conduite de refoulement.

LAVAGE ET REMPLISSAGE DES MACHINES.

Conditions dans lesquelles on doit faire le lavage et le remplissage. — *Lavage.* — Pour qu'un lavage soit fait dans de bonnes conditions, il faut que les différentes parties de la chaudière ne soient pas saisies brusquement et que le jet soit assez fort pour détacher et faire évacuer le tartre et les dépôts adhérents.

Fig. 84 à 88. — *Dépôts non pourvus d'une pompe de lavage « Thirion ». Éjecteur « Bohler » (type marine). Bronze.*

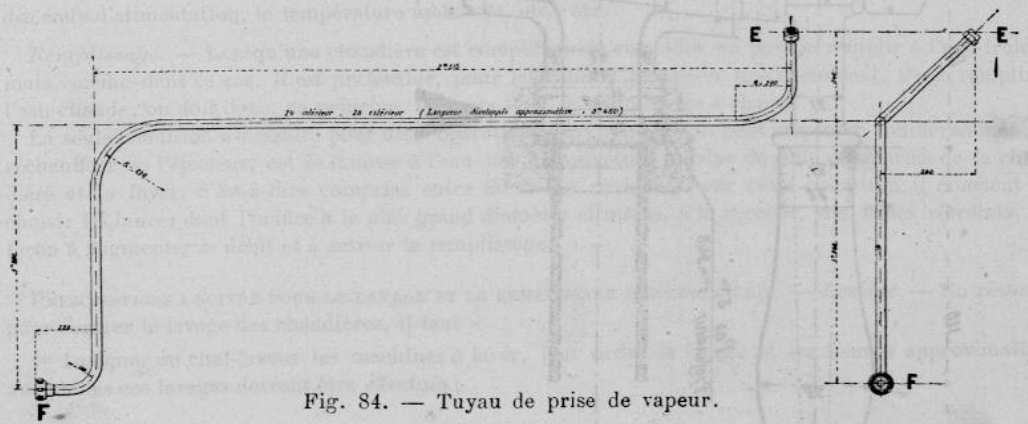


Fig. 84. — Tuyau de prise de vapeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

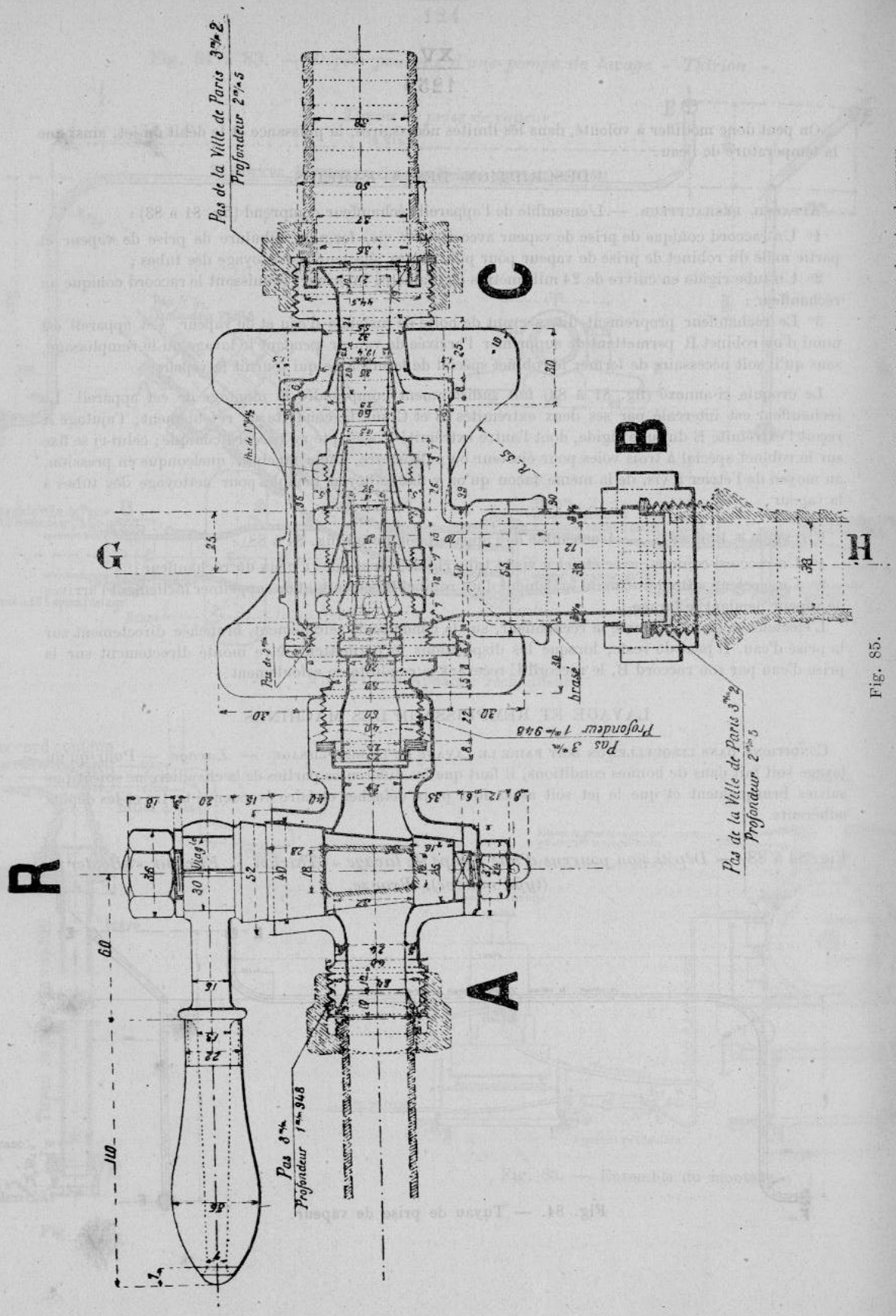


Fig. 85.

Nota. — Les raccords A, B et C sont les mêmes que ceux employés pour l'appareil réchauffeur (fig. 81 à 83), de même que le tuyau de prise de vapeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

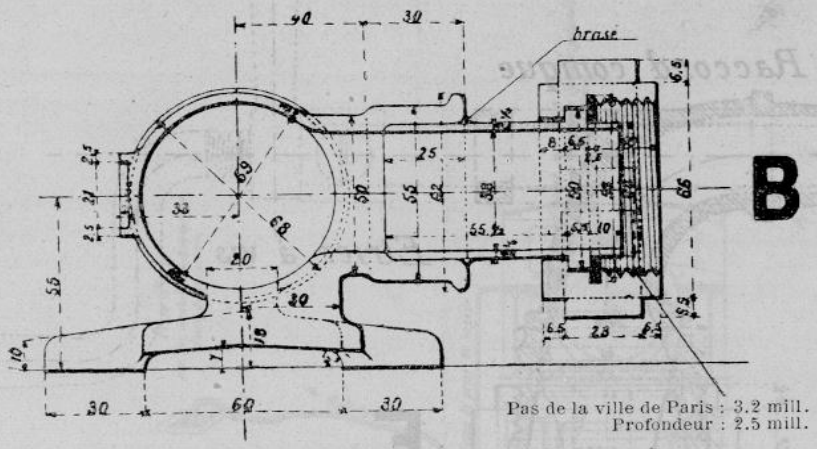


Fig. 86. — Coupe suivant GH.

Pour réaliser la première de ces conditions, on ne doit employer de l'eau froide que si la chaudière est entièrement refroidie. Dans les autres cas, c'est-à-dire pour la presque totalité des lavages, il faut que la température de l'eau soit comprise entre 35 et 45° environ; cette température correspond en effet, à quelques degrés près, à celle des parois d'une machine quinze ou dix-huit heures après sa rentrée, c'est-à-dire au moment où, en général, elle doit être lavée pour pouvoir continuer son roulement.

Quant à la puissance à donner au jet, elle varie nécessairement avec la nature de l'eau et les parcours faits entre deux lavages. Néanmoins, on peut admettre comme condition moyenne que la portée du jet doit être comprise entre 20 et 25 mètres, et son débit entre 150 et 170 litres à la minute, soit de 9 à 10 mètres cubes à l'heure environ.

Il faut en outre, pour détacher le tartre et les dépôts adhérents, que le jet soit bien concentré; aussi convient-il en principe d'employer pour les lavages des ajutages calibrés et non pas, comme le font certains dépôts, des tubes rétreints qui diffusent le jet, et par cela même, lui font perdre de sa force. Les dépôts devront donc avoir, et utiliser pour le lavage des chaudières, un jeu d'ajutages calibrés compris entre 12 et 18 millimètres de diamètre à l'orifice, qu'ils pourront demander aux ateliers d'Épernay.

C'est aux chefs de service des dépôts qu'il appartient de donner connaissance aux laveurs des conditions dans lesquelles doivent être faits les lavages (puissance du jet, température de l'eau, type de lance, etc.) et de déterminer ces conditions d'après le service des machines, la durée du repos, la nature des eaux d'alimentation, la température ambiante, etc., etc.

Remplissage. — Lorsqu'une chaudière est complètement refroidie, on peut la remplir à l'eau froide; mais, même dans ce cas, il est préférable, pour les raisons indiquées précédemment, de la remplir à l'eau chaude; on doit donc, en principe, toujours faire le remplissage à chaud.

La seule condition nécessaire pour cette opération, dans laquelle on peut employer indifféremment le réchauffeur ou l'éjecteur, est de donner à l'eau une température voisine de celle des parois de la chaudière et du foyer, c'est-à-dire comprise entre 20 et 40° environ. Pour cette opération, il convient de choisir les lances dont l'orifice a le plus grand diamètre et même, à la rigueur, des tubes rétreints, de façon à augmenter le débit et à activer le remplissage.

