http://cnum.cnam.fr
Conservatoire numérique des Arts & Métiers

Auteur ou collectivité : Gérard, Ernest
Auteur : Gérard, Ernest
Titre : Traité complet d'électro-traction. Descriptions et renseignements techniques, prix unitaires, coût d'établissement d'installations, résultats d'exploitation

Adresse : Bruxelles : P. Weissenbruch, 1897
Collation : VIII-640 p. : ill. ; 26 cm
Cote : CNAM-BIB 8 Le 293
Sujet(s) : Voies ferrées

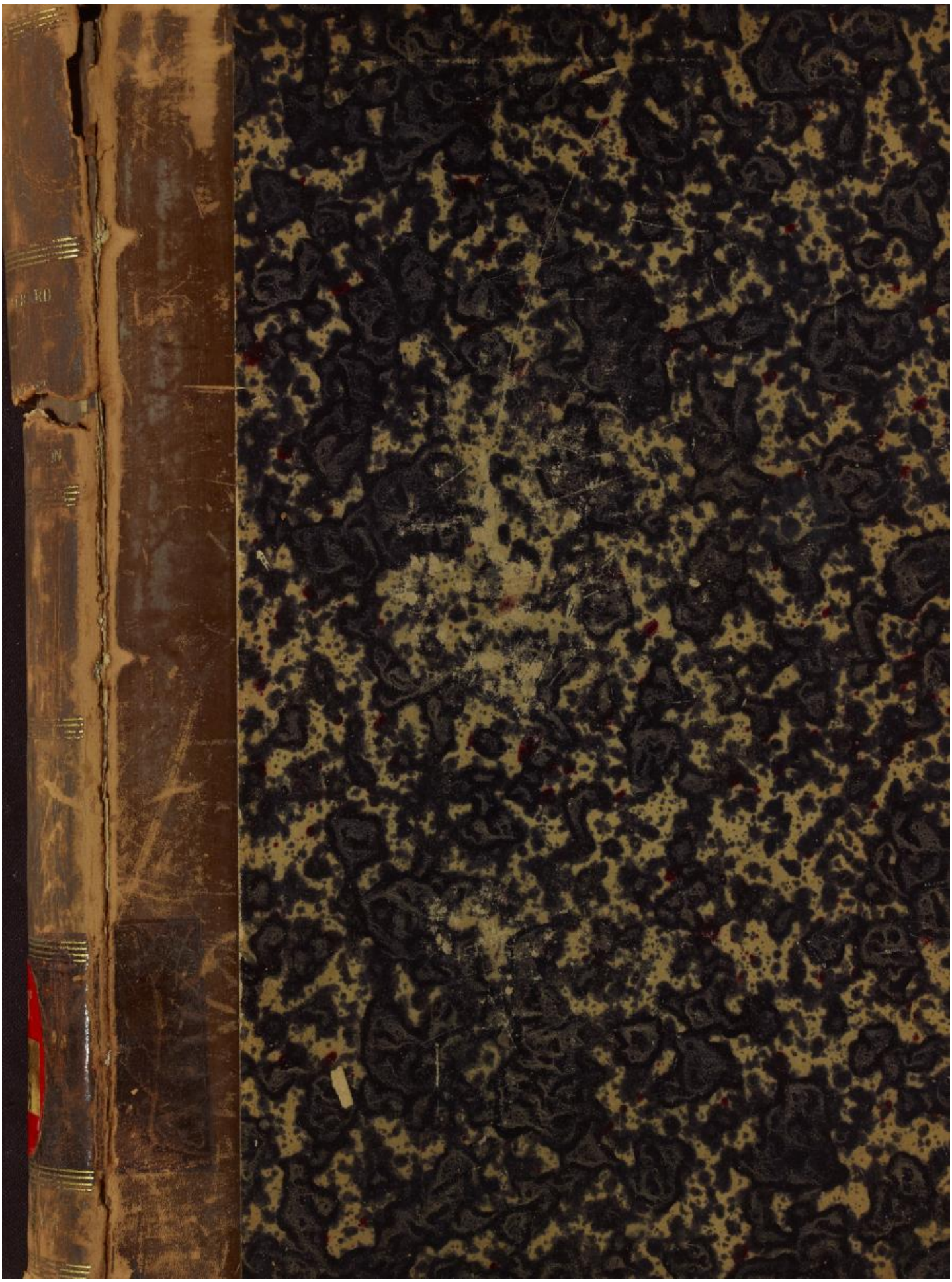
Date de mise en ligne : 08/11/2016
Langue : Français

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?8LE293

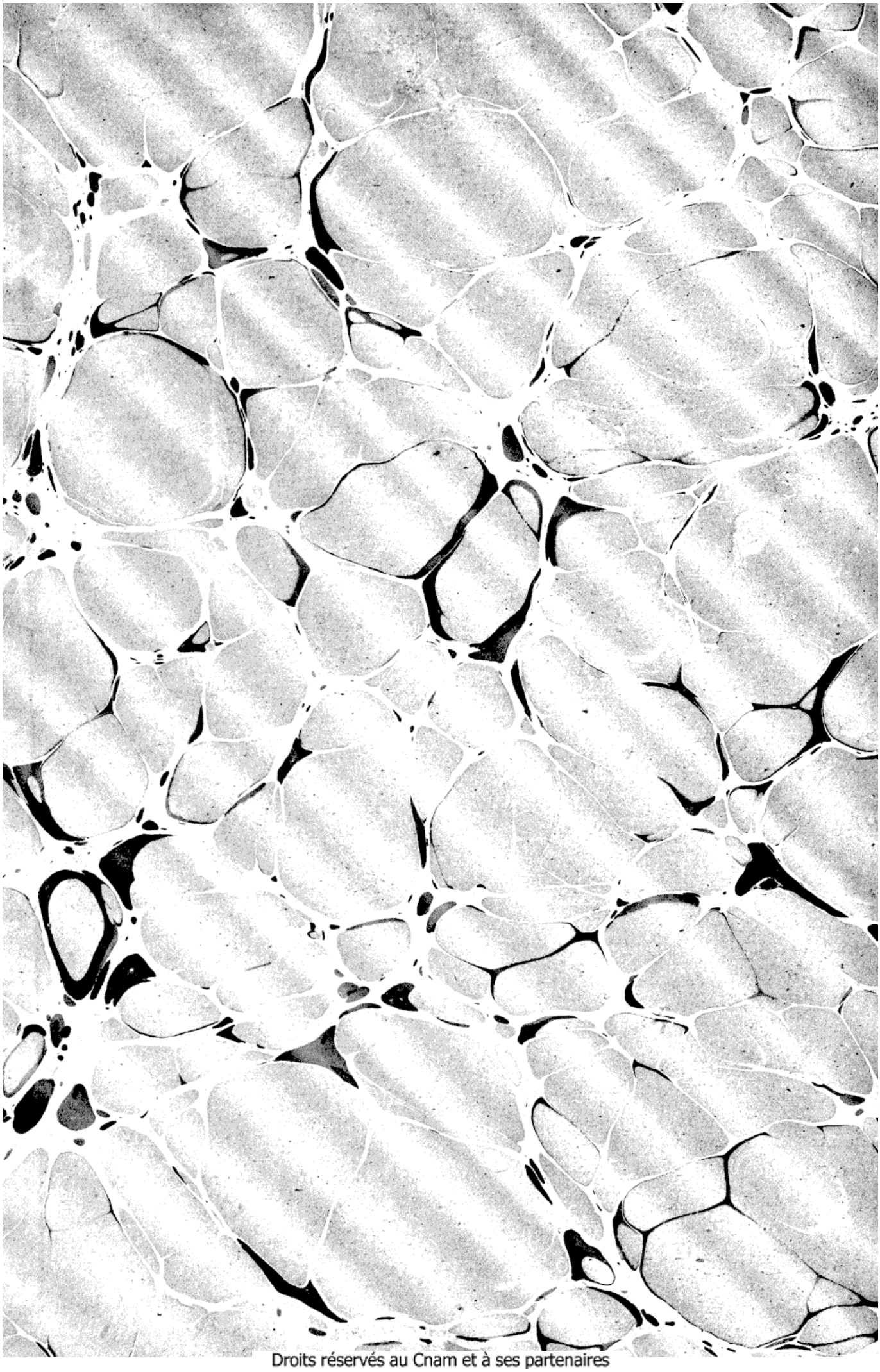
La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*. You may assemble and distribute links that point to other *CNUM* documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from *CNUM*.

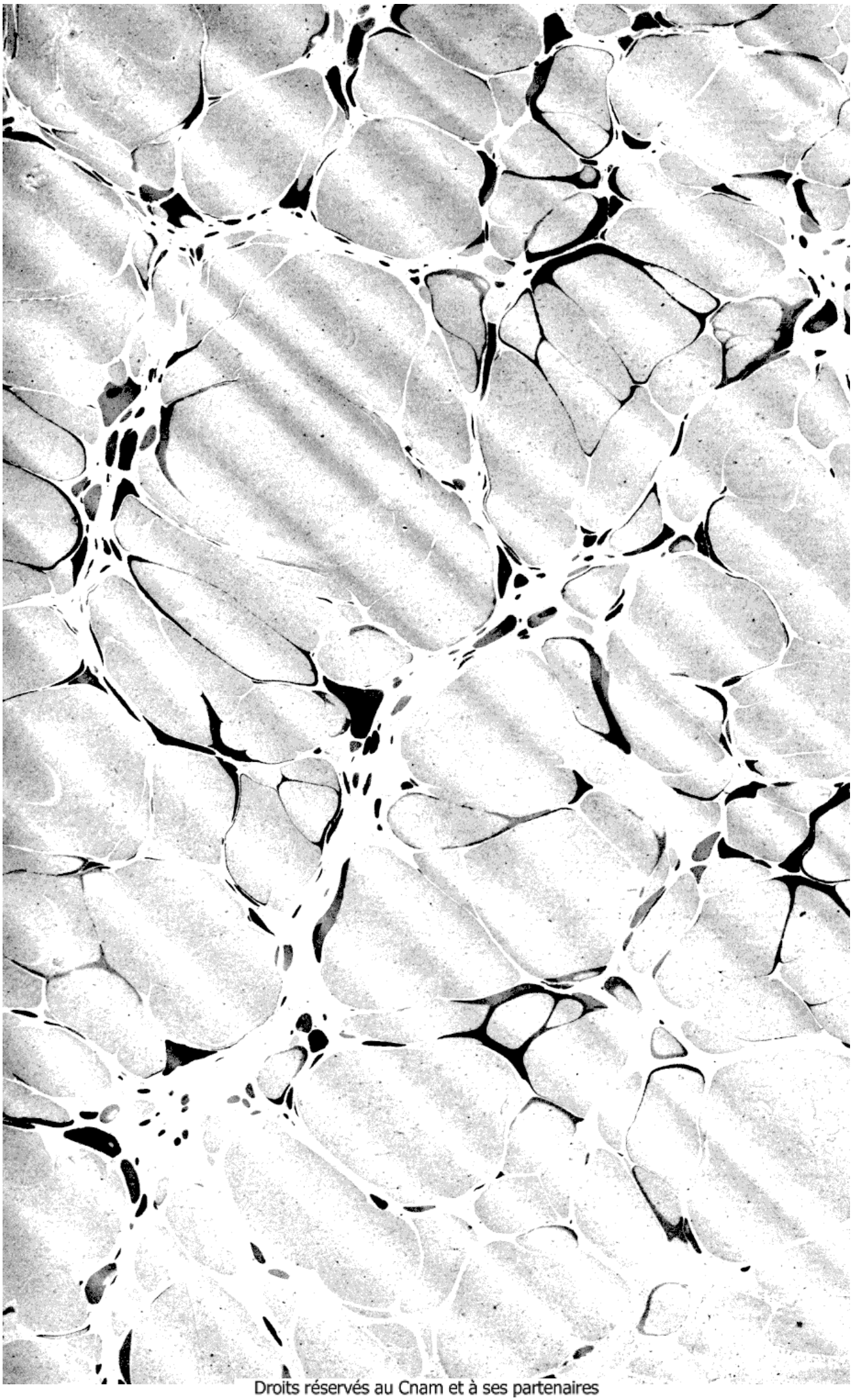
PDF créé le 7/11/2016



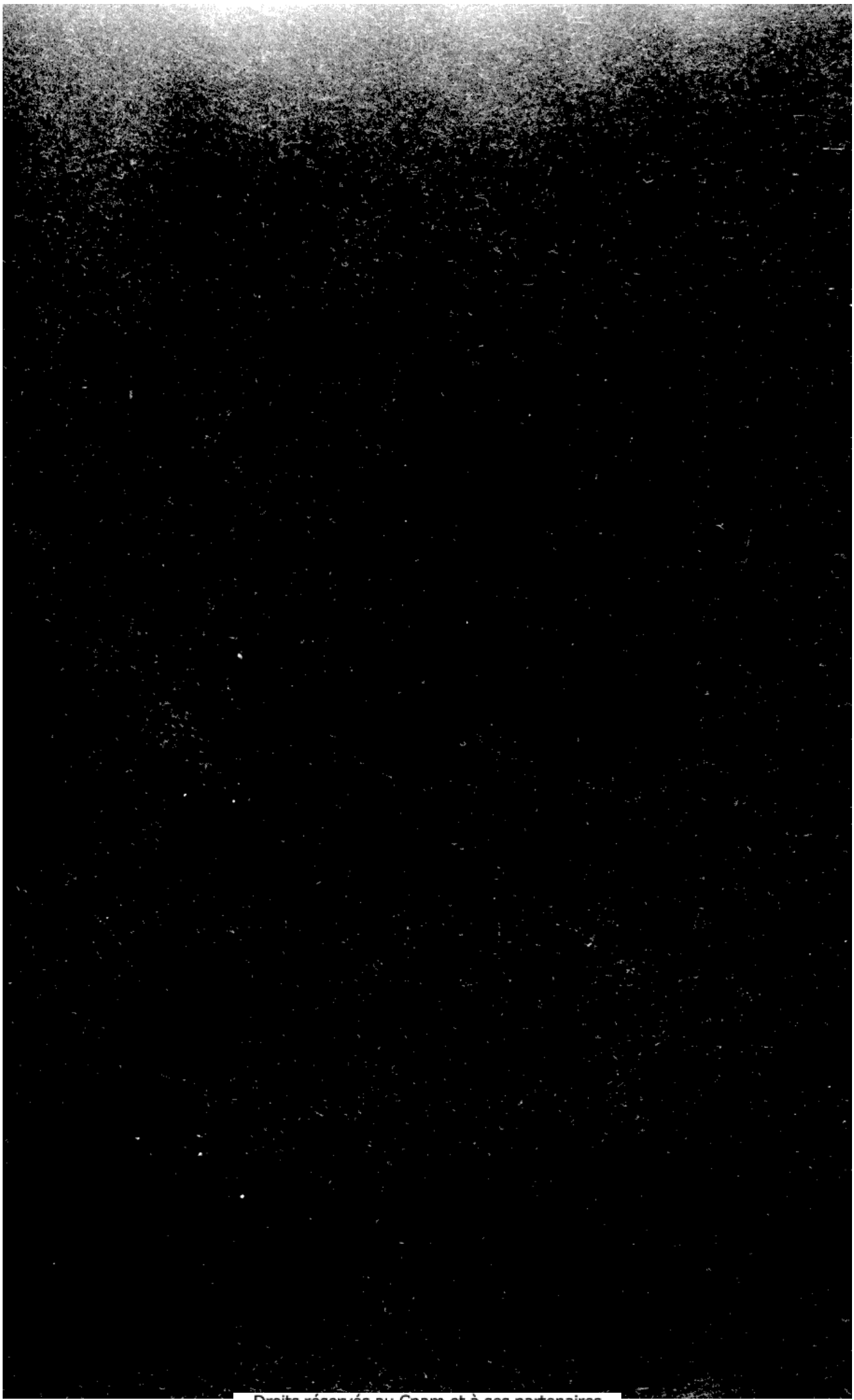
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



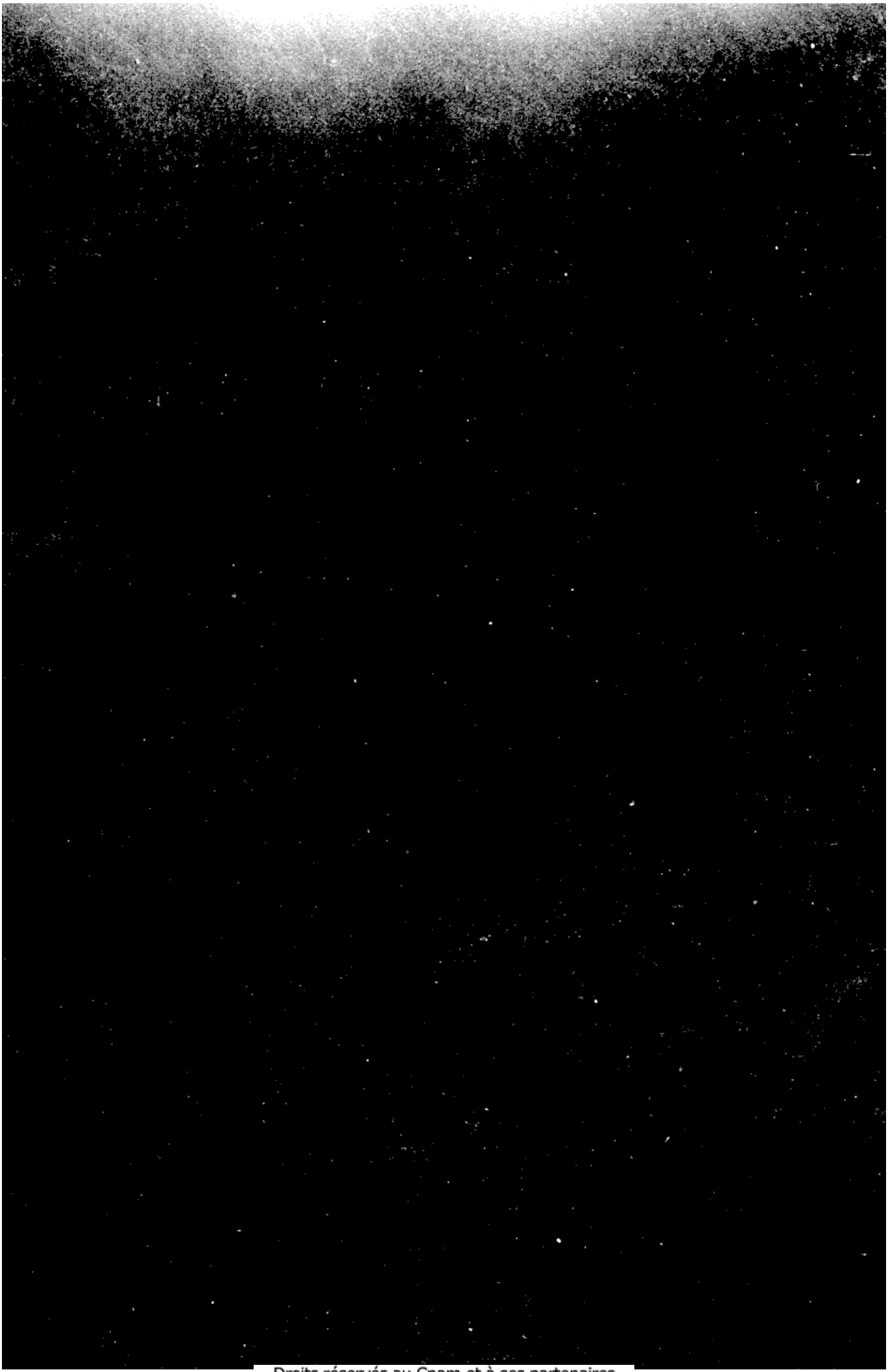
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS
BIBLIOTHÈQUE

TRAITÉ COMPLET

D'ÉLECTRO-TRACTION

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8° Le 293

TRAITÉ COMPLET

D'ÉLECTRO-TRACTION

PAR

Ernest GERARD

INGÉNIEUR EN CHEF AU SERVICE DE LA TRACTION ET DU MATÉRIEL
DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE
CHEF DU CABINET DU MINISTRE DES CHEMINS DE FER, POSTES ET TÉLÉGRAPHES
VICE-PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION BELGE D'ÉLECTRICIENS, ETC.

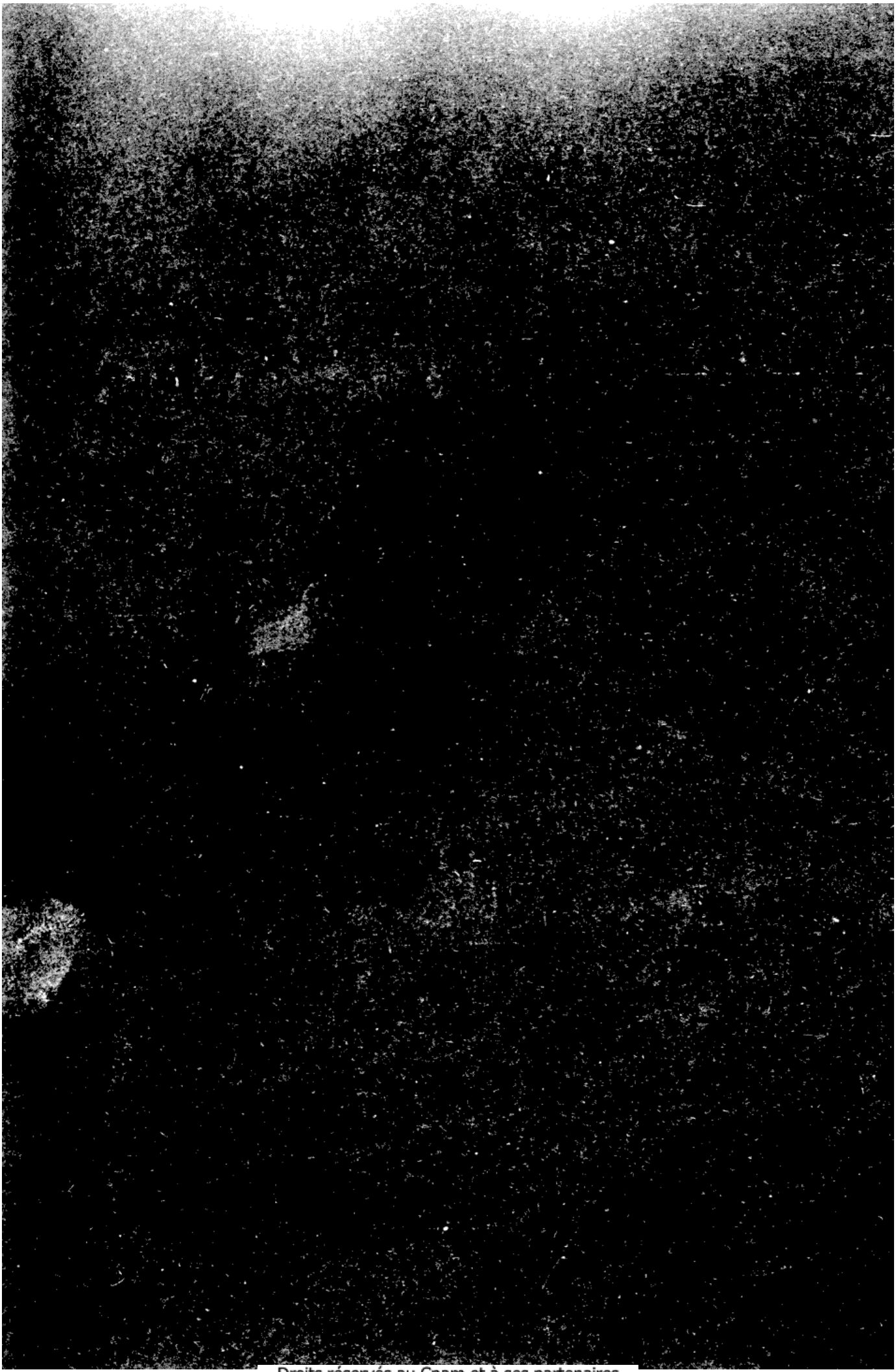
DESCRIPTIONS ET RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES
PRIX UNITAIRES; COUT D'ÉTABLISSEMENT D'INSTALLATIONS
RÉSULTATS D'EXPLOITATION

Avec 567 figures dans le texte.

BRUXELLES
P. WEISSENBRUCH, IMPRIMEUR DU ROI
ÉDITEUR
45, RUE DU POINÇON 45

1897

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PRÉFACE

Ce livre est essentiellement documentaire. Depuis l'invention de la machine dynamo-électrique moderne et les expériences établissant sa réversibilité, la transformant en un moteur léger, se prêtant admirablement aux transmissions d'énergie à distance, nous avons, comme beaucoup d'autres ingénieurs attachés à un service de traction, attentivement suivi les applications de l'électricité à la locomotion, conservé et acquis par nos démarches et visites d'installations un grand nombre de documents, dont nous avons déjà produit plusieurs fragments dans des monographies traitant de points spéciaux.

Il nous a paru de quelque utilité de rassembler et de condenser ces archives en un volume dont la matière, en chacune de ses parties, serait classée, dans l'ordre chronologique, depuis les débuts jusqu'aujourd'hui.

Nous avons exposé ailleurs les *Origines techniques de la locomotion électrique* (1), en remontant à l'époque où se découvrent successivement les propriétés dynamiques des corps classées sous le nom d'électro-magnétisme, à partir de 1819, et leurs premières applications au déplacement d'objets pondéreux.

Ici, nous concentrons nos efforts dans une sphère industrielle limitée au contemporain, laissant aux traités généraux d'électro-technique le soin d'enseigner, avec les développements nécessaires, les premières notions expérimentales, les théories scientifiques.

(1) *Bulletin de la Société belge d'électriciens.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Là où se termine la tâche des auteurs de ces traités généraux, la nôtre commence.

Le présent ouvrage est donc un exposé technique et commercial des applications pratiques de l'électricité aux moyens de transport, montrant, en partant des essais de 1879, les progrès tour à tour réalisés, jusqu'aux procédés les plus récents.

Débutant naturellement par le moteur électro-dynamique, il en décrit les formes industrielles variées, les règles du calcul des résistances à vaincre et de la puissance à lui fournir.

Un des éléments les moins connus généralement, et cependant d'une importance primordiale, les *enroulements des armatures et des inducteurs*, a fait de notre part l'objet de recherches longues et difficiles. Si nous nous sommes parfois butté à un silence obstiné ou ignorant, nous en avons souvent été dédommagé par l'empressement à nous aider, en cette minutieuse étude, de hautes personnalités du monde scientifique et industriel.

La manière de régler la marche des moteurs est traitée ensuite en détail.

Avant de passer aux formes variées des conducteurs du courant, nous donnons les résultats expérimentaux de leur résistance, de leur rendement, le rôle de ces facteurs dans l'évaluation de la puissance des générateurs. Le calcul des accumulateurs fait partie du même chapitre.

Chaque système de transmission de l'énergie aux locomoteurs est décrit dans son principe et dans des applications choisies; les inconvénients pour le public et la voirie y sont ajoutés, avec les remèdes éventuels.

L'examen technique et commercial en est souvent complété par un profil en long des lignes, afin de mieux préciser la portée des résultats.

Ces dernières considérations s'appliquent en tous points au chapitre traitant de l'emploi des piles primaires et secondaires à la locomotion; nous y rappelons, en même temps que les traits distinctifs des types d'accumulateurs essayés dans ce domaine, les règles de construction de ces réservoirs d'énergie, fruits de ces expériences.

Quant à la grande vitesse, pour désigner par ce mot le terrain où règne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

encore en maîtresse la locomotive à vapeur, si nous ne lui avons pas fait les honneurs d'un chapitre spécial, cela tient à la pénurie, disons plutôt à l'absence d'installations à y classer.

En dehors d'essais isolés et d'études dépourvues de sanction expérimentale, l'électricité, sur les railways, actuellement, ne meut guère que des trains de banlieue. Il est parlé, en leur lieu, de ces cas particuliers de modes généraux de transmission.

C'est donc sous le titre de « locomoteurs spéciaux » que sont examinés les engins tels que la locomotive Heilmann, la puissante machine du Baltimore and Ohio Railroad, la voiture électrique du monorail Behr, et que trouve place la relation des expériences visant la substitution de l'électro-moteur à la machine à vapeur dans certains services importants des railways.

En suivant l'ordre historique donnant le vieux à côté du neuf, nous nous attendons à une critique de la part de certains hommes d'affaires trop pressés : A quoi bon le surrané, en présence de l'ampleur de ce qui est resté debout ?

La vérité, c'est que la traction électrique n'en est point à ses derniers progrès ; que l'on voit renaître aujourd'hui certains systèmes oubliés, ou dont le principe préexistait en des inventions antérieures. Plusieurs systèmes de conduite à fleur de sol, fournissant le courant sous l'action d'électro-aimants, sont présentés comme entièrement nouveaux, alors qu'on en retrouve l'essence dans des essais abandonnés depuis dix ans ; citons, en fait d'accumulateurs, le retour inattendu, dans plusieurs types, à la formation Planté, expliqué par des recherches de laboratoire remontant à onze ans, et la réapparition de l'électrode soluble en zinc, avec positif au plomb, qu'Émile Reynier préconisait déjà en 1885.

Tant de chercheurs se fourvoient qui n'auraient pas perdu leur temps et leur argent s'ils avaient mieux connu le passé. A eux et aux techniciens qui aiment à s'éclairer des actes de leurs devanciers, s'adressent les pages parlant des antériorités de procédés présentement en vigueur.

Les systèmes en pleine prospérité, leur rendement technique et financier, intéressent davantage, évidemment, l'administrateur chargé d'une application immédiate.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous avons tâché de satisfaire l'un et l'autre. Si de nombreuses publications nous y ont aidé, nous devons cependant rendre un hommage spécial aux directeurs de sociétés de construction, aux chefs d'exploitation qui ont contribué à la vulgarisation de certaines connaissances restées jusqu'ici le privilège d'un très petit nombre.

Ils ont compris qu'un intérêt général, dont ils profiteraient eux-mêmes, s'attache à la propagation de ces renseignements. En notre nom, et au nom de ceux qui tireront quelque parti de ces données, nous leur exprimons notre gratitude.

ERNEST GERARD.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

I. — Puissance et résistance.

Objet. — Dans les pages documentaires qui vont suivre, nous nous sommes efforcé de grouper la plupart des renseignements utiles à l'application pratique, au cas de l'électro-traction, des principes théoriques développés dans les traités généraux d'électricité, concernant la production, la distribution et la consommation de l'énergie.

Avant de calculer la puissance à produire et à distribuer, il est nécessaire de savoir ce que consommera le train, ce que seront ses résistances et le rendement des moteurs supposés définis.

Il nous a donc paru naturel de présenter successivement dans ce chapitre :

A. Une description des moteurs et des moyens d'en régler la marche;

B. Un exposé des données expérimentales électriques, mécaniques et commerciales concernant le rendement des moteurs ;

C. Une étude pratique du rendement de la transmission de l'énergie, remontant du moteur à la voie, de la voie à l'usine, soit par un circuit d'aller et retour, soit par des accumulateurs portatifs.

A. — Description des moteurs et des moyens d'en régler la marche.

1. — Moteurs.

a. — *Types primitifs.*

Première locomotive Siemens. — Depuis l'invention des machines dynamo-électriques et l'établissement du principe de leur réversibilité, la praticabilité de la traction électrique s'est affirmée en fait pour la première fois dans la mise en marche de la locomotive exhibée en 1879, à Berlin, sur le petit chemin de fer circulaire construit à l'Exposition industrielle de cette ville par la maison Siemens et Halske (1).

(1) Nous avons publié ailleurs l'histoire des *Origines techniques de la traction électrique*, en remontant aux premiers moteurs magnéto-électriques, c'est-à-dire au commencement du siècle. Voir *Bulletin de la Société belge des électriciens*, 1896.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous en donnons l'image dans le paragraphe traitant du système de transmission du courant au niveau des rails. (Chap. II.)

Le moteur de cette locomotive transmettait son mouvement de rotation aux roues par une série d'engrenages réduisant le nombre de tours effectués par l'axe de l'induit, lequel était placé longitudinalement.

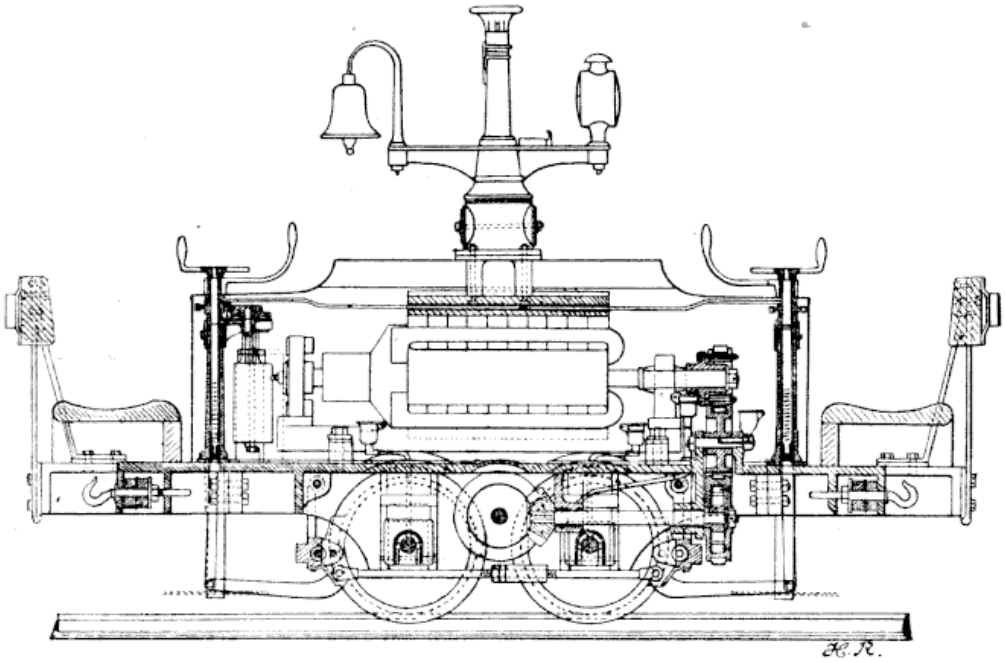


Fig. 1.

La figure 1, qui représente une locomotive de mines construite deux ans après par la maison Siemens et Halske, donne une idée approximative du mécanisme de la première. L'induit dont l'axe est placé longitudinalement transmet son mouvement par l'intermédiaire de trois engrenages à une paire de roues coniques qui réduisent encore la vitesse de rotation avant d'attaquer les essieux par une dernière paire d'engrenages. Rapport 13 : 1.

Dès 1882, un engin de l'espèce fonctionna dans la mine de Zaukeroda. Sa puissance ne dépassait pas 3 chevaux.

Types surannés divers. — A ce type primitif succédèrent, sur les voitures de tramways, des moteurs dont la transmission réalisait des conditions mieux appropriées au transport des personnes, quant au bruit, aux saccades, à la perte de travail, à la durée des organes.

Il serait difficile d'imaginer un mécanisme intermédiaire entre essieu et dynamo réceptrice qui n'ait pas été essayé, ou au moins breveté : engrenages de toutes formes, vis, courroies, cordes, chaînes, jusqu'à l'eau comprimée passant d'un petit piston mû par l'induit à un grand piston agissant par une bielle sur l'essieu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Certains types ont maintenu quelque temps l'attention avant d'être condamnés par l'expérience.

Au chemin de fer électrique de Lichterfelde, près Berlin, la maison Siemens essaya en 1881, sur la voiture motrice, divers organes de transmission dont le plus original fut une courroie en acier formée d'un certain nombre de cordes en *fil d'acier* enroulé en spirale; chaque corde était logée dans des rainures creusées dans les deux poulies, celle de l'induit et celle de l'essieu des roues motrices.

Cette transmission fit place à la chaîne sans fin conservée à titre définitif et à laquelle nous reviendrons un peu plus loin.

La locomotive électrique équipée en 1880, par Édison, dans Menlo-Park, et roulant aussi sur rails conducteurs, avait un essieu moteur attaqué par une courroie en cuir.

Sur une autre locomotive américaine datant de 1883, le *Judge*, étudiée par Field, on trouve la courroie comme intermédiaire entre la grande poulie de l'essieu et une autre poulie mue au moyen d'une paire de roues dentées.

La courroie en matière organique fonctionna du reste plusieurs étés consécutifs sur le petit chemin de fer de plage de Brighton, cité au chapitre II.

On vit apparaître et disparaître la transmission par cordes multiples, par cordelettes en chanvre, en soie, en boyaux logées dans des poulies à gorge.

Lors des premiers essais de l'emploi des accumulateurs, en 1881, la voiture où les installa la Société *Force et lumière* et appartenant à la Compagnie générale des omnibus de Paris, fut pourvue d'un électro-moteur présentant en lui-même et dans ses organes de transmission des dispositions qu'il est bon de rappeler pour y montrer, en même temps que l'ingéniosité de leur auteur, les proportions et le poids des pièces, et en opposer la complication à la simplicité des récents modèles.

Reproduisons donc in extenso la description qu'en donne feu Émile Reynier, dans une brochure datant de 1883 (1) (voir fig. 2) :

« Le mécanisme agencé par M. Raffart est placé sous la caisse de la voiture;
« il se compose d'un moteur électrique (Siemens D^2 à électros insérés et à chan-
« gement de marche), commandant les roues motrices par une transmission, au
« moyen d'une courroie et une chaîne de Galle (la courroie est provisoire, elle
« sera remplacée par un lien plus sûr). On estime que cette double transmission
« de mouvement peut faire perdre environ 10 p. c. de force; les roues motrices
« utilisent donc seulement 90 p. c. du travail de la dynamo. Ce coefficient est
« à retenir pour l'évaluation du travail dépensé.

« Les roues motrices ont 1 mètre de diamètre; le rapport des vitesses de la
« dynamo aux roues motrices est de 25 à 1.

---

(1) *La traction électrique par accumulateurs*, par Émile Reynier. Paris, 1883.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« La dynamo Siemens D² pèse 240 kilogrammes; les transmissions et acces-
« soires pèsent 350 kilogrammes.

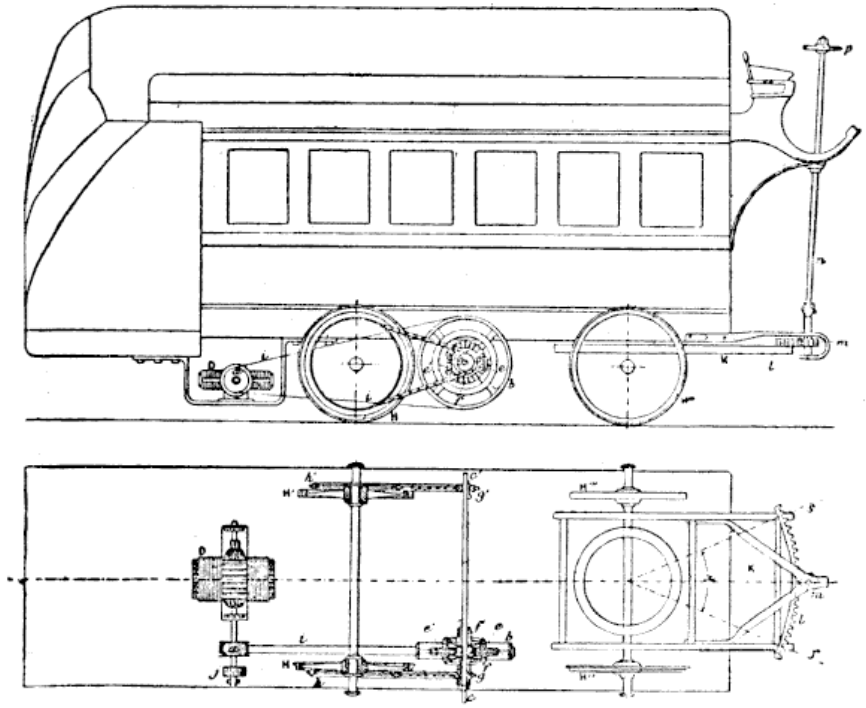


Fig. 2. — D, moteur électrique. C'est une dynamo Siemens, modèle D², à électros insérés et à changement de marche, pesant 240 kilogrammes. — *a*, poulie à joues calée sur l'arbre du moteur électrique. — *b*, poulie du train différentiel; elle est folle sur l'arbre *c*, *c'*. — *c*, *c'*, arbre de renvoi. — *e*, *e'*, pignons d'angle symétriques, pouvant tourner librement sur deux axes fixés selon un diamètre de la poulie *b*, qui les emporte dans un mouvement de translation circulaire autour de son centre. — *f*, roue d'angle, folle sur l'arbre *c*, *c'*. — *g*, pignon fixé sur la douille de la roue *f*, et commandant la roue motrice H, au moyen d'une chaîne de Galle. — *f'*, roue d'angle calée sur l'arbre *c*, *c'*. — *g*, pignon calé sur l'arbre *c*, *c'*, et commandant la roue motrice H', au moyen d'une chaîne de Galle. — H, roue motrice du véhicule, calée sur l'essieu. La roue H est à boudin. — H', roue motrice du véhicule, folle sur l'essieu. La roue H' est sans boudin. — *i*, courroie transmettant le mouvement de la dynamo à la poulie *b* du train différentiel. — *j'*, poulie sur laquelle agit un frein pour modérer la vitesse du véhicule pendant les descentes. — H'', roue à boudin, calée sur l'essieu de l'avant-train. — H''', roue sans boudin, folle sur l'essieu de l'avant-train. — K, avant-train mobile. — *l*, secteur denté horizontal, fixé à la charpente de l'avant-train. — *m*, pignon vertical commandant le secteur denté *l*. — *n*, arbre du pignon *m*. — *p*, volant horizontal calé sur l'arbre *n*. — En tournant ce volant dans un sens ou dans l'autre, le pilote fait pivoter à droite ou à gauche l'avant-train mobile, pour diriger le véhicule. — Les *accumulateurs*, non indiqués sur les figures, sont logés sous les banquettes de la voiture. Il y en a 80, pesant 50 kilogrammes chacun, en tout 2,400 kilogrammes.

« L'avant-train articulé de la voiture a été conservé; on l'a pourvu d'un
« secteur denté, engrené sur un pignon vertical que le mécanisme manœuvre
« dans un sens ou dans l'autre pour faire tourner l'avant-train et diriger le véhi-
« cule. Les roues motrices sont montées sur un train différentiel fort bien étudié,
« qui permet de suivre, sans patinage, des courbes de court rayon. Aussi la
« lourde voiture se dirige-t elle aisément pour prendre ses aiguillages; elle peut
« sortir des rails et y rentrer sans difficulté. En un mot, elle manœuvre comme
« une véritable voiture routière.

« Sans nous arrêter davantage à la partie mécanique si habilement combinée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« par M. Raffart, constatons que la mobilité relative des deux trains et l'indépen-
« dance des deux roues motrices contribuent à la douceur de la marche et à la
« sûreté des manœuvres, ainsi qu'à l'économie de la traction et à la conservation
« de la voie. »

Aux Tramways Bruxellois, sur les voitures employées pendant la période de 1883 à 1890 à la traction par accumulateurs, après avoir essayé diverses combinaisons, l'on se trouva bien de l'emploi d'une transmission double ainsi formée : l'axe de l'induit portait un pignon engrenant avec une grande roue calée sur un arbre intermédiaire qui transmettait le mouvement aux essieux par deux chaînes. Les engrenages présentaient cette particularité que le pignon attaquait sa roue sur une circonférence intérieure afin de conserver le graissage ; le tout était logé sous le plancher de la voiture et pesait 530 kilogrammes.

Cette double réduction par une paire d'engrenages et une chaîne fut adoptée en 1884 et est encore en usage partiellement au tramway de Blackpool. On la trouve également sur le tramway de Portrush et le chemin de fer de Besbrook à Newry, en Irlande, datant de 1883; mais, dans ces deux cas, la dynamo réceptrice repose sur la plate-forme d'avant de la voiture, ainsi que le palier de l'engrenage dont l'arbre porte la petite roue dentée qui entraîne la chaîne sans fin actionnant l'un des essieux. C'est ce dernier type qu'avait aussi choisi Ch. Van Depoele aux États-Unis pour les voitures de ses lignes électriques entre 1883 et 1889. Les Américains ont généralement depuis lors donné la préférence aux engrenages seuls.

b. — *Moteurs à deux paires d'engrenages pour voitures.*

Anciens moteurs Siemens. — En dépit des inconvénients que présentait encore à cette époque la transmission exclusivement composée d'engrenages, la firme Siemens et Halske l'employa au tramway de Francfort à Offenbach en 1883 et en 1884 au chemin de fer de Mœdling à Hinterbrühl, à cause de la sécurité de fonctionnement de ce mécanisme, dans des installations où il fallait, au moins de ce côté, éviter des causes d'échec ou d'arrêt.

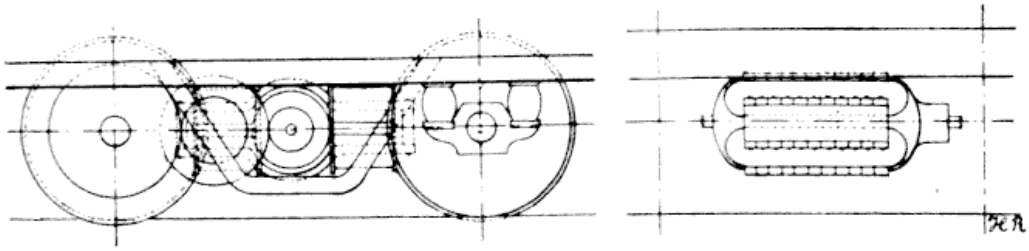


Fig. 3.

Dans les deux cas, le moteur est fixé au châssis général de la voiture, ainsi que les paliers de l'arbre intermédiaire, de sorte que l'engrenage calé sur l'essieu moteur a libre jeu par rapport au pignon de l'arbre intermédiaire, disposition

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus vicieuse pour le tramway que pour le chemin de fer, dont la voie est mieux assise. Bien qu'abandonnée depuis lors par la maison Siemens, elle continue à fonctionner sur les deux lignes qui nous occupent, ce qui motive cette description, indépendamment de l'intérêt qui s'attache à ces vétérans de la transformation de l'énergie électrique en puissance locomotrice.

On en voit l'aspect sur la figure 3.

Les engrenages présentent la forme et les proportions suivantes :

ORDRE DES ROUES DENTÉES à partir de l'induit.	Francfort à Offenbach.	Mœdling à Hinterbrühl.	Diamètre.
			Cm.
I	15 dents à chevron en bronze.	17 dents droites en fonte.	...
II	56 — — en fonte.	56 — — —	48
III	26 — droites en fonte.	24 — — —	...
IV	52 — — —	52 — — —	62
Roues motrices (diamètre) .	750 neuves à 700 usées.	764 en moyenne.	...
Rapport des vitesses de rotation	1/7	1/7	...