Prescriptions a suivre pour le lavage et le remplissage des chaudières. — *Lavage.* — En résumé, pour assurer le lavage des chaudières, il faut :

1° Indiquer au chef-laveur les machines à laver, leur ordre de lavage et les heures approximatives auxquelles ces lavages doivent être effectués ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

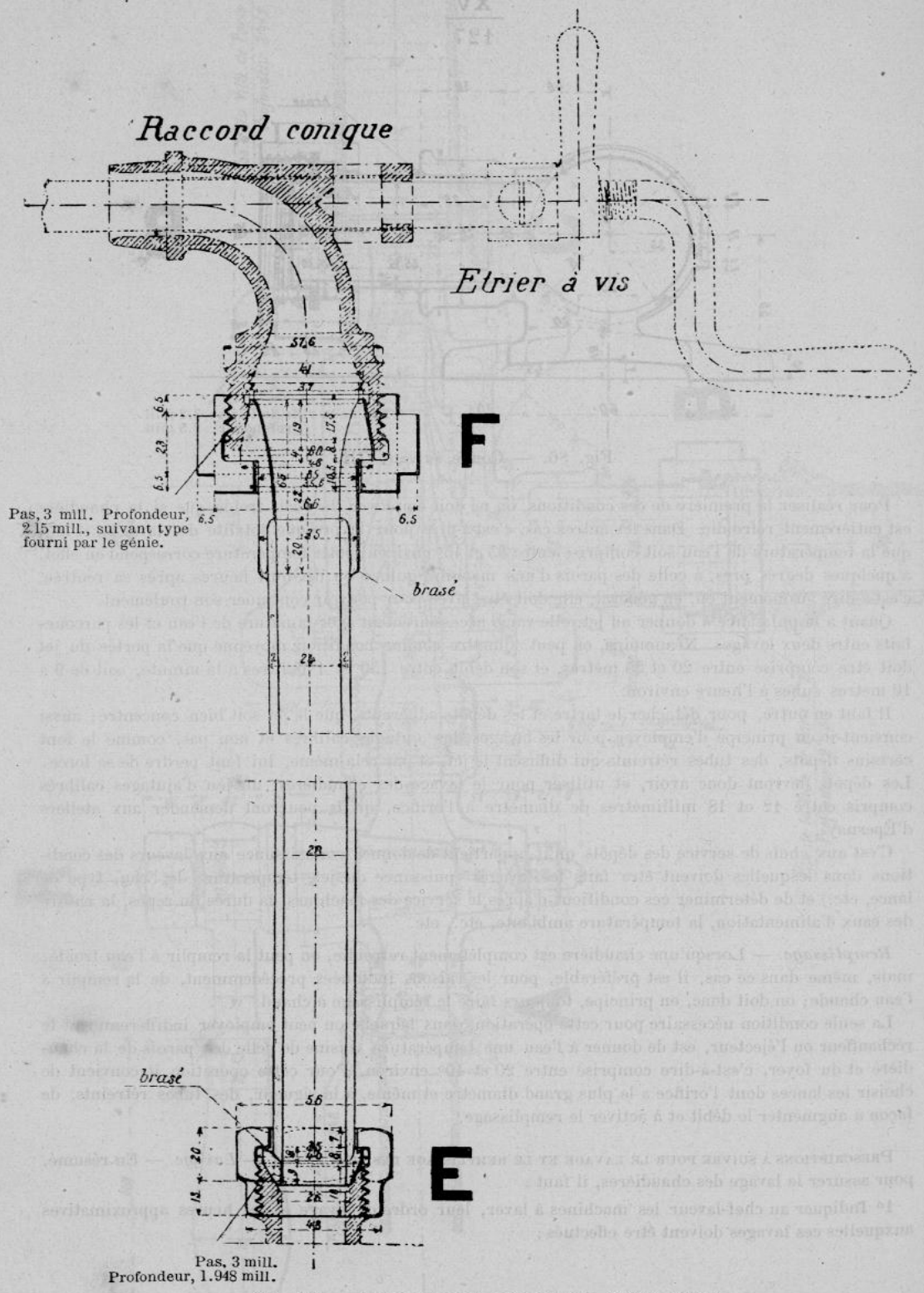


Fig. 87. — Tuyau de prise de vapeur. Cuivre rouge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

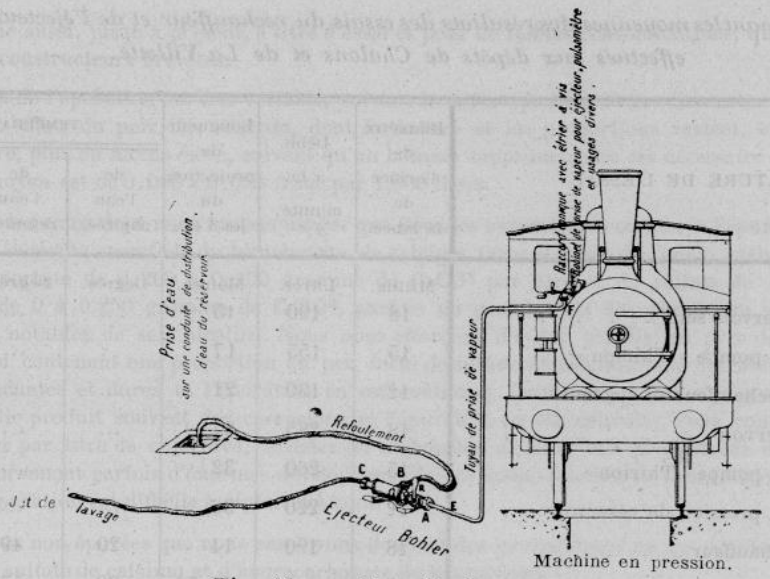


Fig. 88. — Ensemble du montage.

2° Employer toujours de l'eau chaude, même si la chaudière est refroidie. Si, dans des cas exceptionnels, on ne peut pas laver à chaud, ne faire le lavage à froid qu'à la condition expresse que la chaudière soit complètement refroidie. Utiliser le réchauffeur si on lave avec une pompe et l'éjecteur « Bohler » dans le cas contraire ;

3° Régler les conditions dans lequelles les lavages doivent être effectués, et indiquer approximativement aux laveurs le degré d'ouverture que doit avoir la prise d'eau, ou la vitesse à laquelle doit marcher la pompe; leur indiquer également le type de lance à employer. Ces conditions doivent être déterminées d'après le service des machines, la nature des eaux, et la température ambiante;

4° Quand cela est possible, choisir la machine en pression parmi celles où le diamètre du robinet de prise de vapeur est le plus grand et, en particulier, parmi celles où ce diamètre a été porté à 24 millimètres, de façon à pouvoir obtenir une plus grande élévation de température. Pendant le lavage, ouvrir en grand le robinet spécial de la machine en pression et régler l'arrivée de vapeur au moyen du robinet placé sur le réchauffeur ou l'éjecteur;

5° Ne pas employer de tubes rétreints, mais uniquement des lances à ajutages calibrés.

Remplissage. — Pour le remplissage il faut :

1° Employer toujours de l'eau chaude dont la température est comprise entre 20 et 40°, même si la chaudière est froide. Si, dans des cas exceptionnels, on ne peut remplir à chaud, ne faire le remplissage à froid qu'à la condition expresse que la chaudière soit complètement refroidie. On peut utiliser indifféremment pour cette opération le réchauffeur ou l'éjecteur ;

2° Choisir les lances dont le diamètre d'orifice est le plus grand, ou des tubes rétreints, pour diminuer la durée du remplissage.

Paris, le 8 juillet 1897.

L'ingénieur principal adjoint de la traction,
A. TORDIN.

Vu et approuvé :
L'ingénieur en chef du matériel et de la traction,
L. SALOMAN.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau résumant les moyennes des résultats des essais du réchauffeur et de l'éjecteur « Bohler » effectués aux dépôts de Châlons et de La Villette.

NATURE DE L'ESSAI.	Diamètre de l'orifice de la lance.	Débit à la minute.	Longueur de projection du jet à 45°.	TEMPÉRATURE		
				de l'eau aspirée.	de l'eau refoulée.	Augmentation de la température.
	Millim.	Litres.	Mètres.	Degrés.	Degrés.	Degrés.
Essai du réservoir seul	18	190	15	...	...	...
— sans la pompe « Thirion »	15	155	17	...	...	...
— sans réchauffeur ni éjecteur	12	130	21	...	...	...
— du réservoir	18	285	27	...	...	...
— avec la pompe « Thirion »	15	260	32	...	...	...
— avec la pression du réservoir	12	220	36	...	...	...
— du réchauffeur	18	190	14	20	49	29
— avec la pression du réservoir	15	142	16.50	20	57	37
— sans la pompe « Thirion »	12	105	23	21	72	51
— du réchauffeur	18	245	27	19	42	23
— avec la pression du réservoir	15	230	29	19	43	24
— avec la pompe « Thirion »	12	180	35	19	50	31
— de l'éjecteur « Bohler »	18	226	21	19	39	20
— avec la pression du réservoir	15	196	24	19	42	23
	12	150	30	19	49	30

Nota. — Dans les essais, la hauteur moyenne du niveau de l'eau dans le réservoir était de 16 mètres environ, et le diamètre de la prise de vapeur du robinet spécial pour éjecteur, pulsomètre, etc., de 16 millimètres.

Annexe VI.

—

Chemins de fer du Nord français.

RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE.

1. Sur 32,000 mètres cubes consommés journellement, nous en épurons environ 12,000 dans vingt-six installations d'importances diverses. Le procédé employé consiste à précipiter le carbonate de calcium par addition dosée de lait de chaux ou d'eau de chaux et le sulfate de calcium par addition dosée de carbonate de sodium en dissolution.

2. Nous employons, le plus souvent, des bassins de réaction et de décantation soit spécialement destinés à cet usage, soit servant en même temps de bassins d'approvisionnement. Les matières employées sont la chaux grasse à l'état de lait et le carbonate de soude « Solvay ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On emploie aussi, jusqu'à présent, à titre d'essai et pour de faibles consommations, quelques appareils continus de constructeurs brevetés.

3. Le prix de l'épuration est très variable, suivant la nature de l'eau et les circonstances locales. Il se compose, en effet, du prix des réactifs, dont la nature et les proportions varient, et du coût de la main-d'œuvre, plus ou moins élevé, suivant qu'un homme supplémentaire est nécessaire ou non.

Le prix moyen est de 0.006 à 0.008 franc par 1,000 litres.

4. Toutes les eaux dont nous faisons usage, que nous les soumettions ou non à l'épuration chimique, ont comme éléments essentiels du bicarbonate de calcium (avec souvent de l'acide carbonique en excès) dans la proportion de 0.200 à 0.400 gramme de $CaCO^3$ par litre et du sulfate de calcium dans la proportion de 0 à 0.250 gramme de $CaSO^4$, parfois un peu de sels de magnésium et rarement des proportions notables de sels alcalins. Nous nous efforçons d'éviter parfois, au prix de dépenses assez élevées, l'eau contenant une proportion un peu forte de sulfate de calcium (elle donne lieu à des incrustations abondantes et dures et l'épuration en est coûteuse), l'eau comportant une quantité notable de magnésie (elle produit souvent des corrosions et l'épuration en est délicate), l'eau contenant plusieurs décigrammes par litre de chlorures, sulfates ou carbonates alcalins (elle produit des entraînements de vapeur qui prennent parfois d'énormes développements) et, enfin, les eaux de composition chimique trop variable (l'épuration est difficile à régler et à contrôler).