En ce qui concerne l'enroulement, il va de soi qu'il est du type von Hefner Altenec. Le système inducteur, comme le montre la figure, est formé de deux jeux de barres de fer présentant chacune une section de 50 × 20 millimètres contournant l'induit au-dessus et au-dessous, et boulonnées à leurs extrémités sur deux culasses plates. Ces barres offrent une queue de 28 centimètres pour former les noyaux des bobines. Il y a 10 barres dans les inducteurs de Francfort, 11 à Mœdling.

Le poids de l'équipage électrique, y compris le mécanisme de transmission et les régulateurs de marche, est de 1,400 kilogrammes.

	Francfort à Offenbach.	Mœdling à Hinterbrühl.
Force électromotrice aux bornes	300 volts.	500 volts.
Armature :		
Diamètre	362 millimètres.	360 millimètres.
Longueur utile	500 —	550 —
Nombre d'enroulements élémentaires . .	28, ou 56 sections.	...
Nombre de spires par élément	4 couches de 6 fils.	6 couches de 8 fils.
Diamètre du fil nu	3 millimètres.	3 millimètres.
Nombre de lames au collecteur	28 × 2 = 56.	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Francfort à Offenbach.	Mœdling à Hinterbrühl.
Inducteur :		
Nombre de barres	10 barres de 50 × 20 millimètres.	11 barres de 50 × 20 millimètres.
Nombre de bobines d'excitation	4	4
Dimensions du noyau de chaque bobine. .	50 × 28 × 2 centimètres.	55 × 28 × 2 centimètres.
Nombre de tours de fil par bobine . . .	6 couches de 40 tours = 240.	6 couches de 43 tours = 258.
Diamètre du fil nu	4.5 millimètres.	4.5 millimètres.

La vitesse de marche au tramway de Francfort à Offenbach est de 12 kilomètres à l'heure; au chemin de fer Mœdling-Hinterbrühl, 19 à 30 kilomètres.

Moteur de la ligne Vevey-Montreux. — D'un type étudié en 1887 et perfectionné successivement par la société exploitante, ce moteur est logé entre les essieux et présente une forme d'inducteur originale qu'indique la figure 4. Il supporte une force électro-motrice de 400 à 500 volts.

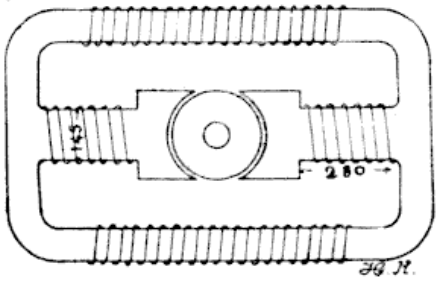


Fig. 4

La transmission se fait par deux paires d'engrenages à chevrons qui fonctionnent avec une certaine douceur.

L'induit en tambour a une longueur de 370 millimètres, un diamètre de 230 et comporte 55 sections d'enroulement à 6 spires par section. Le fil nu mesure 2 5 millimètres de diamètre.

Sur les gros noyaux latéraux de l'inducteur s'enroulent 1,320 spires d'un fil de 3 millimètres et sur les noyaux enveloppants 864 spires (fig. 4).

Moteur et mécanisme pèsent 820 kilogrammes.

Moteurs américains à deux paires d'engrenages. — Principe. — Aux États-Unis, à partir de 1887, la transmission mécanique des moteurs électriques pour voitures fut conçue de façon à assurer entre l'essieu et les organes réducteurs de la vitesse une solidarité plus intime que ne l'offraient les types dans lesquels la dynamo réceptrice est fixée au châssis de la caisse.

Dans le système adopté à cette fin, on retrouve le principe du dispositif

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

appliqué antérieurement par M. Belpaire à ses voitures à vapeur, ainsi que dans d'autres automotrices à air comprimé ou à vapeur sans foyer.

Ce principe consiste à former de chaque électro-moteur, de son mécanisme et de l'essieu qu'il entraîne dans son mouvement de rotation, *un ensemble dont les axes sont maintenus parallèles à des distances constantes.* Il est clair que le meilleur moyen de réaliser mathématiquement cette condition, c'est de reposer, d'une part, le bâti du moteur et des organes de la transmission sur des paliers dans les coussinets desquels tourne l'essieu, et de le suspendre librement, d'autre part, au châssis de la voiture.

Moteurs Sprague à double réduction. — C'est feu F.-J. Sprague qui appliqua le premier ce principe aux moteurs des voitures électriques qu'il livra à la circulation en 1887.

La figure 5 donne une idée de cette disposition sous sa forme primitive pour une double réduction de la vitesse de rotation. Au chapitre IV, § C, une figure montre comment elle fut appliquée aux trucks des voitures de Florence à Fiesole.

Dans l'une et l'autre figure, on voit que les engrenages indiqués en pointillé sont répartis par paire de part et d'autre de la dynamo.

A Florence, les réductions successives de vitesses résultent des proportions suivantes entre les engrenages :

NUMÉROS.	DIMENSIONS DES DENTS EN MILLIMÈTRES.			DIAMÈTRES en MILLIMÈTRES.
	Profondeur.	Épaisseur.	Longueur.	
I	10	7.5	95	100
II	10	7.5	95	400
III	15	10	100	140
IV	15	10	100	420
Roues	...	...	...	700

On sait que M. Sprague avait essayé des pignons mi-bronze mi-vulcanite ou cuir comprimé pour adoucir le mouvement et modérer l'usure. Mais à Florence, les pignons sont en bronze; la première paire d'engrenages a été après coup enveloppée d'une gaine formant réservoir d'huile. Le poids total, y compris le mécanisme, est de 900 kilogrammes.

L'induit est enroulé en tambour sur un noyau d'une longueur de 253 millimètres, d'un diamètre de 221 millimètres, au moyen de fil de 2 millimètres nu, 2.5 millimètres y compris la guipure. Ce fil, en 28 enroulements élémentaires de 8 spires sur 4 couches, forme 56 sections superposées en deux séries, correspondant à 56 touches du collecteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant aux inducteurs, ils présentent une particularité propre au système de réglage de la marche à champ magnétique divisé, qui porte le nom de Sprague.

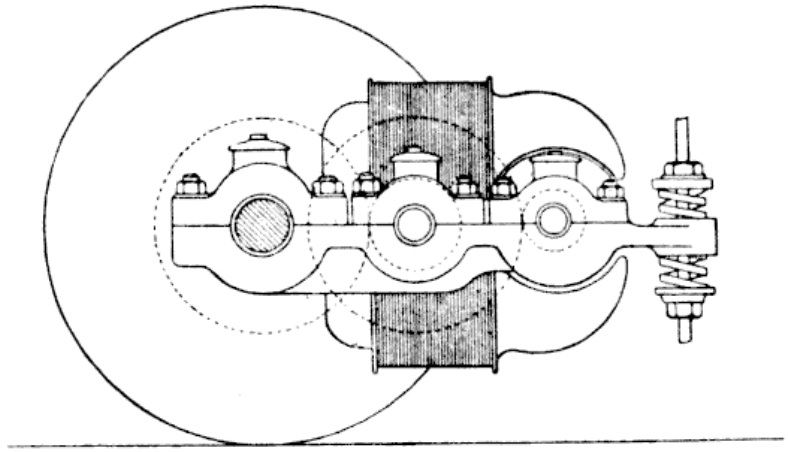


Fig. 5.

A cette fin, chaque électro-aimant, dont l'ensemble forme d'ailleurs un système bipolaire, est excité par trois bobines élémentaires indiquées par les lettres *A*, *B*, *C* au tableau ci-dessous, et mises séparément en relation avec l'appareil de modération de la marche.

Inducteurs :

Nombre de branches d'électro-aimant	2 branches, 2 pôles.		
— de bobines élémentaires	3 par branche.		
Dimensions du noyau de chaque bobine élémentaire	Largeur, 254 mill.		
	Hauteur, 116 —		
	Épaisseur, 85 —		
Longueur totale de l'enroulement de chaque branche	85 × 3 = 255 mill.		
Enroulement des noyaux élémentaires	*A.*	*B.*	*C.*
Nombre de spires	341	403	308
— de couches de fil	11	13	11
Diamètre du fil nu en millimètres	2	2	2.8
— — guipé —	2.5	2.5	3.2

Les bobines des deux branches sont groupées deux à deux de telle sorte que l'on ait pour 2^A, 682 spires, avec une résistance de 2.54 ohms, pour 2^B, 806 spires avec 3.25 ohms, pour 2^C, 616 spires avec 1.77 ohm.

Moteur Thomson-Houston à double réduction. — Vers 1888, la maison Thomson-Houston appliqua aux moteurs le type d'*induit sphérique* qui caractérisait la dynamo portant son nom, application éphémère, à laquelle elle substitua l'induit cylindrique.

Les deux paires d'engrenages (fig. 6) sont situées d'un même côté de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

réceptrice. L'enroulement des inducteurs est fait en entier d'un fil de même diamètre, contrairement à la méthode Sprague, qui subdivise l'induction pour régler la marche.

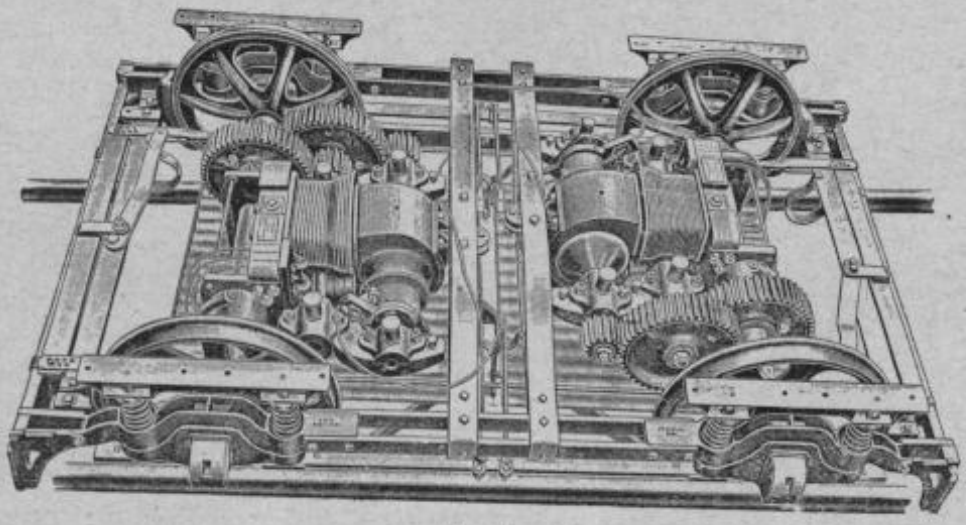


Fig. 6.

Nous ne nous attarderons pas aux types divers de moteurs américains à double réduction; ils cédèrent bientôt la place aux types à simple réduction qui seront amplement décrits plus loin.

Moteurs à deux paires d'engrenages de Clermont-Ferrand à Royat. — Ce type de moteurs, représenté figures 7 et 8, est étudié pour un écartement de voie de 1 mètre. Il est monté sur un bâti reliant les deux essieux par deux paliers sur l'essieu que commandent les engrenages, et un palier sur l'autre essieu que commandent *des bielles* dont on voit les manivelles (fig. 8).

L'écartement entre les essieux est de 1m72. Un même écartement de 34 centimètres sépare l'axe de l'induit de celui du contre-arbre et ce dernier de l'axe de l'essieu.

Pignon d'induit	13	dents inclinées.
Engrenage du contre-arbre	56	— en bois.
Pignon —	12	— en chevron.
Engrenage de l'essieu	33	— —

L'essieu accouplé porte un tambour à rainures contre lequel s'appuie un frotteur à saillies inverses, pour le freinage. Ce moteur réalise une puissance de 20 chevaux. La vitesse normale de l'induit est de 900 tours. Étudié pour absorber en moyenne 36 ampères à 500 volts, il présente extérieurement une longueur de 300 millimètres et un diamètre de 210 millimètres, avec un enroulement en tambour constitué par 59 sections formées de 4 spires de fil de 2 millimètres non compris le guipage. L'induction bipolaire résulte de l'excitation produite par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux bobines mesurant extérieurement environ 40 centimètres de haut sur 11 centimètres d'épaisseur, formées chacune de 286 spires d'un fil ayant sans guipure 4.2 millimètres de diamètre.

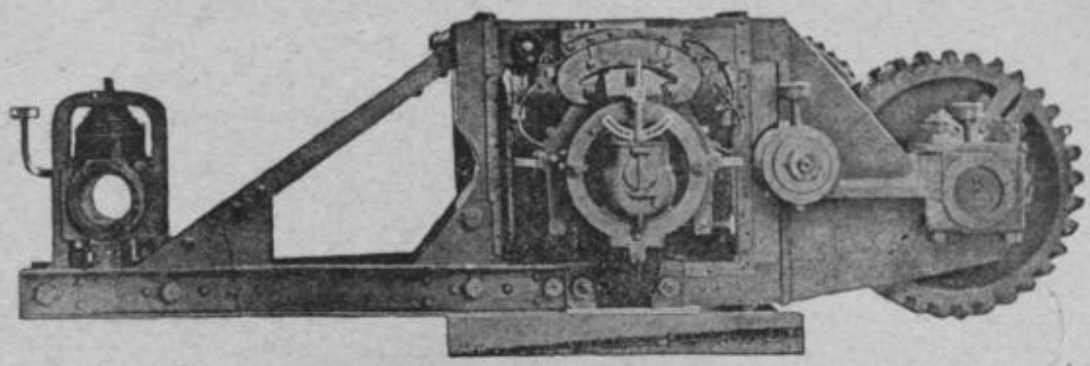


Fig. 7.

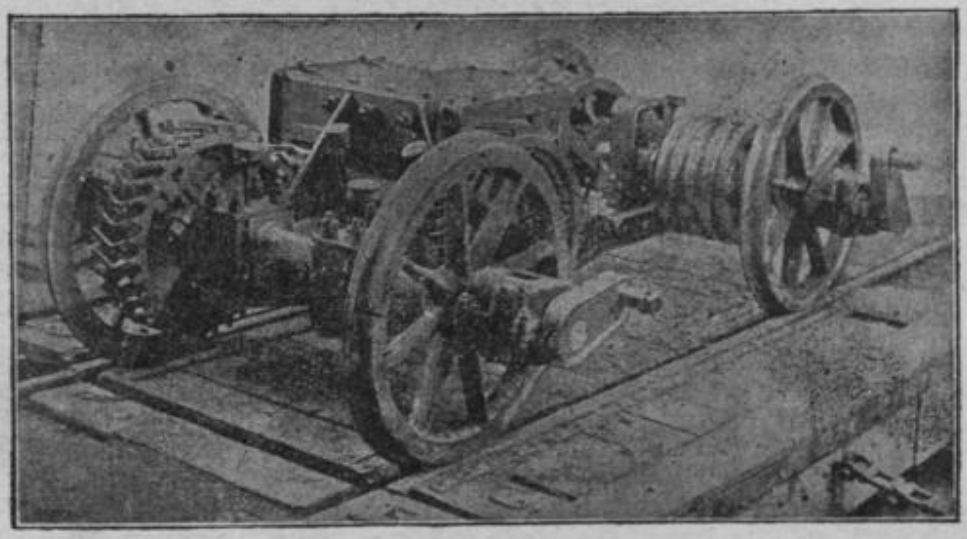


Fig. 8.

Mo'eurs du Salève. — Ce sont également des moteurs à double réduction pour voie de 1 mètre de la Compagnie pour l'Industrie électrique, avec cette variante que le grand engrenage de la deuxième paire est calé sur l'arbre de la roue dentée qui mord la crémaillère, et le tambour canelé servant au freinage est monté sur un prolongement de l'axe de l'induit (fig. 9). Ce dernier mesure 80 centimètres de longueur totale dont 60 centimètres de longueur utile, et 40 centimètres de diamètre.

Il fait normalement 600 à 700 tours à 6 kilomètres à l'heure avec une réduction totale de $^1/_{14}$ pour des roues de 60 centimètres.

Ces moteurs, construits pour une tension de 500 volts, ont une puissance nominale de 30 chevaux qui peut s'élever à 50. La constitution spéciale de la transmission les alourdit nécessairement; chacun pèse, bâti et engrenages compris,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3,000 kilogrammes dont 1,300 kilogrammes pour la réceptrice, poids dans lequel l'armature n'entre que pour 300 kilogrammes.

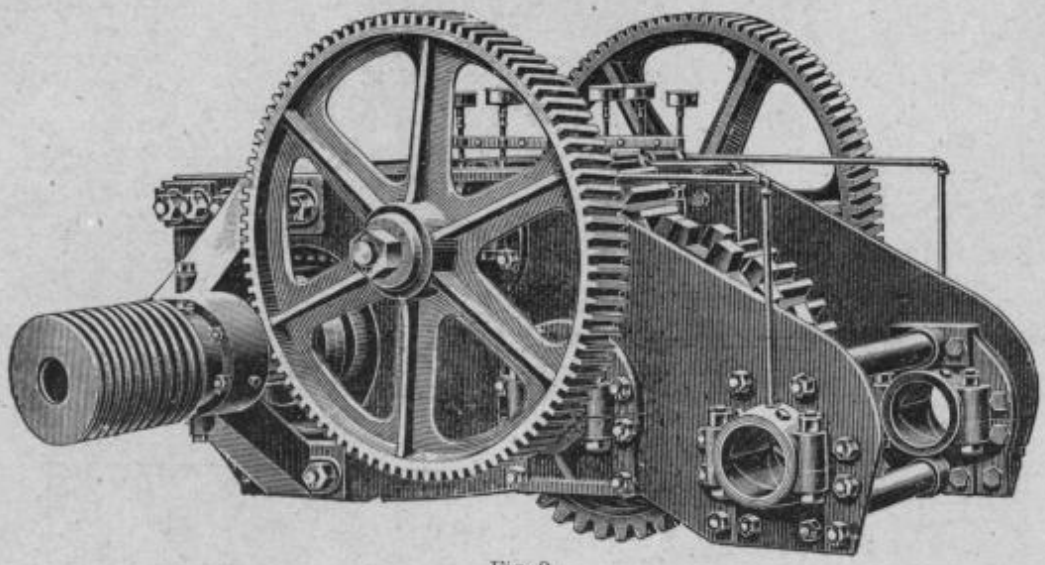


Fig. 9.

Moteurs du tramway de Birmingham (accumulateurs). — Construit en 1890 par l'*Electric construction Corporation* et muni d'une réceptrice Elwell-Parker, ce moteur paraît de prime abord comporter un luxe excessif de roues dentées. Mais comme le montre la figure 10, il attaque par engrenages à chevrons les deux essieux de l'un des trucks des grandes voitures à impériales de Birmingham munies d'accumulateurs, en réunissant ces essieux par un même bâti; sur l'un des paliers, le point d'appui est élastique.

Ce moteur développe une puissance de 15 à 25 chevaux avec une force électro-motrice variant de 50 à 200 volts selon l'accouplement des accumulateurs. Il accomplit en quelque sorte à lui seul le travail de deux moteurs séparés, de sorte qu'il y a en somme un axe de moins que ne l'eussent comporté deux moteurs à double réduction. Celle-ci est de $^1/_6$; pour 700 tours d'armature, la vitesse est de 12 kilomètres à l'heure. L'enroulement est en série. L'armature a un diamètre de 324 millimètres et une longueur de 175 millimètres enroulée de 64 bobines élémentaires à 8 tours d'un fil de 2.8 millimètres de diamètre.

L'ensemble de l'électro-moteur et du mécanisme de transmission pèse 1,500 kilogrammes.

Moteur de la Haye-Schevening (accumulateurs). — Monté sur l'un des deux bogies des voitures de 17 tonnes, l'électro-moteur de ce tramway attaque par deux paires d'engrenages l'un des essieux du truck moteur, lequel est accouplé à l'autre essieu par bielles.

Ce truck moteur est représenté figures 11 et 12; il pèse en tout 5,500 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes. La vitesse en ville est de 10 à 12 kilomètres, et 18 à 20 kilomètres hors ville.

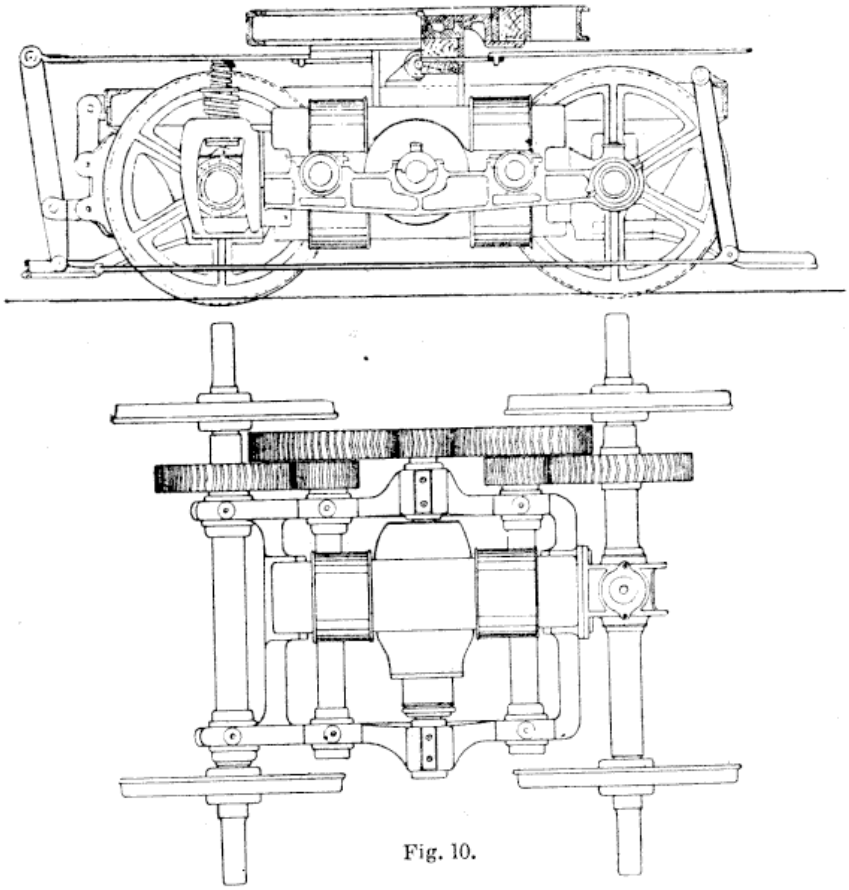


Fig. 10.

Un pignon spécial (fig. 13) fut longtemps employé d'après les indications de M. Van Vloten, ingénieur-conseil. C'est une modification de l'ancien pignon Sprague, à rondelles alternatives de métal et de matière organique. A la Haye, la disposition adoptée pour serrer les plaques de fer et plaques de cuir permet de reprendre le jeu par intercallation de nouvelles rondelles. Certaines voitures portent des pignons d'une pièce en acier.

La réceptrice construite à Silvertown par *The India Rubber Company* a été étudiée pour une force électro-motrice variant de 200 à 450 volts.

Induit. — Anneau de 345 millimètres de diamètre, 330 de longueur, 60 millimètres d'épaisseur. Primitivement, il était bobiné au moyen d'un fil plein de 3.8 millimètres de diamètre, soit 11.34 millimètres carrés de section, lequel fut remplacé par un fil souple formé de 19 brins de 0.813 millimètre de diamètre, soit 9.86 millimètres carrés. Ce fil se prête mieux au bobinage et aux connexions avec le collecteur. Il est enroulé en 76 sections à raison de 6 spires par section, formant deux couches.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

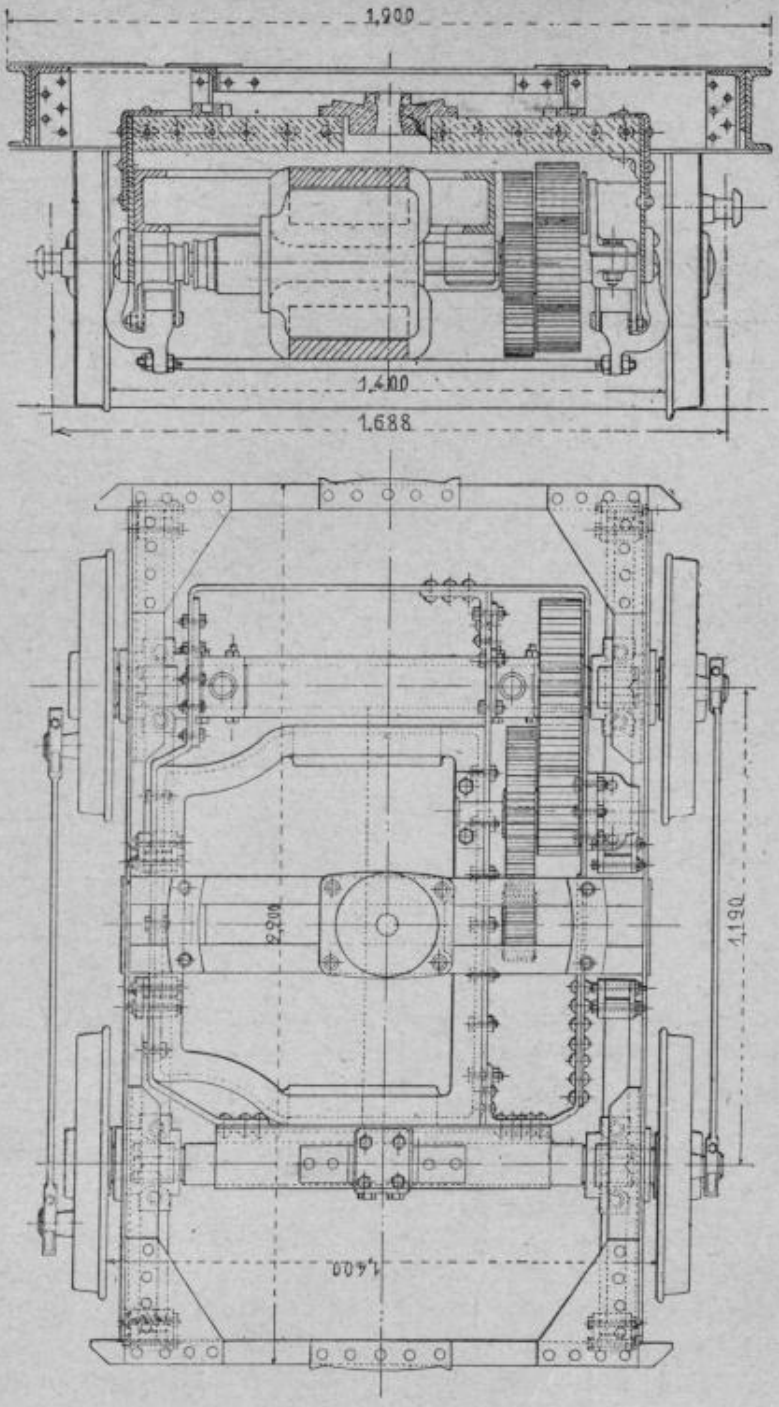


Fig. 11.

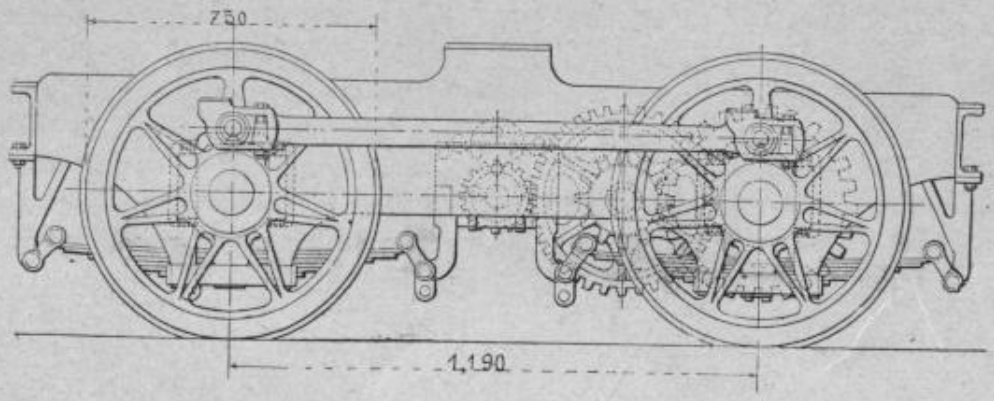


Fig. 12.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Inducteur. — L'inducteur bipolaire dérivé du type Siemens est formé de deux masses de fer allongées, entre lesquelles est logé l'induit; ces masses, à l'emplacement du moteur, sont légèrement évidées en leur milieu en arc de cercle, laissant aux pôles le minimum d'épaisseur. Leurs extrémités forment quatre noyaux de bobines symétriquement réparties des deux côtés du plan des pôles, et aboutissant à deux culasses fermant le circuit magnétique.

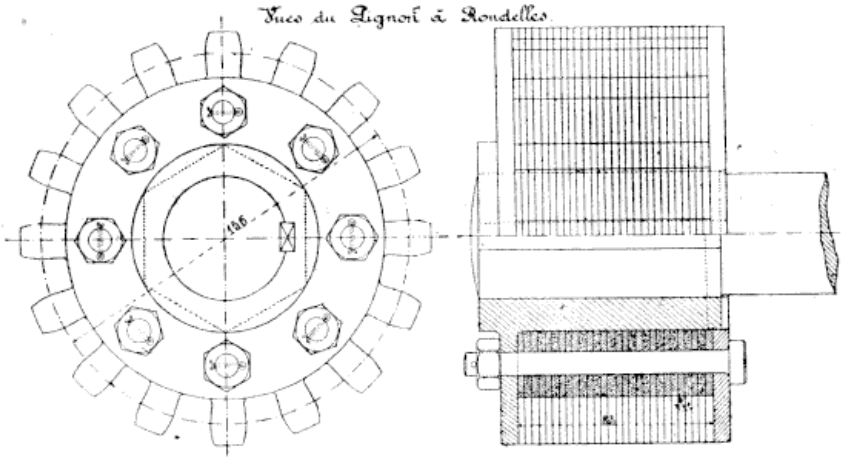


Fig. 13.

Ces masses ont, entre culasses, une longueur de 1 mètre, dont 32 centimètres pour chaque noyau, une largeur de 305 millimètres et une épaisseur de 82 millimètres.

Sur chaque noyau est enroulé un fil de 4.88 millimètres de diamètre faisant 240 tours; mais deux bobines de chaque côté sont accouplées de façon que le courant inducteur forme deux circuits de 480 tours chacun.

Moteur des tramways de Paris (accumulateurs). — Sur les voitures à deux bogies articulés des tramways de Paris et du département de la Seine, la maison Averly, de Lyon, a installé des moteurs à double réduction dont une figure du chapitre VI montre le contour. Les dents sont à chevrons en fonte. La première paire d'engrenages baigne dans l'huile. Entre la vitesse de l'induit et celle de l'essieu, la réduction est de 12 : 1.

L'électro-moteur est du type Manchester bipolaire excité en série, développant une puissance de 10,000 watts à 1,350 tours sous 200 volts. L'induit est enroulé en anneau au moyen d'un fil de 2.8 millimètres de diamètre mesuré nu formant 60 sections de 4 spires chacune.

Sur chaque branche de l'inducteur, il y a 120 tours d'un fil de 4.6 millimètres de diamètre.

Chaque moteur avec son bâti, son train d'engrenages et ses accessoires, y compris l'appareil de réglage correspondant assez lourd, pèse 1,400 kilogrammes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur Lahmeyer du charbonnage d'Amercœur (accumulateurs). — Au charbonnage d'Amercœur, à Jumet (Belgique), trois locomotives mues par accumulateurs ont été successivement mises en service. Elles sont représentées dans plusieurs figures du chapitre VI. On voit que la transmission de la première comportait, outre un double jeu d'engrenages, deux chaînes commandant les essieux. Dans le deuxième type mis en service, deux moteurs sur deux trucks transmettent chacun leur mouvement à un essieu au moyen de deux paires d'engrenages. Chaque moteur et son mécanisme pèsent 400 kilogrammes. Rapport des vitesses, 8 : 1. Sur la troisième, le mécanisme est plus ramassé; le moteur attaque les deux essieux par une double réduction de la vitesse au moyen d'engrenages dans le rapport de 9 : 1. Moteur et mécanisme pèsent 450 kilogrammes. La dynamo réceptrice (fig. 14) est du type Lahmeyer, étudié pour 75 volts et 36 à

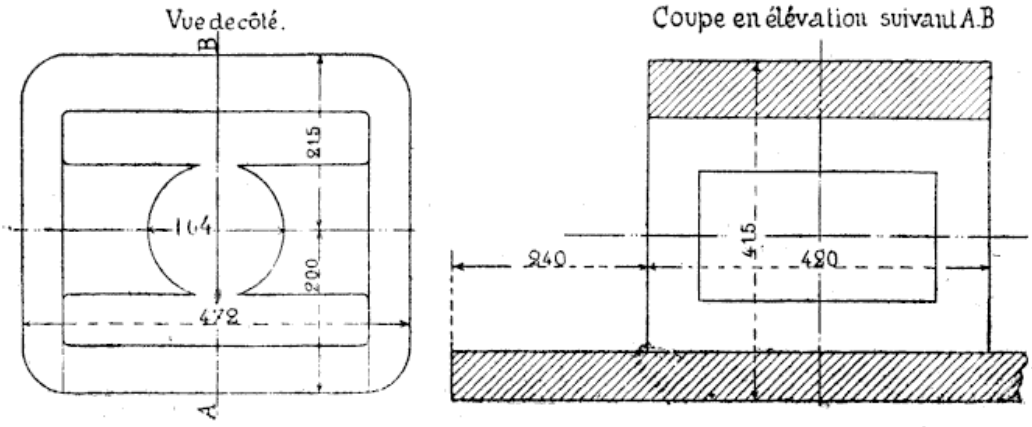


Fig. 14.

42 ampères. Son induit en tambour mesure en longueur 29 centimètres sur 164 millimètres de diamètre et porte enroulées 40 sections formées de 8 spires d'un fil de 2.8 millimètres non compris la guipure.

Avec l'inducteur en carapace sont venus de fonte deux prolongements formant supports, dont l'un se voit sur la figure.

Chaque noyau d'électro-aimant mesure comme dimensions utiles d'enroulement : en longueur, 10 centimètres; en largeur, 29 centimètres; en épaisseur, 16 centimètres. Un fil mesurant nu 6 millimètres de diamètre y fait 96 tours.

Cette locomotive figurait à l'Exposition d'Anvers en 1894.

c. — *Transmission par une seule paire d'engrenages.*

Dans le domaine de la traction électrique, ce sont les Américains qui ont lancé les premiers le *single reduction motor* à engrenages.

Il fut essayé sur les tramways par M. Sprague, durant ses expériences de Richmond en 1887-88, mais sans succès à cause notamment de l'exiguïté de l'armature et de la faiblesse du champ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Vers la même époque, *M. Daft* construisit un moteur de l'espèce pour expérimenter la substitution de la traction électrique sur le « Manhattan Elevated Railway ». Nous reviendrons sur cette tentative, datant de 1889, en traitant du rendement. Voici en quoi consistait l'engin :

C'était une locomotive (fig. 15) pesant 10 tonnes, étudiée pour développer

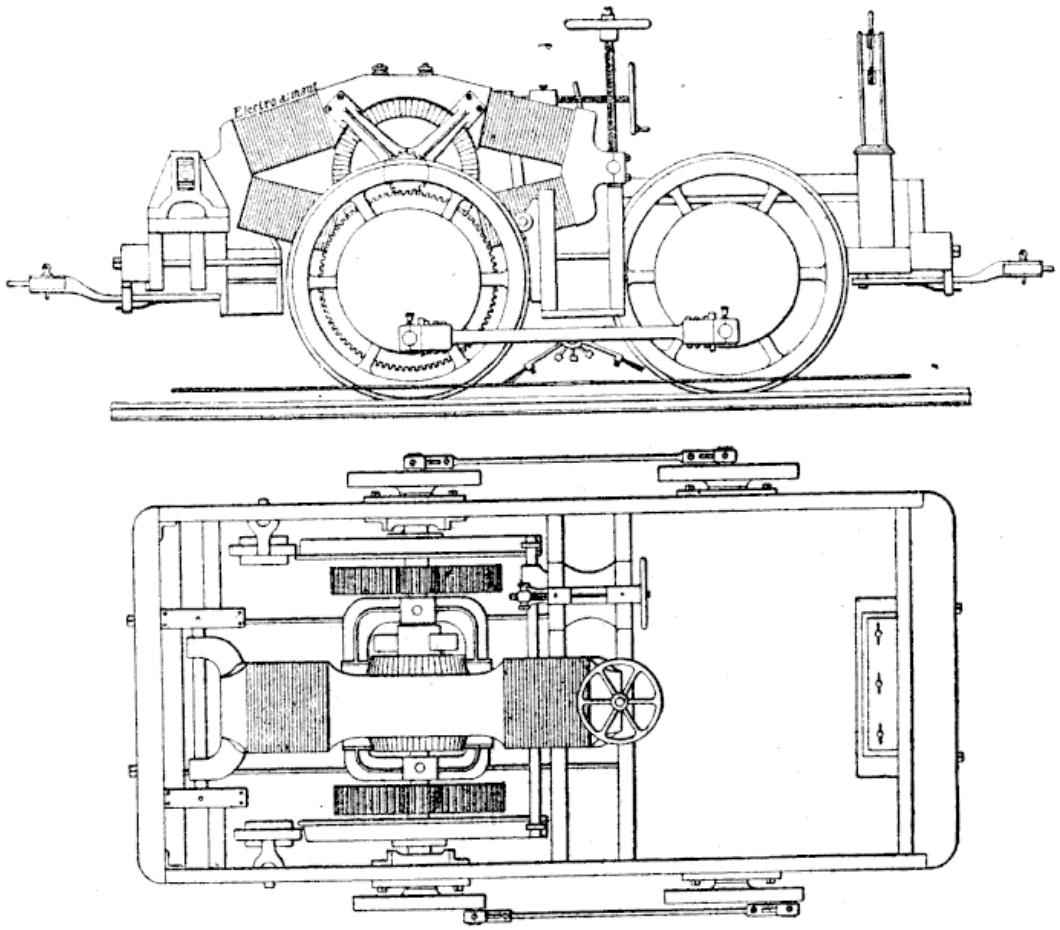


Fig. 15.

120 chevaux à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure ; elle était portée sur quatre roues motrices de $1^{m}20$ de diamètre accouplées par bielles et présentant un entraxe de $1^{m}80$.

Sur l'un des essieux moteurs étaient calés, près des roues, deux engrenages entrainés par deux pignons symétriquement disposés sur l'arbre de l'induit du moteur. Cet arbre tournait dans les paliers d'un support en partie formé par les inducteurs, articulé d'un côté au bâti général et de l'autre à l'écrou d'une vis qui en réglait la position relativement aux grands engrenages.

Un détail tout spécial est à noter : on avait laissé un petit jeu aux roues motrices par rapport au bâti, moyennant des ressorts en caoutchouc, de sorte que les dents des pignons avaient, jusqu'à un certain point, la liberté de se déplacer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

légèrement, dans le sens vertical, entre les dents des grands engrenages lorsqu'il se produisait des oscillations.

Au contraire, les moteurs de tramways à une seule paire d'engrenages, qui furent mis en service l'hiver suivant aux États-Unis, présentaient l'avantageuse disposition déjà adoptée dans les types les plus récents de moteurs à double réduction de vitesse, c'est-à-dire le montage de leur bâti, par un côté, sur l'essieu, moyennant des paliers graisseurs et suspension, par l'autre côté, au truck de la voiture, de façon à conserver un strict parallélisme et une distance constante entre les axes.

Il en fut ainsi notamment du moteur *Wenstrom*, qui apparut en 1890 et qui ne différait guère du type Édison que nous allons définir.

Moteur Édison. — La Compagnie Édison exploita, en 1891, la construction d'un moteur à une seule paire d'engrenages qui se distinguait des prédécesseurs à engrenages par les dimensions de l'induit et par la puissance de l'inducteur tétrapolaire à deux bobines et deux pôles conséquents.

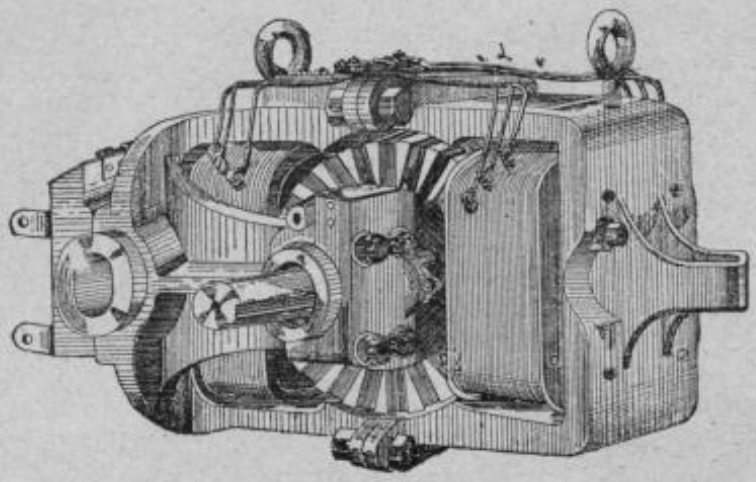


Fig. 16.

L'ensemble en est représenté figure 16. Le corps de l'armature est un anneau Gramme denté formé de tôles évidées au centre, serrées entre les deux moitiés d'un moyeu à croisillon boulonnées l'une à l'autre.

L'enroulement exécuté à fil continu comporte 140 sections, reliées chacune par un fil de maillechort au collecteur.

Diamètre de l'armature, 456 millimètres; longueur, 330 millimètres. Diamètre du collecteur, 254 millimètres; il porte quatre balais. Les deux noyaux d'inducteurs reçoivent leurs bobines avant d'être boulonnés à la carcasse; elles sont sectionnées en trois enroulements distincts répondant au mode de réglage de la marche conforme au système Sprague.

Dans les types d'une puissance de 25 à 30 H. P., l'arbre d'armature ayant un diamètre de 76 millimètres porte à chaque extrémité un pignon engrenant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec une roue calée sur l'essieu. Le tout pèse 1,000 kilogrammes, y compris une enveloppe protectrice.

Il est à propos de noter en passant que ce n'est pas précisément l'illustre inventeur qui attachait son nom à ces moteurs, mais bien une *Compagnie Édison* dont les intérêts se confondirent d'abord avec ceux de la *Sprague Company*, laquelle avait des agents représentant également la *Wenstrom Company*. Elles se fusionnèrent bientôt avec la *Thomson-Houston Company*, de Lynn, Massachusetts, qui exploitait les brevets de Ch. Van Depoele et avait absorbé ses usines. De cet amalgame est sortie depuis la *General Electric Company*, de New-York, qui a également d'importants ateliers à Schenectady.

Cette confusion d'intérêts obscurcit les recherches de la paternité des innovations. Nous nous sommes attaché et espérons avoir réussi à éviter sous ce rapport toute erreur de fait.

Moteurs Thomson-Houston. — A partir de 1891, la Compagnie Thomson-Houston, plus tard la *General Electric Company*, n'a plus produit pour tramways que des moteurs à une paire d'engrenages.

On retrouve, dans les trois types qui ont paru successivement, un trait rappelant l'inducteur sphérique de l'ancienne dynamo Thomson-Houston : *la* ou *les bobines de l'inducteur contournent une partie de l'induit.*

On voit dans les figures 17 à 28 ces bobines se projetant sur le volume de l'armature. Cet expédient permet de les disposer horizontalement sans prendre un excès de place en hauteur.

Premier type, S. R. G. — Le *Single Reduction Geared* (fig. 17) présente un inducteur bipolaire formé de quatre pièces boulonnées les unes aux autres en un rectangle d'une hauteur externe de 508 millimètres, d'une longueur de 75 centimètres, d'une largeur de 305 millimètres et distant du sol de 108 millimètres. L'une des pièces verticales de ce cadre appartient au bâti, portant à la fois les paliers de l'arbre d'induit et ceux qui reposent sur l'essieu, bâti qui prend 1 mètre de largeur, les engrenages étant en dehors. Ceux-ci, avec des cercles primitifs de 118 millimètres et de 567 millimètres de diamètre, ont respectivement 14 et 67 dents. Épaisseur, 114 millimètres; réduction de vitesse, 4.78 : 1.

Un *nez* venu de fonte avec l'une des pièces verticales de l'inducteur suspend la pièce au châssis de la voiture moyennant des tampons de caoutchouc. Distance entre l'axe du nez et celui de l'essieu, 80 centimètres ; entre ce dernier et l'axe de l'armature, 337 millimètres.

Ce moteur pesait 1,057 kilogrammes, y compris 97 kilogrammes pour la grande roue dentée d'essieu, soit, sans cette dernière, 960 kilogrammes, comprenant entre autres une armature de 219 kilogrammes, arbre et pignon inclus; deux pièces polaires de 122 kilogrammes chacune, plus leurs bobines à 58 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes par pièce ; le bâti et la pièce portant le nez, 314 kilogrammes, auxquels s'ajoutent l'enveloppe d'engrenages et divers accessoires.

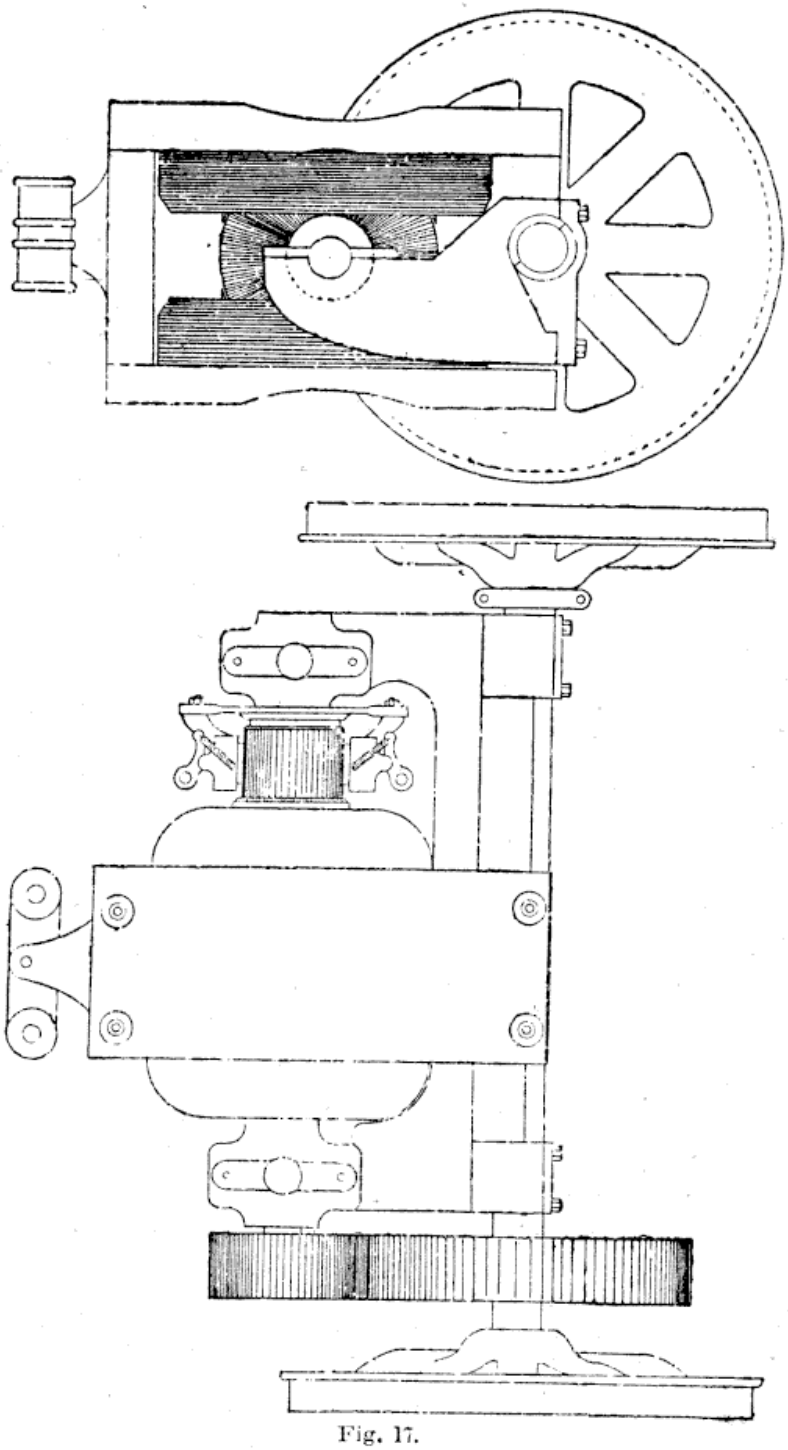


Fig. 17.

Deuxième type, W. P. 30. — Ce type *Water-Proof* a complètement éliminé le S. R. G. C'est le premier type de moteur *cuirassé*.

La figure 18 et 19 est un ensemble en perspective ; la figure 20, une coupe montrant la bobine *unique* de l'inducteur bipolaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce spécimen s'adapte à l'un des modes usités de suspension au châssis du véhicule, par traverse s'appuyant sur tampons de caoutchouc.

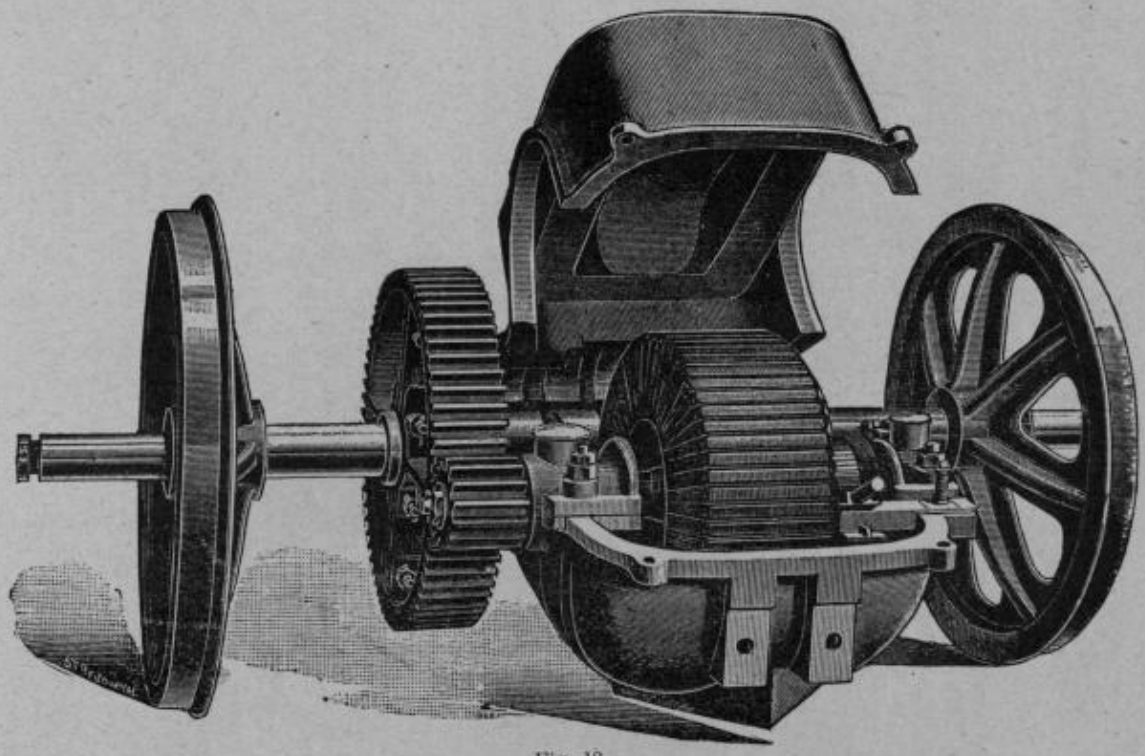


Fig. 18.

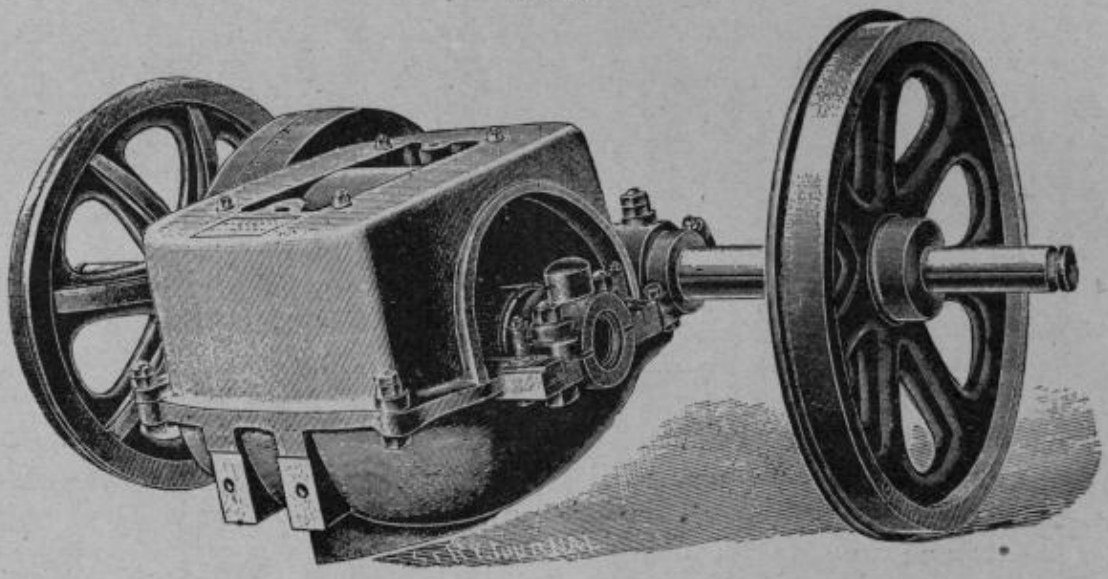


Fig. 19.

Il existe d'autres modèles se suspendant au moyen d'un *nez* à des ressorts à boudins.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les roues dentées ont les mêmes dimensions que celles du S. R. G.; le pignon est en acier coulé; les dents sont repassées à la fraise.

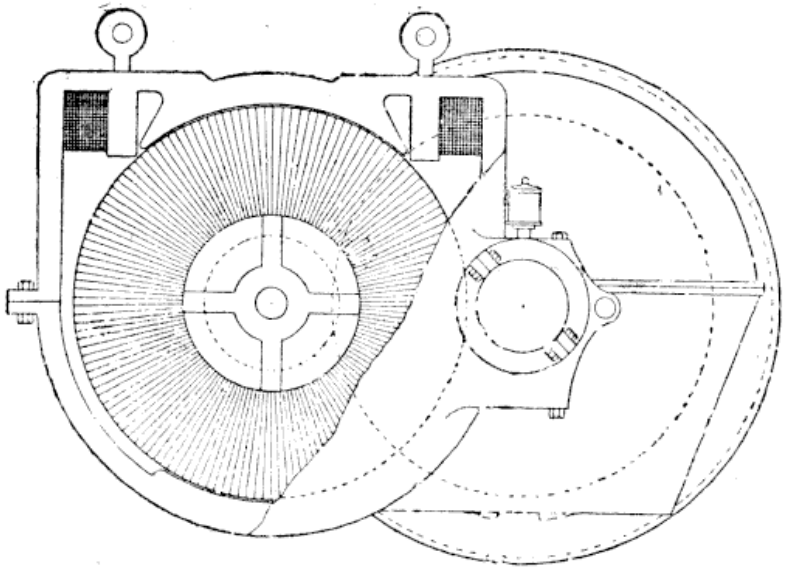


Fig. 20.

Relativement au précédent, les avantages du W. P. sont manifestes. Au lieu d'un rectangle en quatre pièces susceptible de déformation en parallélogramme oblique, la carcasse est en deux pièces conformées en vue de protéger efficacement l'induit et la bobine d'inducteur contre la poussière et l'eau, et laissant une ouverture pour l'examen des balais. Le poids est réduit de 170 kilogrammes. Il est environ de 920 kilogrammes comprenant une armature pesant 258 kilogrammes avec arbre et pignon; une moitié supérieure d'inducteur de 181 kilogrammes, plus une bobine de 60 kilogrammes; une moitié inférieure de 196 kilogrammes sans bobine; une grande roue dentée de 97 kilogrammes, une enveloppe d'engrenages de 50 kilogrammes, plus des boulons, cales, graisseurs, balais. La réduction est de même 4.78 : 1.

On voit que la pièce polaire, indépendamment du noyau, porte un prolongement contournant l'induit. L'usage d'une seule bobine produit naturellement un champ qui n'est pas complètement contrebalancé et soulage la pression de l'induit sur ses tourillons.

L'armature en anneau mesure, en diamètre, 50 centimètres; en largeur, 20; en épaisseur, 14. Elle est dentée dans le genre Pacinotti, formée de tôles minces empilées qui ne sont isolées l'une de l'autre que par une couche protectrice d'oxyde obtenue au four. Les rainures où sont logés les fils sont rétrécies vers l'extérieur, de telle sorte qu'entre les dents en queue d'aronde, s'inserre une cale allongée en bois maintenant les spires de fil et remplaçant les frettes ordinaires. Les deux moitiés du moyeu à quatre croisillons sont enfoncées à la presse dans des rainures, puis boulonnées entre elles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a 64 sections contenant de 14 à 16 spires, 16 le plus souvent, d'un fil de 2 millimètres de diamètre mesuré nu.

Le noyau de la bobine inductrice mesure 48 centimètres en longueur, 27 en largeur et 14 en épaisseur; elle est formée de 160 tours d'un fil de 4 millimètres de diamètre non compris la guipure.

De légères améliorations en ont fait le W. P. 50.

Troisième type, G. E. 800. — Cette dénomination se traduit par *General Electric Company* 800 livres, c'est-à-dire que ce moteur doit produire un effort de 800 livres, ou 353 kilogrammes à la périphérie des roues de 33 pouces ou 836 millimètres.

Son aspect extérieur est représenté figures 21 et 22; ses formes géométriques et proportions, figures 23 et 24.

L'inducteur est tétrapolaire à deux bobines horizontales et deux pôles conséquents. Malgré l'addition d'une bobine, le poids total du moteur G. E. 800 est inférieur à celui du W. P. Il est vrai que les dimensions des bobines sont réduites ainsi que le diamètre de l'armature.

Poids total, 820 à 850 kilogrammes, y compris le grand engrenage, l'enveloppe des roues dentées et les accessoires, coussinets, etc. Dans ce poids, la carcasse en deux pièces coulées en acier doux y compris les noyaux d'électro-aimants entre pour 300 kilogrammes, les bobines d'induction pour 80 kilogrammes les deux, l'armature et son pignon, 230 à 240 kilogrammes selon l'enroulement, qui varie un peu avec le torque requis et la vitesse autorisée. Le grand engrenage pèse 98 kilogrammes; son enveloppe, 46 kilogrammes; enfin, diverses pièces, 69 kilogrammes.

A ce poids s'ajoute en certains cas celui qui résulte de l'emploi de supports en forme de balancier, propres à ces moteurs (fig. 25). Ce sont deux longues barres méplates façonnées en col de cygne qui, soutenant le moteur par des tourillons venus de fonte sur les flancs de la carcasse, s'appuient à leurs extrémités sur des traverses du truck de la voiture, soulageant ainsi les paliers du milieu de l'essieu d'une forte partie de la charge. En A, B, C, D sont des axes d'oscillation. On voit des balanciers de l'espèce appliqués à une voiture représentée chapitre IV, § C.

Certains moteurs portent aux paliers des coussinets en fonte garnis de métal blanc, d'autres tout en bronze, ou en fonte garnis d'une écaille de bronze. L'essentiel est d'éviter un désaxement trop prononcé surtout de l'armature : en effet, l'entrefer de construction est de 3 millimètres qui se réduit par suite du jeu à 2.4 millimètres On ne peut donc pas tolérer une usure supérieure à 1.2 millimètre au palier de l'extrémité libre de l'arbre d'armature et 2.4 millimètres au palier du pignon.

Au début, le moteur G. E. 800 se livrait avec armatures en anneau de construction semblable à celle du W. P., sauf en dimensions : diamètre, 404 millimètres; largeur, 202 millimètres; épaisseur, 11 centimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

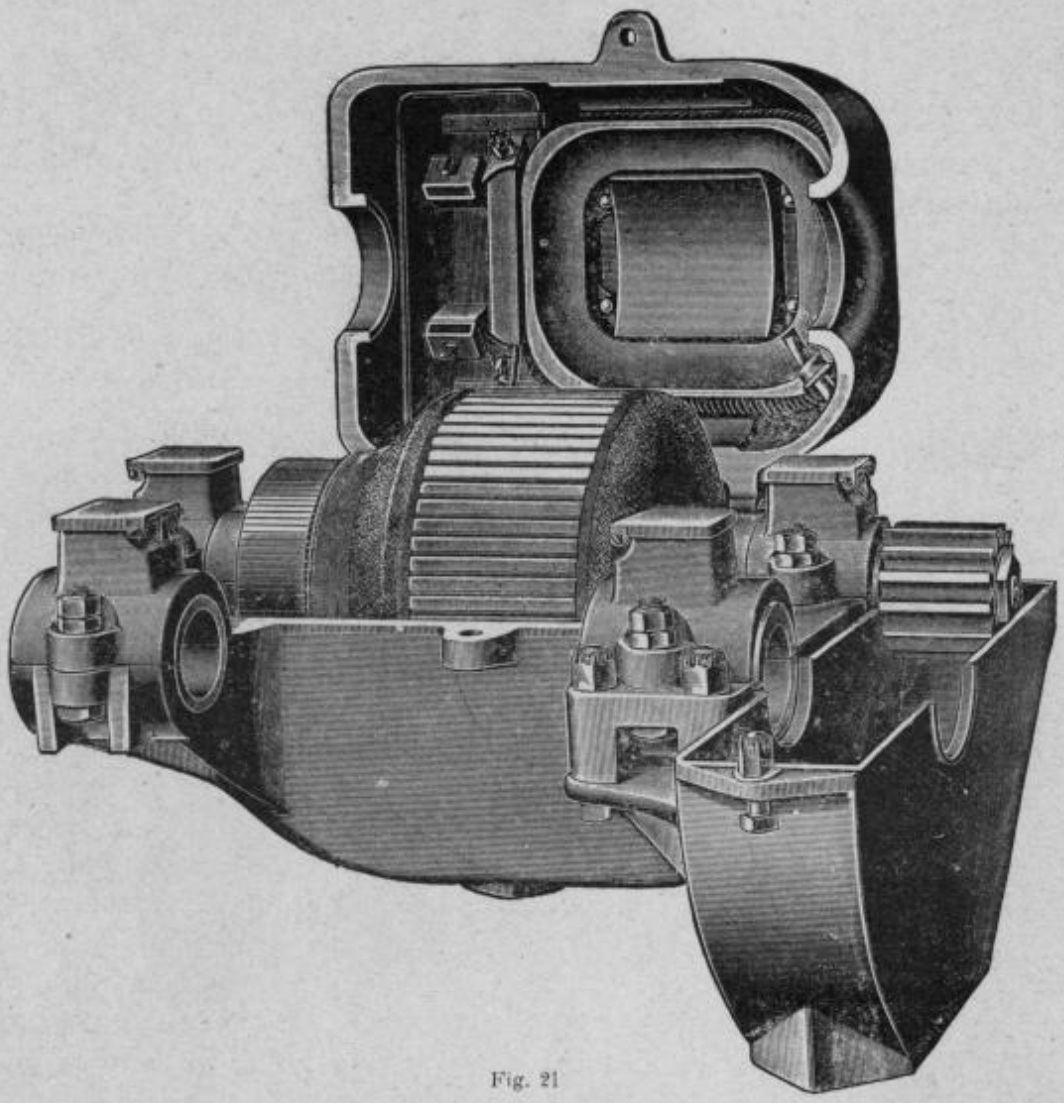


Fig. 21

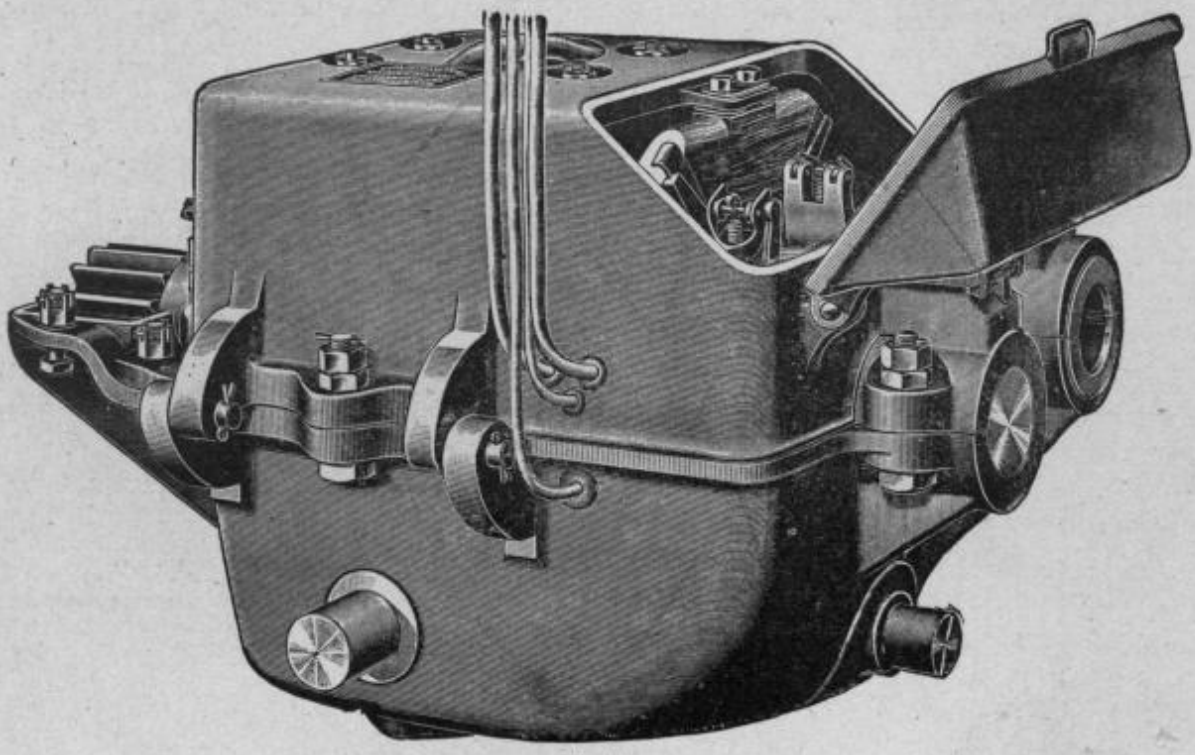
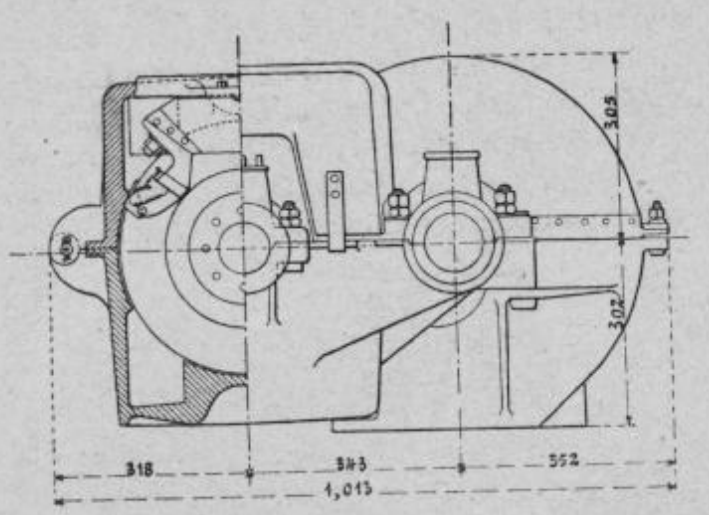


Fig. 22.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



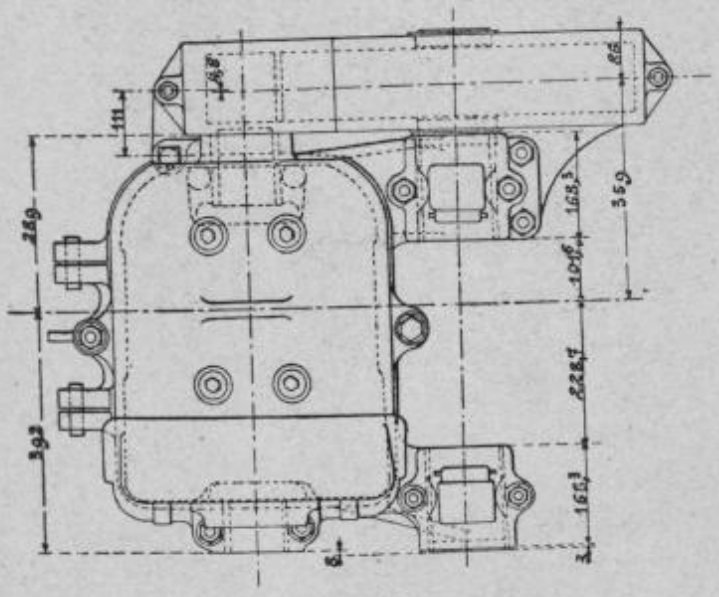


Fig. 23.

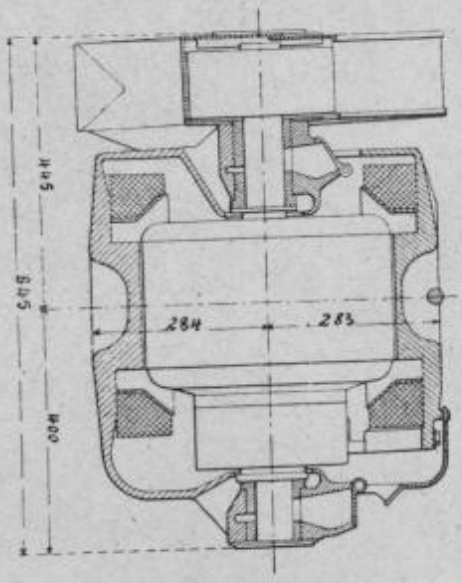


Fig. 24.

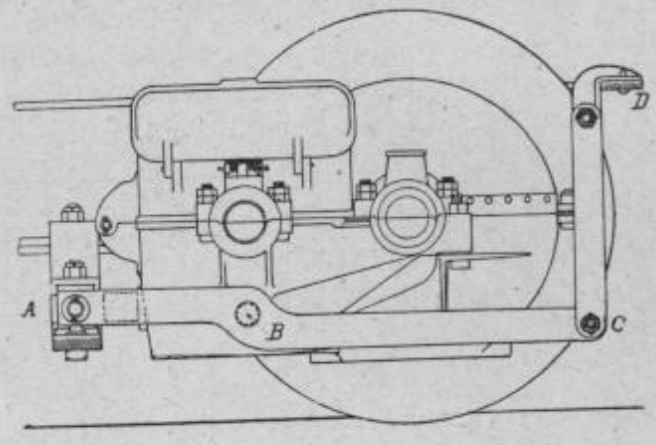


Fig. 25.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet enroulement est encastré dans 65 rainures rétrécies vers la périphérie où il est formé de fils plats retenus par des cales en bois de 6 millimètres de largeur. Le collecteur comporte un nombre double de lames, soit 130, et les connections entre sections sont telles que les courants à travers l'armature sont partagés en deux circuits parallèles au lieu de quatre et aboutissent à deux balais à 90°, d'après le procédé Mordey. On voit sur la figure 26, tirée de l'ouvrage de

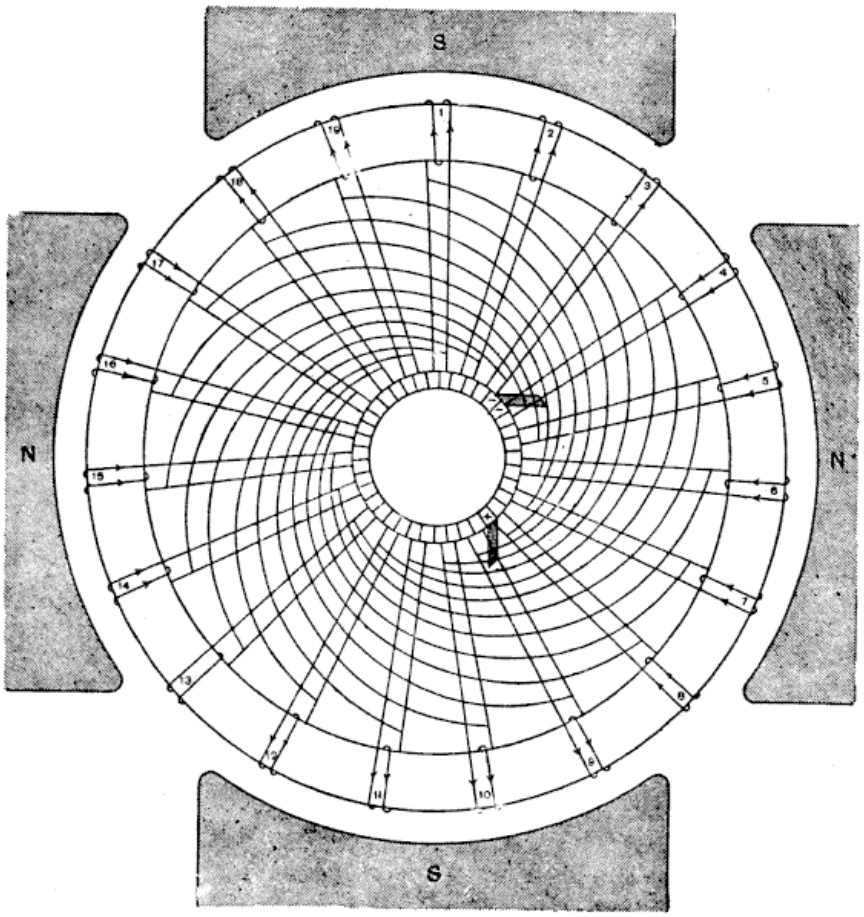


Fig. 26.

MM. Parshall et Hobart (1), un exemple de ce mode d'enroulement. Son avantage consiste en ce que les spires d'une seule section sont mises en court circuit à chaque balai et le voltage par lame est réduit de moitié.

Dans cette figure, le courant suit simultanément les chemins :

$$\rightarrow - \begin{cases} 3 - 12 - 2 - 11 - 1 - 10 - 19 - 9 - 18 \\ 4 - 14 - 5 - 15 - 6 - 16 - 7 - 17 - 8 \end{cases} + \rightarrow$$

La formule liant les éléments est :

$$S = \frac{n}{2} \times y + 1$$

Où S est le nombre de sections, n est le nombre de pôles, y est un nombre arbitraire.

1) Parshall et Hobart, *Armature Windings of Electric Machines.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au lieu de $y = 9$ si l'on prend $y = 32$, on retombe sur les 65 sections de l'anneau du G. E. 800, et partant les 130 lames du collecteur.

Dans chaque section sont logés 11 lamelles de 4.5×1.2 millimètres.

Les quatre noyaux d'inducteur mesurent chacun 202×197 millimètres. Deux d'entre eux portent des bobines dont chacune est faite de 203 tours d'un fil de 4.12 millimètres de diamètre, la guipure non comprise.

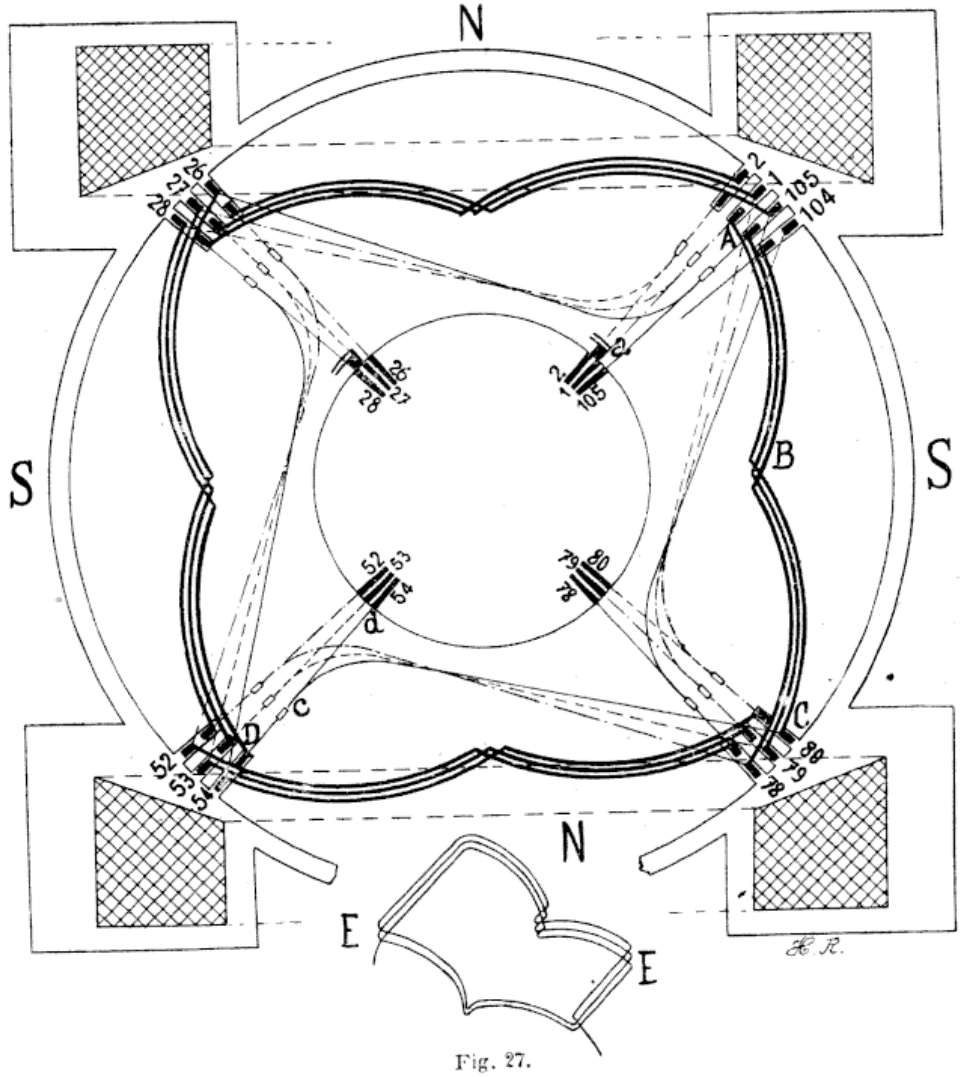


Fig. 27.

Actuellement, on donne généralement la préférence à l'enroulement en tambour. Le corps de l'armature, mesurant 404×202 millimètres, porte 105 encoches droites, sans rétrécissement, dans lesquelles se logent des éléments préparés d'avance selon la méthode *Eickemeyer*, appelés par les praticiens « vol d'oiseau », à cause de leur aspect en forme d'ailes. Chacun de ces éléments ABC (fig. 27) est représenté à part en EE.

Les traits pleins indiquent les éléments Eickemeyer et les traits interrompus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leurs prolongements, l'un, le plus court Aa, raccordé au collecteur à la lame la plus proche, l'autre, Cc, partant d'une rainure C située à 90° de A et parcourant encore 90° avant de se raccorder au collecteur.

Il y a donc dans chaque rainure superposition de deux éléments. Dans les moteurs de 20 à 25 H. P., chaque élément est formé de 3 tours de fil de 2.6 millimètres de diamètre (6 fils par rainure), dans d'autres, de 4 tours de fil de 2.9 millimètres de diamètre (8 fils par rainure), ce dernier chiffre s'appliquant aux moteurs de 25 H. P. de puissance nominale. Les noyaux des pôles présentent une section de 202 × 197 millimètres. Deux d'entre eux sont enveloppés de bobines portant de 185 à 203 tours d'un fil de 4.12 millimètres de diamètre, guipure non comprise.

Les éléments d'enroulement Eickemeyer comportent, dans certains moteurs, 3 tours, dans d'autres, 4, ce qui donne par section 6 fils ou 8 fils différant peu de diamètre. Le plus fort de ces deux chiffres qui conduit à 33 p. c. de cuivre en plus à l'armature, est adopté dans les cas où est requis un effort de traction plus élevé.

Bien que les armatures des moteurs de marque G. E. soient interchangeables, on ne peut pas en accoupler une portant des éléments à 3 fils avec une autre munie d'éléments à 4 fils; la première travaillant au maximum pour la position du régulateur donnant l'un des accouplements en parallèle, la seconde pour un accouplement série, avec des vitesses et des efforts distincts.

Dans l'armature à 3 fils par élément, la résistance est de 0.38 ohm à froid et 0.5 à chaud ; celle du champ, 0.8 à chaud, d'après M. Dawson (1).

On a donné à l'assemblage des lames en cuivre dur du collecteur, différentes formes qui se rapprochent de celle de la figure 28, extraite de l'étude publiée sur ces moteurs par M. W.-E. Shepard, à qui nous sommes redevable d'une partie des renseignements qui précèdent concernant les enroulements. En vue d'éviter l'envahissement des feuilles de micas de l'isolation g et partant des lames du collecteur, par l'huile et même la graisse semi-fluide venant du palier et filtrant à travers le joint a, ce praticien conseille de remplir l'espace k d'un mélange de plâtre et de gomme-laque.

On prend, du reste, des précautions dans la construction du palier, dans lequel on ménage un trou pour l'écoulement de l'excès de graisse. La partie frottée du collecteur a 7 centimètres de largeur. Les balais, situés vers le haut à 90° l'un de l'autre, sont en charbon cuivré glissant dans des rainures fixes pratiquées en des pièces solidement attachées à la carcasse au moyen d'isolateurs et portant les œillets à vis recevant les câbles. Le charbon mesurant 50 × 10 millimètres est pressé par une lame élastique en laiton en forme de chien de fusil sollicitée par un ressort à boudin, qui sert également à la maintenir soulevée en cas de visite, selon le dispositif bien connu.

---

(1) *Engineering*, 1895-96, série d'articles sur la traction électrique, par M. P. Dawson.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Entre l'extrémité de chaque section enroulée et la lame correspondante du collecteur, la jonction s'opère moyennant un petit bout de câble de 2.5 millimètres de diamètre formé de 60 brins de maillechort, soudé d'un côté au fil de section et de l'autre à une lamelle introduite dans une fente pratiquée dans la lame.

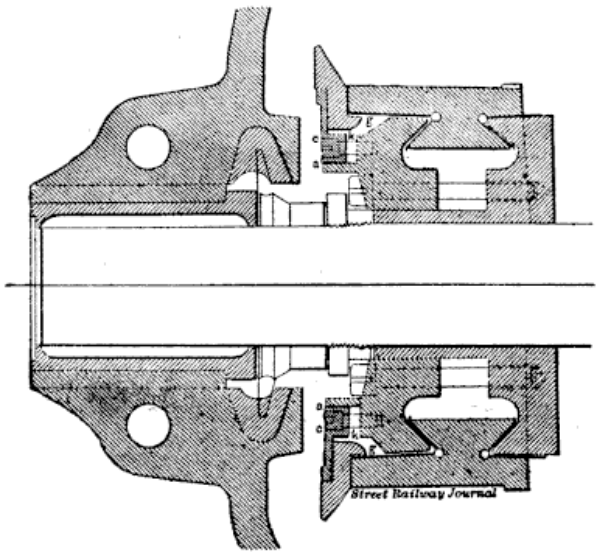


Fig. 28.

Après enroulement complet, l'armature est soumise à un courant alternatif de 3,500 volts.

On protège les deux flancs de l'induit au moyen d'enveloppes spéciales d'un tissu waterproof résistant jusqu'à un certain point au feu et solidement maintenu par un frettage en fil d'acier qui reçoit plusieurs points de soudure. Parfois sous cette enveloppe est fixé préalablement un cône de métal.

La bobine inférieure d'induction est assez difficile à protéger contre l'humidité, il est bon de la maintenir à une petite distance du fond moyennant des cales en fibre. Ce fond porte d'ailleurs un trou d'évacuation.

Aux Tramways Bruxellois, les induits qui ont été soumis à réparation sont exposés dans un four à gaz pendant vingt-quatre heures à une température de 120°, puis plongé dans une mixture de matières isolantes dissoutes dans le sulfure de carbone (1).

Moteurs de 50 à 100 chevaux. — Il a suffi de renforcer toutes les parties du type G. E. 800 pour obtenir des moteurs à simple réduction d'une puissance de 50

(1) En 1896, la *General Electric Company* a lancé, sous la dénomination de G. E. 1000, un type de moteur tétrapolaire, à 4 bobines inductives, dépourvu du trait le plus caractéristique des moteurs Thomson-Houston, pour tramways, le couronnement partiel de la bobine de l'induit par les bobines inductrices. Le diamètre de l'armature est réduit à 365 millimètres; elle porte 93 segments à 4 tours par segment ou 8 fils par rainure. Comparé au G. E. 800, ce moteur réaliserait, sous un effort soutenu, une vitesse un peu supérieure. Il pèse 886 kilogrammes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 100 H. P. En d'autres termes, le même type de moteur s'établit pour une échelle de puissances inférieures à 100 kilowats; tel est le G. E. 2000.

La figure 29 représente avec l'induit, son collecteur et ses balais, la moitié inférieure de la cuirasse inductrice. Bien que venus de fonte avec cette partie de la carcasse, les paliers de l'arbre de l'armature en sont séparés par un vide partiel qui met le collecteur à l'abri des infiltrations d'huile.

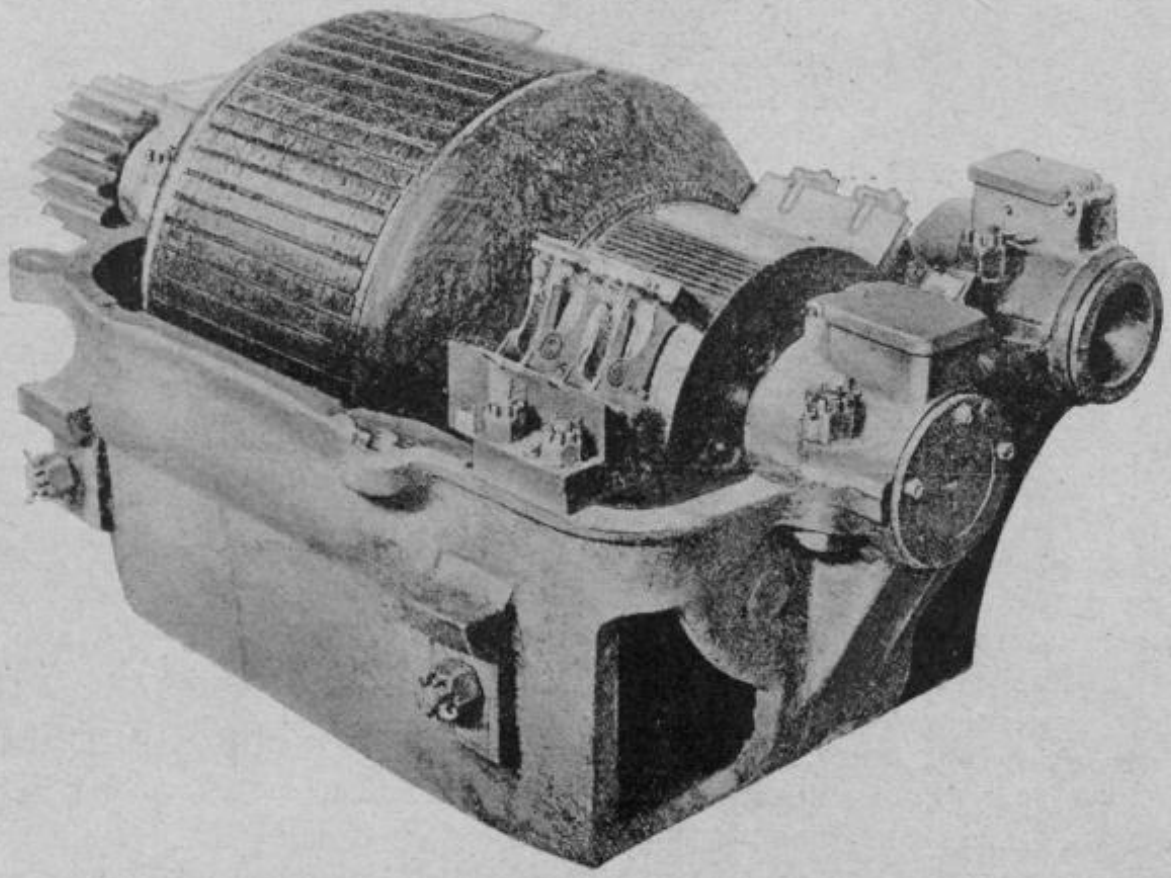


Fig. 29.

Moteur Westinghouse. — Le type Westinghouse à simple réduction, figures 30 et 31, est tétrapolaire à quatre bobines. Des deux moitiés du système inducteur, la supérieure se sépare suivant la ligne AB en tournant sur pivot; la moitié inférieure est rattachée au cadre qui contourne tout le système en prenant appui sur l'essieu et sur une traverse du châssis de la voiture. L'ensemble est du genre cuirassé, et les roues dentées baignent dans le lubrifiant.

Les bobines d'induction sont maintenues par des cadres en laiton boulonnés à la carcasse.

Comme dans les précédents moteurs tétrapolaires où l'armature est en tambour, l'enroulement est d'un type segmenté du genre Eickemeyer à éléments

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

amovibles, connectés entre eux de façon à ramener le courant, à deux balais seulement, d'après le principe Mordey.

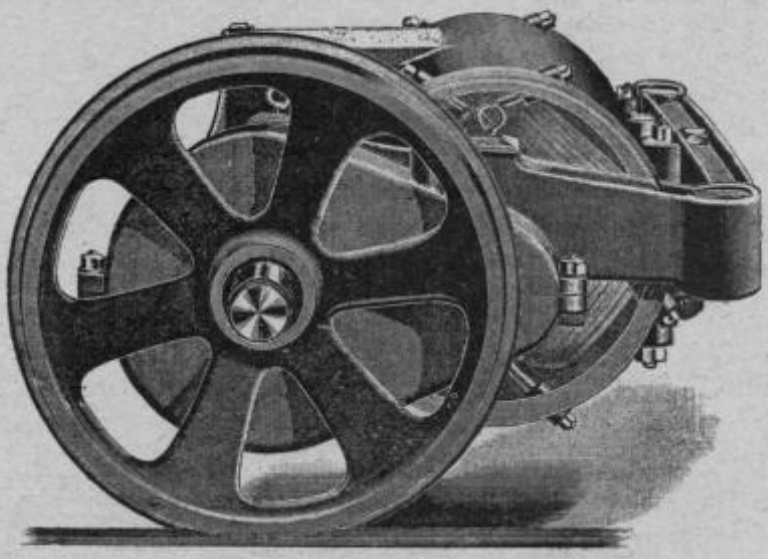


Fig. 30.

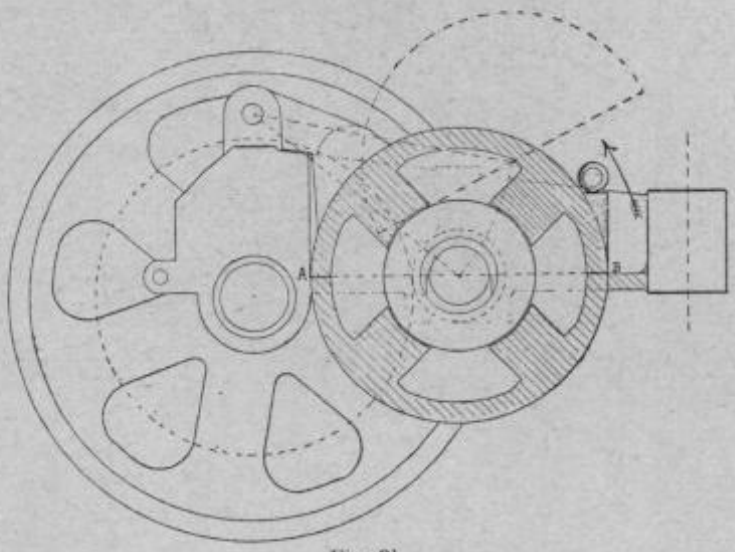


Fig. 31.

Voici quelques données concernant le type de 25 H. P. :

Armature :

Diamètre de l'armature	295	millimètres.
Longueur —	215	—
Nombre de sections ou rainures	93	
— d'éléments doubles	47	
— de tours par élément double	10	
Diamètre du fil nu	2.3	millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Inducteur :

Nombre de pôles	4
Section d'un noyau	123 cent. carrés.
(Cette section est maintenue dans la carcasse.)	
Longueur d'un circuit magnétique	56 centimètres.
Nombre de bobines	4
— de tours dans chaque bobine	187
Diamètre du fil nu	4.12 millimètres.

Les deux balais sont montés sur un seul support boulonné au cadre et portant deux blocs de chêne de 6 centimètres d'équarrissage servant à la fois d'isolant et d'attache aux câbles et aux glissières des charbons frotteurs pressés par de légers ressorts.