5. Les eaux non épurées que nous employons donnent des incrustations ou des dépôts de carbonate de calcium, de sulfate de calcium et d'hydrocarbonate de magnésium.

6. Il n'est pas possible de comparer la composition chimique des incrustations que le service de la traction retire des locomotives avec la composition chimique de l'eau qui leur donne naissance, attendu que les machines sont alimentées par des mélanges très variables d'eaux diverses, les unes épurées, les autres naturelles.

7. Non. Nous avons toujours préféré épurer les eaux avant l'emploi.

8. En ce qui concerne la chaudière, le seul ennui que nous éprouvions consiste dans le remplacement des parties les plus attaquées, qui sont : le bas des viroles du corps cylindrique ou des tôles de boîtes à feu. Ce remplacement, d'ailleurs peu fréquent, se fait après un service de quinze à vingt ans.

En ce qui touche les tubes, le grêlage entraîne leur retrait définitif après un parcours de 400,000 kilomètres environ. L'ennui qui en résulte n'est donc pas bien grand.

9. Peut-être les tôles et les tubes sont-ils surtout rongés aux endroits où ils présentent une surface rugueuse. Les bulles d'air et d'acide carbonique en dissolution dans l'eau s'accrocheraient alors aux aspérités du métal, en y déterminant des corrosions locales ou piqûres.

Ce qui semble corroborer cette opinion, c'est qu'un mélange d'air humide et d'acide carbonique attaque vivement le fer, tandis que, à l'état sec, ces gaz sont presque inoffensifs.

Il semble d'ailleurs que l'eau attaque peu le fer d'une manière directe. D'après M. Lodin, ingénieur en chef des mines, professeur du cours de métallurgie à l'école nationale supérieure des mines, le fer décompose l'eau à 125°, et, que celle-ci soit pure ou calcaire, l'oxydation qu'elle peut faire naître directement serait assez minime.

Peut-être la tôle d'acier, plus homogène et moins rugueuse que la tôle de fer, est-elle capable de mieux résister aux corrosions, à la condition qu'on lui restitue, par un recuit approprié, l'homogénéité qu'ont pu lui faire perdre les diverses élaborations de la chaudronnerie.

Quoi qu'il en soit, notre expérience ne nous a pas permis de contrôler cette opinion, car l'application des chaudières en acier est encore trop récente chez nous.

10. En ce qui concerne la chaudière, le grêlage affecte la partie inférieure des tôles du corps cylindrique et de la boite à feu ; la grande virole est généralement plus atteinte que les autres, sans doute parce qu'elle s'assèche moins facilement après la vidange ou les lavages de la chaudière.

En ce qui touche les tubes, le grêlage paraît atteindre de préférence ceux qui sont placés à la partie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

inférieure du faisceau tubulaire, et pour ceux-ci, les régions les plus affectées semblent se trouver dans le voisinage des plaques tubulaires.

On peut ajouter que la corrosion se manifeste également près de la brasure, lorsque les tubes sont raboutis en cuivre du côté du foyer; peut-être faut-il admettre, dans ce dernier cas, la superposition de deux effets, celui de l'eau et celui d'une action thermo-électrique s'exerçant entre le bout en cuivre et l'acier des tubes.

Quant à la relation qui pourrait exister entre le grêlage et la formation des incrustations, nous n'en voyons pas d'autres que celle-ci : les cavités produites par la corrosion présentent des aspérités capables de retenir assez facilement les dépôts.

11. Sur nos locomotives des types les plus récents, les tuyaux d'alimentation sont complètement intérieurs à la chaudière. Ils débouchent à l'avant de la virole voisine de la boîte à feu, un peu au-dessus du faisceau tubulaire mais au-dessous du plan d'eau.

Dans le cas le plus général, c'est-à-dire sur les locomotives des anciens types, les tuyaux d'alimentation sont extérieurs à la chaudière. Ils y aboutissent en des points dont la position est assez variable, suivant les séries de machines, ces points se trouvent tantôt sur la virole d'avant, tantôt sur celle d'arrière, tantôt, enfin, sur une virole intermédiaire. Mais l'alimentation se fait toujours un peu au-dessous du plan d'eau.

Nous n'avons d'ailleurs jamais observé un accroissement du grêlage aux points de la chaudière où aboutissent les tuyaux d'alimentation.

12. Jusqu'en 1896, nous avons employé exclusivement la tôle de fer dans la construction du corps de la chaudière et de la boîte à feu extérieure. La qualité de la tôle varie d'ailleurs suivant l'usage auquel celle-ci est destinée. Les diverses qualités de tôle de fer sont définies dans la spécification annexe A.

Voici leur application en ce qui concerne le corps de la chaudière et à la boîte à feu extérieure :

Tôle n° 4 : viroles de boîte à fumée.

Tôle n° 6 : viroles du corps cylindrique et du dôme, plaque de pourtour (ou plaque supérieure et plaques latérales) de boîte à feu.

Tôle n° 7 : embase et calotte du dôme, plaque arrière de boîte à feu, plaques avant (supérieure et inférieure) de boîte à feu, plaque tubulaire de boîte à fumée.

Depuis 1896, nous avons commandé soixante-treize locomotives et chaudières en tôle d'acier.

Les diverses qualités de tôle d'acier sont définies dans la spécification annexe B.

Voici du reste leur application :

Acier très doux : viroles du corps cylindrique et de la boîte à fumée.

Acier extra-doux : dôme, plaque tubulaire de boîte à fumée et toutes les plaques de boîte à feu extérieure.

Avant l'assemblage définitif des divers éléments de la chaudière, les constructeurs recuisent les tôles d'acier.

Les tubes en laiton étaient seuls employés jusqu'en 1874, mais comme ces tubes, non raboutis en cuivre rouge, se criquaient souvent au ras des viroles, on commença, dès l'époque précitée, à faire l'essai de tubulures en fer et en acier doux. Quoique ces tubes durent moins longtemps que ceux en laiton, ils ont du moins l'avantage de ne pas coûter aussi cher et d'exercer une moindre poussée sur les plaques, à cause de leur plus faible dilatation.

Ces premiers essais ayant démontré que les tubes en fer et en acier doux n'occasionnaient pas plus de fuites que ceux en laiton, on renonça définitivement à ce dernier métal, tout en continuant à l'employer uniquement pour remplacer des tubes avariés dans des tubulures en laiton. On peut dire que, depuis 1892, l'usage des tubes en acier doux est devenu général à la Compagnie du Nord.

A l'état neuf, ils sont montés non raboutis du côté du foyer; dans cette région, ils sont rétreints, tandis que du côté de la boîte à fumée ils sont renflés.

Quant aux tubes ayant déjà servi et devenus, après recépage, trop courts pour un nouvel emploi, s'ils sont encore en bon état, on les remet à longueur en les raboutissant en cuivre du côté de la boîte à feu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le raboutissage est également employé, même pour des tubes neufs, lorsque sur la plaque tubulaire de foyer, les entre-tubes sont devenus trop étroits à la suite de mises au rond successives des trous, ou de mandrinages répétés.

En règle générale, on ne pose pas de viroles, mais on rive les tubes sur les plaques. On n'a recours à la rivure que si le mandrinage est incapable d'arrêter les fuites. A cet effet, les tubes sont montés avec une saillie de 3 à 4 millimètres sur les plaques.

Les tubes composant une même garniture sont tous du même métal.

13. On emploie au Nord les moyens suivants :

1° *Graisseur mécanique système « Bourdon »*. — Ce système est actuellement adopté de préférence sur toutes les machines à grande vitesse ;

2° *Graisseur mécanique système « Mollerup »*. — Existe sur les machines remorquant les trains de vitesse moyenne ou les trains de marchandises ;

3° *Graisseurs à condensation et à aspiration système « Lalance »*. — Ce système, en essai depuis plusieurs années, ne sera pas étendu au Nord ;

4° *Graisseurs à godets, placés à distance*. — C'est l'ancien système encore très répandu ; mais il a disparu déjà sur les machines à grand parcours, dont le régulateur est ouvert la majeure partie du temps.

Quant à l'huile employée dans ces différents graisseurs, c'est de l'huile de naphte pure, dite « Mazout de Russie », mélangée de $^1/_8$ (12.5 p. c.) d'huile de colza.

Dans les graisseurs à godets (à distance) on se sert également de l'huile spéciale, dite « cylindrine », qui, étant semi-fluide, s'emploie mélangée à $^2/_3$ d'eau ; on chauffe légèrement avant la mise dans les godets.

14. Nous avons employé des blocs de zinc, appareil dit « électrogène Hannay », placé dans un support en fer qui vient s'accrocher dans les barres d'entretoises entre la boite à feu et le corps cylindrique.

15. L'appareil est placé au-dessous du niveau de l'eau, ainsi que les extrémités des fils de l'électrogène qui viennent se souder dans la tête étamée d'une vis en bronze insérée sur le ciel du foyer, les fils sont en outre fixés aux deux extrémités de la tige de cuivre qui traverse la boule du bloc de zinc.

On a appliqué, suivant la place disponible, soit un bloc unique de 165 millimètres de diamètre et du poids de 18 kilogrammes, soit deux blocs de 130 millimètres de diamètre du poids de 9 kilogrammes chacun, placés l'un à droite, l'autre à gauche dans la même chaudière.

Sur les machines qui en ont été munies, après trois ou quatre mois de fonctionnement, c'est-à-dire pendant la durée de l'appareil, les chaudières ont été trouvées bien détartrées, mais l'électrogène n'a pas été renouvelé.

Actuellement, nous n'avons pas de machine munie de cet appareil, que nous appliquons seulement lorsque nous voulons nettoyer une chaudière entartrée.

L'efficacité du zinc est incontestable

16. Généralement l'eau froide.

17. Dans certains petits dépôts où il n'y a pas de réservoir de pression, on lave à l'injecteur depuis de nombreuses années.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chemins de fer du Nord français.

Note sur l'épuration des eaux.

Provenance de l'eau qui alimente la gare (lac, puits, rivière).

Les eaux traitées dans nos diverses installations peuvent être divisées en deux groupes :

a) Eaux des nappes souterraines, dont la composition dans chaque puits ou sondage est pratiquement constante. — Elles proviennent le plus souvent de la nappe aquifère de la craie ; ce sont celles de Frameries, Laon, Saint-Just, Saint-Pol, Montreuil, Somain, Arras, Cambrai, Lens, Achiet, Busigny, Calais. On peut y ajouter Amiens ; l'eau y est prise dans un puits en relation assez directe avec des marais ; mais ceux-ci sont alimentés par la nappe de la craie qui émerge à proximité. Quelques autres eaux proviennent de puits ou sondages dans le terrain tertiaire parisien, ce sont celles de Crépy-en-Valois, Ormoy, Montsoult.

b) Eaux de rivières et canaux de qualité plus variable. — Ce sont celles d'Hazebrouck (canal de la Bourre), de Douai (déviation de la Scarpe, traversant la ville et recevant des eaux d'égout), de Creil (rivière de l'Oise), d'Ermont (eau de rivière, Seine ou Oise, fournie par la Compagnie des eaux de Paris et de la banlieue).

Composition chimique de l'eau.

Toutes ces eaux ont comme principes essentiels du bicarbonate de calcium (assez souvent de l'acide carbonique en excès) dans la proportion de 0.200 à 0.400 gramme de $Ca\,CO_3$ par litre et du sulfate de calcium dans la proportion de 0 à 0.250 gramme de $Ca\,SO_4$.

Il y a parfois un peu de sels de magnésium.

Il n'y a jamais de sels alcalins en proportions notables. Nous avons pu éviter toute eau contenant plus de 0.100 gramme de chlorure, sulfate ou carbonate de sodium ou de potassium. Là où nous avons tenté autrefois d'utiliser des eaux contenant 0.200 gramme et plus de chlorure de sodium, nous avons eu des entraînements mousseux d'eau par la vapeur dans les chaudières, entraînements très nuisibles, particulièrement dans les grands trains de vitesse.

Observe-t-on des variabilités dans la composition chimique de l'eau et quelles sont les limites de ces variabilités ?

Les eaux souterraines sont ordinairement de qualité bien constante.

Les eaux de rivière ou de canaux le sont moins, selon les pluies et les prédominances des divers affluents.

Les eaux des grandes rivières sont, en général, peu inconstantes et un peu variables ; ainsi, la Sambre marque 14 à 22° à l'hydrotimètre ; la Meuse, 15 à 22° ; la Seine, 17 à 25° ; l'Oise, 20 à 28°. Sauf l'Oise, à Creil, nous ne les épurons pas. La Somme, la Scarpe, la Deûle, l'Escaut, l'Aisne, la Canche, la Ternoise, la Bresle, sont plus constantes et oscillent autour de 24 à 30° et seraient épurables.

Dans certains cours d'eau à faible débit, dans les ruisseaux du littoral, dans le territoire wateringué des Flandres, etc., il y a de très grandes différences, selon que l'eau vient, dans la saison sèche, des sources, ou qu'il s'y joint, dans la saison des pluies, les apports des ruissellements sur le sol. Nous nous efforçons de rejeter autant que possible l'emploi de ces eaux.

A Hazebrouck, nous avons dû cependant accepter une de ces eaux dont la teneur en carbonate de calcium varie de 0.250 à 0.400 gramme par litre et la teneur en sulfate de calcium de 0.070 à 0.250 gramme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quel est le système de l'épuration et quelles substances chimiques emploie-t-on dans ce but ?

Si l'eau ne contient que du bicarbonate de calcium et de l'acide carbonique libre, avec une quantité nulle ou insignifiante de sulfate de calcium, nous n'employons que la chaux, comme réactif d'épuration, ordinairement à l'état de lait.

S'il y a une quantité sensible de sulfate de calcium, nous ajoutons au lait de chaux du carbonate de sodium qui, en présence de l'hydrate de calcium, se trouve dans le réactif à l'état d'hydrate de sodium.

Il convient de remarquer ici qu'il y a plus d'intérêt qu'on ne le croirait au premier abord à supprimer le sulfate de calcium, même lorsqu'il est en petite quantité. Ce point mérite d'être mis en lumière.

Soit une eau contenant par exemple 0.100 gramme de sulfate de calcium et 0.300 gramme de carbonate de calcium, si on la vaporise dans une chaudière sans l'épurer, quand on aura vaporisé 100 mètres cubes et réduit l'eau dans la chaudière par exemple au $^1/_{10}$ de son volume, soit 10 mètres cubes, on trouvera comme incrustation 30 kilogrammes de carbonate de calcium et pas du tout de sulfate assez soluble pour ne pas se déposer. On serait donc tenté d'en conclure qu'on supprimera toute incrustation en enlevant seulement le carbonate de calcium par une épuration à la chaux seule.

Mais comme le premier résultat heureux de l'épuration sera de permettre d'espacer les lavages, de façon à réduire l'eau non plus au $^1/_{10}$, mais au $^1/_{30}$ ou au $^1/_{50}$ de son volume, le sulfate de calcium cessera d'être soluble et se précipitera en incrustation d'une très grande dureté. Ainsi donc un peu de sulfate, qui est sans inconvénient dans une eau calcaire naturelle, devient très nuisible dans une eau épurée, quand, pour profiter des avantages de l'épuration, on lave moins souvent la chaudière.

Quel est le dosage des réactifs ?

S'il n'y a que du bicarbonate de calcium et de l'acide carbonique libre dans l'eau à épurer, par exemple $mH_2Ca(CO_3)_2 + nCO_2$, il faut en théorie un lait de chaux contenant $(m + n)$ CaO, et la réaction est :

$$mH_2Ca(CO_3)_2 + nCO_2 + (m+n)\,CaO = (2m+n)\underbrace{CaCO_3}_{\text{Insoluble.}} + mH_2O$$

En réalité, on opère par tâtonnements pour fixer la quantité de chaux, de manière à avoir dans l'eau épurée et éclaircie 4 ou 5 degrés hydrotimétriques ou même de manière à n'avoir, à l'essai par un acide titré $\frac{n}{10}$ avec l'orangé de diméthylaniline, fait comme il est indiqué dans les instructions, que 0.3 ou 0.4 centimètre cube sur 50 centimètres cubes d'eau épurée. Ce tâtonnement est facile : on se guide d'abord sur le titre hydrotimétrique de l'eau, ou même sur l'essai de l'eau non épurée, au moyen de l'acide $\frac{n}{10}$ et de l'orangé.

La quantité effective de chaux à employer dépasse de 20 à 50 p. c. la quantité théorique à cause des variations de qualité de la chaux grasse qui contient des matières étrangères et des parties non cuites et aussi parce qu'une certaine quantité de chaux non utilisée reste incorporée à l'état caustique dans le dépôt de carbonate de calcium.

Si l'eau à épurer contient, outre le carbonate de calcium et l'acide carbonique, un peu de sulfate de calcium, 0.05 gramme ou plus par litre, on ajoute au lait de chaux du carbonate de sodium en proportion équivalente au sulfate de calcium.

Ainsi, si l'eau contient $CmH_2Ca(CO_3)_2 + nO_2 + pCaSO_4$, il faut employer $(m + n)$ CaO $+ pNa_2CO_3$, ce qui revient, en raison de la double décomposition qui se produit dans le lait de chaux ou $pCaCO_3$ se précipite, à traiter l'eau par $(m + n - p)\,H_2CaO_2 + 2pNaHO$, et le résultat de la réaction est :

$$\underbrace{(2m+n+p)\,CaCO_3}_{\substack{\text{Insoluble,}\\ \text{y compris le précipité}\\ \text{dans le réactif.}}} \quad \underbrace{+ pNa_2SO_4}_{\substack{\text{Très soluble}\\ \text{non incrustant.}}} \quad + mH_2O$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si on avait m + np, comme cela arriverait avec l'eau des puits de Paris, l'épuration se ferait non plus avec un mélange de chaux et de soude, mais bien avec un mélange de soude et de carbonate de sodium (qui s'obtiendrait d'ailleurs aussi par un mélange de chaux et de carbonate de sodium). Mais l'épuration deviendrait très coûteuse et on devrait chercher d'autres eaux. D'ailleurs, il resterait dans la chaudière beaucoup de sels solubles de sodium, ce qui causerait les inconvénients de crachements dont il a été question ci-dessus :

Pratiquement, on recherchera par tâtonnement la quantité de chaux nécessaire pour abaisser, comme il a été dit, le titre de l'acide $\frac{n}{10}$ avec l'orangé, à 0.4 centimètre cube et à cette quantité de chaux on ajoutera du carbonate de sodium en quantité équivalente au sulfate de calcium.

Si les eaux contiennent des sels de magnésium, les réactions sont un peu plus complexes; le titre hydrotimétrique est moins abaissé; mais dans les proportions où la magnésie se trouve dans nos eaux elle n'est pas incrustante et nous avons toujours un résultat convenable en abaissant le plus que nous pouvons le titre à l'acide $\frac{n}{10}$ par la chaux et en ajoutant le carbonate de sodium en quantité équivalente aux sulfates.

De quelle manière régularisera-t-on l'affluent des réactifs ?

Dans les appareils continus, il est indispensable que le réactif soit toujours bien proportionné à l'eau à épurer; mais dans nos appareils par décantation avec lait de chaux, cette régularité n'est pas nécessaire. Quoique nous recommandions de faire couler assez uniformément le lait de chaux en mélange avec le courant d'eau affluente pendant toute la durée du remplissage des réservoirs, nous avons souvent observé que des interruptions, ralentissements, arrivées plus rapides de réactifs, n'ont pas d'inconvénients dans certaines limites, pourvu que la quantité totale soit convenable. Ainsi, s'il faut par exemple cinq heures pour remplir une cuve, on peut, à la rigueur, n'envoyer le réactif qu'après la première heure, ou l'arrêter après quatre heures, ou l'interrompre pendant une heure au milieu du remplissage. Néanmoins, il vaut mieux se rapprocher du remplissage régulier.

Y a-t-il des variations dans les titres hydrotimétriques de l'eau épurée? Quelles sont les limites de ces variations et quelles en sont les causes?

Avec les eaux souterraines à composition constante, les dosages de réactifs sont fixés une fois pour toutes et à moins d'erreurs de pesées ou de grande négligence, il n'y a pas de variation sensible dans les résultats obtenus qui, sauf dans le cas d'eaux magnésiennes, doivent être 5 à 8° hydrotimétriques et 0.4 centimètre cube à l'essai à l'acide $\frac{n}{10}$ sur 50 centimètres cubes au plus.

Avec les eaux variables de rivières et de canaux les résultats obtenus sont moins constants, les dosages doivent être modifiés et les opérations surveillées.

Ainsi à Hazebrouck, où, comme nous l'avons dit, il y a des variations de proportion à la fois pour le carbonate et le sulfate de calcium, on fait varier la proportion de chaux suivant la teneur en carbonate décelée par l'essai à l'acide $\frac{n}{10}$ et les agents se règlent pour cela sur un tableau qui leur a été remis. On y ajoute ordinairement 6 kilogrammes de carbonate de sodium pour épurer les sulfates; c'est quelquefois trop, le plus souvent insuffisant; mais on craint, dans la région spéciale surtout où l'on se trouve, de mettre un excès de sels alcalins dont les inconvénients ont été signalés. On change d'ailleurs parfois exceptionnellement ce dosage, quand l'eau paraît avoir pour quelque temps un certain régime dans sa composition. On a ainsi une eau épurée dont le titre hydrotimétrique varie de 8 à 15° et des titres à l'acide $\frac{n}{10}$ un peu irréguliers aussi. L'opération est donc souvent imparfaite, mais cependant il y a encore grand avantage à épurer même avec cette imperfection.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'épuration à Douai, dans les conditions actuelles, donnerait lieu à des observations semblables.