Plus récemment, la firme Westinghouse a produit une nouvelle série de

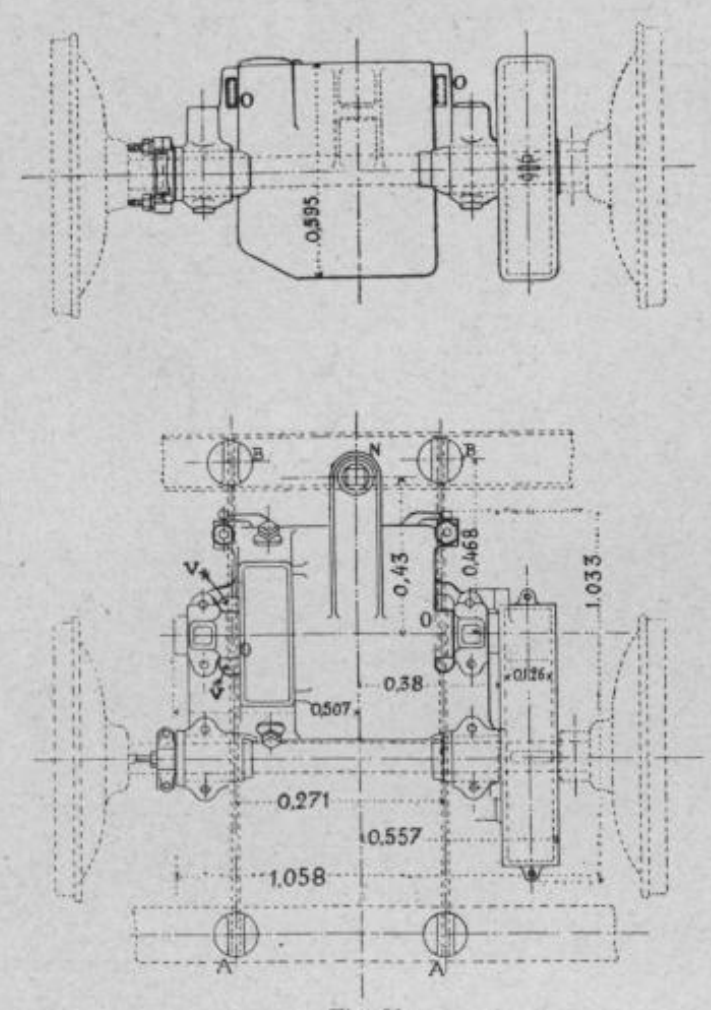


Fig. 32.

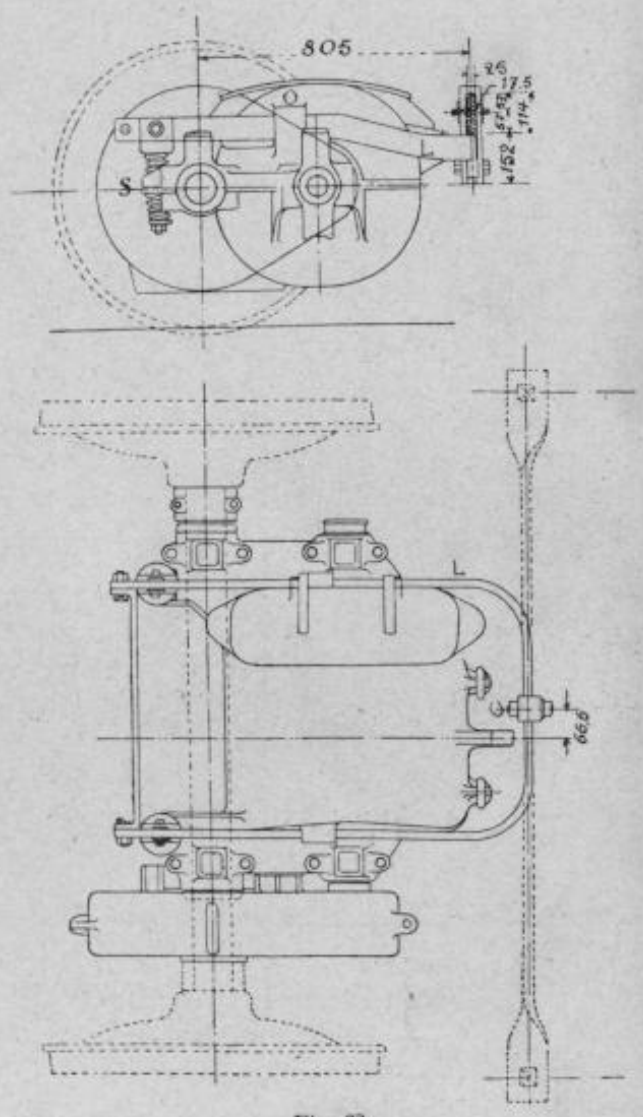


Fig. 33.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moteurs de toutes puissances, parmi lesquels un type perfectionné pour tramway (fig. 32). Des oreilles O permettent d'en suspendre la masse à des barres AB, au lieu de l'appuyer sur un nez N, afin de soulager l'essieu. Les paliers de l'arbre

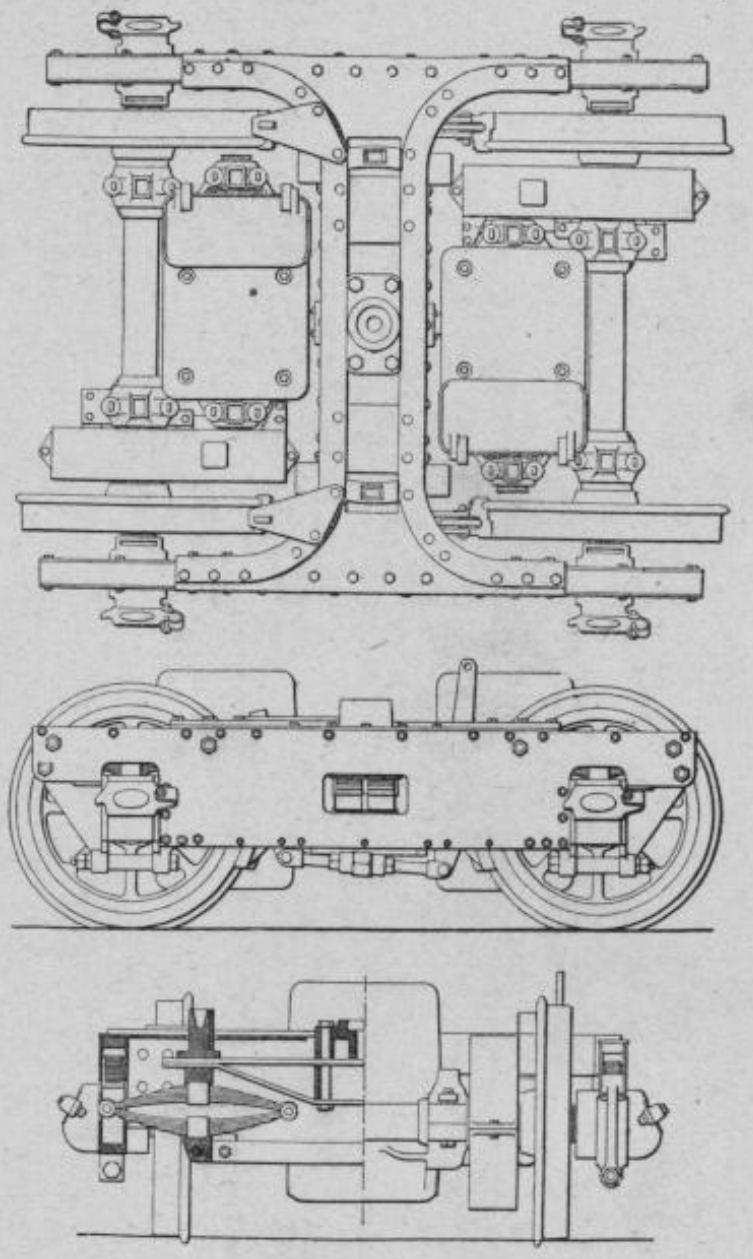


Fig. 31.

d'armature sont façonnés de telle sorte que des vides V les isolent partiellement de la carcasse en vue d'éviter les infiltrations d'huile vers l'induit. L'excitation de 4 pôles par 4 bobines a été conservée, et l'entrefer augmenté. On a évité de recouvrir les enroulements aux abouts de l'armature en vue d'obtenir une ventilation plus efficace.

Dans un autre modèle (fig. 33), la suspension est d'un genre spécial. Le double

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

levier L, après avoir passé dans les oreilles O, va s'appuyer sur des ressorts portés par des saillies S venues de fonte avec les paliers d'essieu.

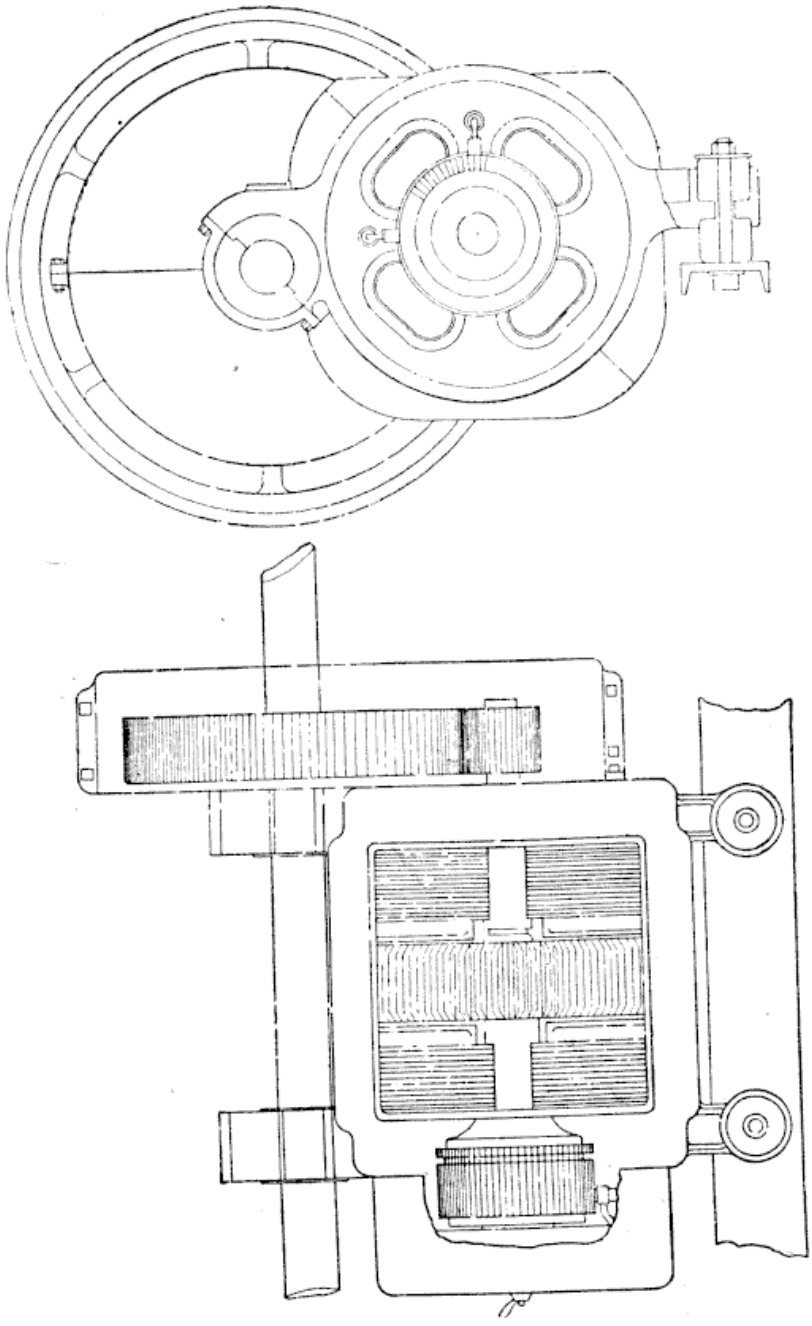


Fig. 35.

Enfin, d'accord avec la Compagnie *Baldwin*, la Compagnie Westinghouse a étudié, pour des locomotives, ou de grandes voitures motrices de railway, un truck moteur (fig. 34), dont l'originalité consiste à ne point posséder de traverses extrêmes, vu la concentration d'un solide entretoisement dans la partie médiane. Au surplus, en démontant la moitié extérieure des plaques de garde, on dégage complètement le passage des roues motrices et de leur moteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce truck convient également comme porteur. En employant deux ou quatre moteurs de 75 ou 100 H. P., on varie à volonté la puissance des voitures motrices.

Pour obtenir la variation de la vitesse maximum, on agit simplement sur le rapport des engrenages. C'est-à-dire qu'en remplaçant une paire de roues dentées de rapport 17 : 43 par une autre du rapport 24 : 36, on changerait la vitesse possible de 45 milles en une vitesse de 60 milles, et sans altérer l'enroulement de l'induit ni des inducteurs (1).

Moteur Short. — M. Short a adopté dans son « single reduction motor » un induit annulaire plat denté sur ses faces latérales, lesquelles se meuvent entre les pièces polaires (2) (fig. 35). Il est formé de tôle enroulée sur un mandrin dont les spires sont rivées ensemble.

L'usure des coussinets a moins d'influence dans ce système sur le maintien de l'entrefer réduit au minimum. L'enroulement est aisé à exécuter et à entretenir.

Moteurs d'Oerlikon. — La « Maschinenfabrik » d'Oerlikon a plusieurs types de moteurs à une paire d'engrenages dont la figure 36 donne l'aspect et la figure 37 les proportions externes. On voit que la suspension, selon le cas, se choisit entre le système à barre transversale tordue, et le *nez* entre ressorts. La carcasse est en acier coulé.

L'enroulement en anneau varie naturellement avec la destination.

PUISSANCE.	15 kilowatts 500 volts pour traction par fil aérien.	10 kilowatts 80 volts pour traction par accumulateurs.
Armature :		
Diamètre	40 centimètres.	40 centimètres.
Largeur de l'anneau	225 millimètres.	225 millimètres.
Nombre de sections	59	64
— de spires par section	12	4 × 2
Diamètre du fil nu	2.2 millimètres.	3.2 millimètres.
Inducteur :		
Nombre de pôles	4	4
— de bobines	4	4
Dimensions d'un noyau	225 × 195 millimètres.	225 × 195 millimètres.
Nombre de spires par bobine	120	72 × 2
Diamètre du fil nu	3.5 millimètres. (Excitation en série.)	3.8 millimètres. (Excitation séparée.)

(1) *Railroad Gazette*, du 6 mars et du 24 avril 1896.

(2) Ces renseignements, ainsi que la figure 35, sont empruntés à une étude de M. Dierman sur les moteurs en usage aux États-Unis en 1892.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'enroulement est complété par des connexions en série à l'intérieur du collecteur ramenant le courant à deux balais formés chacun de deux charbons de section carrée.

Réduction de la vitesse dans le rapport de 5 : 1. Poids, 850 kilogrammes sans le grand engrenage et son enveloppe.

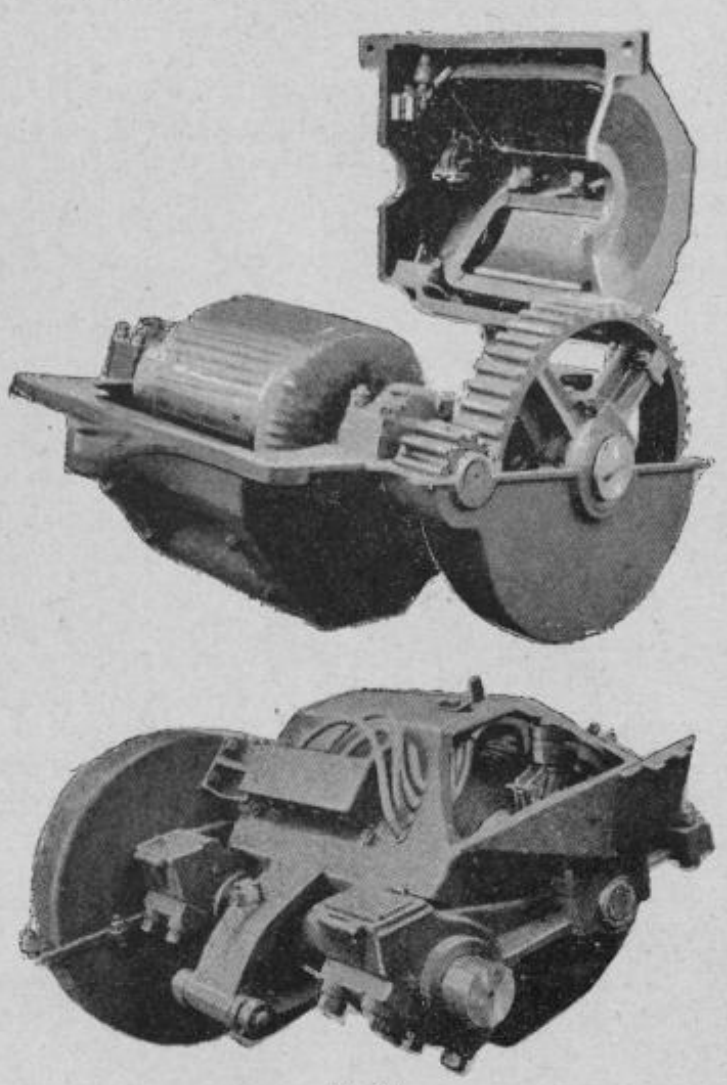


Fig. 36.

Moteur de l'Allgemeine E. G. — Le moteur à une paire d'engrenages de l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft* est représenté (fig. 38) tel qu'il existe au tramway de Christiania.

Sa puissance nominale est de 16 H. P. Le rapport de réduction de la vitesse est 5 : 1, la grande roue d'engrenage est en fonte, le pignon en bronze. Dans ce type, l'inducteur comporte deux pôles et deux bobines placés latéralement; celui de 25 H. P. est tétrapolaire. L'induction est fragmentée en trois parties, comme dans les moteurs à double réduction (voir *Moteurs Sprague*) pour satisfaire au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

système de réglage de la vitesse qui sera décrit plus loin. Il y a deux charbons par balai.

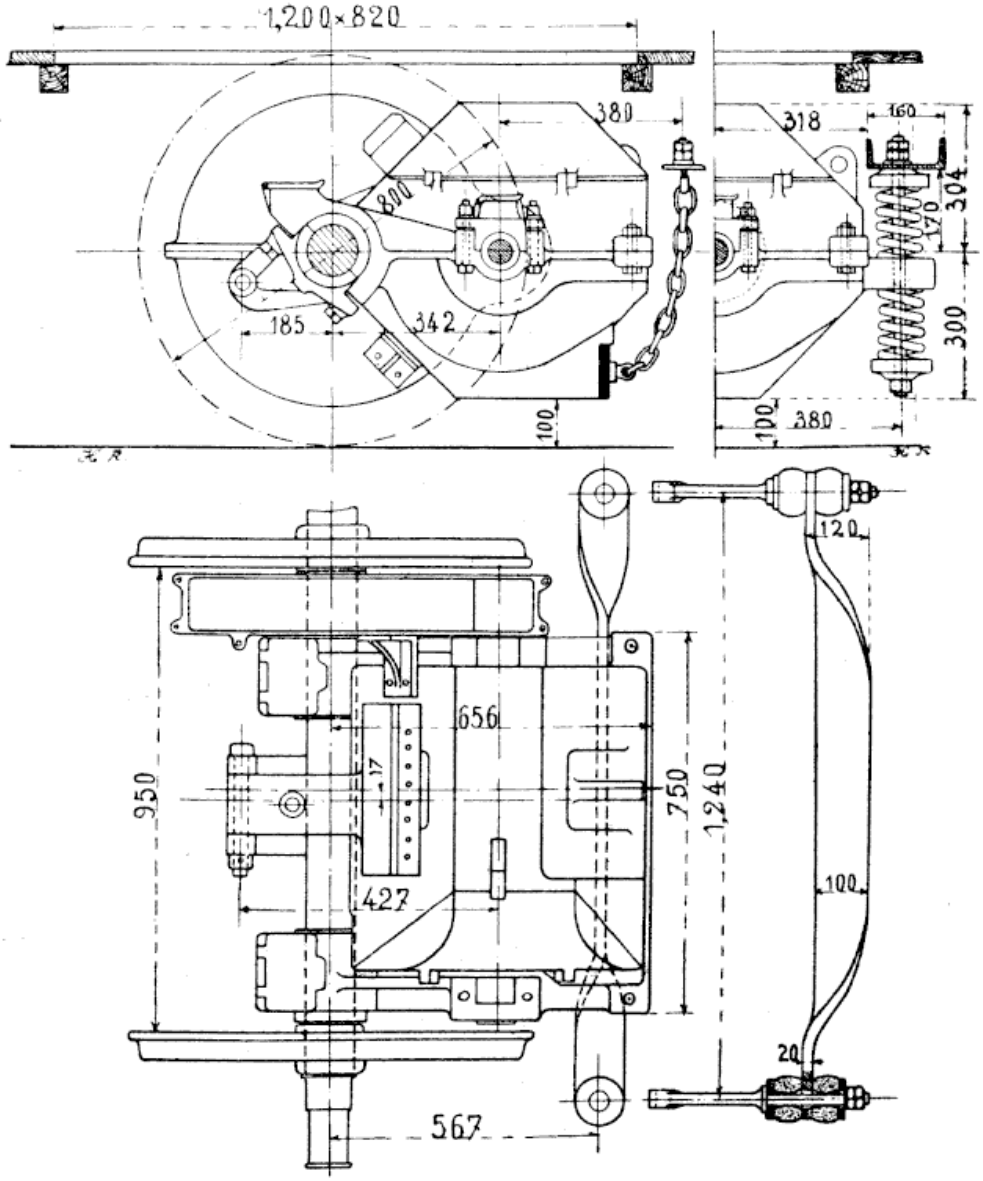


Fig. 37.

Moteur de l'Electric Construction Company. — Aux tramways du South-Staffordshire sont en service des moteurs Elwell-Parker à une paire d'engrenages en chevrons fournis par la Société de construction électrique de Wolverhampton.

La figure 39 est une vue perspective de ce moteur, la figure 40 en donne des projections à l'échelle, et une figure du chapitre IV-C, représentant un truck qui en porte deux, montre le mode de suspension. Bien qu'étudié en 1892, c'est-à-dire postérieurement à l'apparition des moteurs cuirassés, celui-ci est dépourvu d'enveloppe; on prétend qu'une enveloppe protectrice, essayée au début, avait dû être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

enlevée parce qu'il s'y amassait de la poussière sollicitée vers l'intérieur par les ouvertures latérales, l'induit faisant office de ventilateur. Quoi qu'il en soit, dans ce pays, on n'éprouve pas d'inconvénient de l'usage de ce dispositif.

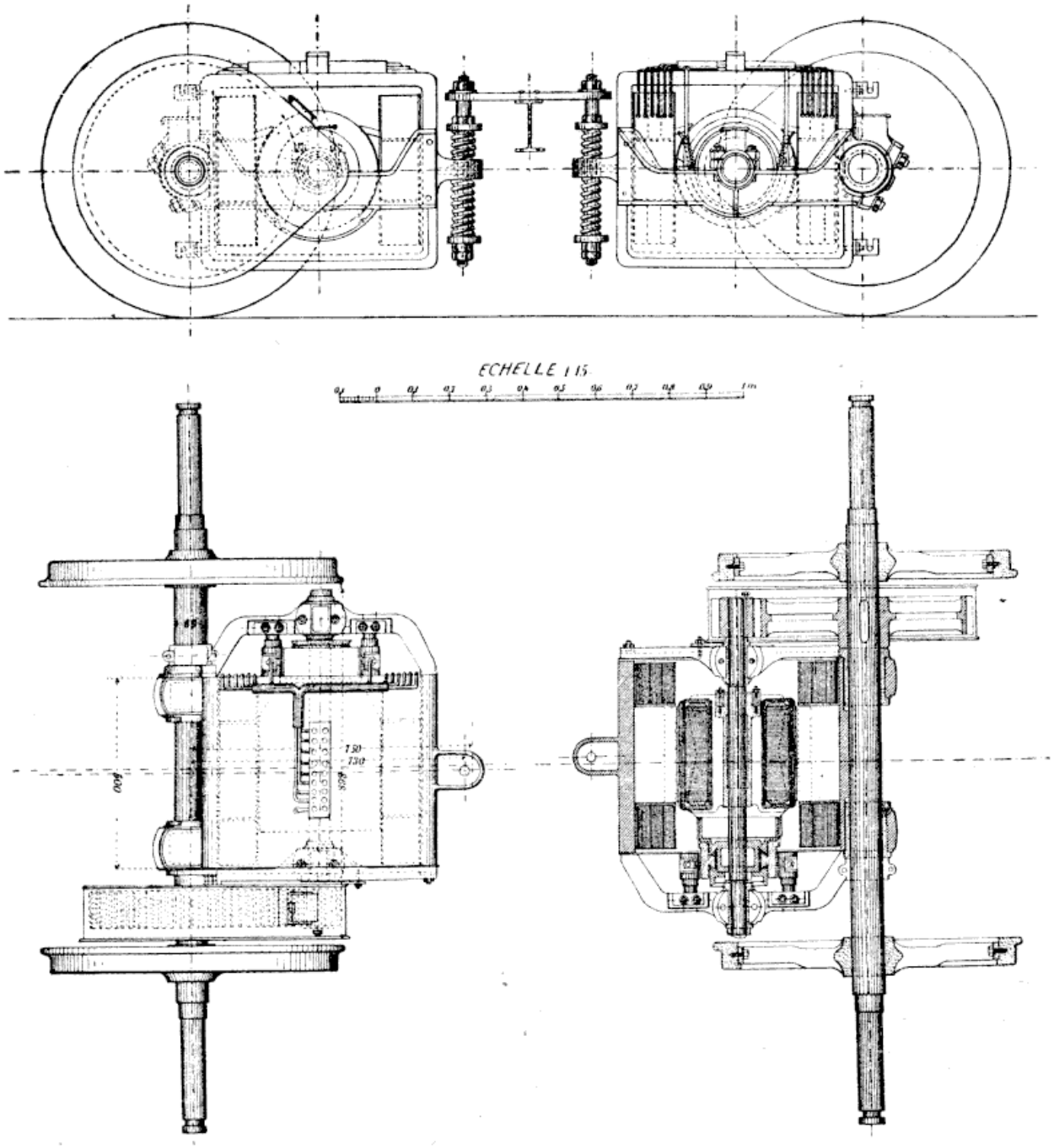


Fig. 38.

L'écartement des rails est de 1m064, celui des essieux est de 1m824 et le diamètre des roues, 837 millimètres.

Les balais sont des charbons à lumière de 18 millimètres de diamètre maintenus longitudinalement contre le collecteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

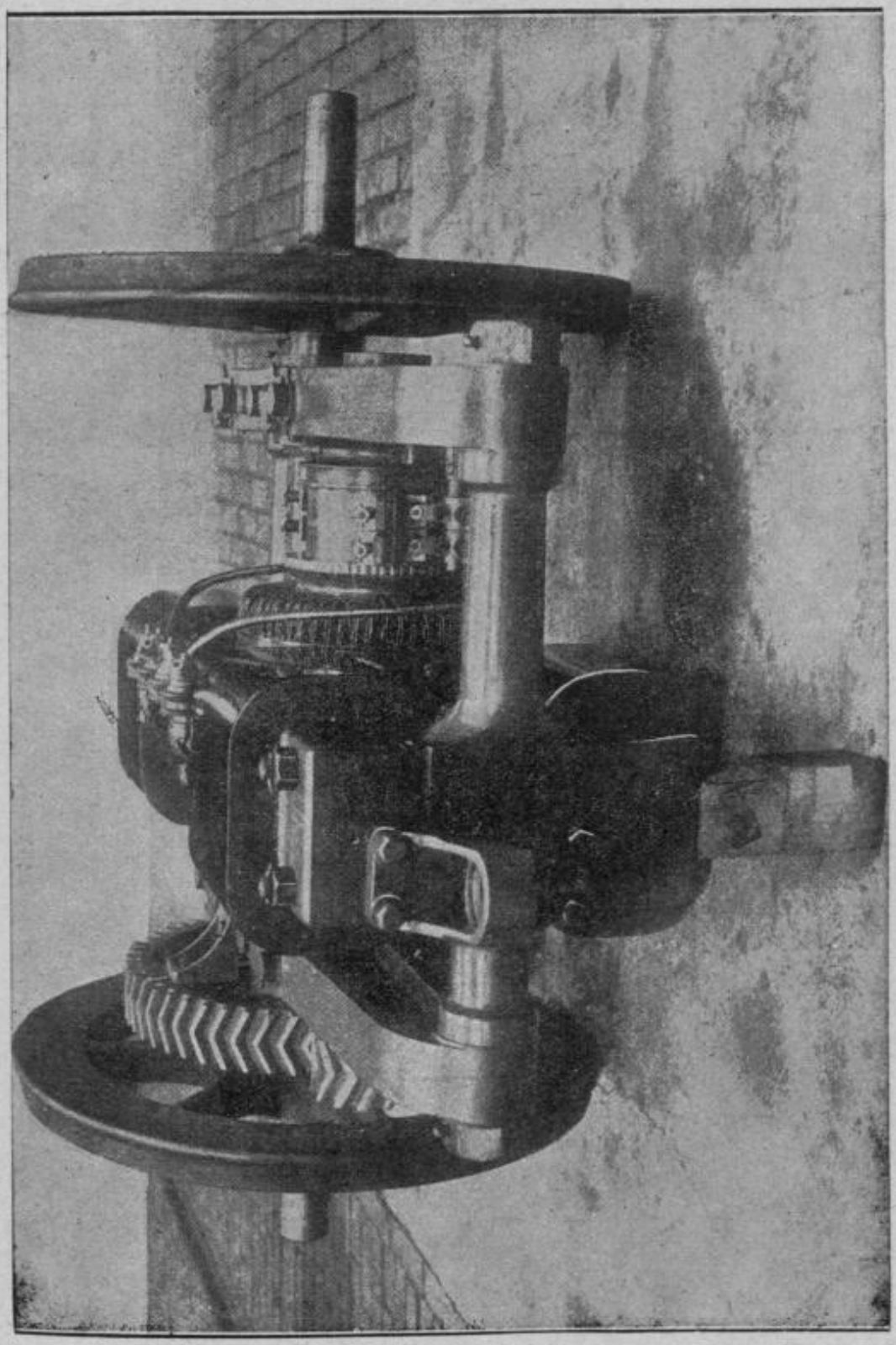


Fig. 39.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

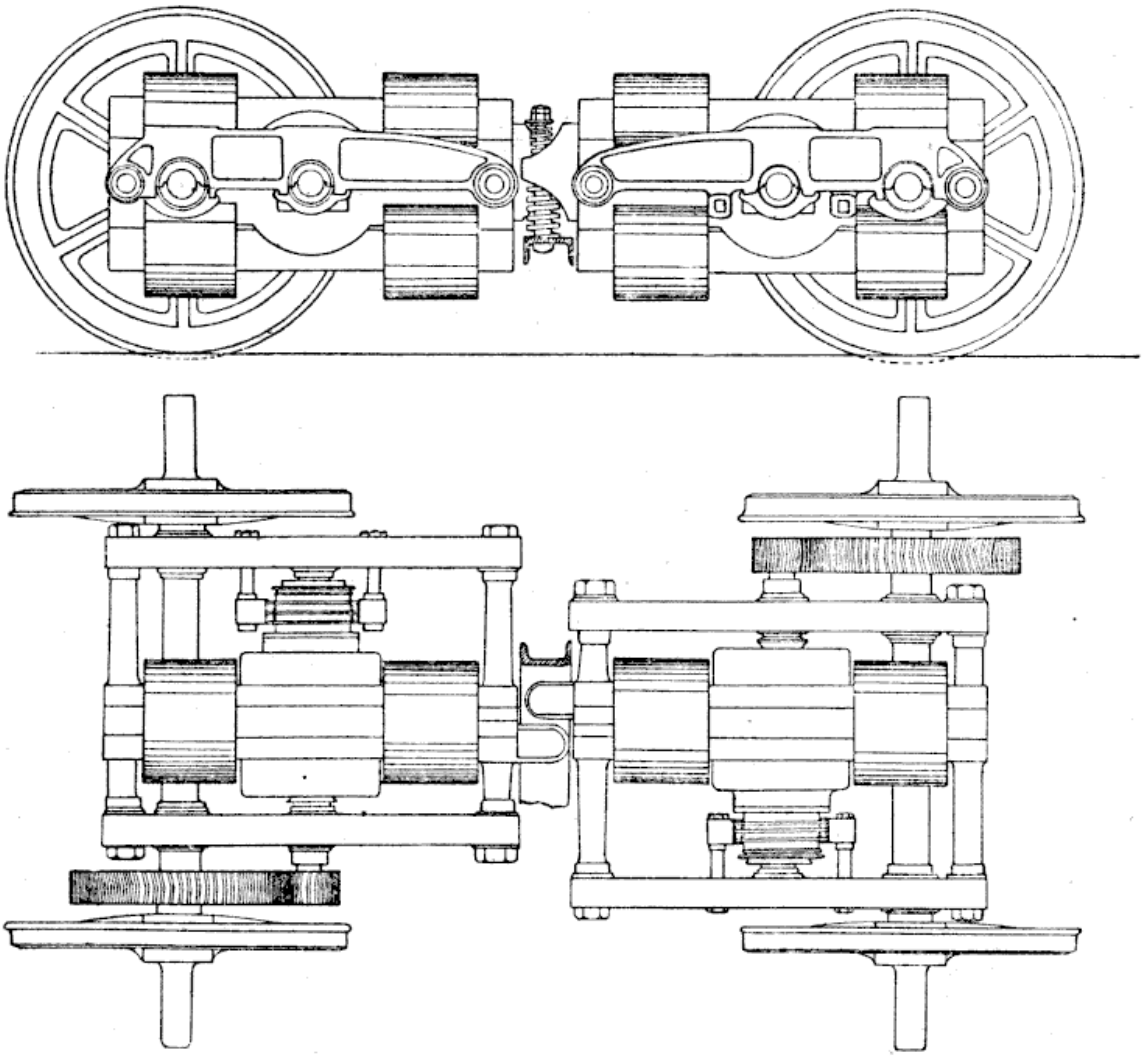


Fig. 40.

Armature :

Tambour d'un diamètre de	336	millimètres.
— d'une longueur, enroulements compris. . .	355	—
Nombre de spires	63	
— de tours par spire	8	
Section du fil nu	2.7	millimètres.

Inducteur :

Genre Siemens, formé de deux jeux de trois barres amincies au milieu :

Longueur des barres	1m064	
Hauteur aux extrémités (noyaux)	101	millimètres.
Largeur d'un jeu de trois barres	197	—
Nombre de tours de fil sur chacun des noyaux . . .	638	
Diamètre du fil nu	3.1	millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur du tramway Liége-Herstal. — La *Compagnie internationale d'électricité de Liége* a construit pour ce tramway un type de moteur cuirassé à une paire d'engrenages, dont l'inducteur bipolaire a un trait commun avec celui des moteurs Thomson-Houston : les bobines d'électro-aimant contournent l'induit sur une portion de son volume, mais au lieu d'être placées horizontalement, elles le sont verticalement.

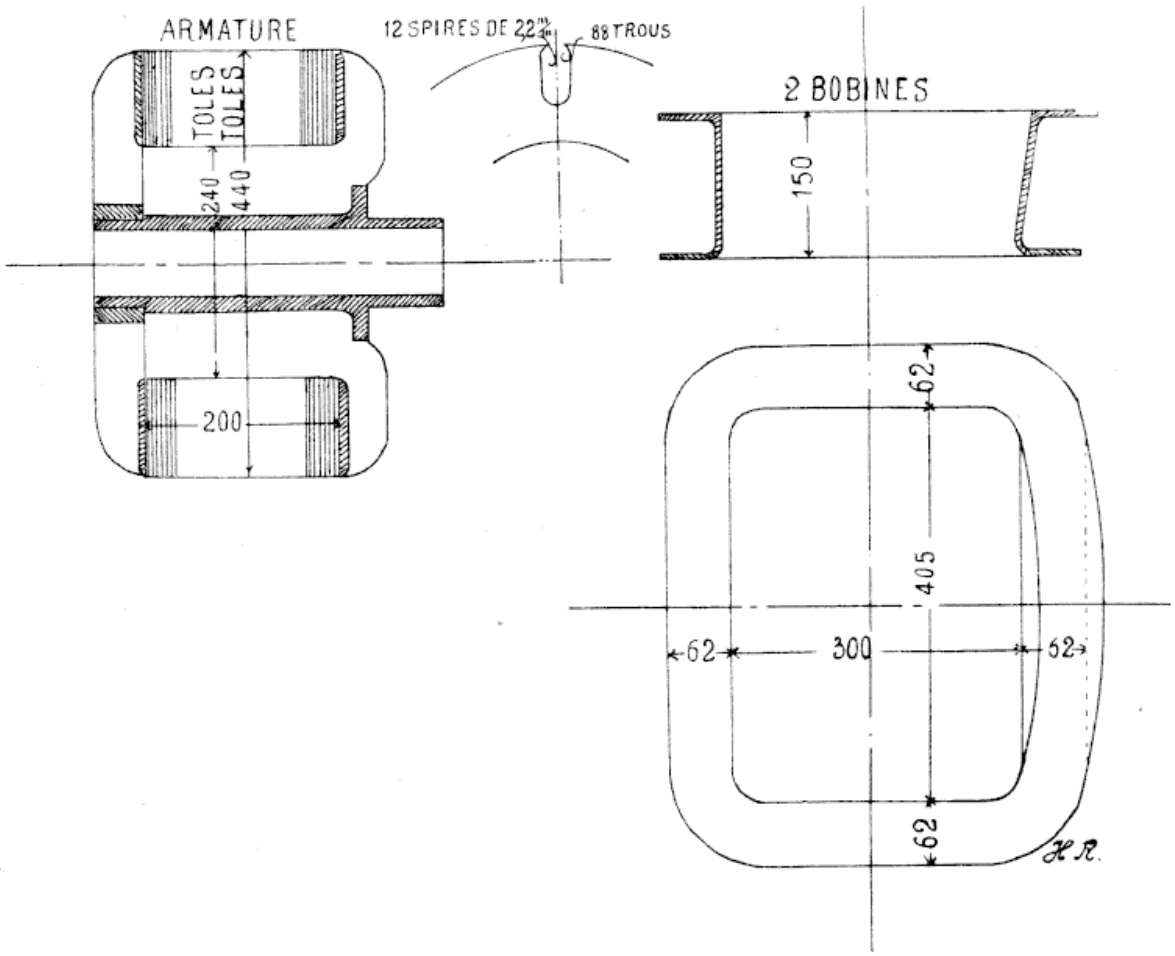


Fig. 41.

Pour une puissance de 25 H. P., l'armature en anneau est formée de tôles minces assemblées entre deux pièces de bronze à quatre bras boulonnées entre elles et dont l'une forme fourrure sur l'arbre.

Ces tôles forment un anneau de 440 millimètres de diamètre, 200 millimètres de largeur et 100 millimètres d'épaisseur. Elles portent 88 rainures ogivales où sont logées 12 spires d'un fil de 2.2 millimètres de diamètre.

Chacune des deux bobines d'inducteur est enroulée sur une forme en laiton mesurant 405 millimètres de hauteur, 30 centimètres de largeur et 150 millimètres d'épaisseur et constituée par 265 spires d'un fil de 4.4 millimètres de diamètre mesuré nu (fig. 41).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le rapport de vitesse des engrenages est 4.5 : 1, le pignon est en bronze, et la grande roue mesure 55 centimètres.

Moteur de la Société de l'industrie électrique de Genève. — Le type à une paire d'engrenages de cette société (fig. 42, 43 et 44) ne diffère pas au premier examen du type à quatre pôles Thomson-Houston, en ce sens qu'il comporte deux pôles actifs et deux conséquents, et que les deux bobines d'électro-aimant sont placées horizontalement en enveloppant une partie de l'induit. Toutefois, il s'en distingue par quelques traits intéressants.

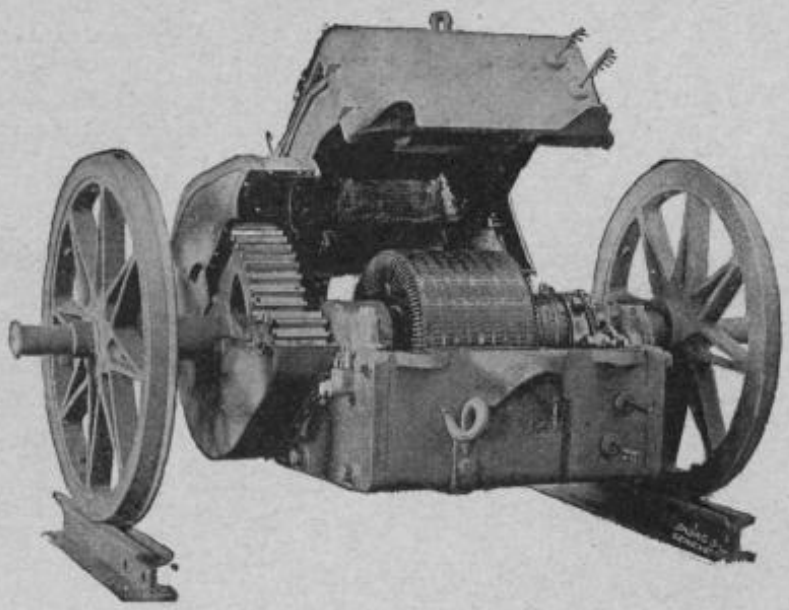


Fig. 42.

Au lieu de couvercles hermétiques s'ouvrant pour la visite, on a pratiqué deux baies latérales permettant d'inspecter collecteur et balais, baies que l'on masque au moyen d'un tissu métallique assez fin pour laisser filtrer l'air, tout en retenant la poussière. L'enveloppe des engrenages est en tôle. Les portées de l'arbre sont lubrifiées par anneaux.

L'enroulement de l'armature en anneau est pratiqué dans des rainures où sont logées des lamelles de cuivre; pour la puissance de 20 H.P., il comporte les quantités ci-aprés :

Armature :

Diamètre d'alésage	40 centimètres.
Longueur du fer	25 —
Épaisseur du fer	75 millimètres.
Nombre de sections	101
— de spires par section	8
Dimensions des lamelles nues	3 × 1.2 mill.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Inducteur :

Nombre de pôles	4
— de bobines	2
— de spires dans chaque bobine	370
Diamètre du fil nu	4 millimètres.

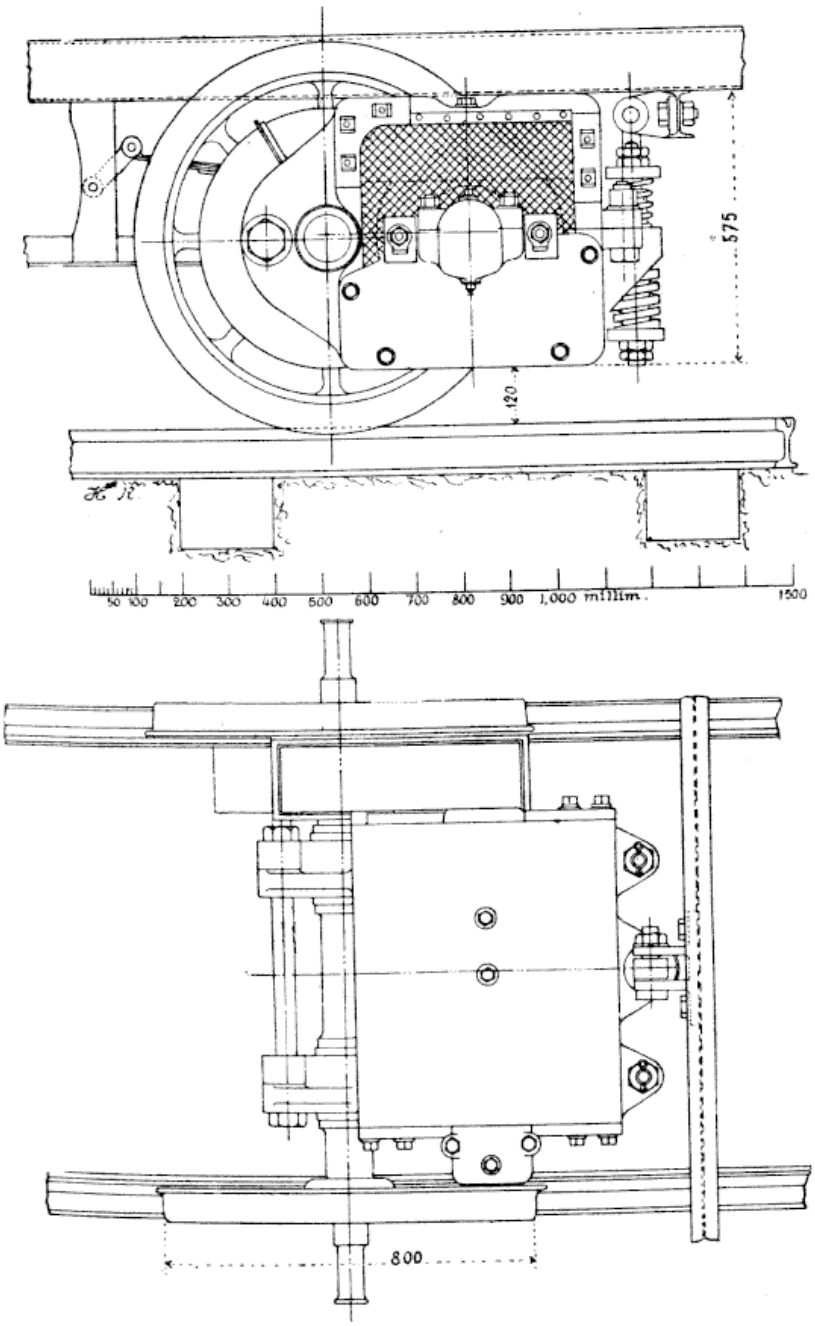


Fig. 43.