A Creil, l'eau de l'Oise offre un titre hydrotimétrique de 20 à 25°, dont un peu de sulfate de calcium, en proportion légèrement variable. Le résultat de l'opération n'est pas très bon : 8, 10, 12° hydrotimétriques. Mais l'eau naturelle n'étant pas déjà très incrustante par elle-même, on se contente de ce résultat.

Dans ces eaux un peu variables, il y a avantage à remplacer un peu de chaux par une quantité équivalente de soude, ou même à mettre un très léger excès de soude. Ainsi, si les essais indiquent 25 kilogrammes de chaux, on ajouterait 1 kilogramme de carbonate de sodium au lait de chaux, ce qui reviendra à y remplacer 528 grammes CaO par 604 grammes NaHO. La soude pare ainsi à la fois aux irrégularités de composition de l'eau et aussi aux petites erreurs de pesées qui pourraient se produire, un petit excès de soude ayant moins d'inconvénient qu'un excès de chaux. On ne doit pas perdre de vue qu'au delà d'une certaine limite la présence de la soude favorise les entraînements d'eau déjà signalés.

Emploie-t-on des filtres, et quelle est la meilleure composition de la matière filtrante?

Dans les appareils du chemin de fer du Nord, la séparation du précipité de carbonate de chaux se fait presque entièrement par décantation. Les filtres n'ont pour but que de retenir les flocons calcaires déjà plus ou moins rassemblés et formés qui se détacheraient des parois des réservoirs, tuyaux, appareils, etc., par le mouvement de l'eau et pourraient s'amasser aux robinets, coudes, etc., et causer des obstructions.

A cet égard, les copeaux fibreux de sapin employés depuis quelques années pour les emballages nous donnent toute satisfaction. Ils nous coûtent 15 centimes le kilogramme. Il en faut 45 kilogrammes pour garnir un filtre de 0.560 mètre cube.

Quelle est l'épaisseur de la couche d'éponges de Bahama suffisante pour la meilleure filtration de l'eau? Où la Compagnie les achète-t-elle?

Nous avons renoncé aux éponges pour la filtration de l'eau épurée.

Il en fallait environ 25 kilogrammes pesés à l'état sec pour un filtre de 0.560 mètre cube. Elles coûtaient environ 2 fr. 50 c. le kilogramme. Elles étaient fournies par Coulombel et Devismes, faubourg Saint-Denis, n° 130, à Paris, ou bien par des négociants d'Anvers.

Pour filtrer sérieusement de l'eau trouble en quantité un peu grande, il faudrait avoir recours à des appareils plus efficaces, analogues aux filtres, presses des sucreries. On fait usage en Angleterre d'appareils de ce genre pour la filtration des eaux épurées, filtres Porter, filtres Atkins (employés par exemple à Southampton).

Où achète-t-on également les divers réactifs chimiques? Quels en sont les prix, les qualités et la force?

On voit que les réactifs dont nous faisons usage se bornent à la chaux et au carbonate de sodium.

La chaux doit être de la chaux grasse de bonne qualité. Nous la payons environ 15 francs les 1,000 kilogrammes et nous la prenons aux fours à chaux voisins de nos installations.

Comme soude, nous faisons uniquement usage du carbonate de soude sec, ou sel de soude de Solvay, qui est pour ainsi dire du carbonate de sodium pur à 1 ou 2 p. c. près, consistant surtout en humidité.

Il nous coûte 12 à 14 francs les 100 kilogrammes.

Quel serait le coût des réactifs pour 100 mètres cubes, d'après le titre hydrotimétrique de l'eau?

Il faut compter pour 100 mètres cubes d'eau par chaque degré hydrotimétrique en carbonate, 0.560 kilogramme théorique de chaux anhydre CaO.

Mais, pratiquement, il faut bien forcer ce chiffre de 30 à 50 p. c. à cause de l'acide carbonique libre des impuretés de la chaux et de la quantité de chaux caustique qui reste inutilisée, comme nous l'avons dit, en mélange avec le dépôt de carbonate précipité.

Nous rappelons que le chiffre pratique doit être déterminé par tâtonnement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour la soude, il faut compter 1.06 kilogramme par degré hydrotimétrique en sulfates, de sel de soude Na_2CO_3 pour 100 mètres cubes. Ici, il n'y a pas de déchets.

Pour 100 mètres cubes d'eau, le prix d'abaissement d'un degré hydrotimétrique de carbonate de calcium est donc 560 grammes à 0.015 franc, soit 0.00085 qu'il faut porter en pratique à 0.013 franc; celui d'un degré de sulfate de calcium est de 1.060 kilogramme à 12 centimes, soit 13 centimes.

Ces prix de réactifs sont peu de chose en comparaison de la main-d'œuvre, s'il faut un ouvrier spécial. On doit donc, sauf dans les très grandes installations, s'efforcer de faire faire l'épuration par le chauffeur de la machine à eau.

Annexe VII.

—

Chemins de fer du Midi français.

---

1. Chaux-soude caustique.

2. La chaux est employée plus particulièrement pour les eaux ne contenant que du carbonate de calcium comme matière incrustante. On l'ajoute à l'eau à épurer sous forme de lait de chaux à 5. p. c. de Ca O (densité, 1.035) qu'on envoie directement dans les cuves d'alimentation. La décantation et la clarification se font dans les cuves mêmes. La clarification est plus rapide quand la saturation du bicarbonate de calcium par la chaux n'est pas tout à fait complète.

La soude sert plus rarement et pour les eaux contenant une proportion notable de sels incrustants autres que le carbonate de calcium. On l'emploie sous forme de lessive caustique contenant 36 p. c. de soude (densité, 1.395) et de la même manière que le lait de chaux ci-dessus.

3. Pour l'épuration à la chaux, 0.018 franc pour 1,000 litres.
— — à la soude, 0.03 — — —

4. *Chaux pure* (Ca O) *employée par 1,000 litres : 94 grammes (Tournemire).*

	AVANT TRAITEMENT.	APRÈS TRAITEMENT.
	Gramme par litre.	Gramme par litre.
Carbonate de calcium	0.175	0.045
Carbonate de magnésie	Traces.	Traces.
Sulfate de calcium	—	—
Sulfate de magnésie	—	—
Dépôt total formant résidu (matières incrustantes)	0.165	0.027
Matières totales dissoutes (séchées à 180° C.)	0.226	0.094
Dureté totale (1 grain carbonate de calcium par gallon [0.01426 gramme par litre])	13°	6°
Dureté permanente	6°	6°

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Soude pure (Na OH) *à employer par 1,000 litres : 80 grammes (Quillan).*

	AVANT TRAITEMENT.	APRÈS TRAITEMENT.
	Gramme par litre.	Gramme par litre.
Carbonate de calcium	0.107	...
Carbonate de magnésie	Traces.	...
Sulfate de calcium	0.083	...
Sulfate de magnésie	Traces.	...
Dépôt total formant résidu	0.155	0.062
Matières totales dissoutes (séchées à 180° C.)	0.242	0.200
Dureté totale	12°	...
Dureté permanente	10°	...

5. Pour plus de 75 p. c. par du carbonate de calcium.

6. Nos locomotives s'alimentent sur des points nombreux et fournissant des eaux différentes, impossible de donner ce renseignement.

7. Pour des eaux où l'épuration soit à la soude, soit à la chaux réussit mal, on a essayé, avec certain avantage, le tanin en solution sous forme d'extrait fluide de bois de quebracho à raison de 0.175 gramme de tanin par 1 gramme de chaux ou de magnésie combinée dans 1,000 litres d'eau vaporisée.

8. Non.

12. *a*) du corps de la chaudière : acier; *b*) de la boîte à feu : cuivre; *c*) des tubes : acier (tous du même métal).

13. Oléonaphtes débités par graisseurs continus.

14. Oui, mais sans succès.

16. Eau froide.

Annexe VIII.

—

Chemins de fer du Sud de la France.

1. — Nous employons un désincrustant à base de quebracho (bois de la République Argentine).

2. — *Composition.* — Dans 100 litres d'eau on introduit 24 kilogrammes de quebracho en poudre et 12 kilogrammes de soude caustique.

Après trois heures d'ébullition, repos et décantation. — A froid, la liqueur marque de 11 à 12° au pèse-acide Baumé.

On verse 400 grammes de désincrustant dans la chaudière après chaque lavage et 350 grammes dans les caisses à eau après 100 kilomètres de parcours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3. — Le prix de revient par 1,000 litres est de 5 centimes environ.

4. — *Grammes, par litre.* — Le degré hydrotimétrique de l'eau avant l'opération va de 15 à 23°. Après l'addition du désincrustant nous n'avons jamais fait d'analyse.
Nous n'avons jamais fait d'essai.

5. — L'incrustation sur la plaque du foyer et sur les tubes atteignait plus de 10 millimètres et 4 millimètres sur les têtes des rivets. — C'est du carbonate de calcium. — Depuis l'emploi de quebracho ce carbonate s'échappe en boue à chaque lavage.

6. — Carbonate et sulfate de chaux dans les eaux des régions traversées. Ces eaux donnent de 15 à 23° à l'hydrotimètre.

7. — Oui, nous introduisons dans la chaudière après chaque lavage 400 grammes de désincrustant.
Composition donnée à la question 2 ci-dessus.

8. — Avant l'emploi du désincrustant, les plaques tubulaires du foyer souffraient beaucoup : elles se déformaient et s'étoilaient, d'où de nombreuses fuites. Il se formait d'abord une mince couche de carbonate et dessus un grêlage très fort.

9. — Nous n'en avons pas découvert la cause.

10. — Contre la plaque du foyer et sur les tubes jusqu'à 50 et 60 centimètres de cette plaque.

11. — Sur l'avant.
Non.

12. — Tôle d'acier, cuivre rouge, laiton avec raboutage en cuivre rouge.
Nous avons essayé également le tube d'acier rabouté en cuivre rouge.

13. — Nous employons ordinairement l'oléonaphte à 75 p. c. d'huile minérale et 25 p. c. de colza.
Sur quelques locomotives nous avons essayé l'huile américaine (*vacuum valve*) avec graisseurs automatiques. Nous en sommes très satisfaits et l'emploi va en être généralisé sur toutes nos machines.

14. — Non.

15. — Pas essayé.

16. — Nous lavons à l'eau froide avec pompe à vapeur donnant une pression de 2 $^1/_2$ kilogrammes. Les lavages sont faits après un parcours qui n'excède pas 1,600 kilomètres.

17. — Nous n'avons pas essayé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Annexe IX.

—

Chemin de fer de Libau-Romny (Russie).

1. Le chemin de fer de Libau-Romny ne pratique pas l'épuration préalable de l'eau avant l'alimentation des chaudières.

5. Le dépôt, suivant la composition de l'eau, se présente dans certaines sections de la ligne sous une forme pierreuse solidement attachée aux parois de la chaudière, et, dans d'autres, sous la forme de tourbe ou de limon.

6. En général, les eaux qui alimentent les chaudières renferment peu de matières déposantes. Voici, par exemple, la composition de l'eau sur une des sections de la ligne, en milligrammes de substance par litre d'eau.

GARES.	Sulfate de calcium $Ca\,SO_4$.	Carbonate de calcium $Ca\,CO_3$.	Carbon. de magnésium. $Mg\,CO_3$.	Peroxyde de fer et d'alum. $Fe_2\,O_3 + Al_2\,O_3$.	Silice soluble $Si\,O_2$.	Total des dépôts.
Vileyka.	3.4	147.2	20.5	4.4	7.6	183.1
Slobodka	Traces.	69.6	17.0	1.6	7.8	96.0
Soli	7.1	105.5	44.1	4.0	11.8	172.5
Smorgogne.	0.5	126.3	13.4	11.8	8.8	160.8
Moyenne, en litre	2.75	112.15	23.75	5.45	9.0	153.1
— en pour cent . . .	1.79	73.25	15.51	3.56	5.85	100.00

Le dépôt, dans cette section, se présente le plus souvent sous la forme d'une incrustation fortement attachée aux parois. Sa composition en pour cent est la suivante :

Eau $H_2\,O$.	Substances organiques.	Sulfate de calcium $Ca\,SO_4$.	Carbonate de calcium. $Ca\,CO_3$.	Carbonate de magnésium $Mg\,CO_3$.	Oxyde de magnésium $Mg\,O$.	Peroxyde de fer et d'alum. $Fe_2O_3 + Al_2\,O_3$.	Silice soluble $Si\,O_2$.
0.14	2.30	2.86	84.96	6.28	0.90	1.42	0.81

7. Pour que l'incrustation se détache plus facilement des parois, on introduit dans la chaudière, après chaque nettoyage, de 0.5 jusqu'à 2 kilogrammes de *lapidolide*, ou bien 4 kilogrammes de soude. La soude (à la section citée) contribue à la transformation de la pierre en limon. Plusieurs sections de la ligne emploient aussi pour la période de temps entre les deux nettoyages : 1 à 3 kilogrammes de résidus de naphte qui aident à détacher la pierre des parois et en même temps ne produisent pas le jet d'eau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le *tapidolide* a la composition suivante :

Eau	41.4 p. c.
Substances organiques (indu tanin)	19.1 —
Soude caustique (Na OH)	31.1 —
Carbonate de soude (Na_2 CO_3)	4.6 —
Autres sels	3.8 —
	100.0 p. c.

8. Quelquefois le métal est rongé, les parois de la chaudière portent des taches de détérioration.

9. La cause de ces détériorations n'est pas définie.

10. Ces détériorations se produisent dans la partie inférieure cylindrique de la chaudière ainsi que dans les jointures et les têtes des rivets. Les parois même couvertes d'une couche épaisse du dépôt ne les subissent pas. Il faut croire que ces détériorations n'ont pas de rapport avec le dépôt.

11. L'orifice du tuyau d'alimentation se trouve en avant ou au milieu de la chaudière. On ne remarque pas que le métal soit particulièrement rongé en ce point.

12. Pour la construction de la chaudière on emploie le fer; pour la boite à feu, le cuivre rouge; pour les tubes, le fer avec des bouts de la boite à feu en cuivre.

13. Pour le graissage des cylindres on emploie les résidus de naphte et en cas d'un graissage insuffisant, la graisse de bœuf. Le graissage s'opère au moyen des graisseurs « Jacoby » ou « Kesler ». Quelques locomotives sont munies de lubrificateurs.

14. Le zinc, comme réactif contre les dépôts, ne s'emploie pas.

16. Le lavage se fait avec un jet d'eau froide, et les incrustations s'enlèvent avec des baguettes de fer.

17. L'eau chaude ne s'emploie pas pour le lavage.

Annexe X.

—

Chemins de fer de l'État danois.

1. — Des réactifs sont mélangés à l'eau d'alimentation, avant d'introduire celle-ci dans la chaudière.

2. — Pour épurer l'eau, nous employons la chaux ou un mélange de chaux et de soude. La chaux est ajoutée sous forme d'eau de chaux. Dans quelques cas, le précipité est filtré; dans d'autres, l'eau est clarifiée par décantation.

Quand l'eau contient 0.025 gramme ou moins d'acide sulfurique (calculé sous forme de SO_3) par litre, nous employons simplement de la chaux.

3. — L'eau avant l'épuration a une dureté de 16 à 16°5 allemands (28°21 à 29°09 français); après épuration, la dureté est de 4°5 à 5° allemands (5°55 à 8°81 français).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

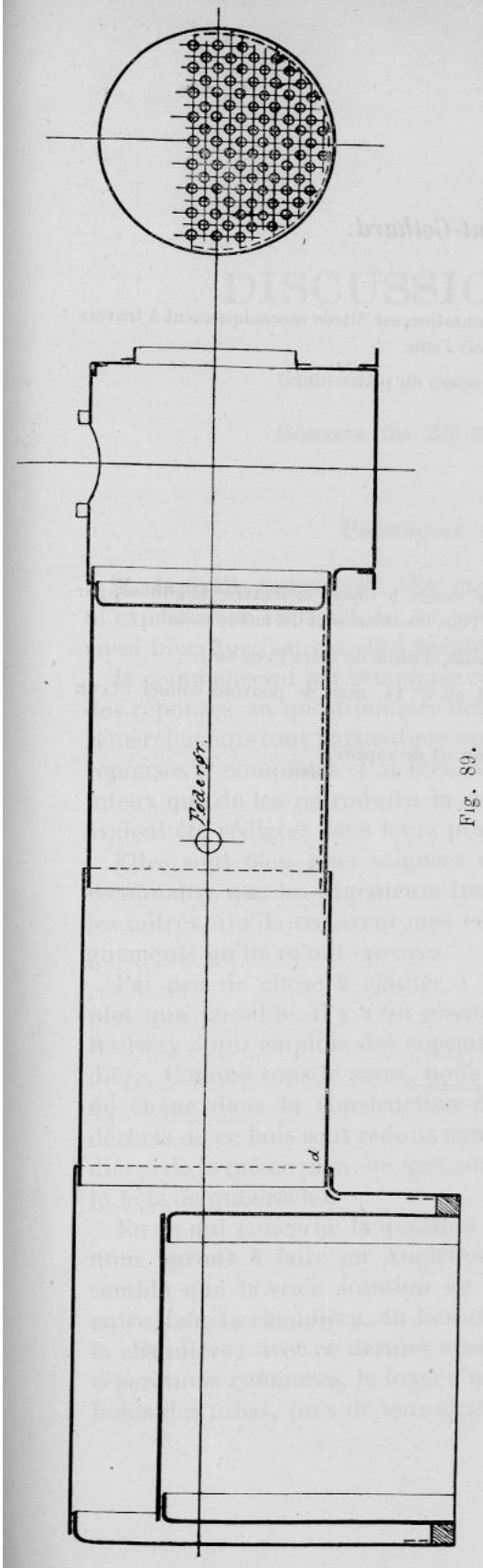


Fig. 89.

7. — Non.

8. — Oui. Ayant dans ces dernières années employé de l'eau épurée, nous n'avons pas constaté de grelage des tubes de la chaudière, et il nous a semblé que les tôles de cuivre sont moins exposées aux corrosions.

9, 10 et 11. — *Voir* figure 89.

Le grelage et la corrosion des tôles sont probablement dus :

1° Au changement de température des tôles provenant du contact de l'eau froide d'alimentation avec la partie inférieure de la chaudière et de la boîte à feu ;

2° A la composition chimique de l'eau d'alimentation ;

3° A la qualité des tôles d'acier dont la porosité et les criques donnent naissance à la corrosion ;

4° A la différence d'élasticité des joints ;

5° D'autres corrosions se produisent aux endroits où les incrustations s'accumulent et sont difficiles à enlever, par exemple en *d*.

12. — *a*) Acier ; *b*) cuivre ; *c*) fer et acier.

Tous les tubes sont en fer ou en acier.

13. — Une huile minérale dont le point d'inflammation est supérieur à 240° C. mélangée à 30 p. c. de suif. La quantité d'acide ne peut être supérieure à 0.3 p. c. (calculée sous forme de SO_3).

14. — Non. Des tubes galvanisés ont été employés à titre d'essai. Après une courte période de temps, la couche de zinc avait disparu et les tubes étaient couverts d'incrustations.

15. — Le n° 14 répond à cette question.

16. — Lorsque le parcours est terminé et que la pression de vapeur est tombée à 2 atmosphères, nous laissons écouler l'eau de la chaudière et, après un repos de cinq heures, le lavage est effectué à l'eau froide. Le lavage s'opère au moyen d'un violent jet d'eau.

17. — Le n° 16 répond à cette question.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Annexe XI

—

Chemin de fer du Saint-Gothard.

1. — Sur le chemin de fer du Saint-Gothard, l'eau d'alimentation est filtrée mécaniquement à travers des filtres en gravier. On n'emploie aucun procédé pour adoucir l'eau.

5. — Les dépôts sont en partie boueux et ont en partie l'aspect du plâtre (durs).

6. — Pas possible.

8. — Pas de réponse.

9. — Pas de réponse.

10. — Pas de réponse.

11. — Pas de réponse.

12. — Le corps cylindrique de la chaudière est en acier doux; le foyer, en cuivre. Les tubes, par exception, sont en fer avec bouts en cuivre du côté du foyer. Tous les tubes sont du même métal.

13. — L'huile pour cylindres est un mélange d'huile minérale, d'huile de colza et de suif.

14 et **15.** — Non. Comme il a été répondu négativement au nº 14, nous ne pouvons donner aucun renseignement à ce sujet.

16. — Les chaudières sont lavées à l'eau froide à l'aide d'un jet de vapeur.