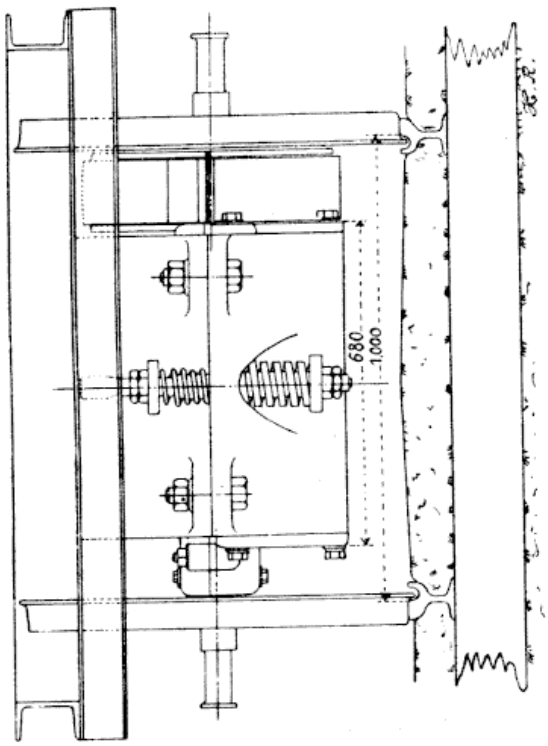


Fig. 44.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un spécimen plus récent présente quelques modifications ci-dessous relevées :

Puissance en kilowatts sur engrenage en régime normal.	15 kilowatts.
— — au maximum en coup de collier .	25 —
Poids, y compris le train d'engrenages et enveloppes .	1,020 kilogrammes.
Induit :	
Diamètre, longueur et épaisseur de l'anneau	400 × 250 × 72
Nombre de sections.	115
— de spires par section.	7
Dimensions des lamelles nues	3 × 1.6
Inducteurs :	
Nombre de pôles	4
Nombre de bobines.	2
Largeur et longueur du noyau	210 × 290
Nombre de spires par bobine.	320
Diamètre du fil nu	4.4

Moteur Siemens et Halske. — Dans le moteur à simple réduction par engrenages, la maison Siemens et Halske emploie un pignon très petit à dents fixes, donnant un rapport de vitesse de 1.68, avec 136 dents à l'engrenage.

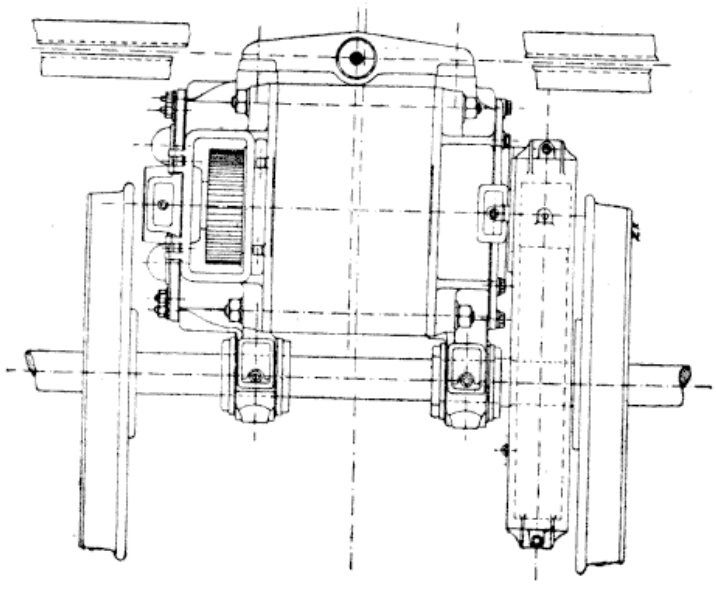


Fig. 45.

La faible saillie des dents d'engrenage exige un ajustage précis de l'entre-axe de l'arbre d'armature et de l'essieu : à cette fin, les deux paliers portant sur ce dernier renferment des bagues à circonférence extérieure excentrique, c'est-à-dire d'épaisseur décroissante dans lesquelles se fixent les coussinets, ou bien se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

coule du métal blanc. Il suffit donc de faire tourner ces bagues avant de les caler, pour arriver à un réglage parfait des engrenages.

Ce moteur ne pèse que 770 kilogrammes, y compris les engrenages et leur enveloppe. La figure 45 en montre l'aspect extérieur. (Voir aussi chap. IV-C.)

Pour une puissance moyenne de 12 H. P., l'armature présente un noyau en fer de 30 centimètres de longueur sur 272 millimètres de diamètre enroulé de 87 sections de 4 spires en lames, mesurant nues 3.5 × 1.2 millimètre.

Le champ magnétique est engendré par 4 inducteurs formés de 4 noyaux de 30 × 14 centimètres portant chacun 135 spires d'un fil de 3 millimètres (1).

Moteur Averly à simple réduction. — Au tramway de Sainte-Foy à Saint-Just, près Lyon, la maison Averly, de cette ville, a fourni des moteurs à une seule paire d'engrenages très ramassés en largeur, vu le faible écartement des rails, 75 centimètres.

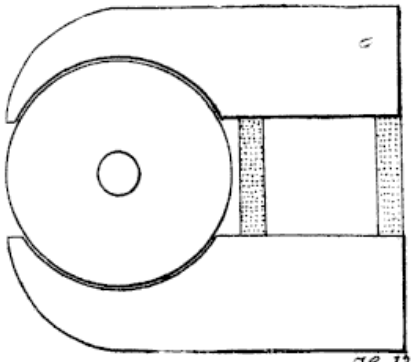


Fig. 46.

Aussi l'armature en est-elle très étroite relativement au diamètre et l'induction intense. La force électro-motrice est de 450 volts.

Armature :

Anneau. Diamètre	354	millimètres.
— Longueur	170	—
— Épaisseur	58	—
Nombre de sections	84	
— de spires par section	18	
Diamètre du fil nu	2	millimètres.

Inducteur (forme figure 46) :

Un noyau. Diamètre	17	centimètres.
— Hauteur	18	—
Nombre de spires	400	
Diamètre du fil nu	3.6	millimètres.

A chaque balai se trouvent deux charbons carrés de 2 × 2 centimètres.

(1) Voir le mode de réglage de la marche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur Walker. — Les figures 47 et 48 montrent deux modes d'application du principe de la suspension du moteur adoptée par la Compagnie Walker, de Cleveland, Ohio.

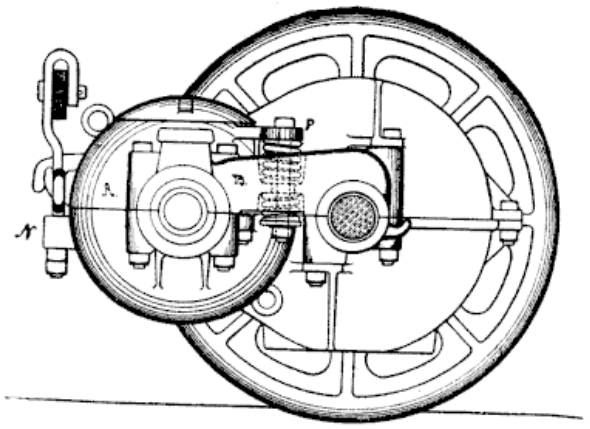


Fig. 47.

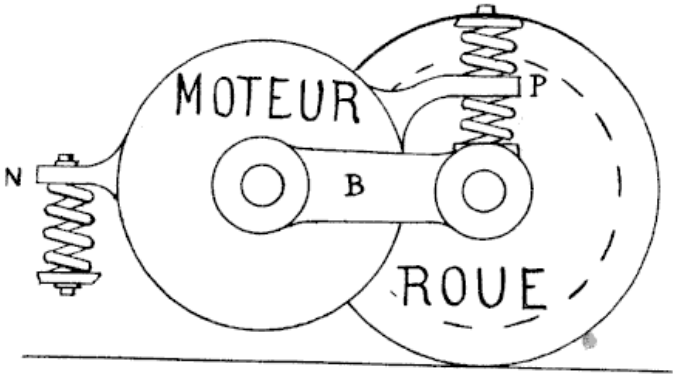


Fig. 48.

Reposer le moteur du côté de l'essieu non pas directement sur les paliers qui l'y rattachent, mais par l'intermédiaire de ressorts, tout en conservant rigoureusement constante la distance entre les axes des roues dentées, tel est le problème résolu. A cette fin, une double pièce B formant corps avec les paliers constitue deux bielles latérales au moteur et supporte les ressorts où prennent appui les pattes P venues de fonte avec la carcasse, et qui arrêtent l'oscillation de cette carcasse soutenue d'ailleurs par son nez N. Voir les proportions, figure 49.

Un des derniers dispositifs se voit extérieurement et intérieurement dans les figures 50 et 51. Aux paliers graisseurs des tourillons, la coquille Q, garnie de métal blanc et maintenue par un boulon, donne par sa base dans un vide ménagé efficacement dans le palier et par où s'échappe la graisse en excès sans atteindre les parties internes du moteur. Les portées de l'arbre sont très longues pour diminuer l'usure. Ainsi que l'indiquent les figures, ce modèle est adapté à la voie de 1 mètre.

Le type n° 3-N-800 de 20 à 25 H. P., pour tramways où le courant est d'une f. e. m. de 500 volts, présente les proportions suivantes :

Dimensions de l'armature.	320 × 164 millimètres.
Réduction de la vitesse	4.78 : 1
Nombre de segments	109
— de spires par segment	4
Diamètre du fil nu	2.28 millimètres.
Nombre d'inducteurs	4
— de tours d'une bobine	144
Diamètre du fil nu	4.57 millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur Schuckert. — Une figure du chapitre IV-C montre l'aspect et le mode de montage sur un truck à longerons inférieurs du moteur à une paire d'engrenages

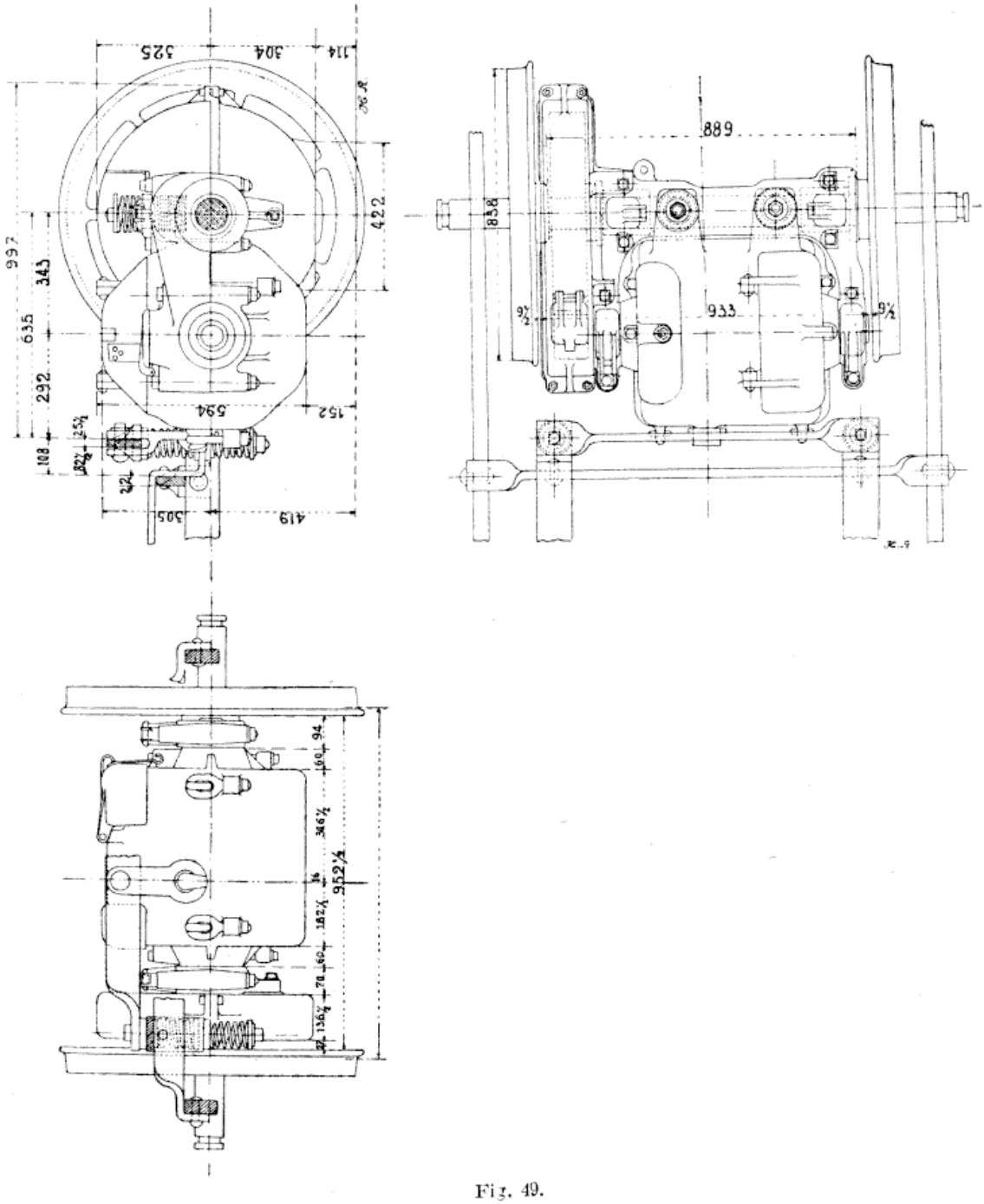


Fig. 49.

construit par la Société anonyme d'électricité de Nurenberg, anciennement Schuckert. Il est enveloppé d'une cuirasse d'acier, porte des engrenages noyés dans l'huile, dont le pignon est composé de tranches métalliques et de tranches en matière organique comprimée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

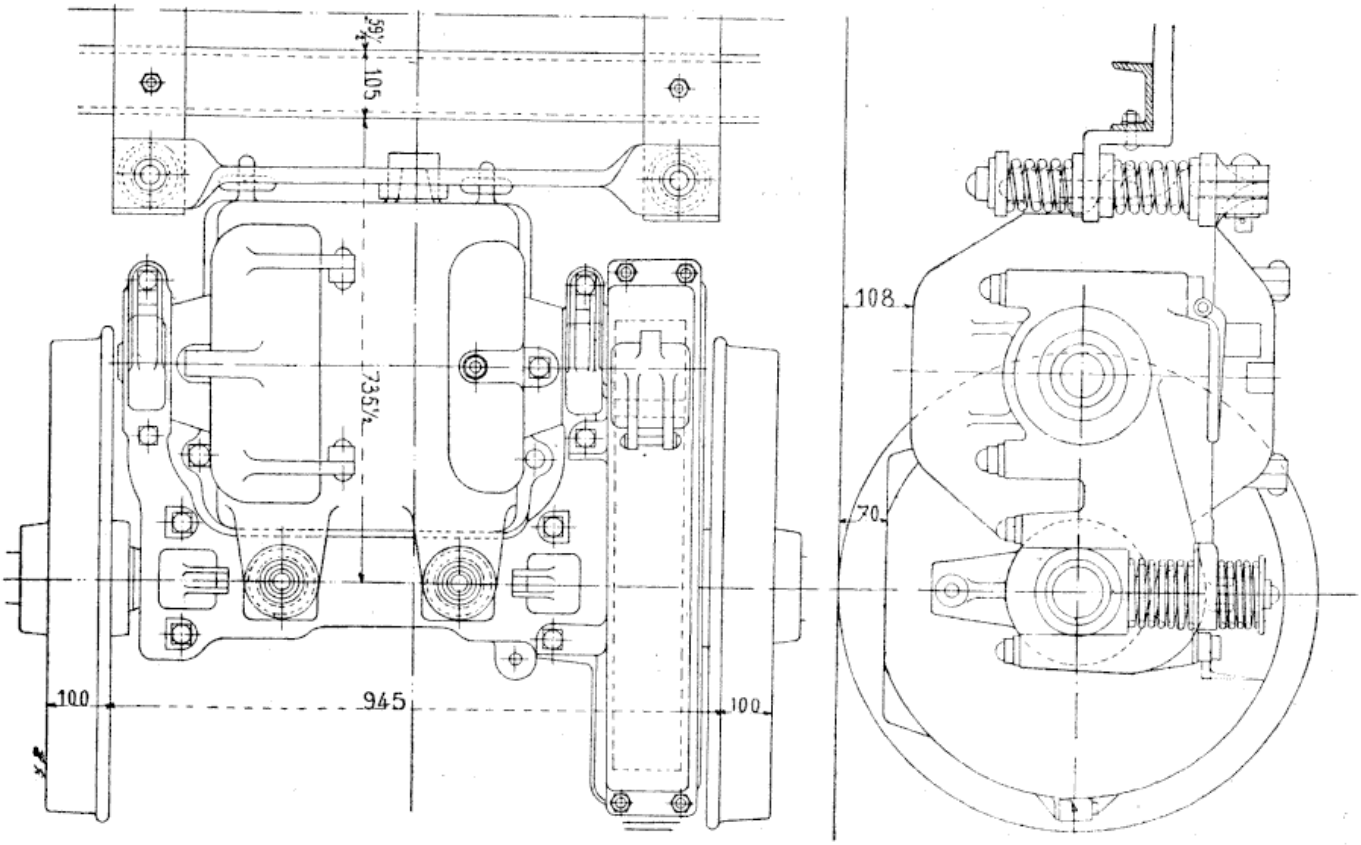
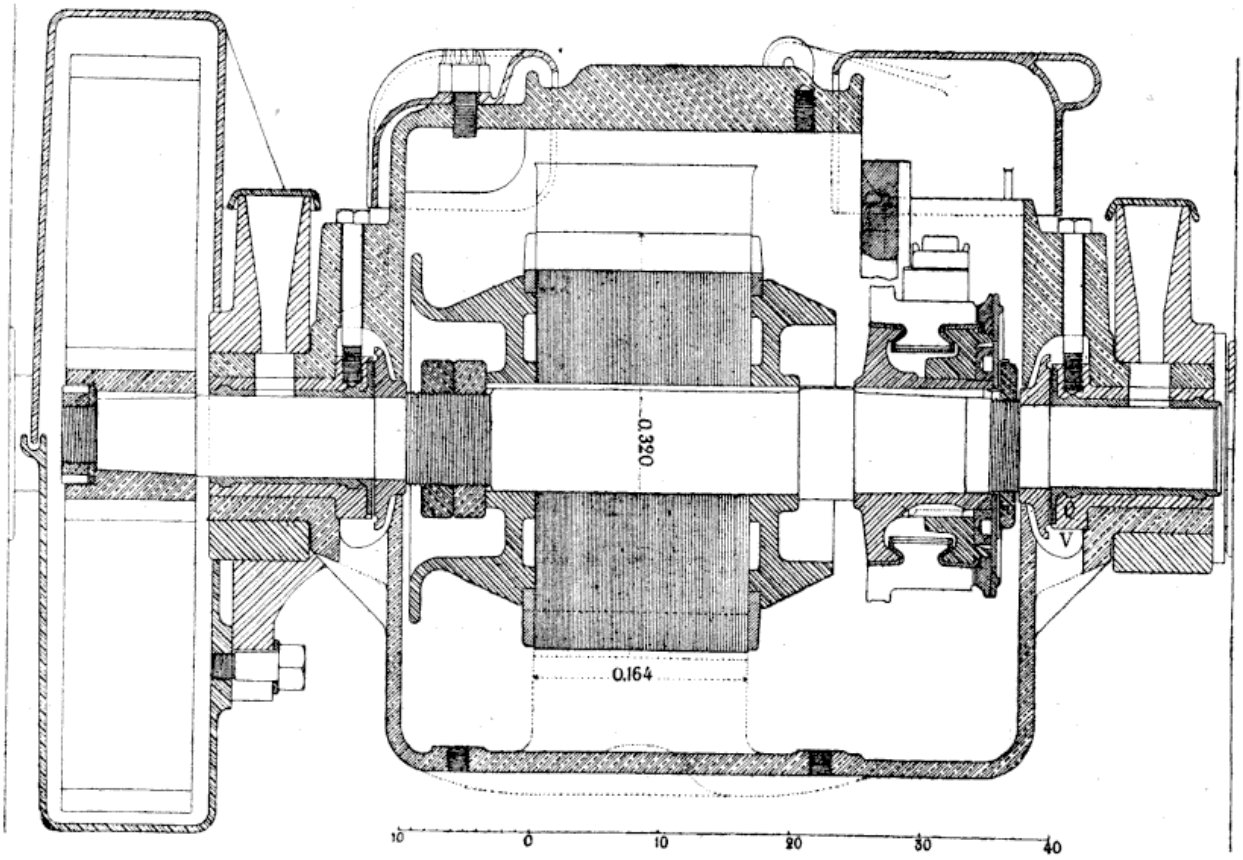


Fig. 50.



Fig, 51.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'armature (fig. 52) présente cette particularité que le diamètre de l'induit est dans certains cas plus petit que celui du collecteur, qui atteint 32 centimètres.

L'enroulement est en série et le nombre de balais est ramené à deux par le système Mordey. Pour un moteur de 12 kilowatts, l'induit est formé d'un noyau de 38 centimètres de longueur sur 25 centimètres de diamètre portant 84 sections de 4 spires d'un fil de 1.8 millimètre de diamètre.

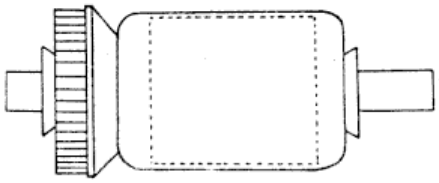


Fig. 52.

Dans certains moteurs, le système inducteur tétrapolaire est à deux bobines sur noyaux de 150 × 345 millimètres, formées chacune de 3 sections ou bobines partielles de 500 spires d'un fil de 2 millimètres pour répondre au dispositif du réglage de la marche du genre Sprague.

Dans d'autres types à marche plus lente et effort plus grand, le nombre de sections de l'induit augmente, ainsi que le diamètre de son noyau et celui du fil, en même temps que la largeur des bobines d'électro-aimant.

Récemment, la maison Schuckert a modifié la suspension de son moteur de tramway, en vue d'amortir les chocs produits sur l'essieu E (fig. 53), en faisant porter la carcasse sur un levier suspendu par une extrémité à un ressort soutenu par un prolongement de cette même carcasse.

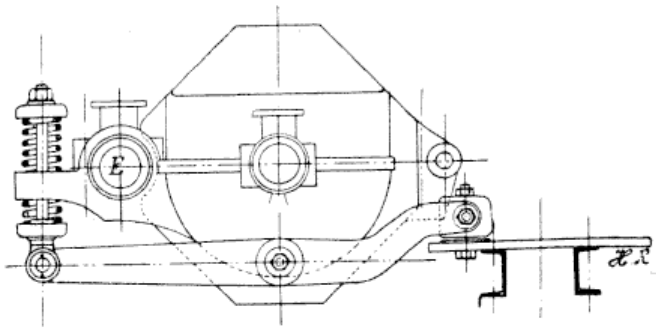


Fig. 53.

Moteur Hillairet. — Malgré le mouvement général d'opinion qui se traduit dans l'exécution en faveur de l'induction multipolaire à plusieurs bobines, la maison Hillairet-Huguet, de Paris, est revenue à la bobine inductrice unique (fig. 54) avec pôle conséquent, dans les moteurs livrés au tramway de Paris à Romainville. L'armature de 362 × 300 millimètres est enroulée de 80 sections

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 14 tours en fil de 2 millimètres. Le solénoïde inducteur est formé de 630 spires, en 14 couches, d'un fil de 4.3 millimètres.

Ce moteur fonctionne bien. On en est satisfait.

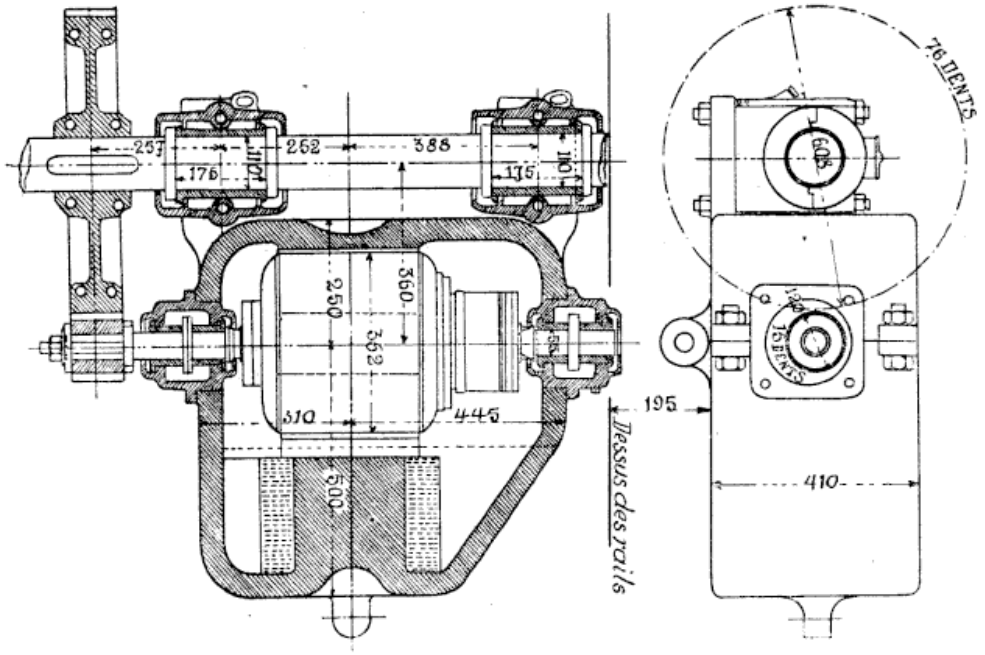


Fig. 54.

d. — *Transmissions par engrenages coniques.*

Systèmes complexes. — Ainsi que nous le verrons à propos du rendement et de l'entretien, on a contesté l'avantage de deux moteurs par voiture, tout en reconnaissant l'utilité de garder toute la charge comme poids adhérent. De là les moteurs dont l'arbre placé longitudinalement transmet son mouvement aux deux essieux.

Dans les premières locomotives Siemens, l'axe d'induit était longitudinal attaquant un train d'engrenages comprenant une paire de roues dentées coniques. L'axe longitudinal et les engrenages coniques figuraient dans un autre moteur primitif, celui que *Field* installa sur la locomotive « The Judge », en 1883, à Chicago, à l'occasion d'une exposition. Toutefois, à partir des roues d'angle, la transmission entre le contre-arbre et l'essieu moteur se continuait par poulies et courroies symétriques.

L'une des solutions de l'espèce, celle de *Rae*, était à double réduction, c'est-à-dire que l'induit attaquait d'abord par pignon et engrenage droit un arbre intermédiaire parallèle au sien et portant les pignons coniques attaquant les deux essieux. Mais ce système constituait un ensemble trop rigide ne convenant qu'à des voies exceptionnellement bien dressées.

Le système *Johnson Lundell*, également à double transmission au lieu d'engrenages droits, recourt à la chaîne pour attaquer l'arbre intermédiaire longitudinal

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et présente d'ingénieuses dispositions pour assurer la liberté relative des organes : cet arbre est, en effet, constitué par deux pièces manchonnées l'une sur l'autre et allant respectivement aux deux pignons coniques qui sont, comme les engrenages d'essieux, plongés dans des boîtes à l'huile formant enveloppes. Au surplus, chacune de ces boîtes-enveloppes remplit une autre fonction : elle forme, avec la crapaudine du pignon, un ensemble monté sur des pivots verticaux faisant corps au-dessus et au-dessous avec le coussinet du palier portant sur l'essieu. Les pignons ont 15 dents, leurs roues 54, les roues de la chaîne, d'égal diamètre entre elles, ont 17 dents et la chaîne 32 maillons ; elle est noyée dans l'huile. Enfin, en vue d'éviter les chocs au démarrage ou dans les arrêts brusques, la première roue dentée attaquant cette chaîne n'est pas directement calée sur l'arbre de l'induit, mais bien sur un manchon à plateau passé sur cet arbre ; ce premier plateau est pressé contre un second qui est calé sur l'arbre, et cette pression vient d'un ressort spiral tourné concentriquement autour de l'axe de l'induit et appuyé contre un fort boulon également concentrique et vissé sur cet axe.

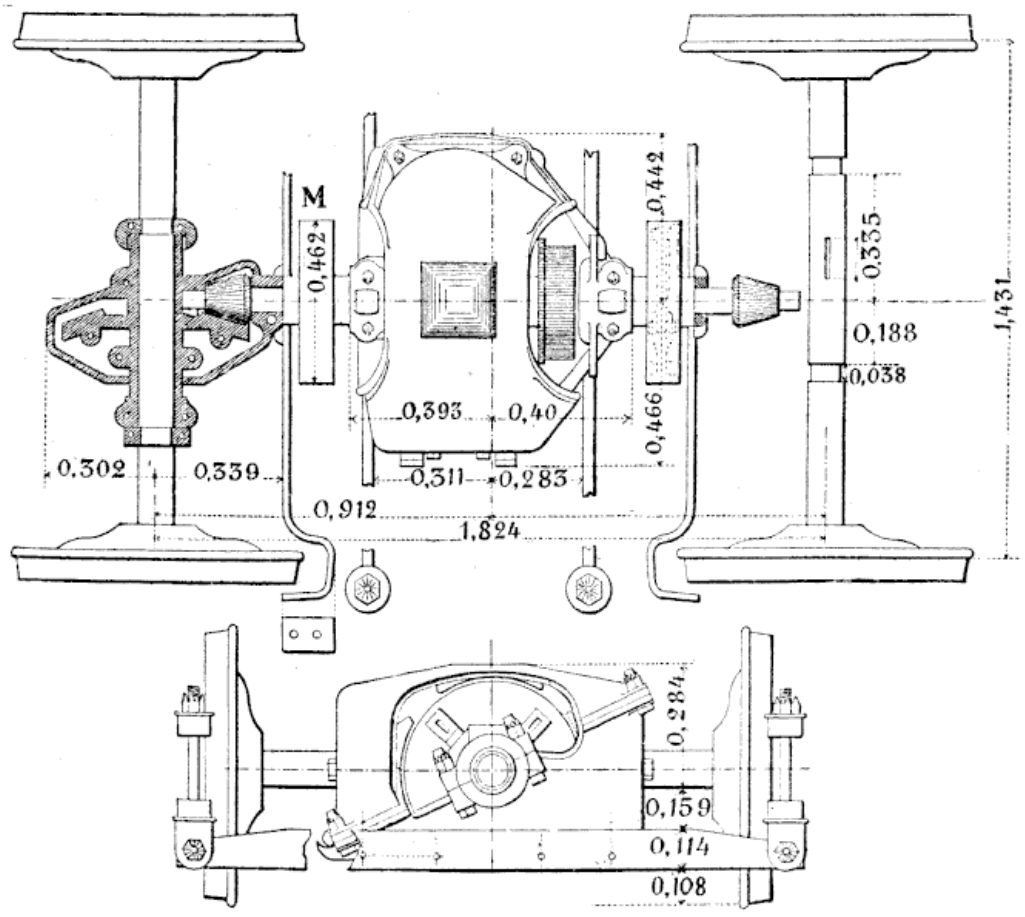


Fig. 55.

Moteur Sperry. — Ce système à simple réduction est représenté figure 55. Il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est partagé en trois parties, l'électro-moteur fixé par ressorts au châssis de la voiture et les deux trains de roues dentées coniques solidement établis chacun sur un essieu par un long palier, et soutenu avec son enveloppe à l'huile et la crapaudine du pignon, au moyen d'une traverse reposant sur les boîtes à graisse des fusées extrêmes. Entre ces trois parties, la jonction s'opère par deux embrayages élastiques M.

Le moteur seul, qui est tétrapolaire à deux bobines avec enroulement série et connexions Mordey, ramenant le courant à deux balais, pèse 896 kilogrammes sans les transmissions; son armature en anneau denté pèse 303 kilogrammes; la partie supérieure de la carcasse, 147; l'inférieure, 200; une bobine, 57; un pignon, 7.7; son axe, 7.3; l'enveloppe des roues dentées, 109. Le pignon à 12 dents et la roue 45, avec des diamètres primitifs de 143 et de 544 millimètres, ce qui répond à une réduction de vitesse de 3.75 : 1. Puissance nominale, 40 H. P.

Moteur des Detroit Electrical Works. — Dans ce moteur, également à simple réduction, l'élasticité des transmissions est assurée en adaptant chaque train d'engrenages coniques à un manchon flottant sur l'essieu (fig. 56), et suspendu par des ressorts à des supports calés près des roues. Le moteur lui-même s'appuie partiellement sur ces manchons, bien que soutenu en même temps par des traverses suspendues par des ressorts au châssis de la voiture.

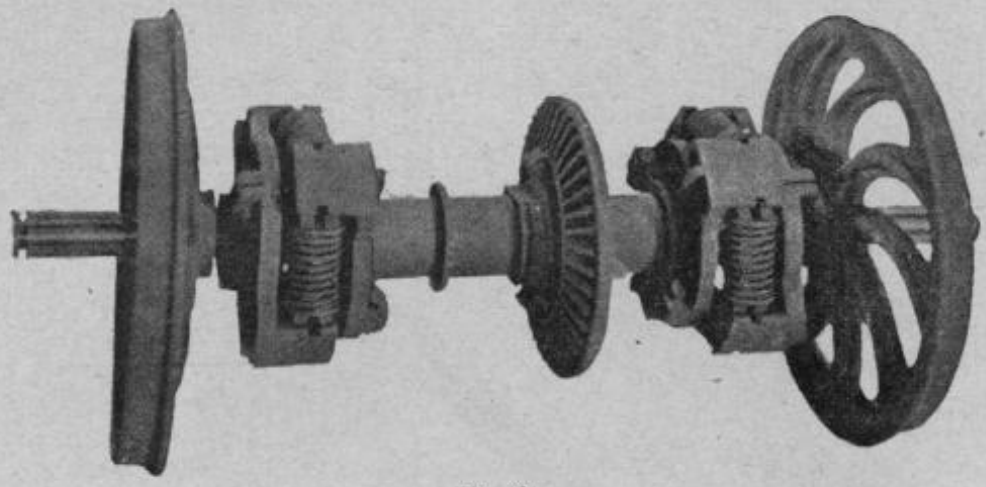


Fig. 56.

Moteur Sylvey. — En lui-même, le moteur Sylvey n'est pas nécessairement conçu pour la transmission à angle droit par engrenages coniques; mais c'est dans ces conditions qu'il fut utilisé en 1893 à Dayton, Ohio, en même temps que le système d'accumulateurs du même nom. (Voir chapitre VI.)

On voit sur les figures 57 et 58 qu'il comporte un induit en anneau plat tournant entre deux couronnes de pôles successivement de noms contraires.

L'armature est formée d'un centre à cinq bras venus de fonte avec une jante en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bronze sur laquelle est enroulé un long ruban de fer doux formant, après alésage, un anneau d'un diamètre extérieur de 60 centimètres, extérieur 405 millimètres et de 95 millimètres d'épaisseur. Des rainures rayonnantes y sont pratiquées au nombre de 120; elles mesurent en largeur 14 millimètres et en profondeur 10 millimètres. Chacune de ces rainures contient deux sections d'enroulement, et chaque section 8 spires d'un fil de 1.63 millimètre de diamètre,

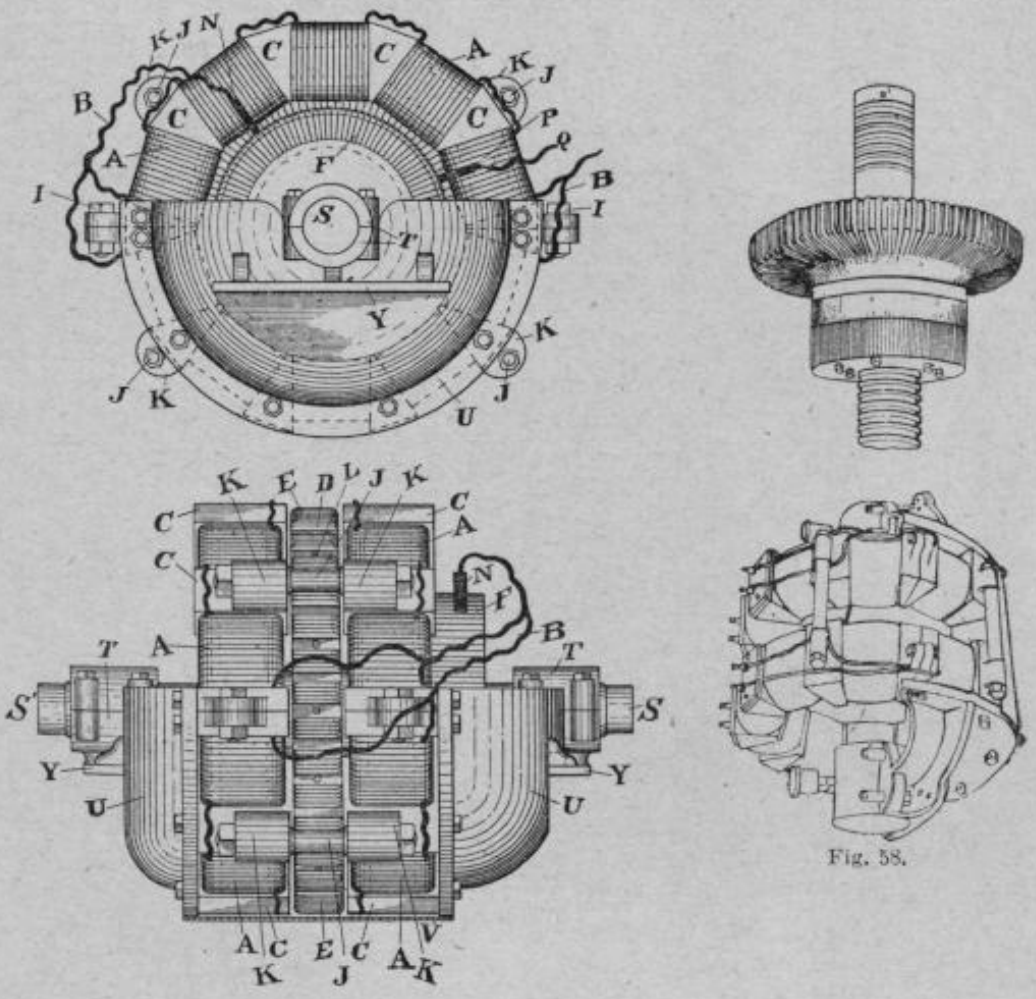


Fig. 57.

Fig. 58.

non compris la guipure. Le diamètre extérieur de l'induit enroulé atteint 608 millimètres. On a disposé l'enroulement pour n'aboutir qu'à deux balais NQ. Le collecteur a 240 lames. — L'inducteur comprend deux couronnes, en acier fondu, formées chacune de dix noyaux de bobines A et d'autant de saillies polaires C. Les noyaux sont des cylindres droits dont la base à coins arrondis mesure 97 millimètres de largeur, 95 millimètres d'épaisseur et 139 millimètres de longueur et sur lesquels est enroulé un fil de 2.59 millimètres de diamètre, faisant 320 tours par bobine, soit 6,400 pour tout le système inducteur. Toutefois, le courant s'y subdivise d'abord en deux, un circuit par couronne, lequel, à son

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tour, se partage dans les deux moitiés de haut et de bas Les saillies polaires C, en forme de coins, ont à la périphérie une base rectangulaire de 142 × 101 millimètres; le triangle latéral a une hauteur de 127 millimètres. Pour assembler les deux couronnes de l'inducteur, des boulons passent dans des œillets K, venus de fonte avec ces pièces. Elles sont ensuite boulonnées à deux coquilles U qui portent les paliers TY dont les bases Y sont destinées à supporter toute la machine.

On voit sur l'arbre, dans la figure perspective 58, des rainures circulaires assez larges dont voici l'objet : lorsque cet arbre est en place en SS', on coule du métal blanc qui s'interpose entre lui et le palier et, formant saillies dans les rainures, maintient l'armature en position.

Cette machine travaille à la puissance de 40 H.P. avec satisfaction. Elle est montée, l'axe placé longitudinalement, sur des traverses fixées au châssis du truck, et attaque les trains de roues dentées coniques par l'intermédiaire d'embrayages élastiques dans le genre de la transmission Sperry, ci-dessus décrite. Le poids propre du moteur, sans les transmissions, est de 600 kilogrammes; avec les transmissions, les enveloppes d'engrenages et les embrayages élastiques, 900 kilogrammes.

e. — *Transmission par chaîne.*

Avant d'adopter le mode de suspension actuel du moteur reposant partiellement sur l'essieu moyennant paliers et coussinets, on avait rationnellement fait usage de la chaîne, ainsi qu'on l'a vu au commencement de ce chapitre.

Cet organe avait dès 1884 reçu des formes simples conçues dans des ordres d'idées distincts.

Ainsi, la chaîne Galle employée au chemin de fer de Besbrook à Newry, en Irlande, avait fait l'objet d'études et d'essais suivis de la part de *M. Hopkinson*, avant de prendre sa forme définitive représentée figure 60. Sur deux flasques intérieures sont soudées deux douilles, dans lesquelles passent deux axes rivés respectivement à des flasques extérieures. Les chaînons successifs pivotent l'un sur l'autre et non dans les creux de la roue dentée.

Les surfaces frottantes, dressées l'une sur l'autre, sont bien abritées contre la poussière, n'étant en relation avec l'extérieur que par une lumière de graissage.

Il s'agit donc ici d'une chaîne ajustée avec soin et de longue durée.

Au contraire, à Blackpool, tout en gardant le principe du pivotement de l'axe d'un chaînon, dans une douille appartenant au suivant, on s'est ingénié et l'on est parvenu à fondre tout le chaînon d'une seule pièce (fig. 59) en fonte malléable; mais la douille en forme de crochet n'enveloppe pas complétement le pivot, dont le diamètre est de 11 millimètres et la longueur 50 millimètres. Entre-axe, 45 millimètres. Son prix moins élevé que celui d'une chaîne ajustée compense sa plus courte durée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis 1884 jusqu'en 1894, ce type de chaîne a fonctionné d'une manière satisfaisante sur toutes les voitures de Blackpool et depuis lors sur celles qui ont gardé le moteur de genre primitif. Sur ceux-ci, elle a 3 mètres de longueur, coûte 25 francs et dure quatre mois.

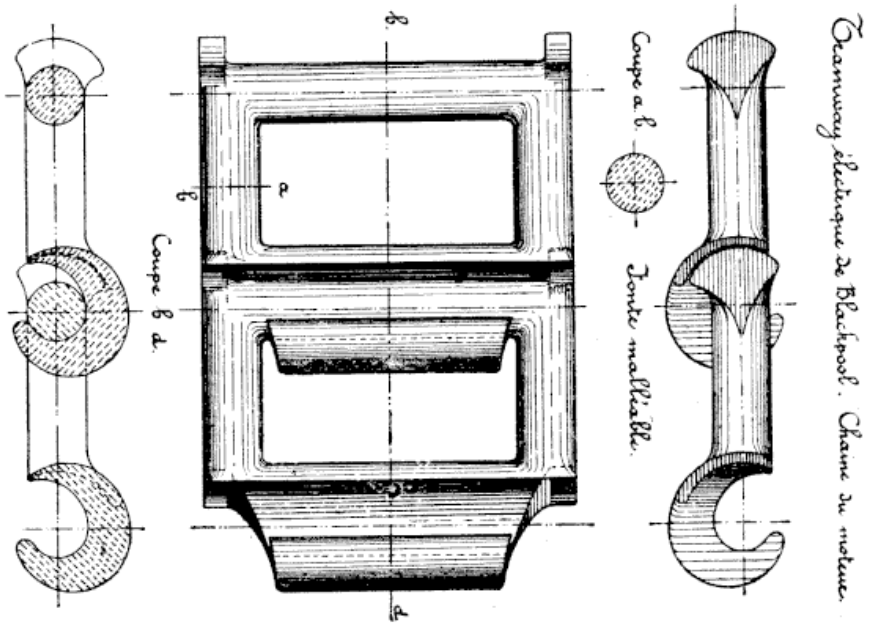


Fig. 59.

Moteurs Siemens à chaînes. — Nous retrouvons la chaîne (fig. 60) employée par la maison Siemens et Halske avec certains moteurs fixés au châssis de la voiture. On en voit un exemple, chapitre IV, sur la voiture du tramway de Barmen-Heckinghausen. Il s'y trouve deux chaînes partant de deux pignons calés sur un même prolongement de l'axe de l'induit, et attaquant chacune un essieu. Elles sont noyées dans l'huile, maintenue par des enveloppes en tôle. Les dimensions du chaînon sont les suivantes :

Diamètre intérieur d'une douille	10 millimètres.
— extérieur —	15 —
Longueur	45 —
Écartement d'axe en axe des douilles	35 —
Épaisseur des flasques	7 —
Longueur	63 —

Le diamètre de la petite et de la grande roue dentée sont entre eux comme 1 : 3.7.

Lorsqu'il s'agit de lignes sans inclinaison, comme à Budapest, un seul essieu moteur est attaqué par la chaîne, et les voitures construites pour cette ville entre 1889 et 1892 présentaient le dispositif à double réduction : partant de l'axe de l'induit, une première chaîne agissait sur un arbre intermédiaire d'où le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouvement était transmis à l'essieu moteur par une deuxième chaine de force double ou plutôt dédoublée.

La réduction totale de vitesse est de 4.32 : 1 pour des roues de 60 centimètres.

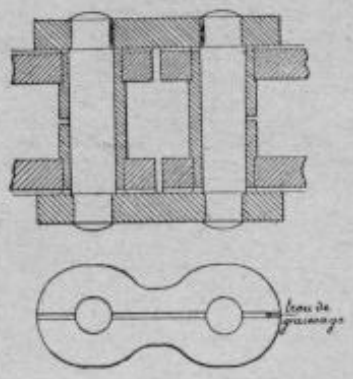


Fig. 60.

Dans ces voitures, l'électro-moteur s'appuie directement sur les deux essieux, moyennant deux paliers sur l'essieu moteur et un palier sur l'autre essieu. Ces paliers appartiennent à des prolongements des supports du moteur que soutiennent des tampons en caoutchouc et qui est protégé contre la poussière par une sorte de caisson. L'ensemble (fig. 61) constitue une sorte de truck indépendant

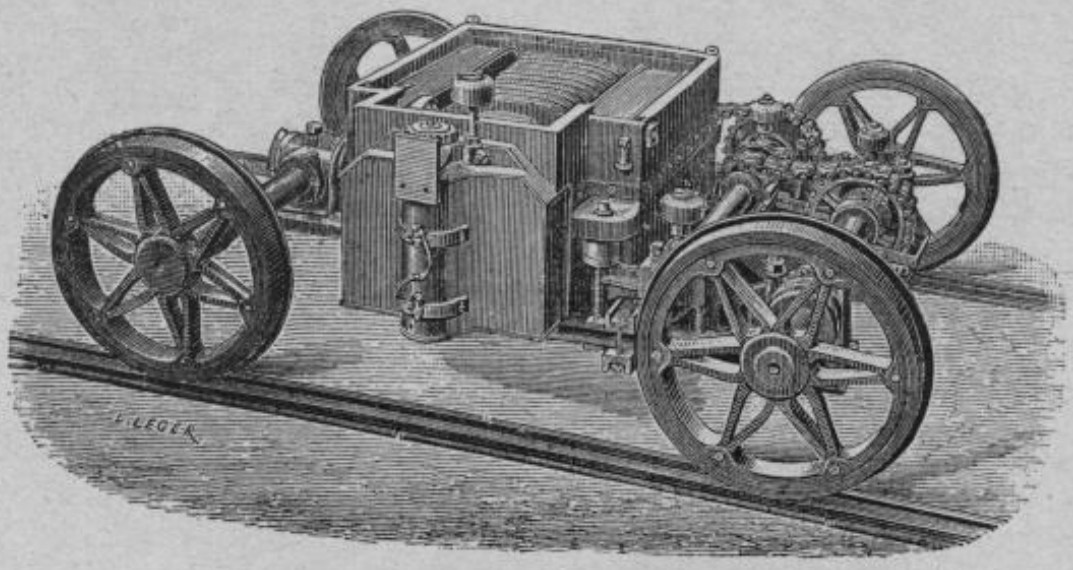


Fig. 61.

du châssis de la caisse. Bien que les chaînes apparaissent nues sur la figure (1), en réalité elles baignent dans l'huile dans des enveloppes métalliques. Entre ces enveloppes et chacun des axes qui les traversent, joue à frottement doux une rondelle en bois ou en fibre s'opposant aux projections d'huile.

(1) Reproduite d'après la *Lumière électrique*, 1891.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On épargne le graissage et l'usure des coussinets des trois paliers spéciaux susdits, dans la construction plus récente où le moteur attaque un ou deux essieux (généralement les deux afin de pouvoir remorquer une seconde voiture sans patinage) par une simple réduction de la vitesse. C'est alors une portion du châssis de la voiture qui soutient l'électro-moteur reposant sur une traverse, ainsi que le montre une figure du chapitre IV-C, par l'intermédiaire de tampons en caoutchouc.

Le type à double réduction, avec le contre-arbre, ses chaînes et leurs roues dentées, ainsi que ses supports à paliers, pèse 1,400 kilogrammes, plus 200 kilogrammes pour les régulateurs de marche et le trolley.

A simple réduction, avec deux chaînes, une par essieu, ce poids descend de 200 kilogrammes, mais le truck de la voiture est un peu renforcé pour soutenir le moteur et maintenir l'écartement entre l'axe de son induit et ceux des essieux (1).

Dans ces deux types de moteurs à chaînes, les induits sont enroulés en tambour et mesurent en longueur 50 centimètres, en diamètre 36 à 37 centimètres.

L'induction bipolaire est produite par des inducteurs du type Siemens à barreaux multiples partagés en deux séries et dont les extrémités forment les noyaux des bobines de l'excitation.

Leurs enroulements présentent les relations suivantes :

	Type à double réduction.	Type à simple réduction.
Force électro-motrice sur la ligne.	300 volts.	500 volts.
Puissance en chevaux.	16	20
Armature :		
Nombre de sections	56	44
— de spires par section	8	8
Section du fil nu	Diamètre : 3 millimètres	Rectang. : 4.5 × 1 mill.
Inducteur :		
Section transversale du fer d'un noyau.	54 centimètres carrés.	62 centimètres carrés.
Dimensions externes de l'enroulement en coupe à travers les spires	11.5 × 6.5 centimètres.	11.5 × 6.5 centimètres.
Nombre de spires pour les quatre bobines.	492	728
Section du fil nu	Diam. : 6.5 millimètres.	Diam. : 6 millimètres.
Longueur de la ligne de force	82 centimètres.	82 centimètres.

Moteur à chaînes de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. — On trouvera au chapitre II (*Troisième rail*), une description complète de la locomotive électrique en service sur l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près Saint-Étienne. Cet engin, marchant à la vitesse de 6 à 10 kilomètres, est mû

(1) Consulter le mode de réglage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par un moteur dont l'armature tournant à 720 tours attaque par un pignon en bronze une roue dentée à chevron calée sur un arbre intermédiaire qui commande par chaînes Galle les deux essieux.

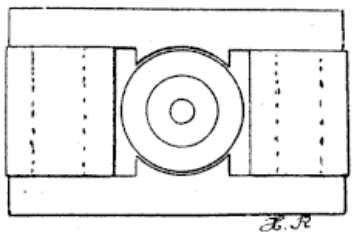


Fig. 62.

L'électro-moteur est du type bipolaire Hillairet-Huguet de 25 kilowatts excité en série (fig. 62).

Armature :

Induit en anneau.		
Diamètre du noyau en fer.	36	centimètres.
Longueur —	30	—
Épaisseur —	8	—
Nombre de sections.	100	
— de spires total.	840	
Diamètre du fil nu	2 fils de 2.2 millimètres réunis en quantité.	

Inducteurs :

Nombre de bobines.	2	
Diamètre de chaque noyau	21	centimètres.
Hauteur —	39	—
Nombre de spires enroulées	342	
Diamètre du fil nu	6	millimètres.

f. — *Transmission par vis.*

Moteurs Reckenzaun. — Dès 1883, feu A. Reckenzaun, sur les voitures à accumulateurs qu'il étudia pour l'*Electrical Storage Company* de Londres, installa des moteurs à vis. La figure 63 montre un dispositif de montage, étudié par cet électricien et tiré de son livre *Electric Traction.* — Il y préconise la vis à plusieurs filets que montrent les figures 64 et 65 avec les proportions suivantes : Diamètre primitif, 152.4 millimètres; longueur, 152.4 millimètres; trois filets d'un pas de 152.4 millimètres; roue de 388 millimètres de diamètre, de 88 millimètres de largeur, à 24 dents. Rapport des vitesses, 8 : 1. La vis en acier poli et la roue en bronze se meuvent dans une boîte remplie d'huile.

A l'exposition de Francfort de 1891 se trouvait exposée et en service, une voiture à accumulateurs de la Maschinenfabrik d'Oerlikon, munie d'un moteur à vis où le rapport des vitesses était 12 : 1. Cette firme avait fait étudier par M. Reckenzaun des moteurs de même genre, pour le tramway électrique de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Marseille, où l'effort à réaliser exigea un rapport de réduction de 14 : 1 avec deux filets seulement, au lieu de trois, conditions moins favorables au rendement. Bien que fonctionnant convenablement au point de vue de la transmission, ces moteurs furent remplacés par d'autres plus puissants à engrenages.

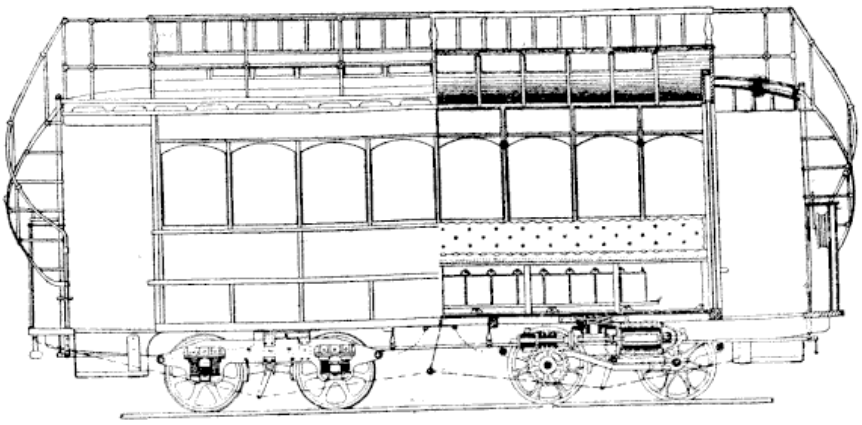


Fig. 63.

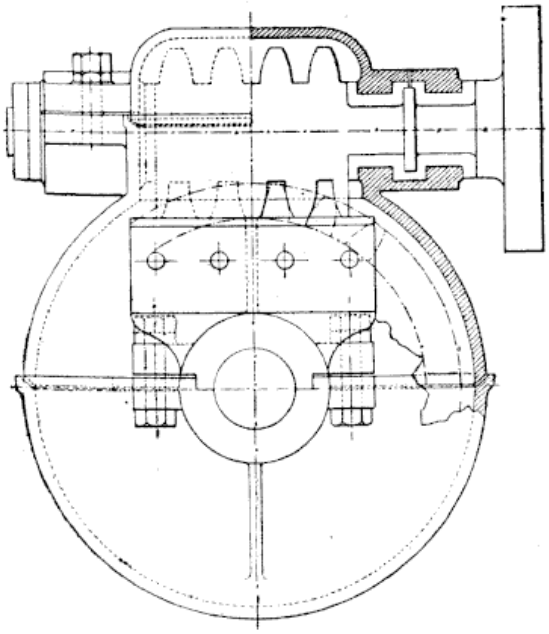


Fig. 64.

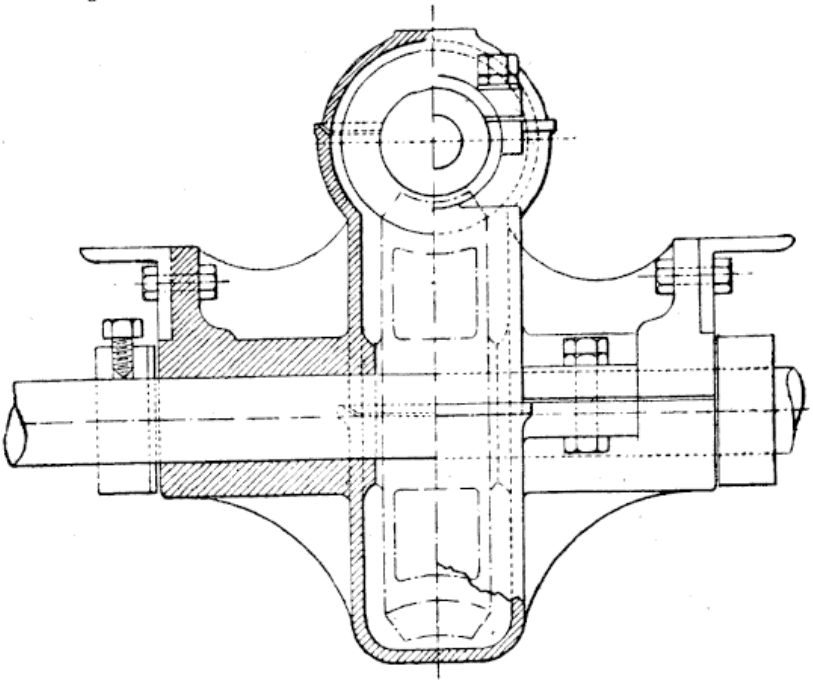


Fig. 65.

Moteur Pendleton. — La figure 66 représente un procédé d'attaque des deux essieux par un seul moteur à vis. M. Pendleton, dit M. Martin, avait proposé ce système comme propre à être installé directement sur les voitures ordinaires de tramways à chevaux, sans transformation ni renforcement du châssis. Des ressorts R, assez forts pour transmettre le torque du moteur, laissaient aux essieux un jeu relatif suffisant; des bielles B s'opposaient à un déplacement exagéré du moteur dans le sens longitudinal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

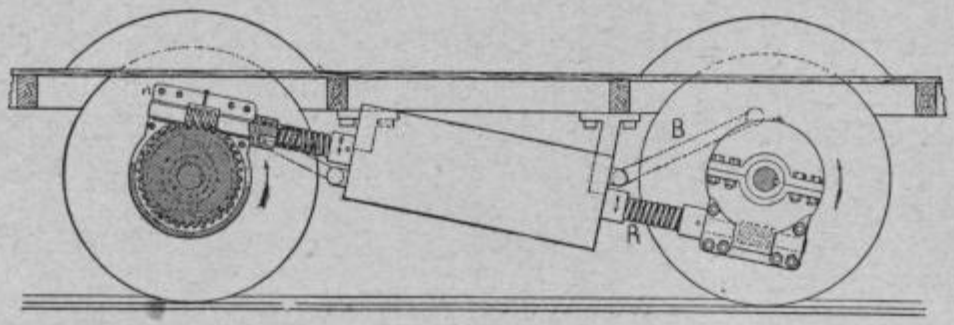


Fig. 66.

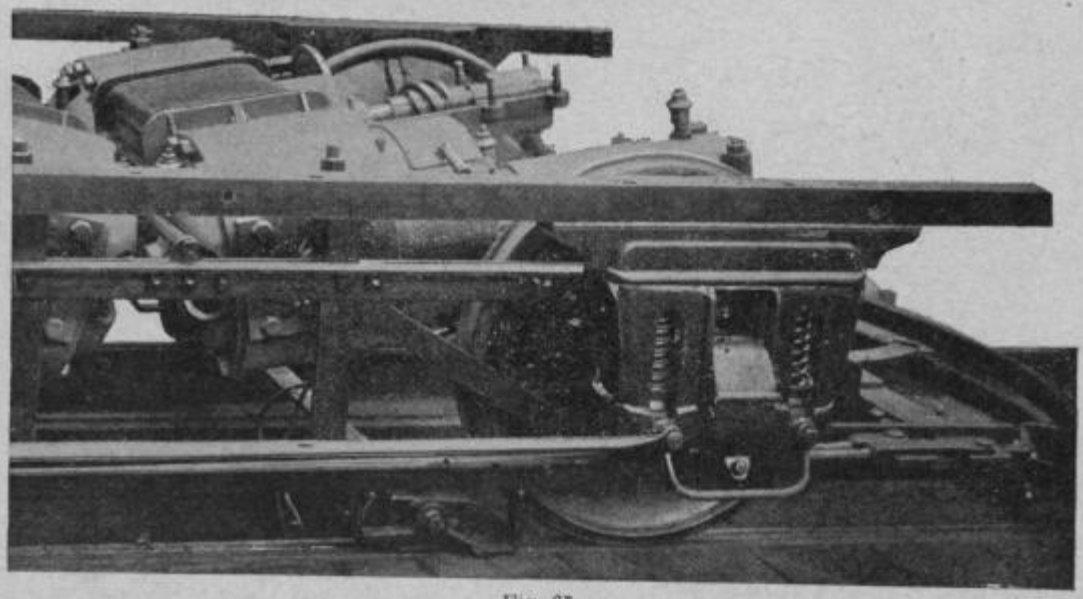


Fig. 67.

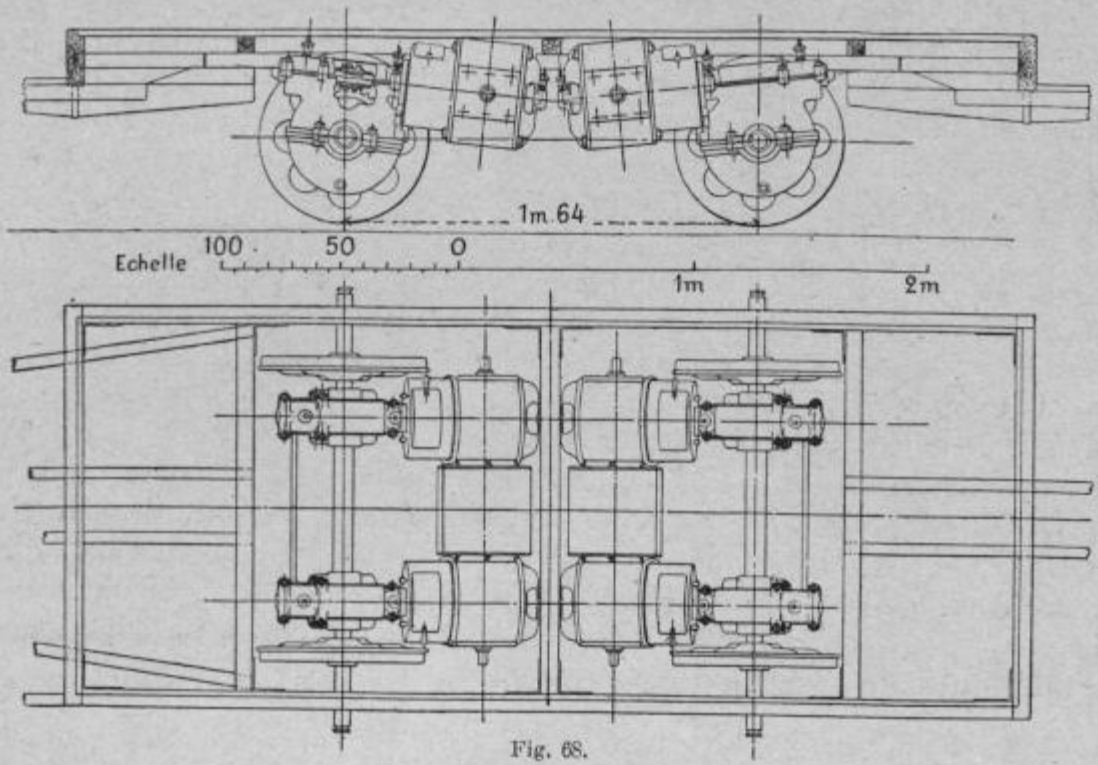


Fig. 68.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur Holroyd Smith. — Lors d'essais de traction par fil aérien exécutés à Bradford, en 1892, M. Holroyd Smith essaya, non sans quelque succès, un système assez compliqué en apparence, composé de quatre moteurs à vis (fig. 67 et 68).

Il s'agit d'une ligne très sinueuse où les rampes atteignaient 7 à 8 p. c. d'inclinaison avec une moyenne de 5 p. c.

L'emploi de quatre moteurs ou plutôt de quatre armatures, car elles étaient accouplées par deux sur deux inducteurs intercalés, avait pour motifs : la nécessité de démarrer aisément sur les plus fortes rampes sans exposer les moteurs; l'augmentation de la surface frottante totale des filets de vis contre les dents des roues; la facilité du passage en courbe résultant de l'indépendance des roues d'un même essieu ; ce résultat s'obtenait par un artifice spécial consistant d'abord à réunir les deux parties d'un même essieu par un long manchon, ensuite à caler deux moteurs pris en diagonale directement sur les essieux, et les deux autres sur les manchons.

Chaque vis avait trois filets de 104 millimètres de pas ; chaque roue 34 dents, écartées d'axe en axe de 38 millimètres, d'où le rapport de vitesse 11 : 1. Enfin, chaque armature mesurait 311 millimètres de diamètre et 278 millimètres de longueur. La figure 67 montre une boîte à vis ouverte.

En vue de réduire les frottements aux colliers de poussée, on a adopté des portées à balles. C'était, croyons-nous, une innovation pour les moteurs de tramways à cette époque.

Moteur à vis de la Société Électricité et Hydraulique. — Au tramway de Liége à Cointe, la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi, dirigée par M. J. Dulait, a mis en service un type de moteur à transmission par vis d'une puissance de 20 H. P. que représente clairement la figure 69. C'est une vis à triple filet d'un diamètre primitif de 152.4 millimètres, d'une longueur de 152.4 millimètres, d'un pas de 152.4 millimètres. Le diamètre primitif de la grande roue est de 388 millimètres avec 24 dents et un rapport de vitesse de 8 : 1. Au plus grand diamètre, la roue mesure 45 centimètres sur le collier de poussée P d'un diamètre de 120 millimètres sur 40 millimètres d'épaisseur, les portées sont garnies de billes maintenues par des disques en bronze portant 44 trous de 6 millimètres environ de diamètre. L'écrou terminal E règle la pression sur les faces du collier, par l'intermédiaire d'une bague. A cette fin, sa goupille peut occuper six positions dans des trous plus ou moins rapprochés de l'extrémité.

L'armature tourne sur un arbre de 60 millimètres de diamètre. Elle est enroulée en anneau et dentée : les disques en tôle qui la constituent sont alésés au diamètre de 41 sur 18 centimètres de largeur; elle porte 128 sections contenant chacune 8 spires d'un fil de 1.8 millimètre. On y ramène le courant à deux balais par un complément de connexions genre Mordey, bien que l'induction soit tétrapolaire. Il n'y a toutefois que deux bobines latérales comportant chacune

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

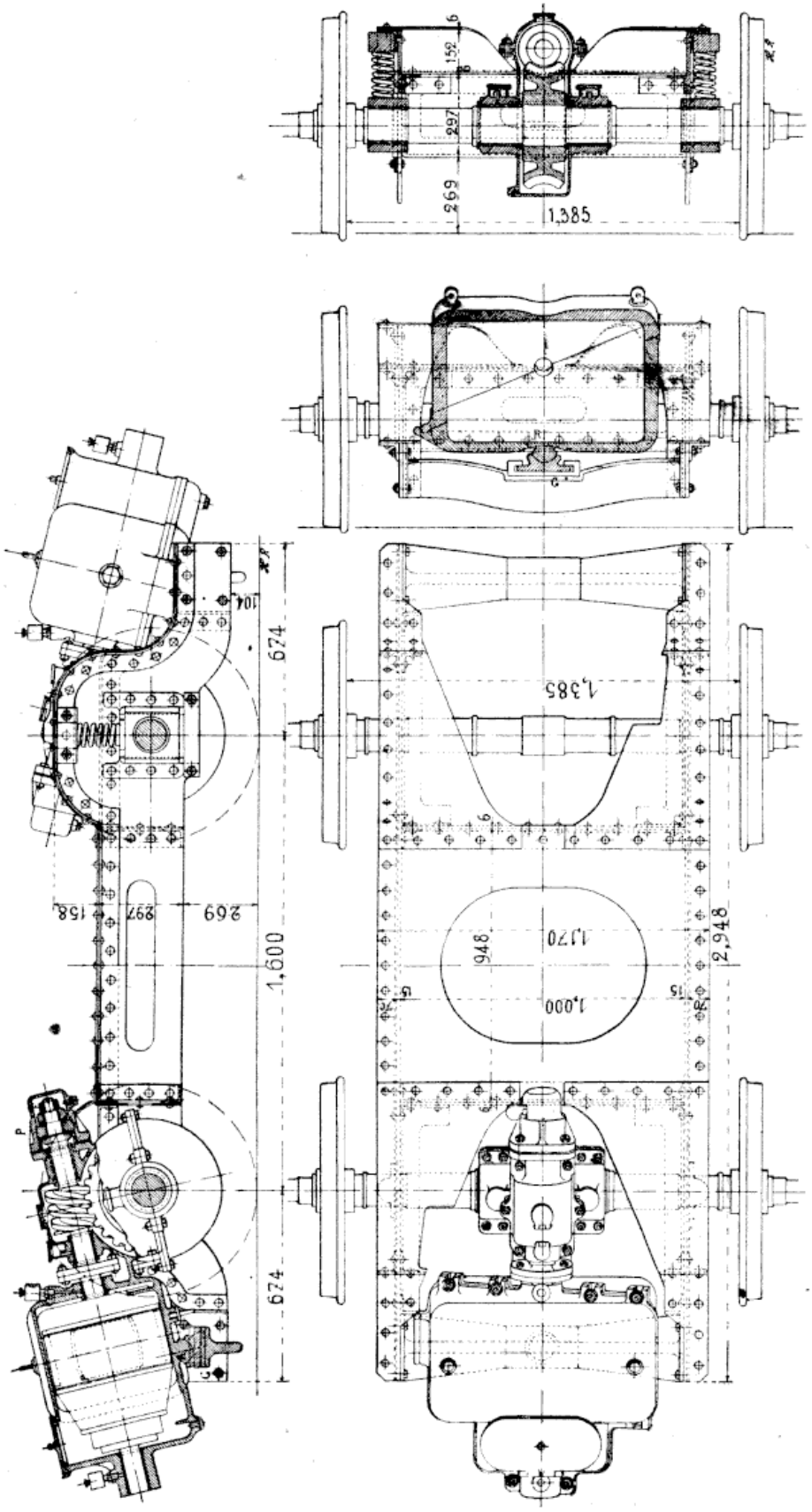


Fig. 69.

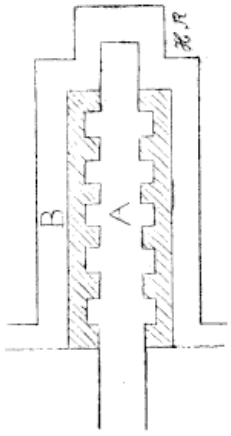


Fig. 70.

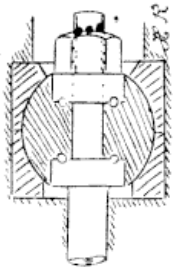


Fig. 71.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

540 spires d'un fil de 3 millimètres mesuré nu. Elles se posent sur des noyaux ronds de 18 centimètres de diamètre et 125 millimètres d'épaisseur s'épanouissant un peu sur l'armature. A l'extérieur, la bobine mesure environ 27 centimètres de diamètre.

Une solide enveloppe incombustible et un vernis imperméable protègent convenablement l'induit, indépendamment d'un disque arrêtant les infiltrations d'huile qui se dirigerait vers le collecteur.

Les appuis du moteur sont, d'une part, les paliers de la boîte à vis qui reposent sur l'essieu, de l'autre, une rotule R se mouvant dans une chape sphérique creusée dans un patin en acier libre horizontalement sur la glissière G, principalement dans le sens transversal, dans lequel un jeu de 2 centimètres lui permet de suivre certains mouvements de l'essieu. Le poids d'un moteur de l'espèce est d'environ 600 kilogrammes.

Dans les premières voitures (voir chapitre IV-C), outre les paliers de la boîte à vis qui couronne chaque essieu en son milieu, un truck spécial portant les moteurs ayant ses propres paliers sur chaque essieu peut s'enlever indépendamment du châssis des voitures qui, à son tour, repose par d'autres ressorts sur les quatre fusées d'essieux.

Un autre modèle de voitures ne comporte pas cette complication; le bâti des moteurs est relié directement au châssis de la voiture. La boîte à billes est également modifiée : le collier de poussée sphérique est logé dans un faux collier figure 70; les billes beaucoup plus fortes ne sont plus logées dans des disques spéciaux, mais dans des rainures appartenant au collier; un petit chenal au fond de la boîte permet l'élimination des billes déraillées.

Enfin, dans un dernier type on a supprimé les billes et fragmenté le collier pour en amplifier la surface d'appui figure 71. Ce résultat s'obtient en ménageant entre le bout de l'arbre de forme multi-annulaire et la boîte B, un vide dans lequel on coule du métal blanc. Ce procédé, nous l'avons vu, est également employé par M. Sylvey pour maintenir en place l'armature de son moteur, dont l'axe est dans le sens longitudinal.

Locomotive des mines de Marles. — M. Lebrun, constructeur à Nimy, près Mons, a construit pour les mines de Marles (Pas-de-Calais) des locomotives, dont les deux essieux moteurs sont conduits par un arbre longitudinal à vis (fig. 72).

Entre cet arbre et celui de la dynamo existe une transmission spéciale formée d'un train R, de roues cannelées et d'engrenages EE′ constituant un mode original de changement de marche en même temps qu'un organe de réduction de vitesse. Sur l'axe A de la dynamo est calé un engrenage E et une roue cannelée; l'engrenage E en entraîne un autre E′, dont l'axe B porte une deuxième roue cannelée. Enfin, l'arbre des vis, CC′, porte une troisième roue cannelée plus grande destinée à embrayer soit avec A, soit avec B, selon que la rotation doit s'effectuer dans un sens ou dans l'autre. Entre ces deux positions, c'est l'arrêt. Ces change-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

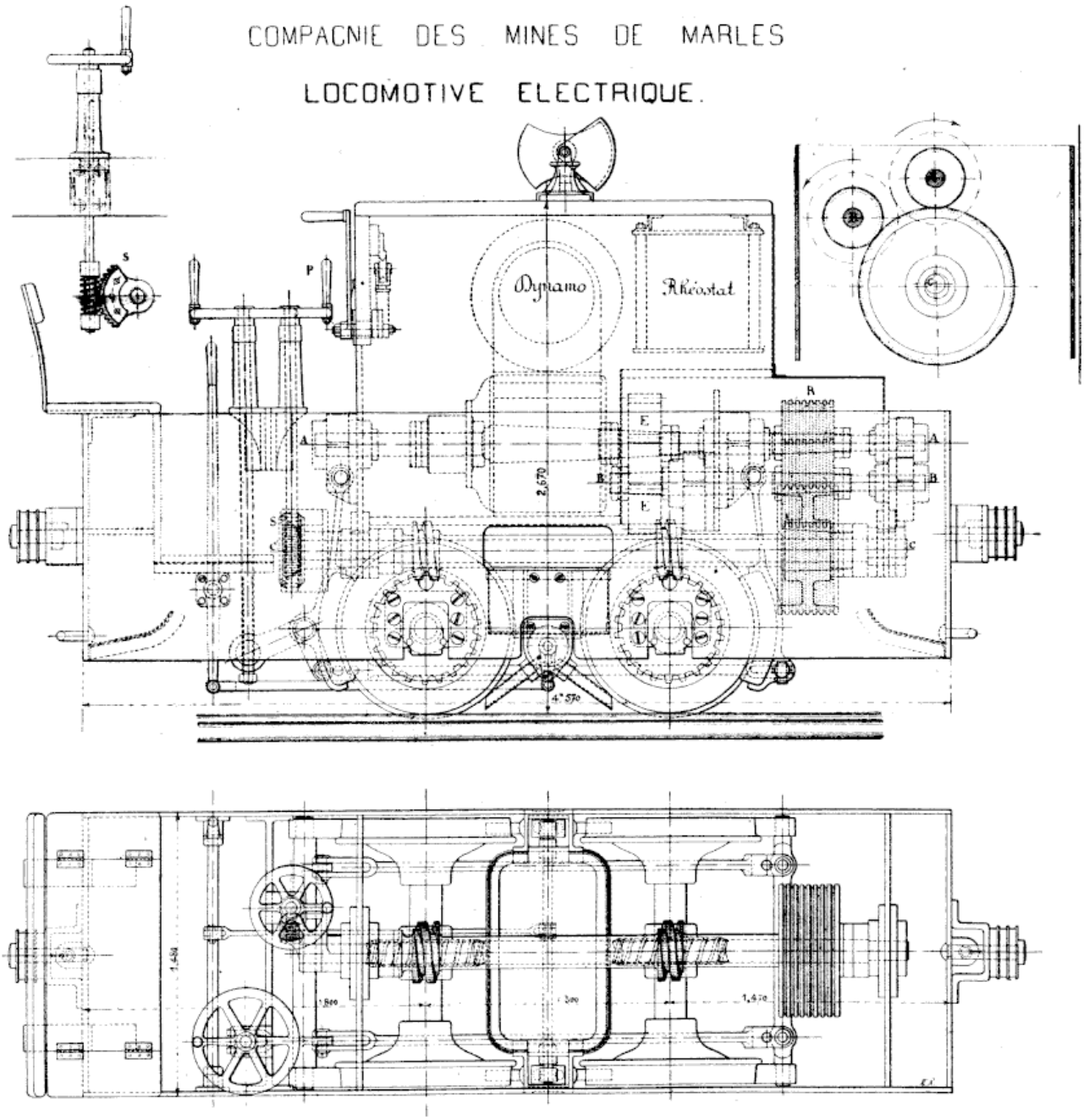


Fig. 72.

ments s'opèrent grâce à un artifice aussi simple qu'ingénieux : la grande roue et les vis sont calées sur un arbre creux enfilé sur un axe *cc'* ayant aux extrémités des portées excentriques. On voit de face les trois roues cannelées à droite au-dessus de la figure. Un secteur denté S commandé par une vis et reproduit seul à gauche de la figure effectue cette manœuvre. Afin qu'elle n'ait pas pour effet de modifier sensiblement la position relative des vis par rapport aux roues dentées d'essieux, le déplacement de l'axe de ces vis et de la grande roue cannelée, opéré par l'excentricité des portées extrêmes, est assez faible; cet axe, dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux positions actives, marche en avant, marche en arrière, se trouve à peu près dans un même plan horizontal; il descend un peu dans la position neutre. La puissance de cette machine est de 12 à 15 kilowatts à la tension de 400 volts.

g. — *Transmissions diverses.*

Aux tentatives du début de l'électro-traction, indiquées au commencement du chapitre, on pourrait ajouter, parmi les transmissions essayées ultérieurement pour réduire la vitesse angulaire de l'induit, certains procédés ingénieux et efficaces que la pratique a écartés, mais qui méritent une mention. La simple *friction* d'un galet porté par l'axe de l'induit sur une roue calée sur l'essieu, ou directement sur la roue motrice, a fait l'objet d'essais de courte durée, notamment par *M. Daft*, en 1885, dans une locomotive d'expérience qui roula sur le *Ninth Avenue Elevated Railway*, de New-York. Les galets et les roues de friction, symétriquement disposés par rapport à l'induit, portaient des cannelures circonférentielles.

Dans le courant de 1886, M. J. Dulait, administrateur de la Société *Électricité et Hydraulique* de Charleroi, avait fait l'essai d'un semblable système, en vue de son application aux mines. Sur un truck de wagonnet, il avait monté une dynamo reposant, par son axe armé d'un galet de 10 centimètres, sur la jante d'une roue motrice de 60 centimètres. La dynamo pesait de 180 à 200 kilogrammes. L'une des constatations intéressantes faites par l'expérimentateur, c'est qu'en accrochant le wagonnet à un point fixe, il parvenait à faire patiner la roue motrice sur le rail. Nous attribuons ce fait à la différence des diamètres. Un phénomène analogue se passe dans le laminoir à tôle du système Lauth, basé sur la pénétration du petit cylindre plus profonde que celle des grands dans le métal laminé.

On a même proposé *l'eau* comme intermédiaire entre un système de pompe à petite surface mue rapidement par l'arbre de l'induit et un récepteur hydraulique à marche plus lente fixé à l'essieu.

h. — *Transmissions sans réduction de vitesse.*

Définition. — Les Américains et les Anglais désignent sous le nom de *gearless motors* les engins de traction agissant directement sur l'essieu *sans réduction de la vitesse angulaire de l'induit.*

Ainsi l'interposition de bielles ou d'une suspension élastique n'écarte pas cette dénomination de « moteurs gearless », que sa brièveté a fait admettre dans le langage courant des électriciens, en un sens assez large.

Dans l'exploitation des tramways, ce genre de moteurs n'a eu qu'un succès de courte durée aux États-Unis. Néanmoins, la description de quelques types montrera l'ingéniosité des solutions adoptées, dont plusieurs ont pu être utilement transportées dans la construction de locomoteurs à plus grande vitesse pour railways.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est du reste dans l'étude des locomotives destinées à remplacer la traction à vapeur sur les lignes à plate-forme séparée, que l'on a débuté dans cette voie.

Moteurs à bielles. — La première locomotive électrique munie d'un moteur gearless qui circula sur un railway, fut celle de *M. Stephen, D. Field*, dont les débuts dans la traction électrique aux États-Unis avaient été presque contemporains de ceux de Werner Siemens en Europe.

Cette locomotive, essayée en 1888 sur l'une des branches du chemin de fer surélevé de New-York, est représentée, ainsi que son moteur, par les figures 73, 74, 75 et 76. Ces figures et la description suivante sont empruntées à l'ouvrage *The Electric Motor*, de MM. Martin et Wetzler.

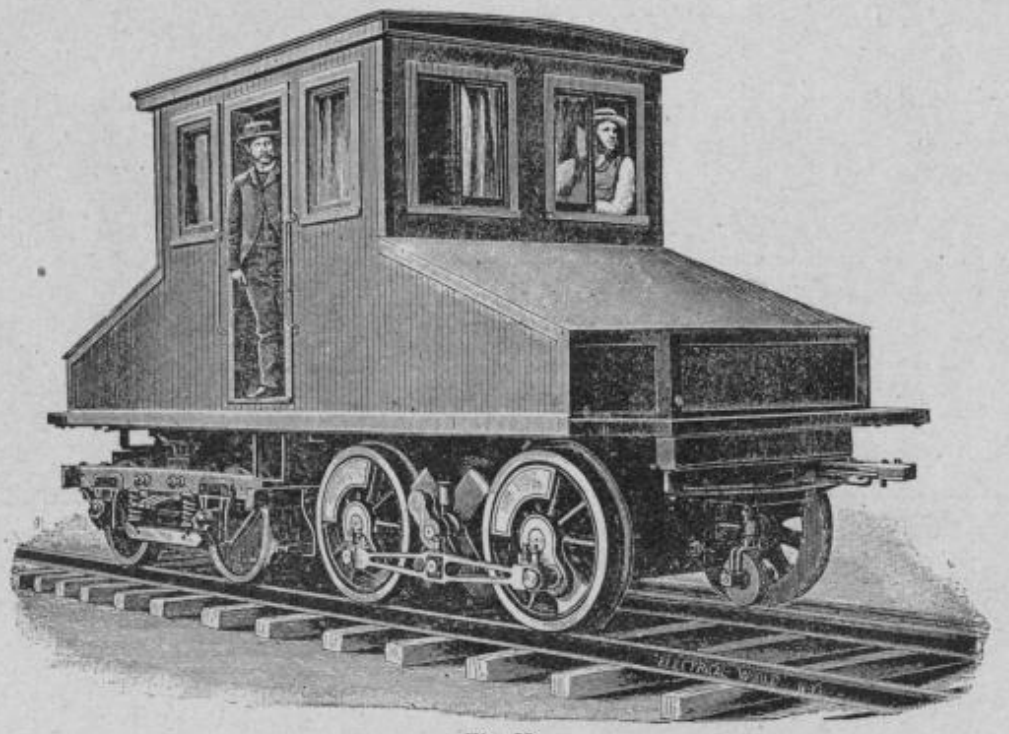


Fig. 73.

Des manivelles, calées sur le même axe que l'induit, renvoient le mouvement de rotation par bielles aux roues motrices.

Le système inducteur forme un cadre fermé qui latéralement porte des croisillons supportant les paliers de l'arbre de l'induit, et se trouve, à son tour, supporté à ses extrémités sur les essieux du truck, par l'intermédiaire de boîtes à ressort spirales boulonnées sur les culasses d'about (fig. 76).

Poids total de la locomotive	13 tonnes.
— du truck moteur.	9 —
— de l'armature	1 —
— du fil sur l'armature	272 kilogrammes.
— — sur les inducteurs	725 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Diamètre du fil d'armature	3.66	millimètres.
— — des inducteurs	5.15	—
— de l'armature	61	centimètres.
Longueur de l'armature	1m06	
Diamètre des roues motrices	912	millimètres.
Empattement	1m52	

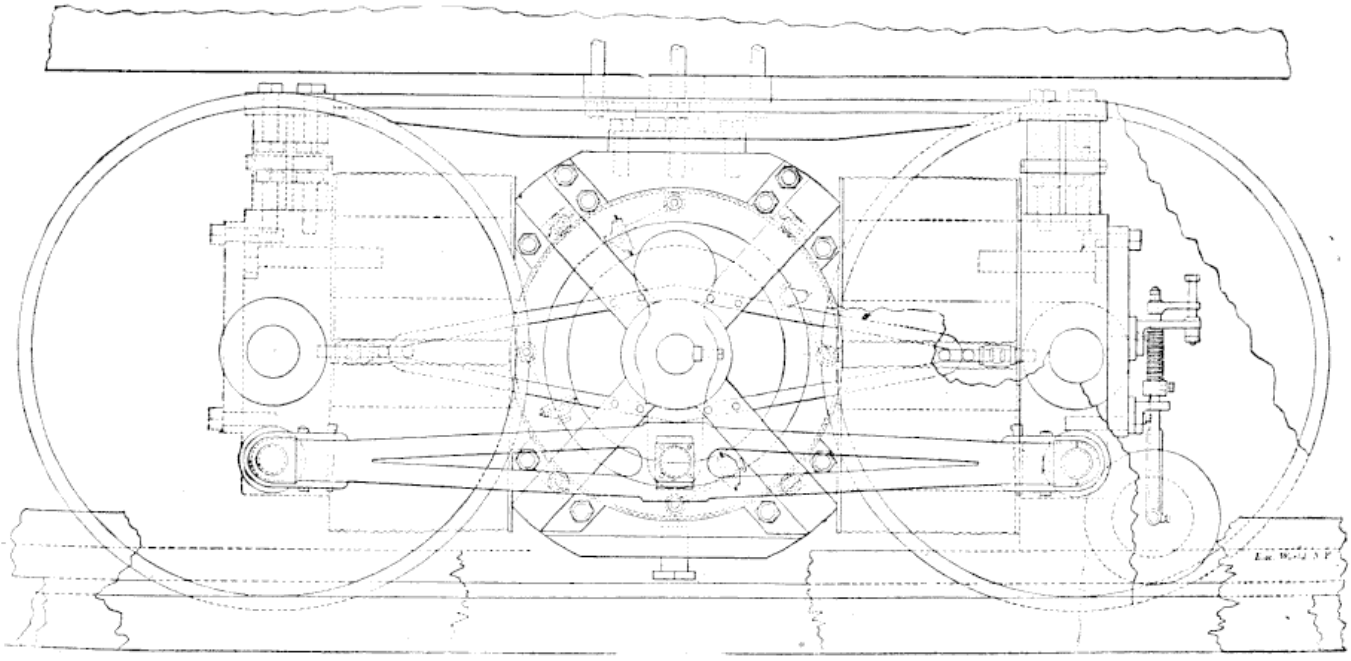


Fig. 74.

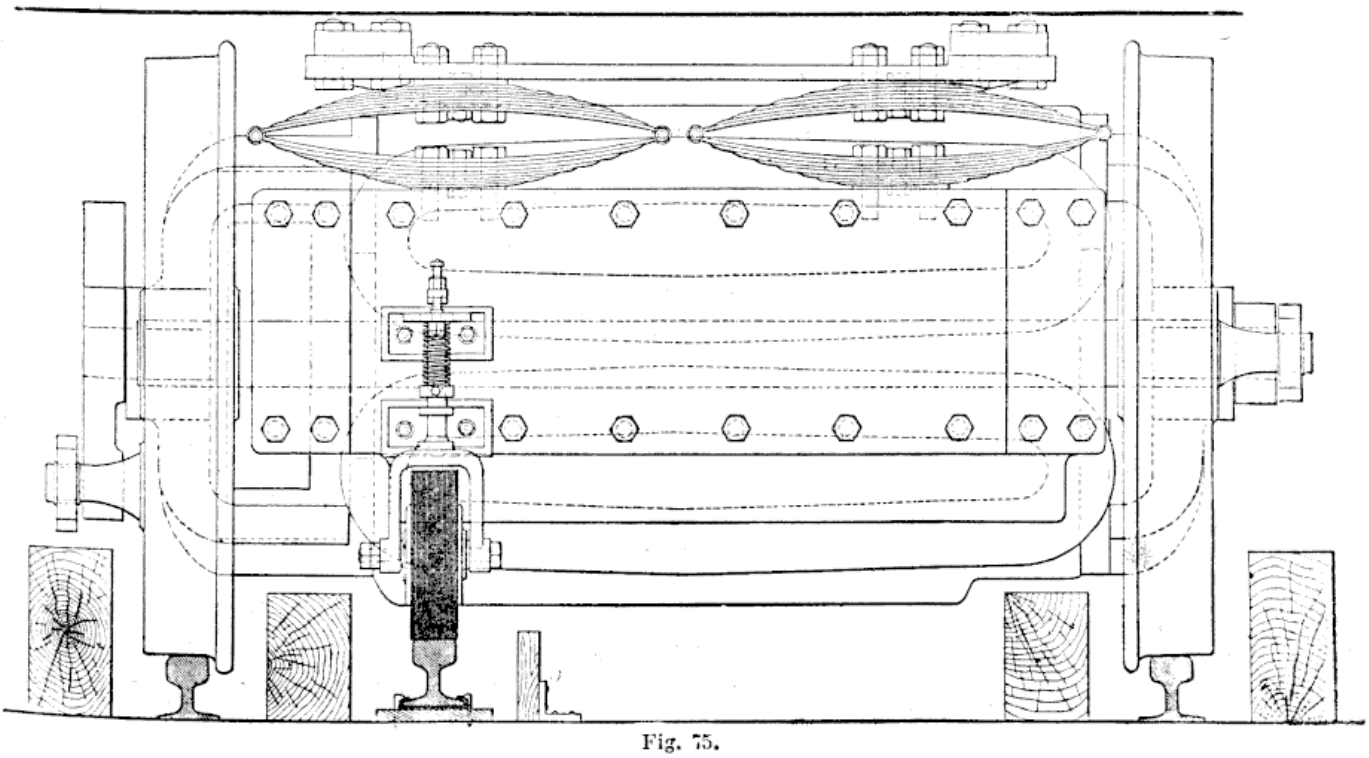


Fig. 75.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit entre les roues motrices de la locomotive la roulette qui captait le courant sur le conducteur supporté par les traverses de la voie.

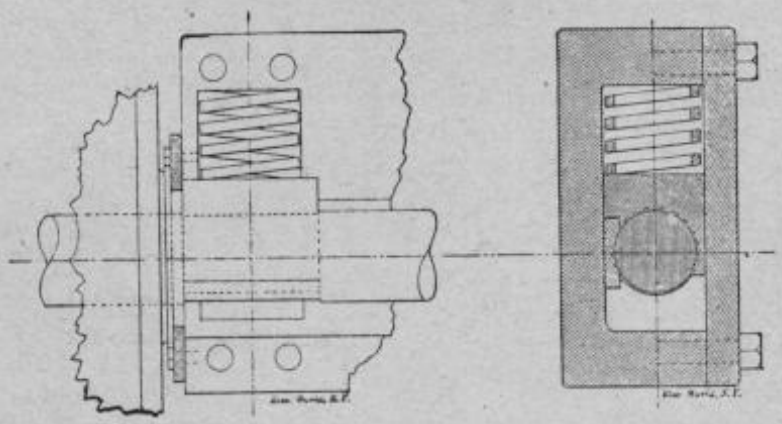


Fig. 76.

En lui-même, le fonctionnement du moteur fut satisfaisant, bien que l'essai et l'installation dans leur ensemble ne fussent pas de nature à résoudre d'emblée le problème de la substitution de l'électricité à la vapeur sur les railways.

Une application aux tramways d'un moteur à quatre bielles, situé entre les essieux comme celui de Field, fut réalisée sur plusieurs voitures par *M. Eckmeyer* Le moteur développait 20 H. P. à 100 tours et pesait 2,270 kilogrammes.