17. — Pas de réponse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SECTION

Séance du 22 septembre 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE Mr FREDRIK ALMGREN.

Mr Aspinall, *rapporteur*. (En anglais.) — Je regrette, messieurs, de ne pouvoir m'exprimer en français. Je ne pourrai donc vous dire ce que j'ai à vous exposer aussi bien que j'aurais été à même de le faire, si j'avais parlé votre langue.

Je commencerai par remercier ceux d'entre vous qui m'ont si aimablement envoyé des réponses au questionnaire détaillé que je leur avais transmis, mais je dois des remerciements tout particuliers aux délégués des chemins de fer français pour leurs réponses si complètes et si bien soignées. Je n'ai pas cru qu'il fût possible de faire mieux que de les reproduire *in extenso*, à cause de la manière parfaite dont elles avaient été rédigées dans leurs plus petits détails.

Elles sont bien plus soignées que celles des chemins de fer anglais, et je dois reconnaître que les ingénieurs français sont bien plus habiles en cette matière que les nôtres. Qu'ils reçoivent mes remerciements les plus cordiaux pour les renseignements qu'ils m'ont envoyés.

J'ai peu de chose à ajouter à mon exposé, ayant essayé de le faire aussi complet que possible. Il y a un réseau dont je n'ai pas parlé, c'est le « North London Railway » qui emploie des copeaux de chêne comme désincrustant dans la chaudière. Comme vous le savez, nous employons, en Angleterre, une grande quantité de chêne dans la construction de la caisse de nos wagons. Les copeaux et les déchets de ce bois sont réduits dans une dilution d'acide et employés dans nos chaudières de la même manière que, sur certains chemins de fer du continent, on emploie le bois de quebracho.

En ce qui concerne la question générale de la purification de l'eau, je pense que nous aurons à faire en Angleterre mieux que nous n'avons fait jusqu'ici. Il me semble que la vraie solution de la question, c'est de purifier l'eau avant qu'elle entre dans la chaudière, au lieu d'employer de l'eau impure que l'on purifie dans la chaudière; avec ce dernier système, on détruit la chaudière, qui exige alors des réparations coûteuses, le foyer s'use plus rapidement, les entretoises se brûlent, les bouts des tubes, près de leur attache à la plaque tubulaire du foyer, se détruisent.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a donc non seulement des dépenses pour les réparations du foyer et des tubes, mais on raccourcit aussi la durée de la chaudière et on cause le chômage de la machine pendant un temps assez long, d'où la nécessité d'avoir un capital immobilisé plus considérable.

Cette opinion ressort clairement des réponses que j'ai reçues de tous les chemins de fer du monde.

Je dois ajouter un renseignement à ce que j'ai dit tout à l'heure, relativement aux qualités de certaines eaux. Quelques eaux provenant de montagnes tourbeuses sont excessivement pures et ne renferment qu'une très faible quantité de matières solides, 4 grains par gallon (0.057 gramme par litre), mais n'en attaquent pas moins très rapidement les chaudières et les tubes. Pour remédier à cet inconvénient, on fait travailler pendant un certain temps les locomotives dans une région où les eaux sont très calcaires; les chaudières se tapissent d'une couche mince de carbonate de chaux, puis l'on envoie les machines dans la région où les eaux présentent la particularité que nous venons d'exposer et la corrosion ne se produit plus.

Mr le Président. — Je dois remercier Mr Aspinall pour le rapport qu'il nous a présenté et le féliciter pour la façon bien nette dont il s'est prononcé en faveur de l'épuration préalable des eaux d'alimentation. Je crois que nous pourrions poser la question en ces termes : « Faut-il épurer d'avance ou faut-il épurer dans la chaudière? »

Mr Souschinsky, Ministère des voies de communication, Russie. — Je crois qu'il conviendrait d'éclaircir le fait que Mr Aspinall vient de signaler. Dans l'eau très pure dont il a parlé, il y a sans doute des acides qui attaquent le métal. En effet, le fait ne pourrait s'expliquer autrement.

Lorsqu'il n'est pas possible d'éviter l'emploi des eaux calcaires, je pense aussi qu'il n'y a pas autre chose à faire que d'épurer ces eaux, mais je crois qu'il est préférable, même au prix de grandes dépenses, d'amener des eaux provenant de sources vives ou des eaux de rivière. L'emploi d'eaux de mauvaise qualité est, en effet, une grande cause de difficulté pour l'exploitation. Si l'on emploie des réactifs pour purifier l'eau, il faut, en quelque sorte, avoir dans chaque gare d'alimentation un chimiste qui examine si la composition de l'eau ne change pas. En effet, par les temps de pluie, l'eau est meilleure; au contraire, en temps de sécheresse, l'eau est plus chargée de parties solides. Ce n'est donc, à mon sens, que dans des cas extrêmes que l'on doit recourir à l'épuration.

Mr Herdner, Ch. de f. du Midi français. — Au chemin de fer du Midi, nous avons été de l'avis de Mr Aspinall, savoir qu'il valait beaucoup mieux épurer l'eau d'avance, plutôt que d'introduire dans les chaudières des matières qui peuvent nuire au métal. Jusqu'à présent, nous n'avons fait que de l'épuration et n'avons jamais fait usage de désincrustants; nous nous en trouvons bien.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Je crois inutile de donner des détails sur la manière dont on procède; nous appliquons surtout le procédé au carbonate de chaux décrit autrefois dans la *Revue des chemins de fer* et qui est également employé au chemin de fer du Nord.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Messieurs, je désirerais dire quelques mots d'une cause énorme de dépense qui a été indiquée d'une manière générale par Mr Aspinall, mais que nous pourrions mentionner tout spécialement dans nos conclusions : c'est la dépense qui résulte du lavage des locomotives. Quand on pénètre dans un dépôt de locomotives et que l'on constate combien il est fréquemment nécessaire d'arrêter les machines, de les laisser refroidir, de les vider, de les laver, puis de les remplir, on ne peut s'empêcher de trouver qu'il y a là une opération barbare.

Avec les eaux de qualité moyenne qu'on trouve dans beaucoup de pays, on arrive à arrêter les locomotives tous les 2,000, tous les 1,500, tous les 1,200 kilomètres et même plus fréquemment, et, comme on s'attache à faire faire aux locomotives des parcours très longs dans des espaces de temps très courts, spécialement lorsqu'on a l'équipe multiple, on s'aperçoit qu'au bout de très peu de jours de service, il est nécessaire de retirer les machines du service pour procéder à l'opération du lavage, qui doit être exécutée dans un laps de temps toujours trop court. En effet, il faudrait pour bien faire laisser la chaudière se refroidir suffisamment; même quand on fait le lavage à l'eau chaude, il convient que la chaudière ne soit pas à une température trop élevée.

La difficulté qu'il y a à laisser convenablement refroidir les chaudières est d'ailleurs maintenant de plus en plus grande. Autrefois, on avait de petites chaudières qui se refroidissaient assez vite; aujourd'hui, les chaudières sont grandes et se refroidissent beaucoup plus lentement. D'autre part, à l'imitation de ce qui se fait dans beaucoup de pays et en Angleterre notamment, beaucoup d'ingénieurs trouvent très utile de soigner les enveloppes isolantes des chaudières; ils ne se contentent pas d'une simple couche d'air, mais complètent celle-ci par des matelas de matières non conductrices. Cela est très bien pour éviter la déperdition de chaleur en service, mais lorsqu'on veut mettre des chaudières en lavage, leur refroidissement est encore plus long.

On est donc exposé soit à laisser les locomotives chômer pendant un temps excessif, soit à les laver d'urgence, c'est-à-dire à envoyer de l'eau froide ou tiède dans des chaudières encore très chaudes, en exposant celles-ci à des détériorations assez graves.

Si l'on tenait compte du nombre immense de journées de locomotives ainsi perdues, on arriverait à des résultats tout à fait extraordinaires; il serait des plus intéressants de chiffrer la durée des chômages, car on ne se fait pas une idée du capital énorme immobilisé de ce chef. Si donc, par l'emploi d'eaux d'alimentation beaucoup plus pures, on peut réduire le nombre des lavages, on arrive au même résultat que si on construisait un nombre de locomotives égal à celui des machines ainsi rendues à la circulation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mr Souschinsky. — J'ajoute que les lavages eux-mêmes n'aident malheureusement pas beaucoup. Après un certain parcours, les incrustations persistent et les lavages ne servent plus à rien. En Russie, dans les régions où l'eau est pure, on lave après un parcours de 1,500 kilomètres; dans les régions où il y a des eaux calcaires, après 500 ou 600 kilomètres, mais dans ce dernier cas, je le répète, le lavage ne sert plus à grand chose.

Mr le Président. — Je crois, messieurs, que vous êtes d'accord avec Mr Aspinall sur ce point que l'eau doit, autant que possible, être épurée avant de servir à l'alimentation. Aucune opinion divergente n'a été exprimée.

Mr Souschinsky. — Nous sommes, je pense, tous d'accord pour répondre affirmativement à cette question.

Mr le Président. — Nous pourrions donc nous arrêter à une conclusion qui serait conçue à peu près dans ces termes : « A raison des difficultés et des frais résultant du chômage des locomotives pour les lavages, il semble préférable d'épurer préalablement les eaux d'alimentation. »

Mr Herdner. — Je me demande s'il ne faudrait pas faire une différence entre les eaux, suivant leur composition. Je crois bien ne pas me tromper en disant que les eaux sulfatées ne sont pas susceptibles d'être aussi facilement épurées que les eaux calcaires.

On admet que ces dernières ne peuvent tenir des sels calcaires en dissolution que grâce à un excès d'acide carbonique. Pour neutraliser cet excès, on ajoute de la chaux, qui est précipitée à l'état de carbonate en même temps que les carbonates qui étaient en dissolution. C'est là le système d'épuration que nous avons appliqué avec succès, sur le réseau du Midi, toutes les fois que nous avions affaire à des eaux calcaires.

Mais aucun procédé, que je sache, ne nous a donné des résultats très satisfaisants lorsqu'il s'est agi d'épurer des eaux sulfatées. Lors donc que dans toute une région on ne rencontre que des eaux de cette espèce, et c'est notre cas dans le département de l'Aude, il se peut que la meilleure solution soit encore d'employer des désincrustants.

Mr Souschinsky. — Pour les eaux sulfatées, on emploie le carbonate de soude.

Mr Lancrenon, Ch. de f. de l'Est français. — Dans l'ordre d'idées indiqué par Mr Herdner, je signale que nous commençons à faire des essais avec un sel peu connu jusqu'à présent, l'aluminate de baryte, qui, précisément, précipite les sulfates et paraît donner de très bons résultats. Cependant, ces essais sont encore trop peu avancés pour que je puisse vous indiquer des résultats certains.