Moteurs Short. — Dans la suspension du moteur au truck, M. Short a inauguré un système caractéristique appliqué largement depuis aux moteurs Gearless :

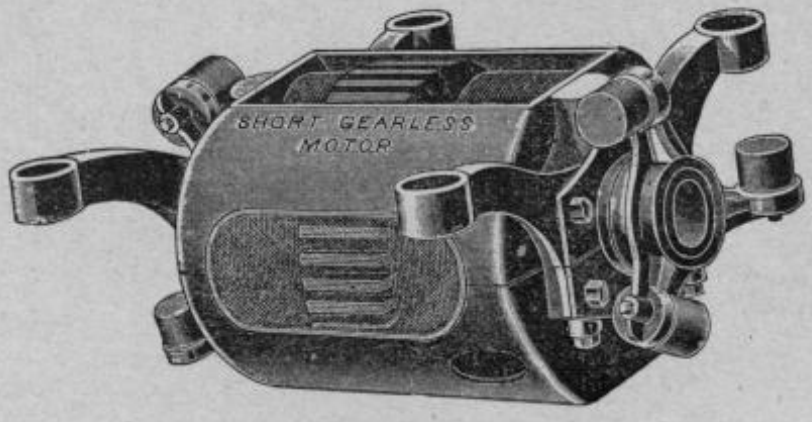


Fig. 77.

l'induit, bien que concentrique à l'essieu, n'y est pas directement calé ; *son arbre creux forme manchon autour de l'essieu*, et l'entraîne par de fortes liaisons élastiques ; cet arbre reçoit, sur des portées, les paliers de la masse inductrice

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suspendue sur des coussins de caoutchouc à des traverses faisant partie du châssis de la voiture.

Primitivement, M. Short donna à l'induit la forme d'un anneau plat, tournant entre quatre paires de pièces polaires Sur les prolongements de l'arbre creux étaient calées des pièces à trois branches munies de tampons en caoutchouc, s'appuyant sur des pattes fixées aux roues, d'un côté dans l'un des sens de la rotation, de l'autre dans le sens inverse (fig. 77).

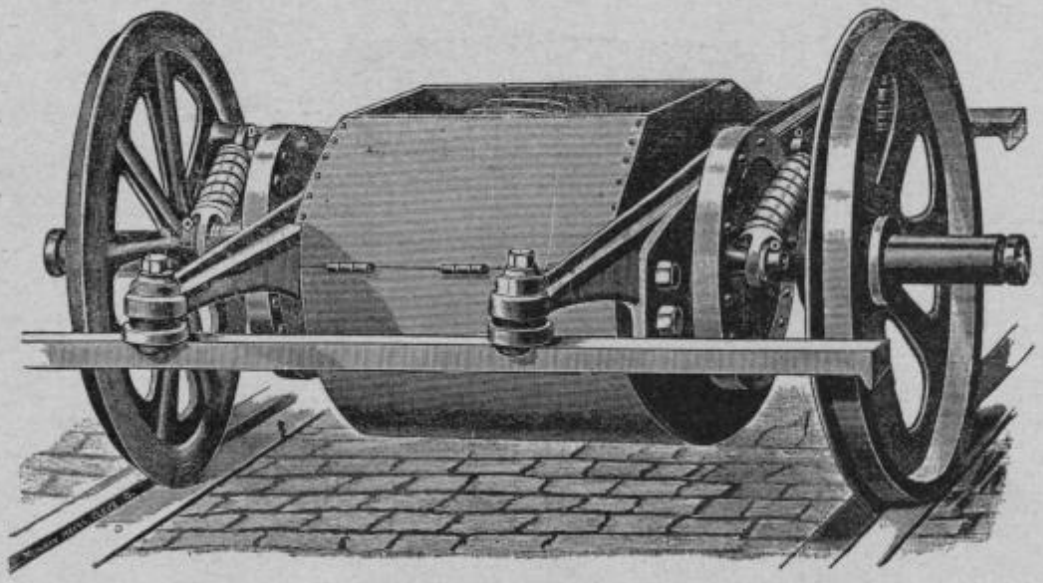


Fig. 78.

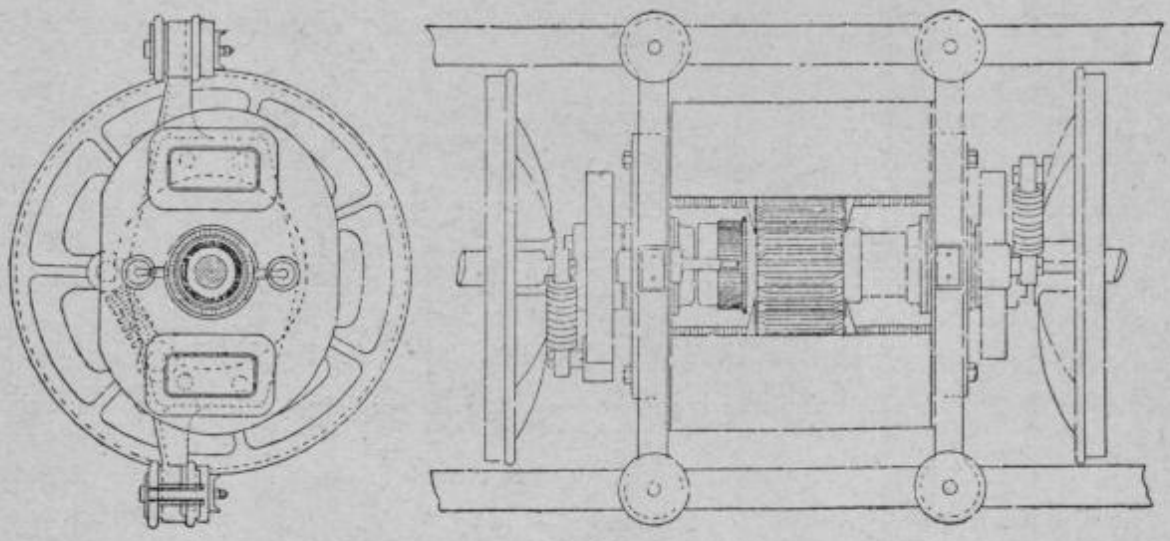


Fig. 79.

La même année 1891, M. Short perfectionna les attaches aux roues de façon qu'elles fonctionnassent de part et d'autre dans les deux sens de la rotation,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyennant de forts ressorts à boudin (fig. 78 et 79). Les inducteurs logés encore sur les flancs de l'anneau plat agissaient sur sa face.

L'armature mesurait 61 centimètres de diamètre et devait être montée sur des roues de 1m064 de diamètre, faisant 94 révolutions à 16 kilomètres à l'heure. Il y avait 80 sections à 10 spires d'un fil de 2.1 millimètres. Les bobines portaient chacune 680 tours d'un fil de 4 millimètres. Ce moteur pesait 1,360 kilogrammes et développait 20 H. P.

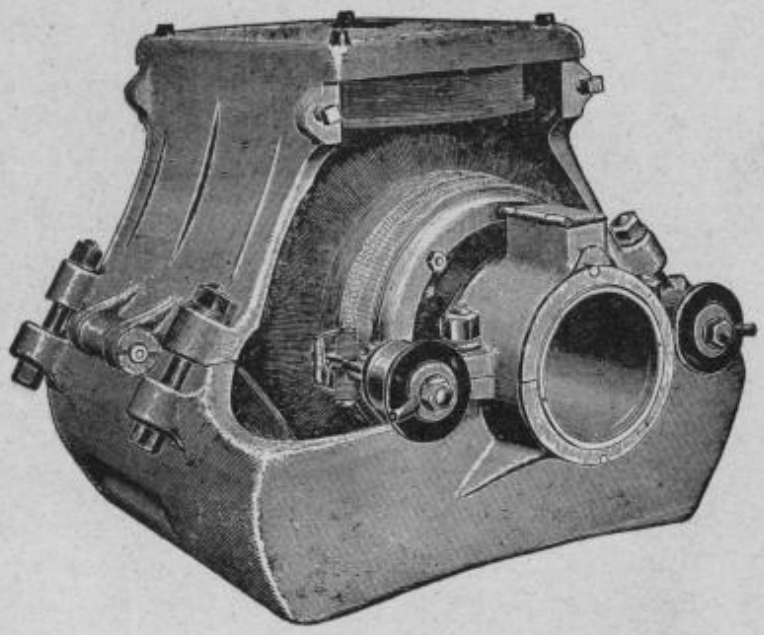


Fig. 80.

En 1892, la firme Short chercha un dispositif qui, tout en allégeant l'ensemble, occupât moins de place et fût d'une construction moins coûteuse. C'est le type que représente la figure 80 à six pôles, dont trois garnis de bobines et trois conséquents.

L'armature, d'un diamètre de 532 millimètres, était enroulée de 92 sections de 16 spires, logées dans des rainures, et réunies à 184 sections du collecteur par moitié; il y a deux balais diamétralement opposés Le diamètre intérieur de l'arbre creux est de 152 millimètres; le diamètre de l'essieu, 101 millimètres.

Ce moteur, qui peut être monté sur des roues de 912 millimètres faisant 120 tours par minute lorsqu'il développe 20 H. P., pèse 1,044 kilogrammes.

Moteur Westinghouse. — Les figures 81 et 82 montrent l'aspect extérieur et le montage d'un moteur que construisait la Compagnie Westinghouse, de Pittsburg, en 1891-92.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est le premier exemple de *moteur de tramway présentant le calage direct de l'armature sur l'essieu.* Enroulée en tambour et dentée, elle a 405 millimètres de diamètre.

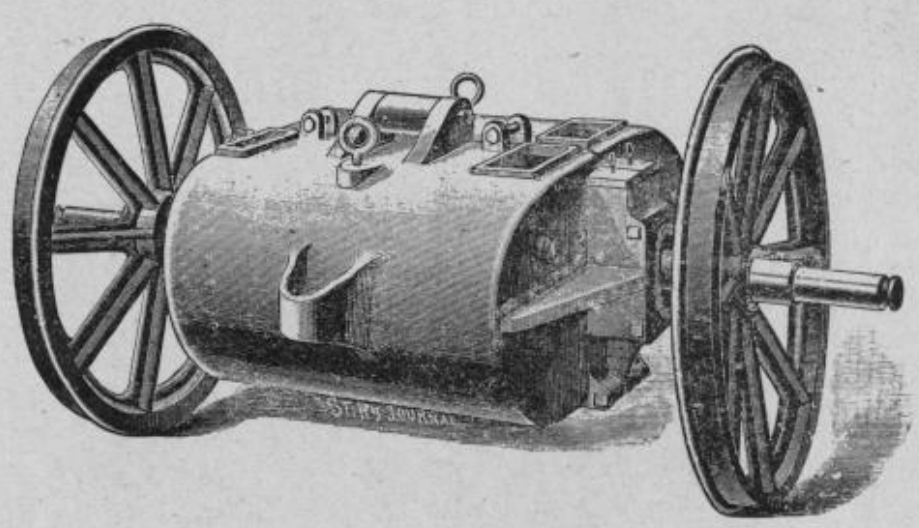


Fig 81.

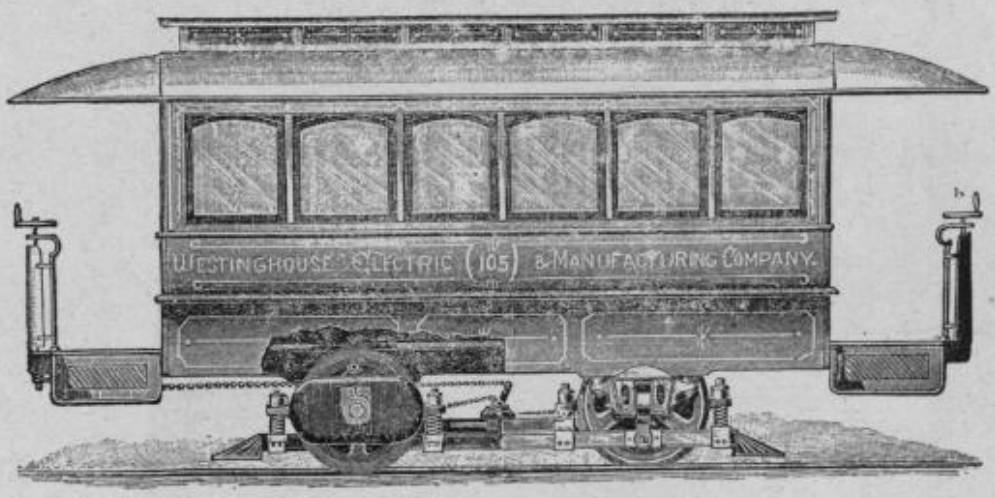


Fig. 82.

On voit clairement comment l'inducteur en forme de cuirasse, reposant au centre par ses paliers sur l'essieu, est en même temps soutenu moyennant des ressorts par des traverses reliées au truck de la voiture. Sa hauteur totale extérieure ne dépassait pas 51 centimètres, laissant un jeu de 125 millimètres au-dessus des rails.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteurs du « City and South London Electric Railway ». — Au chemin de fer souterrain passant sous la Tamise, entre la Cité et le sud de Londres, les locomotives sont munies chacune de deux moteurs Gearless.

Étudiées sur un programme remis en 1888 à la maison *Mather et Platt*, la plupart de ces machines furent mises en service sur la fin de 1890. (Voir chap. II.) D'autres, plus récentes, ont été équipées par *Siemens Brothers*, de Londres. Ce dernier type se voit également en ses contours au chapitre II. En voici les traits principaux :

L'induit de chaque moteur est calé directement sur l'essieu, tandis que les inducteurs sont, d'une part, soutenus du côté des pièces polaires par un support en bronze se terminant à deux paliers reposant sur l'essieu et, d'autre part, du côté de la culasse sont suspendus à des tirants accrochés à une traverse fixée au bâti.

L'armature est enroulée en tambour; elle porte à la périphérie 500 barres de cuivre plates de 14.4 millimètres carrés de section, placées verticalement et formant un cylindre de 60 centimètres de longueur sur 408 millimètres de diamètre, formé de tôles minces assemblées. Le collecteur porte 125 touches.

Les bobines inductrices, au nombre de quatre, sont enroulées sur des noyaux de 60 centimètres de largeur, 384 millimètres de longueur, 265 millimètres d'épaisseur, portant chacun environ 550 tours d'un ruban de cuivre mesurant nu 10.16 millimètres sur 1.9 millimètre. On voit sur les figures en quoi diffère l'assemblage des noyaux d'inducteurs dans les deux locomotives.

Moteurs du Liverpool Elevated Railway. — Dans ce moteur, développant 40 à 60 H. P. à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure, l'induit est calé directement sur l'essieu.

La vue d'ensemble et son mode de suspension sont donnés dans les figures 83 et 84, qui montrent en même temps le truck moteur des voitures de cette ligne.

Le poids adhérant à la jante des roues motrices est 6,350 kilogrammes, dont 3,175 provenant du moteur. Les roues ont un diamètre de 838 millimètres.

L'armature, d'un diamètre de 42 centimètres, est bobinée en tambour au moyen d'un fil de 3.25 millimètres de diamètre, réparti en 72 bobines élémentaires à 8 spires en série; le collecteur porte 72 touches.

L'induction est produite sur quatre noyaux de 40 centimètres de largeur sur 175 millimètres d'épaisseur et 35 centimètres de longueur au moyen de 11 couches de 61 tours d'un fil de 3.36 millimètres de diamètre mesuré nu.

D'après les résultats d'essais publiés par M. Parker, la résistance dans l'armature est 0.67 ohm, dans les inducteurs 0.37; l'induction varie de 2,000 à 12,000 lignes de force par centimètre carré; l'effort à la jante, de 100 à 800 kilogrammes. (Voir § B.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

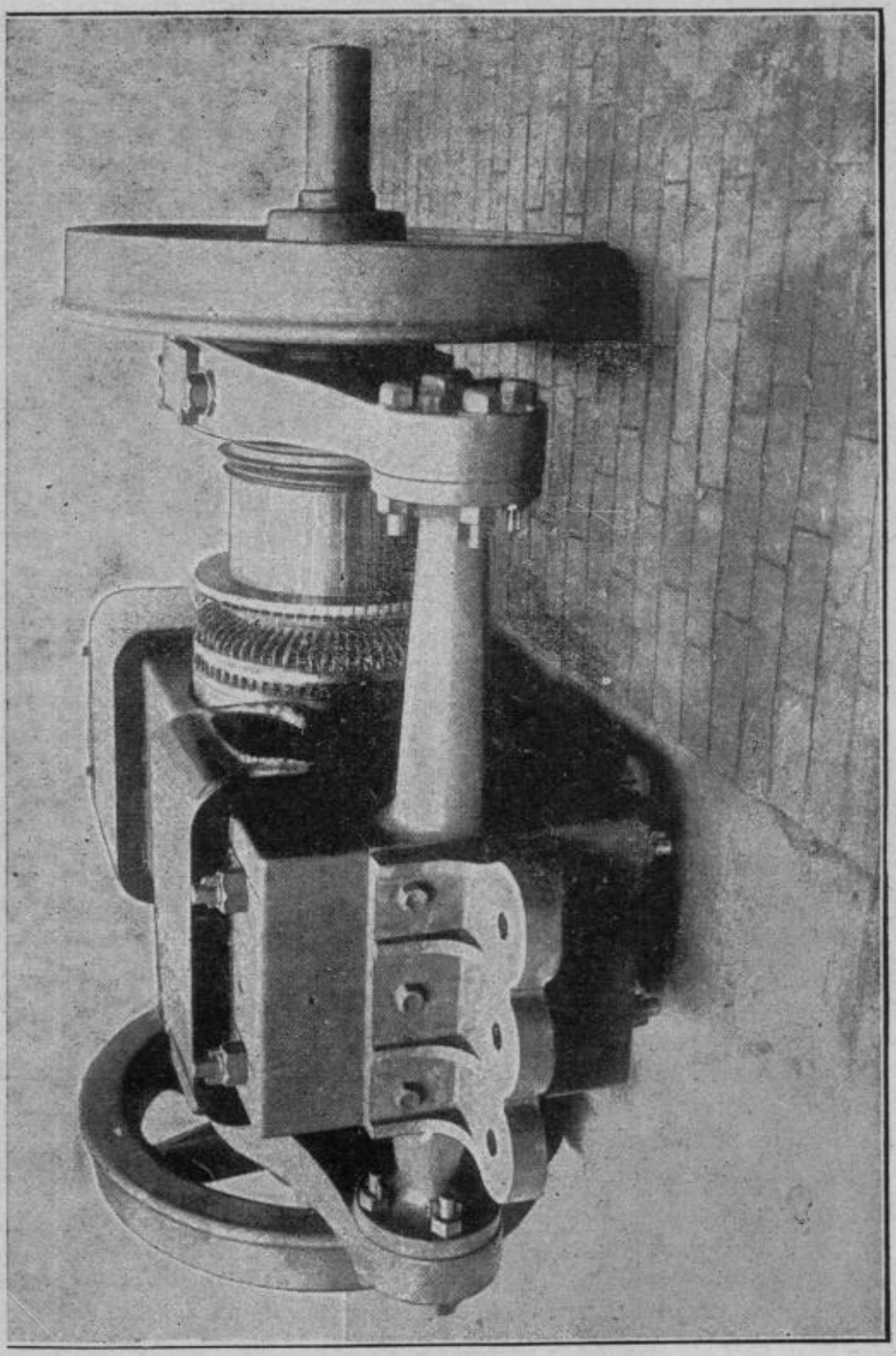


Fig. 83.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

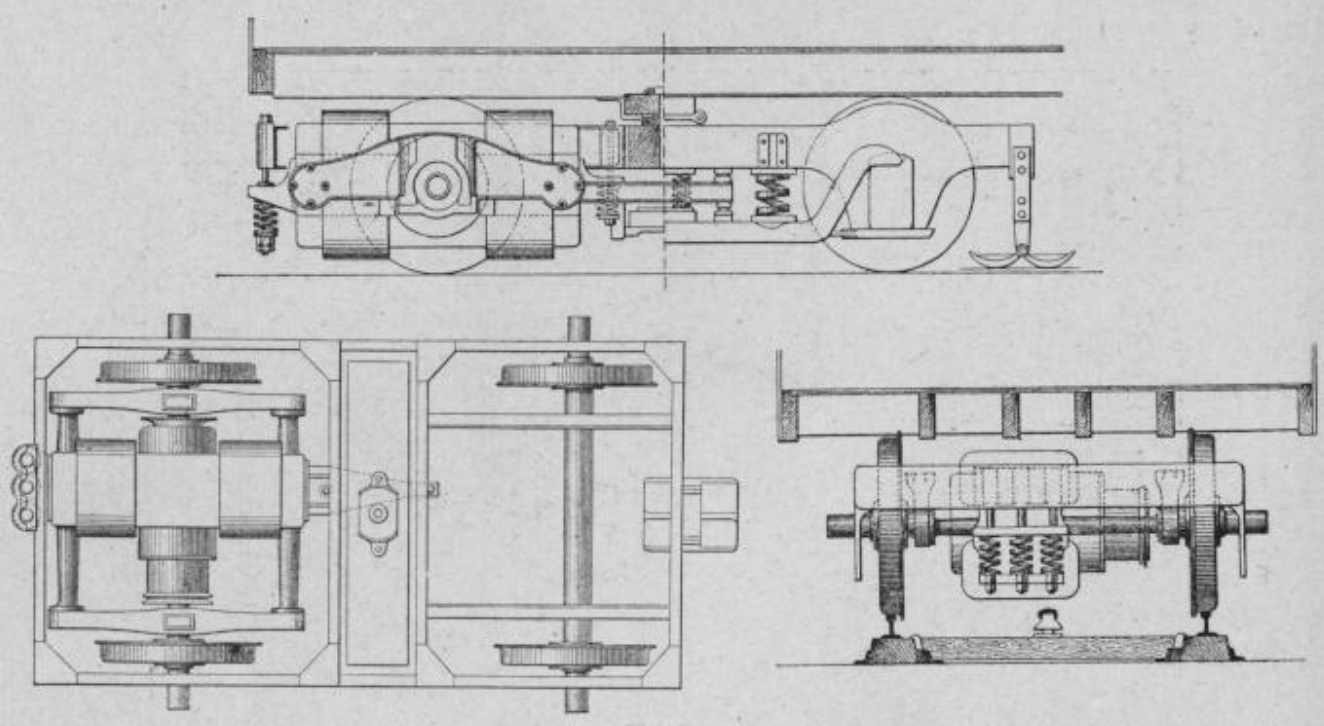


Fig. 84.

Moteurs de la locomotive d'essai du Nord français. — En 1893, la Compagnie des chemins de fer du Nord a procédé à des essais de traction électrique en conformité d'un programme exposé au chapitre VII, où se trouve figuré l'engin affecté aux expériences. C'est une machine à vapeur hors d'usage appropriée à cette fin et munie de moteurs extérieurs aux longerons. Quatre essieux prolongés de chaque côté de 66 centimètres portent directement les induits qui sont enroulés en anneaux Gramme. Les inducteurs sont supportés par les longerons de la locomotive au moyen de ressorts réglés de telle façon que les douilles servant à maintenir concentriques l'anneau et les pièces polaires ne supportent d'autres charges que celles résultant des différences de flexion des ressorts du véhicule et des inducteurs, pendant la marche seulement, la pression sur ces douilles étant pratiquement nulle au repos.

Ces moteurs, construits par la maison Bréguet, de Paris, sont tétrapolaires d'une puissance normale de 30 H.P., de 60 H.P. en forte rampe et absorbant jusqu'à 100 H.P. au démarrage.

Les roues motrices ont un diamètre de 1^{m}41; chaque essieu peut porter 15 tonnes.

Réceptrices de la locomotive Heilmann. — Chacun des huit essieux de la locomotive Heilmann porte un moteur tétrapolaire à deux bobines inductrices (fig. 85 et 86).

Les induits sont disposés en anneaux dentés du genre Paccinotti.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

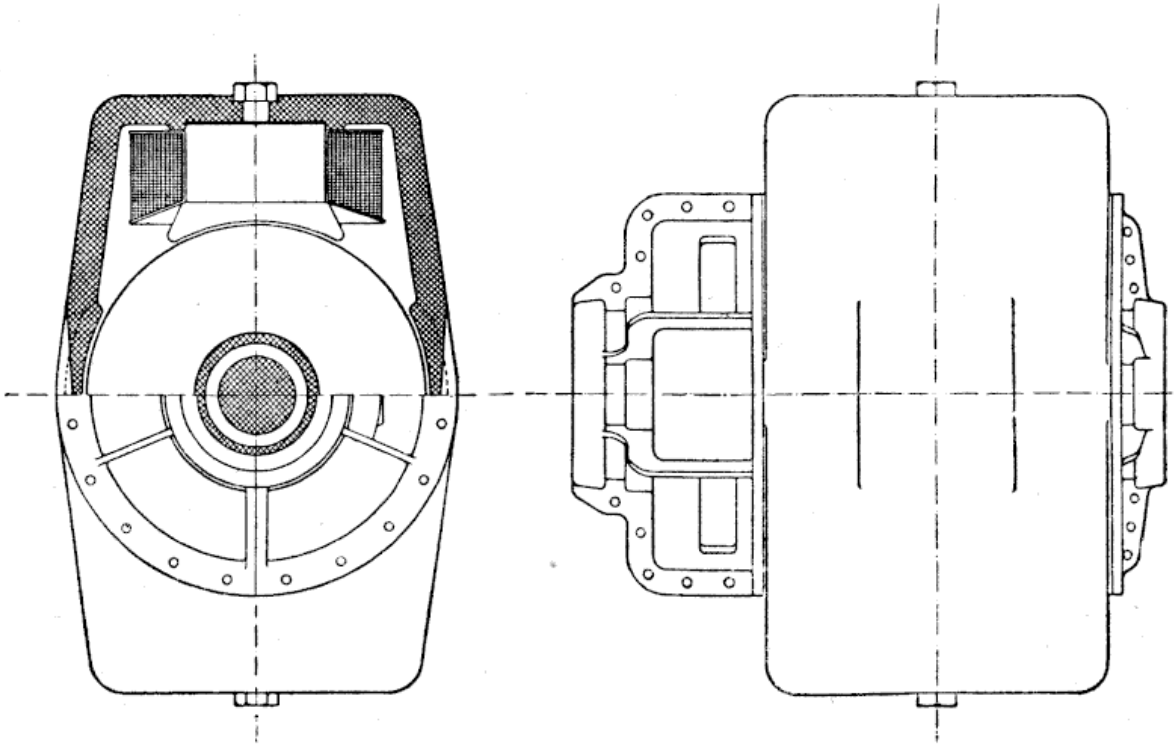


Fig. 85.

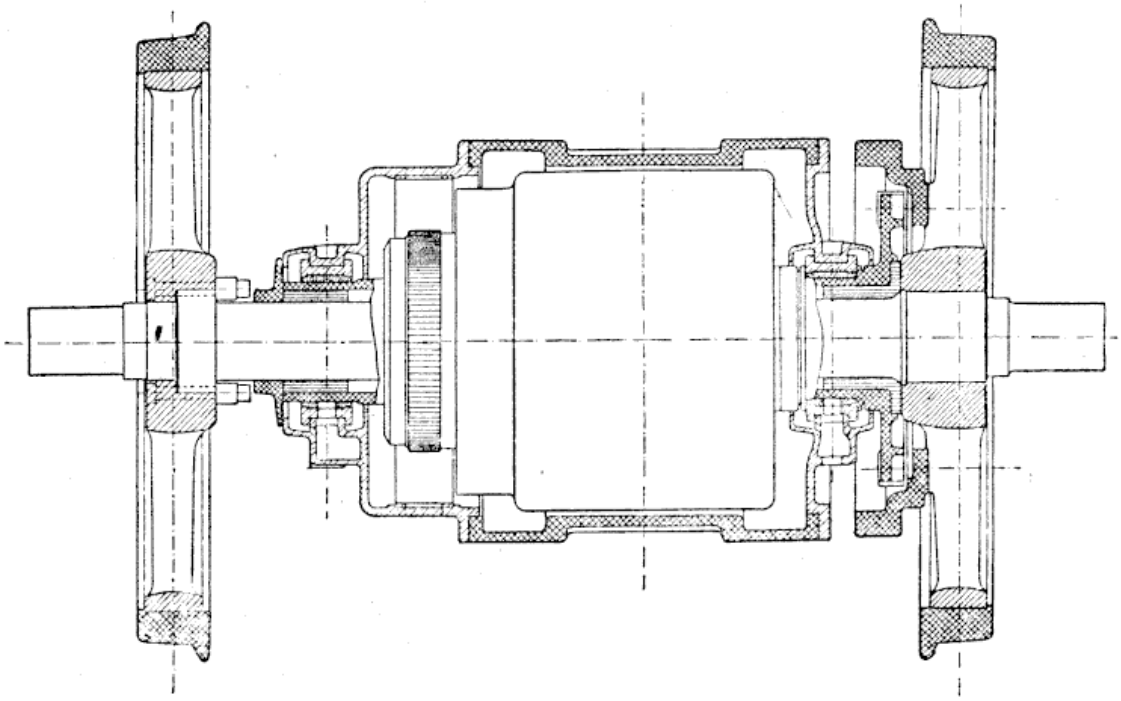


Fig. 86.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le courant est collecté par quatre balais.

L'induit de chaque réceptrice est calé sur un manchon en acier coulé portant à l'une de ses extrémités un plateau. Deux bagues en matière élastique sont interposées entre ce manchon et l'essieu pour amoindrir l'effet de la trépidation due à la voie.

Le plateau est lié, par l'intermédiaire de chevilles formant tocs et entourées de caoutchouc, à la roue calée sur l'essieu, et l'entraînement se fait par cette roue. L'essieu transmet le mouvement à la deuxième roue.

Afin de garantir les organes des réceptrices des poussières de la route, les inducteurs forment cuirasse.

Les inducteurs portent directement sur le manchon qui entoure l'essieu, par l'intermédiaire de deux coussinets munis de graisseurs.

Le manchon tourne dans ces coussinets ; pour que la réaction due au travail de la réceptrice n'entraîne pas la réaction de l'inducteur, les distances d'axe en axe des essieux ont été choisies de manière que les carcasses inductrices de deux moteurs voisins viennent buter l'un contre l'autre, ce qui détruit les deux couples.

De petites bielles à ressort relient, du reste, ces carcasses au châssis.

Les conditions de fonctionnement de ces réceptrices sont les suivantes :

Force contre-électro-motrice	400 volts.
Intensité	125 ampères.
Vitesse normale	410 tours.
— correspondante de la locomotive	90 kilomètres.
Puissance développée	60 chevaux.
Poids	2,700 kilogrammes.

Afin de pouvoir enfiler ou retirer l'induit, l'une des roues doit être aisément démontable. Un seul des deux moyeux de roues est calé à la presse hydraulique. L'autre est ajusté sur une portée à deux diamètres ; il y est maintenu par des boulons exactement ajustés, logés mi-partie dans le noyeu de la roue, mi-partie dans le renflement de l'essieu. Un dispositif spécial empêche le desserrage des écrous.

Moteur gearless de la « General Electric Company ».

Moteur de la locomotive de 30 tonnes. — A l'exposition de Chicago, en 1893, figurait une locomotive de 30 tonnes qui avait été au service à titre d'essai, sur le chemin de fer *Boston and Maine.*

Les figures 87 et 88 les montrent en vue perspective et en coupe.

L'induit est un anneau denté qui n'est pas calé sur l'essieu, mais sur un manchon passant dans les paliers des inducteurs. Ceux-ci sont portés à leur tour, au moyen de pattes venues de fonte avec leur carcasse, par des traverses qui s'appuient, à l'intervention de ressorts à boudin, sur les longerons inférieurs du truck pendus aux boîtes à l'huile des essieux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Entre l'induit et l'une des roues motrices se trouve un accouplement élastique de transmission. Comme dans les moteurs de tramway du type Thomson-Houston, on voit que l'inducteur tétrapolaire à deux bobines se projette sur une portion de la circonférence de l'induit dont il enveloppe partiellement l'anneau.

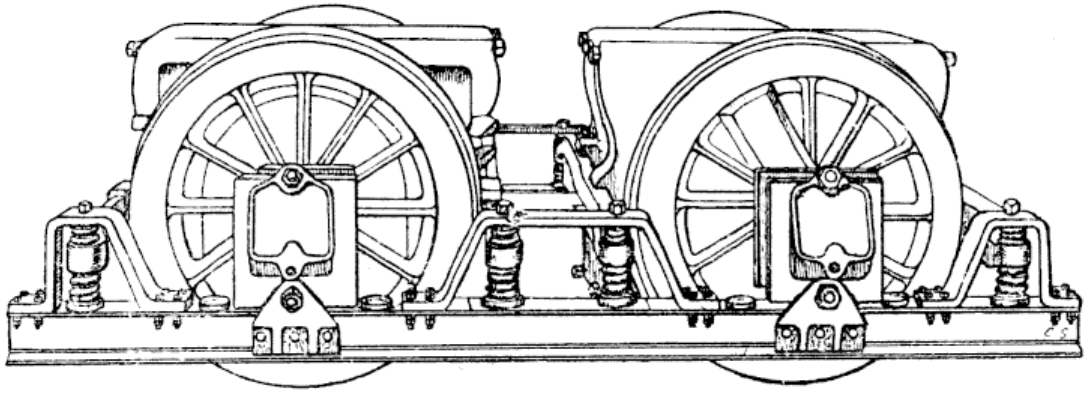


Fig. 87.

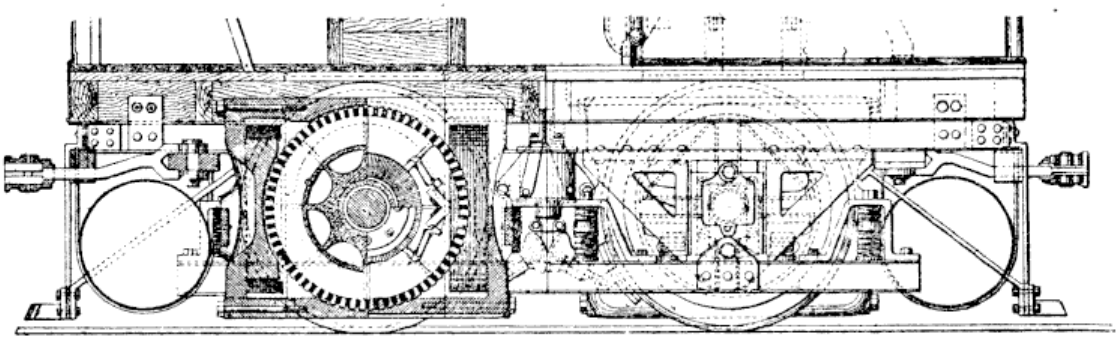


Fig. 88.

Cette locomotive avait été étudiée sur la donnée suivante : faire un service sur voie normale à la vitesse de 40 à 50 kilomètres à l'heure en exerçant un effort de traction de 3,200 kilogrammes susceptible d'être doublé au démarrage.

Moteur de la locomotive de 96 tonnes. — Au chapitre VII se trouvent décrites les installations de traction électrique établies pour desservir le tunnel de la *Baltimore and Ohio Belt Line*. Voici les principaux renseignements relatifs à la construction des moteurs de puissance extraordinaire dont la locomotive est munie, et qui sont représentés figures 89 et 90 (1). La forme en est empruntée au moteur Short et, à l'instar de ce type, ils ont l'induit flottant sur l'essieu dont le diamètre est 6 centimètres plus petit que le diamètre intérieur du manchon. Sur ce manchon, qui est en acier, se trouvent calées deux étoiles (fig. 91) en acier coulé dont les cinq branches s'intercalent entre les rayons des roues par l'inter-

(1) La figure 90 est tirée, aux lettres près, de l'étude déjà citée de M. Dawson, publiée dans *Engineering*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

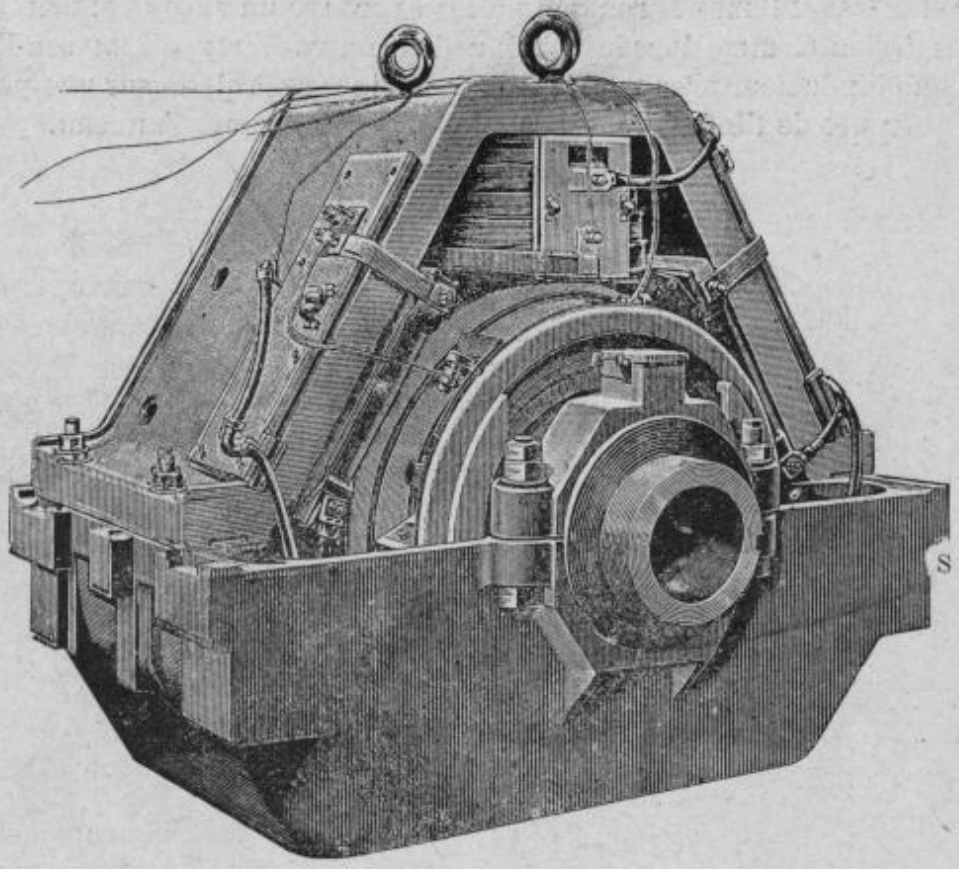


Fig. 89.

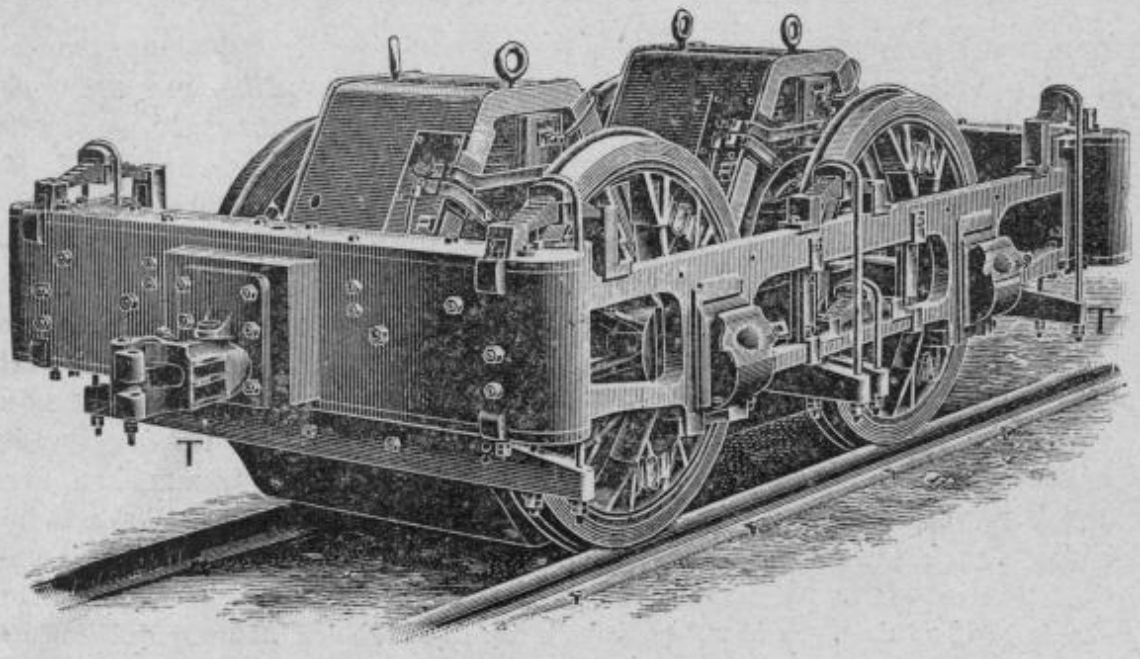


Fig. 90.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

médiaire de glissières dans lesquelles les branches P sont serrées avec interposition de lames en caoutchouc.

A son tour, le manchon porte dans les paliers de l'enveloppe inductrice triangulaire. Celle-ci repose par des saillies S (fig. 89) sur des traverses T (fig. 90) supportés par des étriers pendus à des ressorts à lames dont les extrémités s'appuient sur des coussins de caoutchouc.

Chaque moteur est calculé pour développer 360 H. P. en marchant en série avec son voisin du même truck, c'est-à-dire sous 250 volts chacun. Cette puissance se produit à la vitesse de 24 kilomètres à l'heure en agissant sur des roues de $1^{m}574$ de diamètre.

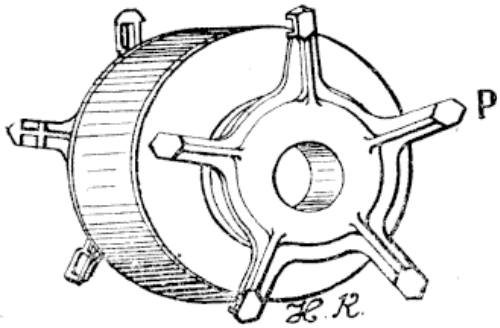


Fig. 91.

L'induit enroulé en tambour présente 145 rainures dans chacune desquelles sont logées deux barres de cuivre mesurant 582 × 12.2 × 5.8 millimètres retenues par une cale en bois. Le collecteur a 145 segments et reçoit le courant par six balais.

L'induction s'opère par six pôles dont trois répondent aux inducteurs principaux, trois aux secondaires, les premiers bobinés de 88 spires, les autres de 15 spires, ce qui revient à trois inducteurs de 103 tours, en lames de 47.5 × 1.40 millimètre de section en série.

On trouvera à leurs places des données expérimentales sur cette locomotive. (Voir chap. I, § B, et chap. VII.)

Moteur de la voiture d'expériences État belge. — Le premier locomoteur mis à l'essai par l'Administration des chemins de fer de l'État, en Belgique, est muni de deux moteurs construits par la Compagnie Internationale d'Électricité de Liége. Le programme et les résultats de cette série d'expériences sont exposés au chapitre VII.

Ce type de moteur, représenté figure 92, a, comme axe d'induit, un tube en acier enfilé sur l'essieu, avec un jeu de 6 centimètres, à l'instar du système Short, et soutenant les paliers de la carcasse. Celle-ci, en acier coulé, porte des saillies intérieures formant les noyaux des inducteurs et les pôles conséquents.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

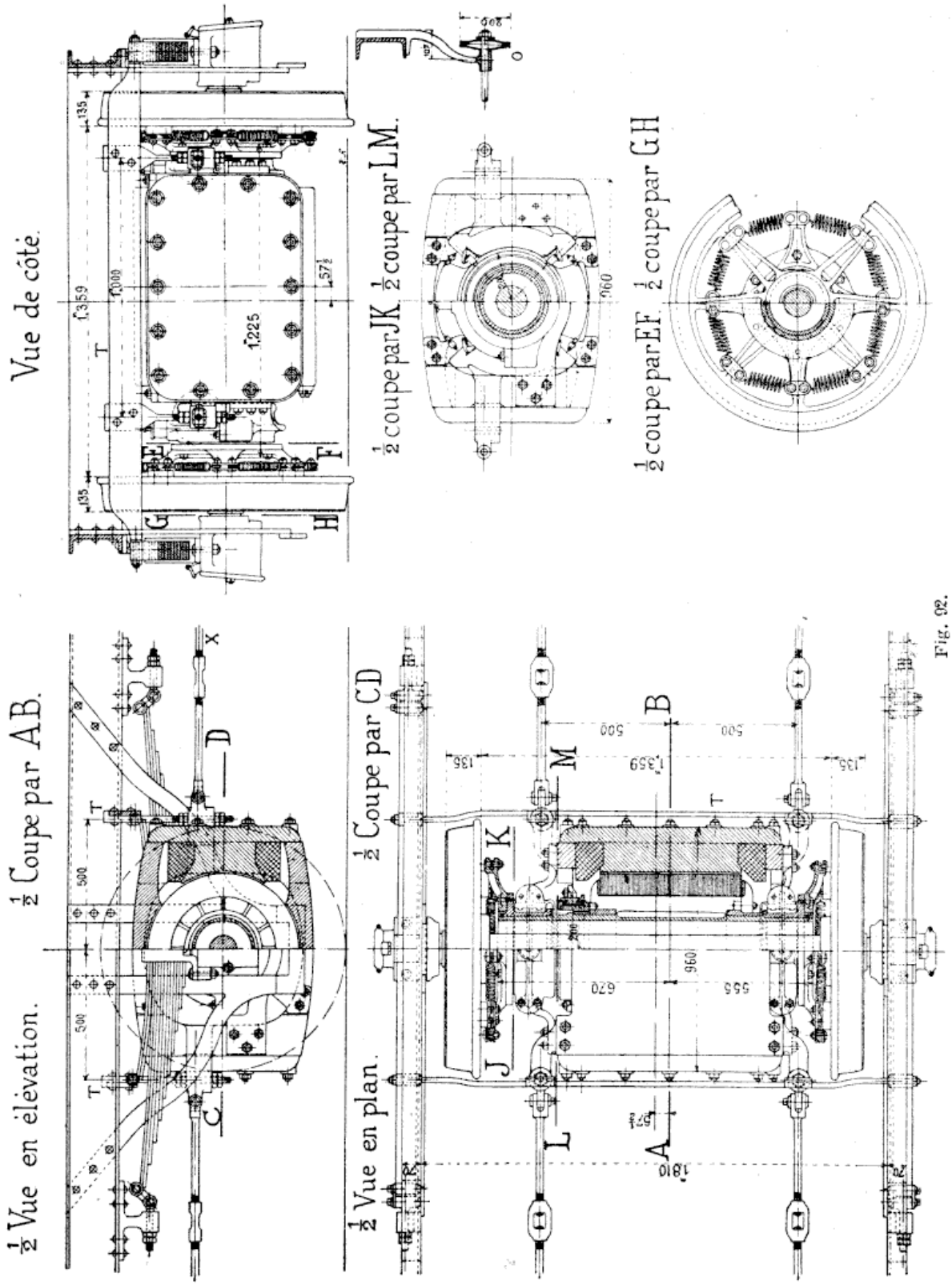


Fig. 92.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La suspension élastique de cet ensemble comporte trois parties. D'abord, la carcasse est pendue à des tirants qui s'accrochent à des traverses T dont les bouts effilés passent, en y prenant appui, dans les œillets de deux paires de lames ajoutées aux ressorts des longerons et maintenues dans des étriers communs. De son côté, le manchon servant d'arbre à l'induit est muni à ses extrémités de deux étoiles à quatre bras attachés chacun par deux ressorts à boudins aux rayons des roues. Enfin, des tirants longitudinaux X destinés à prévenir le mouvement pendulaire des moteurs les rattachent aux traverses extrêmes du châssis; ils s'y terminent par des bouts filetés recevant les écrous de serrage, après avoir traversé chacun une paire de calottes O en tôle offrant quelque élasticité en cas de choc, précaution qui n'est pas superflue, ainsi qu'on l'a éprouvé en pratique courante.

L'induit est un anneau Gramme de 0m59 de diamètre sur 0m55 de largeur et 0m10 d'épaisseur, portant 84 rainures ogivales à 12 spires chacune d'un fil de 2.9 millimètres de diamètre, soit 1,008 spires. Il y a 4 balais.

Des quatre pôles, deux ont des noyaux mesurant 0m55 sur 0m25, bobinés chacun de 1,550 spires d'un fil de 1.8 millimètre de diamètre. L'induction se produit entièrement en dérivation; il a été reconnu utile de la renforcer par une portion d'enroulement en série qui n'agirait qu'au démarrage. (Voir chap. VII.) Le fonctionnement a lieu sous 500 volts.

La résistance de chaque induit a été trouvée à froid de 0.71 ohm; calculée à chaud, 0.78 ohm. Ce qui donne 1.56 ohm dans la marche en série et 0.39 dans la marche en parallèle des deux moteurs.

Les bobines inductrices, toujours en une seule série pour les deux moteurs, présentent, à quatre, une résistance totale de 78 ohms à froid et de 85 ohms à chaud après 20 minutes d'application du courant maximum.

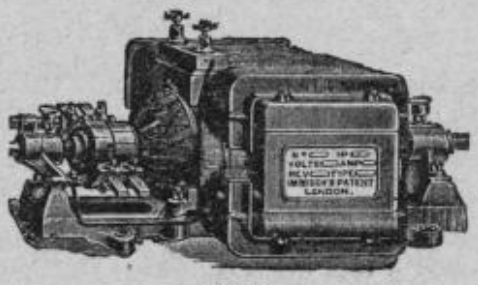


Fig. 93.

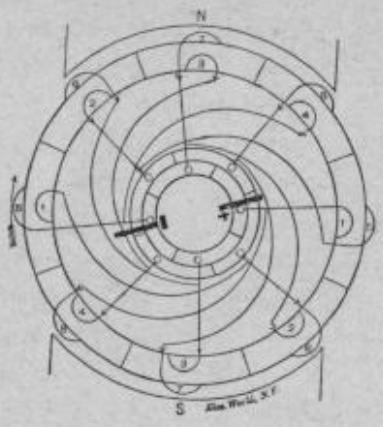


Fig. 94.

Moteur de bateau. — *M. Immish*, dans ses moteurs gearless pour canots, dédoublait le collecteur, les touches formant deux couronnes juxtaposées, l'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avançant sur l'autre d'une demi-épaisseur de touche (fig. 93). Chaque balai dédoublé, vu sa largeur, portait sur deux touches adjacentes.

La figure schématique 94 montre comment, dans un enroulement en tambour, deux spires étaient mises en court circuit par les balais, le courant s'établissant dans les spires restantes 6-3-4 d'un côté, 8-7-2 de l'autre. Ainsi se réalisait indirectement une sorte d'élargissement de la zone neutre. Le prolongement de la durée du court circuit dans les bobines élémentaires n'occasionnait pas d'échauffement notable, ainsi que cela se produisait quand on essayait aux dynamos l'application de ce dispositif aujourd'hui abandonné, mais qui a eu un certain succès vers 1888.

Le moteur Immish d'un canot de $12^{m}20$ a une armature enroulée en tambour comprenant 48 bobines avec une résistance à chaud de 0.3 ohm. Chaque pôle est excité par deux bobines et les quatre bobines inductrices sont enroulées en série avec l'induit. Il peut supporter 40 ampères sous 100 volts.

i. — *Moteurs triphasés.*

Parmi les formes données aux courants sinusoïdaux, le système triphasé offre l'avantage de permettre la construction de moteurs démarrant sous charge ne présentant pas un excès de poids.

α. — M. Heilmann est le premier qui ait abordé le problème de l'application du moteur triphasé à la locomotion, avec le concours de M. C. E. L. Brown, auteur de l'étude des enroulements.

Ces enroulements sont représentés dans les figures 95 et 96.

La figure 95 est le schéma de l'enroulement inducteur formé de 54 barres de cuivre isolé passées dans des trous percés près de la circonférence extérieure. Ces barres formaient un enroulement dit « en étoile » à 8 pôles.

L'enroulement induit était de 90 barres montées d'une façon analogue.

La figure 96 montre en demi-coupe et demi-élévation les connexions extérieures de ces deux enroulements. L'induit est extérieur et forme un tambour qui, par ses bases, va s'attacher aux roues qu'il entretoise solidement. Ces roues tournent donc sur l'essieu fixe, moyennant de larges coussinets. L'inducteur est intérieur, colé sur l'essieu dont les extrémités sont maintenues par des leviers empêchant sa rotation et soutiennent les chapes des ressorts. Le courant est amené à l'inducteur par trois câbles passant dans un trou central. Les extrémités de l'enroulement induit sont reliées à des frotteurs qui, tournant avec le tambour extérieur, s'appuient sur trois bagues concentriques à l'essieu.

Ce moteur a été réalisé en un modèle de 60 à 80 chevaux essayé préalablement à la construction de la première locomotive Heilmann (chap. VII) et alimenté par une génératrice et une machine à vapeur construites à cette fin.

On obtint aisément 65 chevaux. Le torque, à la vitesse de 190 tours par minute,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

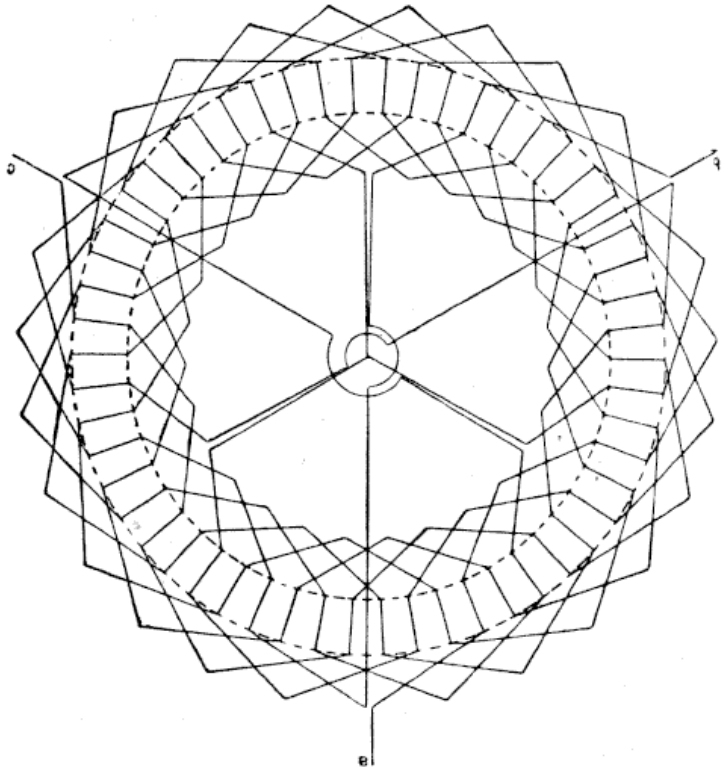


Fig. 95.

Fig. 96.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

correspondait à un effort de 350 kilogrammes, à la jante d'une roue de 1m04. de diamètre (1). Le moteur démarrait de lui-même, mais en donnant un couple assez faible. Pour l'augmenter, il était nécessaire d'intercaler des résistances dans les branches du circuit induit (2). Or, la nécessité de ce réglage et partant l'interposition de frotteurs au balais étant démontrée, enlevait à l'emploi du courant triphasé l'avantage de la simplicité recherchée par M. Heilmann. Ce motif, certains doutes à l'endroit du rendement, la difficulté de mesurages précis réclamés dans l'essai de la locomotive projetée, firent préférer le moteur à courant continu.

Ajoutons en passant que les balais en charbon et le conditionnement du champ magnétique des moteurs à courant continu, ont beaucoup diminué aujourd'hui l'importance des inconvénients du collecteur.

β. — Si, au point de vue de la distribution de l'énergie électrique émanant d'une source lointaine, on parvient à démontrer l'avantage financier de sa transformation directe en courant de même nature, le triphasé se prête bien à cette distribution de l'énergie et à son utilisation dans le moteur pour locomotion.

Le seul type en usage est employé au tramway de Lugano et figuré chapitre III.

Il est construit par MM. Brown, Boveri et Cie. Sa puissance est de 20 H. P. L'induit est formé de tôles assemblées comme d'ordinaire et présentant à la périphérie des ouvertures parallèles à l'axe, où se logent les fils de cuivre isolés qui sont le siège des courants induits par le champ tournant. Celui-ci est provoqué dans le système inducteur par les trois branches d'un courant triphasé d'une fréquence de 40 périodes par seconde à 500 volts.

Trois bagues sur l'axe de l'induit répondent aux trois extrémités des trois circuits, les trois autres étant réunies au point neutre selon la disposition dite « en étoile ». Ces circuits induits recueillis sur ces trois bagues par des contacts glissants, passent par le régulateur qui y intercale des résistances.

Ce moteur est étudié pour une vitesse des voitures de 15 kilomètres à l'heure. Lorsque ce régime est atteint, il se maintient, malgré les variations du profil. S'échauffant très peu, il est enfermé dans une boîte quasi hermétique, dont la partie supérieure s'ouvre pour la visite périodique, l'inférieure étant reliée au châssis de la voiture et portant les paliers du pignon. Les roues dentées donnent une réduction de vitesse de 4 : 1.

Enroulements. — Induit : Diamètre, 405 millimètres; nombre de sections, 3 × 12, à 4 spires formées de 4 lames de 2 × 16 millimètres. Inducteur : 12 pôles; nombre de sections, 3 × 5 à 24 spires d'un fil de 3.70 millimètres de diamètre.

---

(1) Mémoire présenté à la Société industrielle de Mulhouse, par J.-J. Heilmann, en 1892.

(2) Sans ces résistances, la vitesse et le torque seraient liés à la vitesse de la génératrice, et la vitesse de cette dernière serait limitée lorsque le moteur marche lentement, ce qui limiterait la puissance au moment où elle devrait être le plus grande, en rampe, par exemple, ou aux démarrages.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2. — Réglage de la marche des moteurs.

a. — *Appareils pour courant direct.*

Procédés primitifs. — Au début de la traction électrique, un coupe-circuit, un commutateur à deux ou trois plots intercalant des résistances dans ce circuit pour éviter l'excès de courant, surtout au démarrage, constituaient les appareils employés au réglage de la marche des moteurs.

On variait la substance et la forme des résistances à intercaler; les métaux, le carbone, l'eau légèrement salée, le nombre d'éléments résistants pour graduer les fluctuations du courant firent l'objet d'essais nombreux.

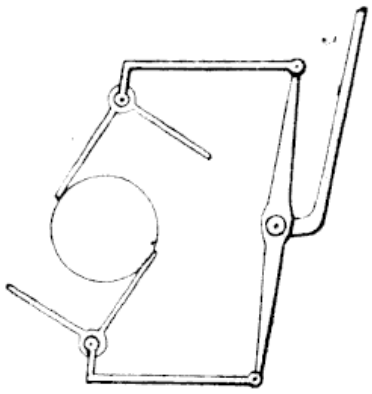


Fig. 97.

Dans les mines de Zaukeroda, dès 1883, *MM. Siemens et Halske* employaient des résistances en baguettes minces de charbon à lumière. Ce *rhéostat*, qui s'échauffait fortement, était plongé dans l'eau. Mais on ne tarda pas à donner la préférence au fer sous la forme soit de fil enroulé sur matière réfractaire, soit de lames pleines ou matricées en zigzag, séparées par des couches de mica ou d'asbeste. Le maillechort, de même que la nickeline, sont d'un emploi plus rare.

Pour obtenir la marche du locomoteur en sens inverse, on agit principalement sur le sens du courant dans l'induit.

Cependant, l'idée de légèreté que l'on attachait essentiellement à la construction des moteurs électriques écartait, à l'origine, l'emploi d'inducteurs puissants, de sorte qu'afin d'éviter les étincelles, il fallait rétablir l'angle de la ligne de contact des balais dans la zone neutre pour les deux sens de la marche.

Tel était le but du dispositif (fig. 97). Un jeu de leviers changeait la position des *porte-balais à fourche;* ce système, en renversant le sens du courant dans l'induit, respectait l'angle de calage des balais sur la ligne neutre, ainsi que le sens de leur inclinaison.

On ne tarda pas cependant à accorder la préférence au système du *renversement de courant par commutateur*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Encore cela ne paraissait pas suffire. Dans la locomotive *Field*, décrite au chapitre précédent, bien que le renversement de la marche s'obtînt par celui du sens du courant, les balais n'étaient pas fixes et pouvaient se déplacer sur une couronne entourant le collecteur et mue par un petit moteur spécial (fig. 98) :

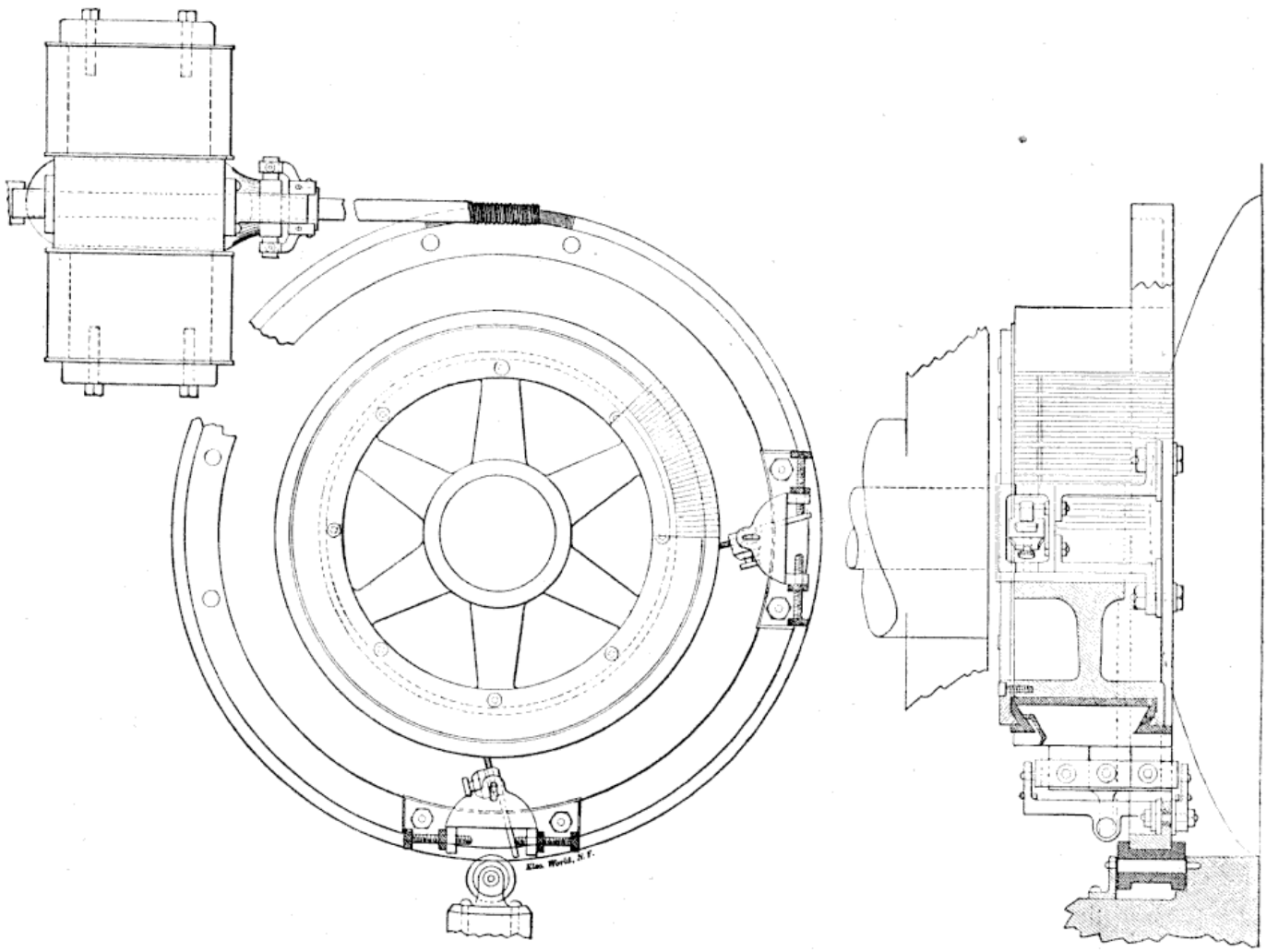


Fig. 98.

tandis que deux des balais recueillaient le courant principal, deux balais auxiliaires captaient un courant dérivé vers le petit moteur de réglage, qui fonctionnait dans un sens ou dans l'autre, jusqu'à ce que l'égalité de potentiel aux balais auxiliaires fût rétablie. Cet ingénieux raffinement, reconnu superflu et encombrant aujourd'hui, ne présentait d'autre avantage que l'*automaticité du réglage* du débit de l'électro-moteur avec l'effort et la vitesse. Un rhéostat liquide modérait le courant lors de la mise en train. Au surplus, tout un compartiment du véhicule moteur était occupé par des appareils modérateurs, inverseurs, régulateurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et contrôleurs, que la construction actuelle parvient à condenser en un espace beaucoup plus restreint.

Lorsque, moyennant une transmission du mouvement à l'essieu par engrenages et chaînes, le moteur des voitures motrices se trouvait sur la plate-forme, dispositif que l'on trouve encore sur certaines lignes et qu'avait adopté au début Ch. Van Depoele, le *maniement direct du porte-balais* permettait un réglage exact.

Système Van Depoele. — Dans son prospectus de 1887, Van Depoele donnait la figure 99, où se voit le levier de manœuvre des balais g et g_1 autour du collecteur G.

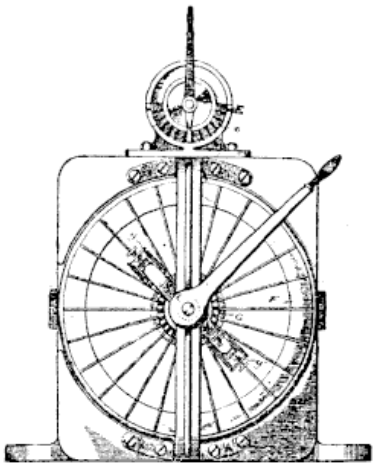


Fig. 99.

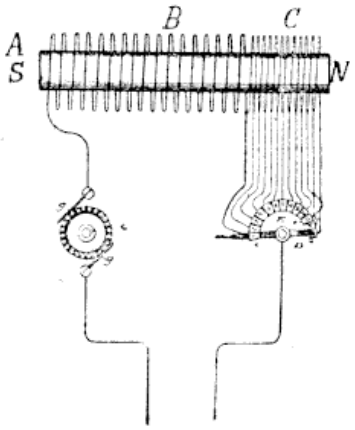


Fig. 100.

Une importante innovation y est revendiquée comme sienne par cet ingénieux pionnier de l'électro-traction (1), c'est le système de modération de la marche, dans lequel le *rhéostat est constitué par le fil du solénoïde du champ magnétique.*

Voici comment il s'exprime :

« Dans tous les systèmes de propulsion des cars de tramways employés « jusqu'ici (1887) pour en régler la vitesse et la puissance, une boîte de résis- « tance ou rhéostat a été intercalée dans le circuit du moteur électrique. « Ce dispositif atteint le but, mais pas économiquement ni parfaitement, pour le « seul motif que le courant passant à travers le rhéostat est une pure perte « (*a clear loss*), puisqu'il est dépensé hors du moteur.

(1) Charles Van Depoele, né en Belgique en 1846, à Lichterfeld près Gand, montra dès son jeune âge un goût prononcé pour les expériences d'électricité. Il ne délaissa jamais les applications de cette science, qu'il menait de front avec son état, l'ameublement d'art, état qu'il continua aux États-Unis à partir de 1869. Vers 1874, ses travaux et inventions dans le domaine de l'électricité l'absorbèrent complètement. En 1888, il s'associa à la Compagnie Thomson-Houston. On trouvera en différents chapitres de ce livre l'exposé de ses œuvres en matière de traction électrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Dans le système Van Depoele de *moteur rhéostatique*, au contraire, il n'y a « pas de perte de l'espéce; les spires C (fig. 100) formant résistance, successive- « ment soustraites ou introduites par la manette D du commutateur E, sont « enroulées sur le noyau A de l'électro-aimant NS en supplément des spires B « du solénoïde constituant le champ magnétique. Il est aisé de comprendre « maintenant qu'en mettant le moteur en marche avec une lourde charge, « le courant supplémentaire passant à travers les spires du rhéostat faisant « partie du champ, lui fournira un magnétisme plus puissant, et par conséquent « un accroissement de puissance juste au moment voulu. Après le démarrage, « le moteur prendra une vitesse croissante et les sections du rhéostat pourront « être soustraites successivement et enfin totalement quand la vitesse maximum « sera atteinte. »

Il est à noter que ce système de rhéostat magnétiseur a été adopté par Sprague, à qui l'on en attribue l'invention, et rejeté par la firme Thomson-Houston, à laquelle Van Depoele s'associa vers 1888.

Système Sprague. — La Compagnie Edison-Sprague appliqua le principe défini par Van Depoele, dans la description de son rhéostat magnétique, à un appareil régulateur pouvant desservir aussi bien deux moteurs qu'un seul, et l'appliqua aux voitures munies de ses moteurs; de là les noms de *Edison controller* et *Sprague controller* sous lequel on décrit des régulateurs à cylindre construits sur le même principe. C'est aussi le système préconisé en Europe par l'*Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft.*

2. — Régulateur pour un moteur. — Envisageons d'abord le schéma des connexions à établir entre le régulateur Sprague et un seul moteur (fig. 101), en nous bornant aux fonctions les plus simples de l'appareil desservant un moteur à double réduction.

Sur le cylindre, que la figure montre développé, une série de doigts à ressorts rangés à part sous la lettre D et en relation avec les organes où le courant circule, reposent pendant les arrêts sur les plots isolés N.

Par la rotation du cylindre, les plots allongés en surface de contact glissent successivement sous les doigts fixes, dans les positions 1 à 7, ci-après définies:

1. — Les bobines élémentaires d'électro-aimant $+ a - a$, $+ b - b$, $+ c - c$, sont toutes en série, le courant venant du trolley après les avoir parcourues passe par l'armature A, puis à la terre.

2. — Le courant, tout en lançant une dérivation dans l'élément inducteur $+ a - a$, se rend directement à $+ b - b$, puis en série à $+ c - c$ et le reste comme précédemment.

3. — Position de transition ne différant de la précédente que par l'élimination momentanée de $+ a - a$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4. — Les bobines élémentaires $+a-a$ et $+b-b$ sont en parallèle ensemble et en série avec $+c-c$.

5. — L'élément $+c-c$ est mis en dérivation sur le courant.

6. — Position de transition où $+c-c$ est momentanément hors circuit.

7. — Tous les éléments en parallèle. On voit donc que, sauf dans les positions de transition 3 et 6, *tout le fil des éléments inducteurs est constamment utilisé.*

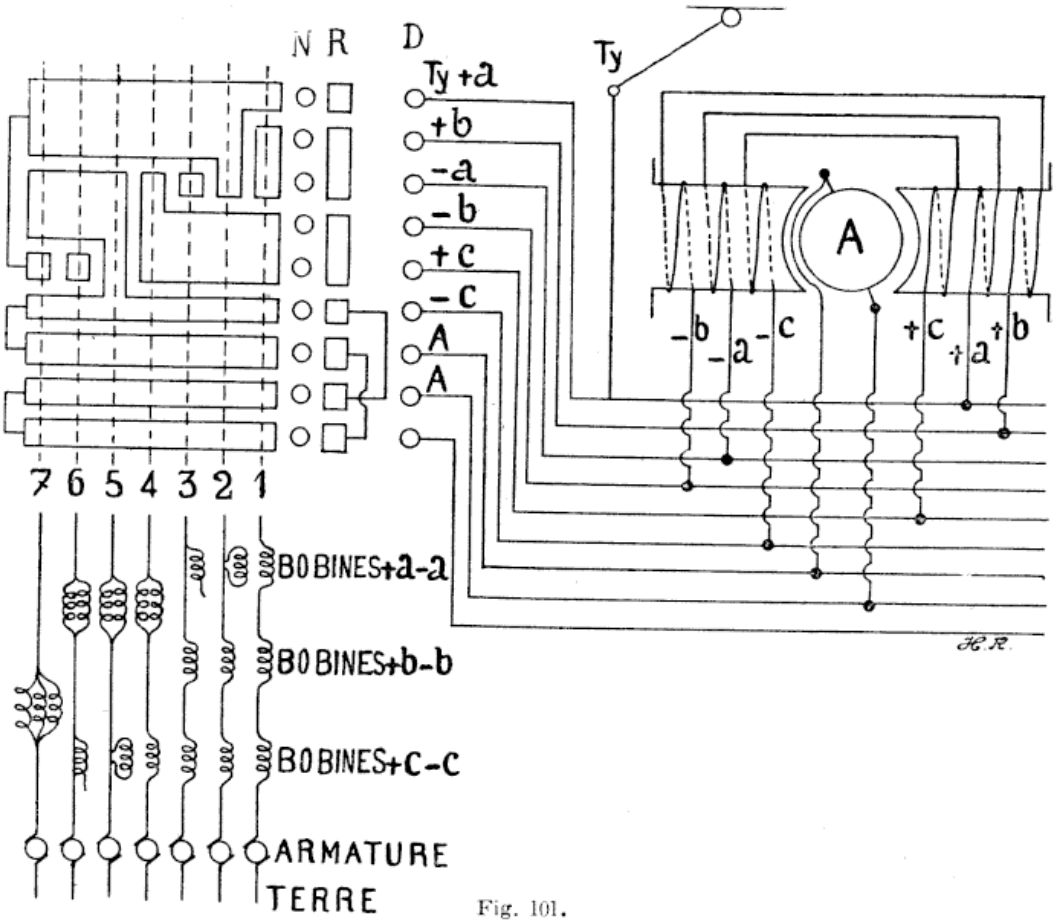


Fig. 101.

En ramenant la manivelle du cylindre au point de départ pour la faire tourner en sens inverse, position R, on obtient, avec les bobines inductrices en série, le renversement du courant dans l'armature.

Pour desservir les moteurs Sprague à *double réduction*, les intensités de courant plus faibles, la rotation plus rapide de l'armature permettaient l'admission directe du courant à l'armature, même pendant le démarrage, au sortir des électro-aimants, *sans résistance supplémentaire.*

β. — Lors de la mise en service des moteurs à *simple réduction*, la diminution de la vitesse angulaire de l'induit et l'augmentation du torque à produire exigèrent, pour l'instant du démarrage, *une résistance intercalée dans le circuit de l'armature* et soustraite après la première phase de mise en marche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

γ. — Régulateur pour deux moteurs. — Les deux moteurs fonctionnent *en parallèle*. Tous les fils issus des doigts D (fig. 101) vont d'un régulateur à l'autre. Il suffit, dès lors, d'y prendre une dérivation par fil vers chaque moteur, pour réaliser les connexions.

δ. — Régulateurs de l'*Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft*. — Cette Compagnie a mis successivement en service deux types de régulateurs Van Depoele-Sprague, dont les combinaisons desservent deux moteurs comme un seul en parallèle, mettant les éléments des bobines inductrices en série, puis en dérivation, en introduisant en série et en dérivation une résistance additionnelle.

Une importante addition est le *freinage électrique*, combinaison qui précède celle du recul et consiste à faire travailler le moteur sur un circuit fermé, de façon à engendrer un courant de sens opposé à celui qui mouvait la voiture en avant.

Premier type. — Les combinaisons se trouvent résumées dans la figure 102, où W*c* représente la résistance additionnelle. Elles y sont rangées comme sur le cylindre du régulateur développé sur la figure 103, représentant le schéma de toutes les connexions sur une voiture à deux moteurs.

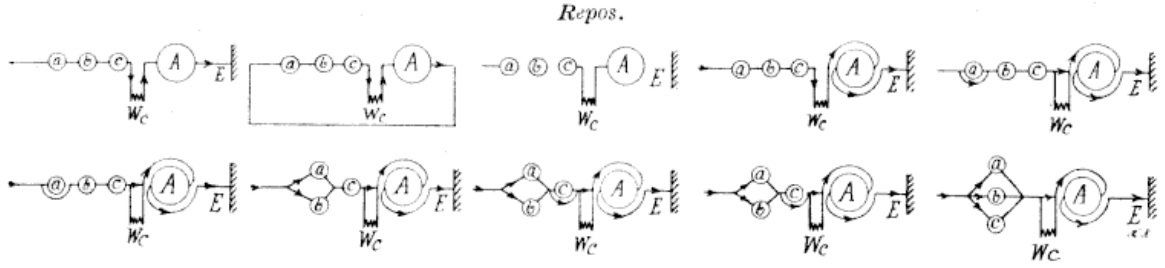


Fig. 102.

Ainsi, sur la figure 102, la position de repos est la *troisième* combinaison ; à droite, se présentent celles de la marche en avant, lesquelles sont désignées sur la figure 103 par les nombres 1 à 7, tandis qu'à gauche s'obtient à volonté la position du freinage ou celle du recul. Dans celle du *freinage*, on voit sur la figure 102 le moteur dans un circuit fermé de sens inverse à celui de la marche en avant, et la figure 103 montre que dans cette position, la plus rapprochée du repos, la touche *a* est restée en relation avec le trolley K, mais l'armature A n'est plus à la terre E.

Toutes les combinaisons de la figure 103 se lisent aussi facilement que celles de la figure 101, en notant que la résistance W*c* communique avec l'armature par la voie + *c* — *c* — W*c*.

Deuxième type. — Plusieurs modifications introduites sont indiquées sur le schéma des connexions (fig. 104). Pour la marche en avant, il y a huit combinaisons au lieu de sept; la position 2 met la résistance W*c* en parallèle avant d'y mettre aucune des trois paires de bobines élémentaires inductrices. Le frein

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

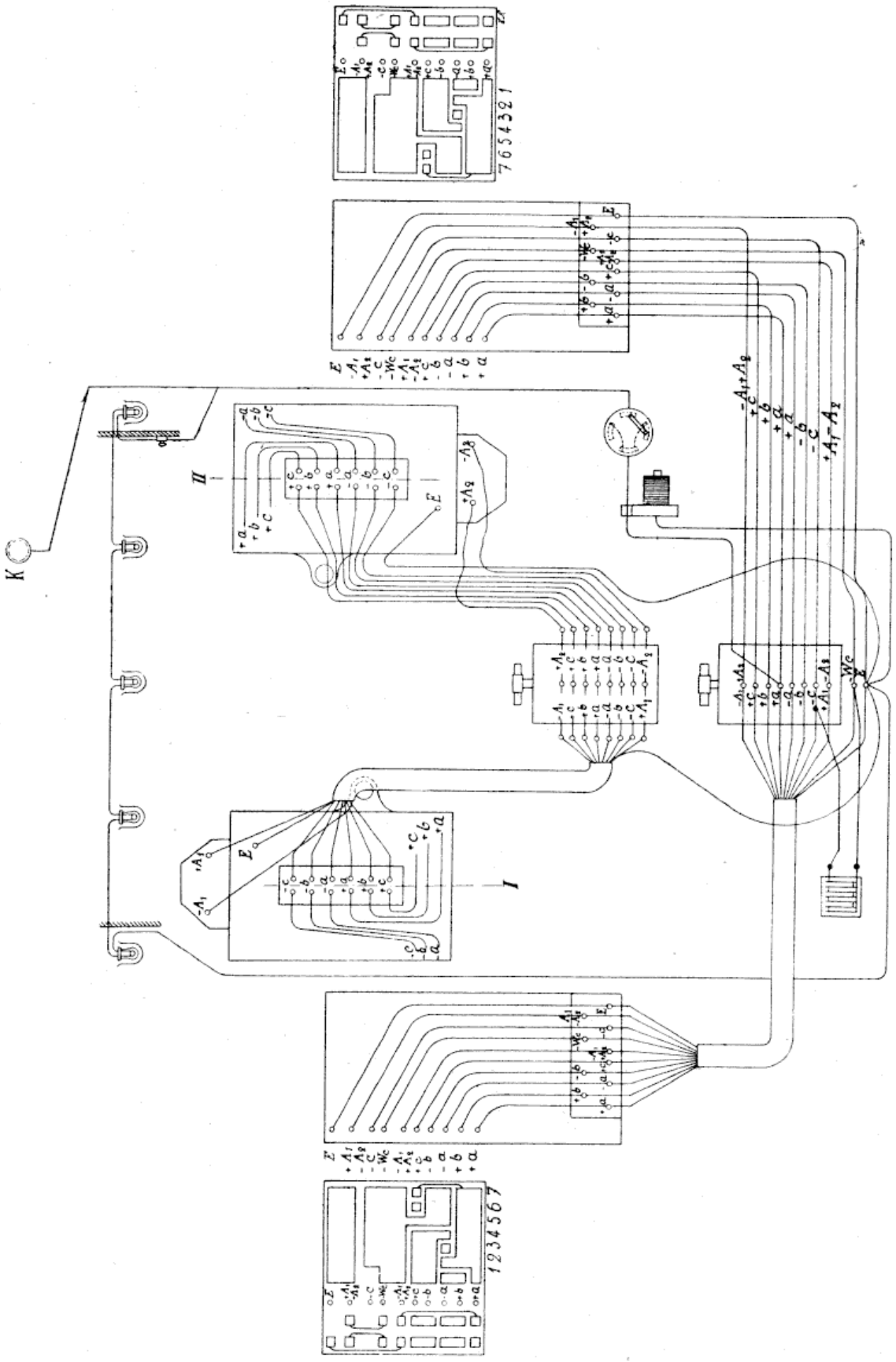


Fig. 103.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

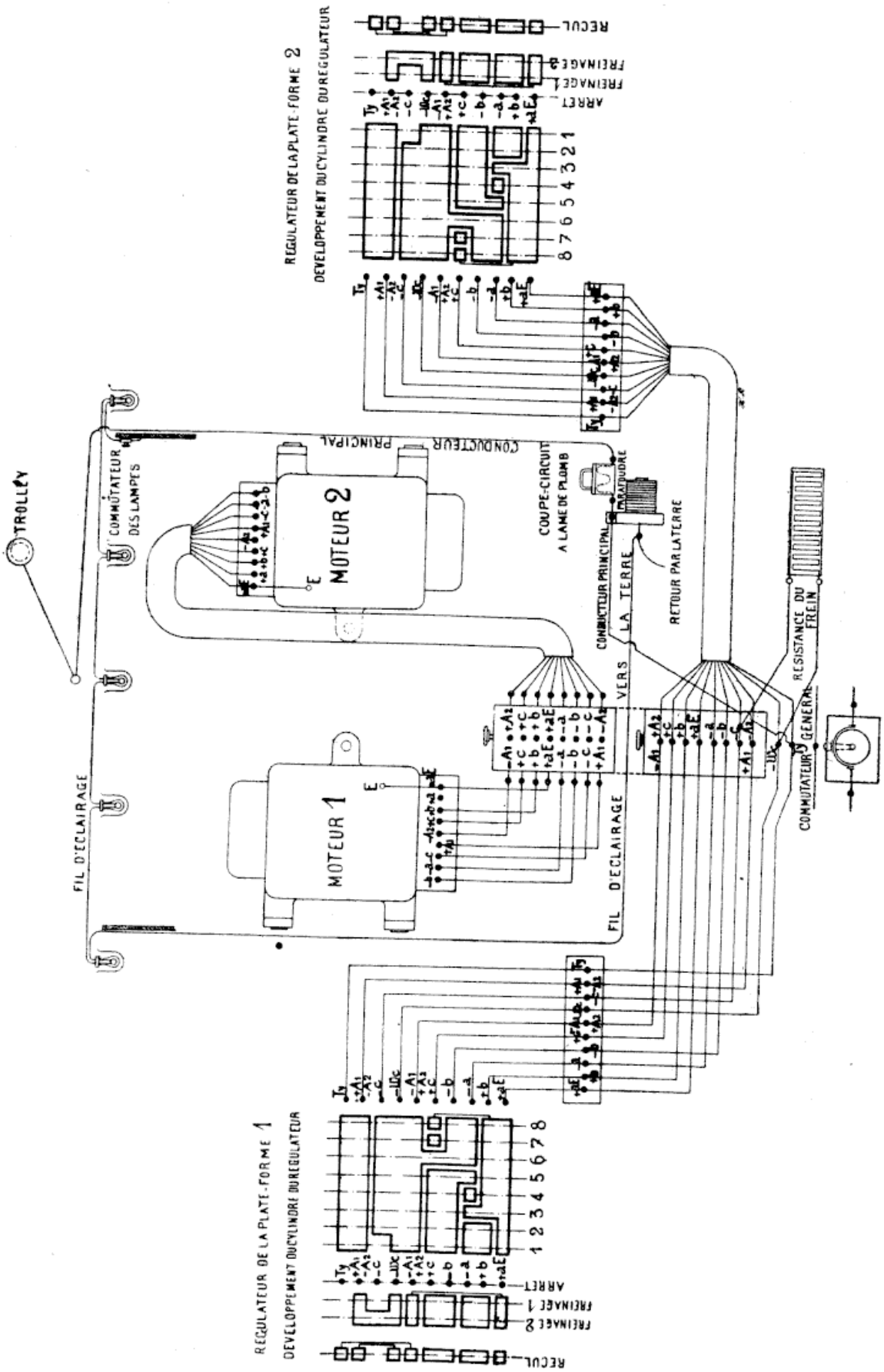


Fig. 101.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

électrique fonctionne dans deux conditions : *frein 1*, avec la résistance en série ; *frein 2*, avec la résistance en parallèle. Enfin, l'on voit que l'entrée du courant venant du trolley a lieu par l'armature, les bobines d'électro *a* étant à la terre dispositif inverse du précédent schéma. Le frein fonctionne donc sans aucun point de contact avec le trolley.

Systèmes « série-parallèle », « loop », « shunt ». — Le principe des circuits série-parallèle, qui déjà dans le système Sprague se trouve pratiqué au moyen des bobines élémentaires des électro-aimants, a été appliqué de différentes manières en combinant les circuits des inducteurs, des armatures et des résistances externes.

Dans l'un de ces dispositifs, une portion du circuit inducteur est soustraite totalement dans l'une des phases, et le courant passe par l'autre portion. C'est le *loop* system.

Dans l'autre, le circuit inducteur n'est jamais réduit en longueur, mais affaibli dans certaines phases, par mise en parallèle avec un *shunt* de faible résistance.

En ajoutant ou en supprimant d'autres résistances en série dans le circuit général passant par l'armature, on obtient une suite de combinaisons réalisables avec un seul moteur.

Lorsqu'on dispose de deux moteurs, on peut, en outre, les faire travailler en série l'un à la suite de l'autre et ensuite en parallèle. C'est la combinaison que l'on a généralement en vue, en parlant du *series parallel system*.

D'ailleurs, le *circuit inducteur reste toujours en série avec le circuit induit*, et il en est généralement ainsi dans les moteurs de tramways. Il est rare que l'on y trouve une partie de l'excitation en dérivation, comme on en dispose dans les puissants moteurs de railways, ou dans la traction par accumulateurs.

Régulateurs Thomson-Houston. — α. — Au cas d'un seul moteur, on emploie le rhéostat pour le démarrage, puis, lorsque la vitesse déjà suffisante doit être augmentée, on recourt soit au « loop » system qui vient d'être défini, soit au shunt. Il existe encore des voitures munies d'un seul rhéostat, semi-circulaire et plat, dont les touches sont implantées directement entre des jeux de résistances lamellaires ; il porte une poulie enroulée de deux lames d'acier, en relation avec les manivelles manœuvrées sur les deux plates-formes ; l'une des dernières touches conduit à l'une des susdites combinaisons réduisant l'intensité du champ (1).

β. — Dans le cas de deux moteurs, le rhéostat aujourd'hui a fait place au « controller » à cylindre vertical.

---

(1) Les voitures du tramway de Herstal ont également un rhéostat placé sous la caisse de la voiture et manœuvré des deux plates-formes par un système funiculaire, guidé par des poulies. Les résistances en maillechort atteignent jusqu'à 35 ohms.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Avec les moteurs W. P., n'ayant qu'une seule bobine inductrice, la *General Electric Company* de New-York et ses filiales européennes emploient généralement le *series-parallel and loop system*.

Avec les moteurs G. E. 800 et leurs similaires ayant deux bobines inductrices, au lieu d'en soustraire une partie au passage du courant, on *shunte les solénoïdes*. Ce shunt s'établit sur de faibles résistances.

Toutefois, à l'initiative des ingénieurs de la Société des Tramways Bruxellois, cette dernière combinaison a été essayée avec succès, au lieu du « loop », dans les connections desservant les moteurs W. P. et, si nous sommes bien informé, le système du shunt serait généralisé par l'*Union Elektricitäts-Gesellschaft*, qu'il s'agisse de moteurs à une bobine ou à deux bobines inductrices.

Quoi qu'il en soit, voici le schéma des combinaisons réalisées dans les deux systèmes (fig. 105).

Ces figures s'interprètent comme suit :

Régulateur pour deux moteurs. Combinaisons en série et en parallèle.

Système du « loop ».	**Système du « shunt ».**
1° Moteurs en série entre eux + une résistance de 4 à 6.1 ohms.	1° } Mêmes combinaisons.
2° Moteurs en série entre eux + une résistance de 1.1 ohm, l'autre en court circuit.	2° }
3° Moteurs en série sans résistance, celle de 1.1 ohm en court circuit.	3° }
4° Moteurs en série comme au 3°, une partie des solénoïdes inducteurs est en court circuit.	4° Moteurs en série, les solénoïdes inducteurs shuntés par une résistance.
5° Moteurs en série entre eux + une résistance de 1.0 ohm.	5° } Mêmes combinaisons.
6° Un moteur + une résistance de 1.1 ohm, l'autre hors circuit.	6° }
7° Idem, idem.	7° }
8° Moteurs en parallèle + une résistance de 1.1 ohm.	8° }
9° Moteurs en parallèle, sans résistance.	9° }
10° Moteurs en parallèle sans résistance, une partie de solénoïdes inducteurs est en court circuit.	10° Moteurs en parallèle sans résistance, les solénoïdes inducteurs shuntés par une résistance.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la première phase, on prend 4 ohms pour les moteurs W. P. 50, et 6.1 ohms pour les moteurs G. E. 800.

La résistance des « shunt » varie avec le genre et la puissance des moteurs, elle est de 0.3 pour le type W. P. 50, de 0.6 pour le W. P. 30 et de 1.2 pour le G. E. 800 parallèlement aux circuits inducteurs de chaque moteur.

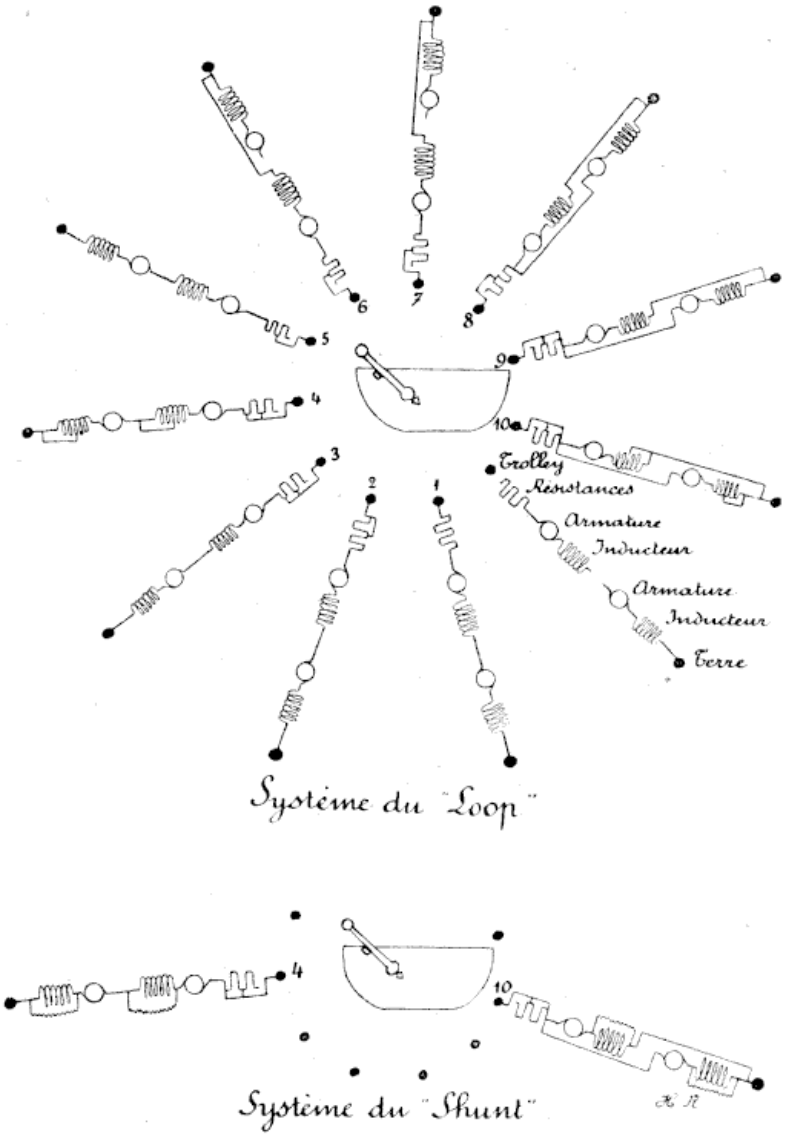


Fig. 105.

Les crans 1—2—5 ne sont pas des positions de marche, et les crans 6—7 sont transitionnels. Les positions 4 et 8 sont les plus employées en allure normale.

7. — L'instrument manipulé pour fournir ces combinaisons régulatrices, le *K.* ou *S. P. controller*, présente un cylindre en matière isolante portant une série de plots plus ou moins allongés, se mouvant devant des doigts fixés à des ressorts. Il est représenté figure 106.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