Mr Clérault, Ch. de f. de l'Ouest français. — Nous avons également essayé, dans une chaudière fixe, l'aluminate de baryte, qui a, jusqu'à présent, donné de bons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résultats; mais il n'y a eu encore qu'un commencement d'application et il semble que ce procédé doive revenir un peu cher.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — On peut, jusqu'à un certain point, se débarrasser du sulfate de chaux par l'emploi de sels de soude qui donnent des sulfates de soude solubles et du carbonate de chaux qui se précipite en même temps. On n'est donc pas absolument désarmé vis-à-vis du sulfate de chaux, qui est de beaucoup le sel le plus nuisible.

Mr Souschinsky. — On peut encore distiller les eaux calcaires, mais cela coûte cher. C'est ce qu'on fait dans la Russie méridionale.

Mr Herdner. — La distillation est évidemment un moyen héroïque.

Mr Sauvage. — Mais il ne peut s'employer qu'avec des eaux extrêmement mauvaises, qu'il serait absolument impossible d'employer telles quelles.

Mr Souschinsky. — Il s'agit évidemment alors d'eaux extrêmement mauvaises.

Mr Sauvage, *secrétaire principal*. — Voici, messieurs, le projet de conclusions que je vous soumets : « Il est très utile d'épurer *au préalable* les eaux servant à l'alimentation des locomotives toutes les fois qu'elles ne sont pas suffisamment pures, afin d'améliorer le fonctionnement des chaudières et de réduire les dépenses de lavage et de réparation, ainsi que les chômages qui en résultent. »

— Ce projet de conclusions est adopté.

— La séance est levée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISCUSSION EN SÉANCE PLÉNIÈRE

Séance du 29 septembre 1900 (après-midi).

PRÉSIDENCE DE Mr ALFRED PICARD.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : Mr L. WEISSENBRUCH.

Mr Sauvage, *secrétaire principal de la 2e section*, donne lecture du

Rapport de la 2e section.

(Voir *Bulletin* quotidien de la session, n° 5, p. 6.)

« Le rapporteur, Mr ASPINALL, commence par remercier les diverses administrations qui lui ont adressé des renseignements. Il est particulièrement reconnaissant aux administrations françaises pour les documents très détaillés et très complets qu'elles lui ont fournis. Il a cherché à publier aussi complètement que possible les communications qu'il a reçues; il signale, toutefois, une omission relative au North London Railway, qui fait usage de copeaux de chêne dans les chaudières de locomotives.

« Le rapporteur pense qu'il reste encore beaucoup à faire pour améliorer les eaux d'alimentation en Angleterre comme dans d'autres pays. Il estime qu'on doit purifier au préalable les eaux impures; il est de plus en plus convaincu que c'est là la vraie méthode, bien supérieure à l'emploi de palliatifs tels que désincrustants dans les chaudières, désincrustants souvent peu efficaces et quelquefois dangereux.

« Les eaux impures sont une cause d'usure des foyers, des entretoises, des tubes, et causent de grandes dépenses de réparation, qui entraînent d'ailleurs des chômages, c'est-à-dire une immobilisation importante de capital.

« Mr ASPINALL signale l'emploi de certaines eaux provenant de régions tourbeuses qui, bien que fort peu chargées de matières étrangères (60 grammes par mètre cube), exercent une action corrosive sur les tôles des chaudières. Pour obvier à cet inconvénient, Mr ASPINALL commence par mettre les machines en service dans une région où les eaux sont calcaires; une fois les tôles recouvertes d'une couche mince de dépôt, elles ne sont plus sensibles à l'action corrosive.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Mr Souschinsky (*gouvernement russe*) partage l'opinion du rapporteur ; il signale une installation de distillation préalable de l'eau existant en Asie.

« Mr Herdner (*Midi français*) indique les bons résultats obtenus à la Compagnie du Midi français par l'épuration préalable.

« Mrs Lancrenon (*Est français*) et Clérault (*Ouest français*) signalent l'essai de l'aluminate de baryte pour l'épuration des eaux.

« Mr Sauvage (*Ouest français*) appelle l'attention sur les chômages qui résultent de la nécessité des lavages fréquents des chaudières de locomotives alimentées avec des eaux impures.

« La section soumet finalement l'avis suivant à l'assemblée plénière :

PROJET DE CONCLUSIONS.

« Il est très utile d'épurer *au préalable* les eaux servant à l'alimentation des locomotives toutes les fois qu'elles ne sont pas suffisamment pures, afin d'améliorer le fonctionnement des chaudières et de réduire les dépenses de lavage et de réparation, ainsi que les chômages qui en résultent. »

Mr le Président. — Je rappelle les termes de la question, et fais remarquer que les conclusions ne fournissent aucune réponse directe, notamment en ce qui concerne le littera *B* ainsi conçu : *Emploi de matières désincrustantes. Appareils spéciaux pour combattre la formation des incrustations.*

Mr Sauvage, *secrétaire principal de la 2e section.* — La réponse à la question se trouve plutôt dans le rapport où tous les procédés employés pour l'épuration des eaux d'alimentation des locomotives sont décrits. Ces procédés étant peu nombreux et tous efficaces, la section a cru pouvoir s'arrêter aux conclusions soumises en ce moment à l'assemblée, d'autant plus qu'elle a été d'avis que l'épuration préalable des eaux d'alimentation est la meilleure méthode.

Mr le Président. — On aurait pu dire par exemple : « En ce qui concerne les appareils d'épuration, le Congrès renvoie aux procédés indiqués dans le rapport. »

Mr Sauvage. — On pourrait l'ajouter.

Mr le Président. — Je vous propose de rédiger ainsi les

CONCLUSIONS DÉFINITIVES.

« *A*. Il est très utile d'épurer au préalable les eaux servant à l'alimentation des « locomotives toutes les fois qu'elles ne sont pas suffisamment pures, afin d'amé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« liorer le fonctionnement des chaudières et de réduire les dépenses de lavage et de « réparation, ainsi que les chômages qui en résultent.

« En ce qui concerne les procédés d'épuration, ceux-ci — peu nombreux et tous « efficaces — sont décrits dans le rapport de Mr Aspinall.

« *B.* Le Congrès se réfère également au rapport de Mr Aspinall pour l'emploi des « désincrustants; mais ceux-ci ont moins d'importance, l'épuration préalable étant « préférable à l'emploi de désincrustants. »

— Adopté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

DU

VOLUME III

2e SECTION. — TRACTION ET MATÉRIEL.

Pages.

Séance d'installation 1

Question XI. — L'échappement et le tirage dans les locomotives.

Exposé n° 2 (tous les pays, sauf les États-Unis, la Suède, la Norvège, le Danemark et la Russie), par Mr Ed. Sauvage. (Voir le *Bulletin* de janvier 1900, p. 3, et de mars 1900, p. 1100.) . . . . . XI — 3

Exposé n° 1 (États-Unis), par Mr C. H. Quereau. (Voir le *Bulletin* d'avril 1900, 1er fasc., p. 1101.) . . . . . XI — 53

Exposé n° 3 (Suède, Norvège, Danemark et Russie), par Mr B. O. Ekman. (Voir le *Bulletin* de juillet 1900, 1er fasc., p. 3816.) . . . . . XI — 91

Discussion en section . . . . . XI — 107

Rapport de la 2e section . . . . . XI — 137

Discussion en séance plénière . . . . . XI — 137

Conclusions . . . . . XI — 139

Annexe I : Note, de Mr A. W. Gibbs, sur l'abandon des boîtes à fumée allongées en Amérique . . . . . XI — 141

— II : Note de Mr Quereau, rapporteur, sur la discussion de la question XI. XI — 142

— III : Errata à l'exposé n° 2 par Mr Sauvage . . . . . XI — 145

Question XII. — Locomotives des trains à très grande vitesse.

Exposé n° 1 (tous les pays, sauf les États-Unis, l'Angleterre et les colonies), par Mrs du Bousquet et Herdner. (Voir le *Bulletin* d'août 1900, 1er fasc., p. 5003, et d'avril 1901, p. 217.) . . . . . XII — 3

Exposé n° 2 (Angleterre et colonies), par Mr T. Hurry Riches. (Voir le *Bulletin* de septembre 1900, 2e fasc., p. 6673.) . . . . . XII — 265

Exposé n° 3 (États-Unis), par Mr J. R. Slack. (Voir le *Bulletin* de septembre 1900, 2e fasc., p. 6873.) . . . . . XII — 465

Note sur l'emploi des combustibles liquides dans les locomotives, par Mr James Holden. (Voir le *Bulletin* de septembre 1900, 2e fasc., p. 6898.) . . . . XII — 490

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Discussion en section . . . . . XII — 507
Rapport de la 2e section . . . . . XII — 538
Discussion en séance plénière . . . . . XII — 538
Conclusions . . . . . XII — 539
Annexe : Errata à l'exposé n° 1 par Mrs du Bousquet et Herdner . . . . . XII — 541

Question XIII. — Stabilité des essieux des locomotives.

Exposé, par Mr Ch. Dassesse. (Voir le *Bulletin* de mars 1900, p. 892.) . . . XIII — 3
Discussion en section . . . . . XIII — 143
Rapport de la 2e section . . . . . XIII — 160
Discussion en séance plénière . . . . . XIII — 160
Conclusions . . . . . XIII — 161
Annexe : Errata à l'exposé . . . . . XIII — 162

Question XIV. — Double traction.

Exposé n° 1 (Russie), par Mr N. Antochine. (Voir le *Bulletin* de novembre 1899, p. 1465.) . . . . . XIV — 3
Exposé n° 2 (Autriche-Hongrie, Roumanie, Pays-Bas, Luxembourg, Suisse et Allemagne), par Mr Sigismond Abeles. (Voir le *Bulletin* de décembre 1899, p. 1700.) . . . . . XIV — 21
Exposé n° 3 (autres pays), par Mr Lancrenon. (Voir le *Bulletin* de janvier 1900, p. 149.) . . . . . XIV — 59
Discussion en section . . . . . XIV — 85
Rapport de la 2e section . . . . . XIV — 100
Discussion en séance plénière . . . . . XIV — 100
Conclusions . . . . . XIV — 101

Question XV. — Épuration des eaux d'alimentation des locomotives et désincrustants.

Exposé, par Mr J. A. F. Aspinall. (Voir le *Bulletin* d'août 1900, 1er fasc., p. 4819.) XV — 3
Discussion en section . . . . . XV — 145
Rapport de la 2e section . . . . . XV — 150
Discussion en séance plénière . . . . . XV — 150
Conclusions . . . . . XV — 151

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires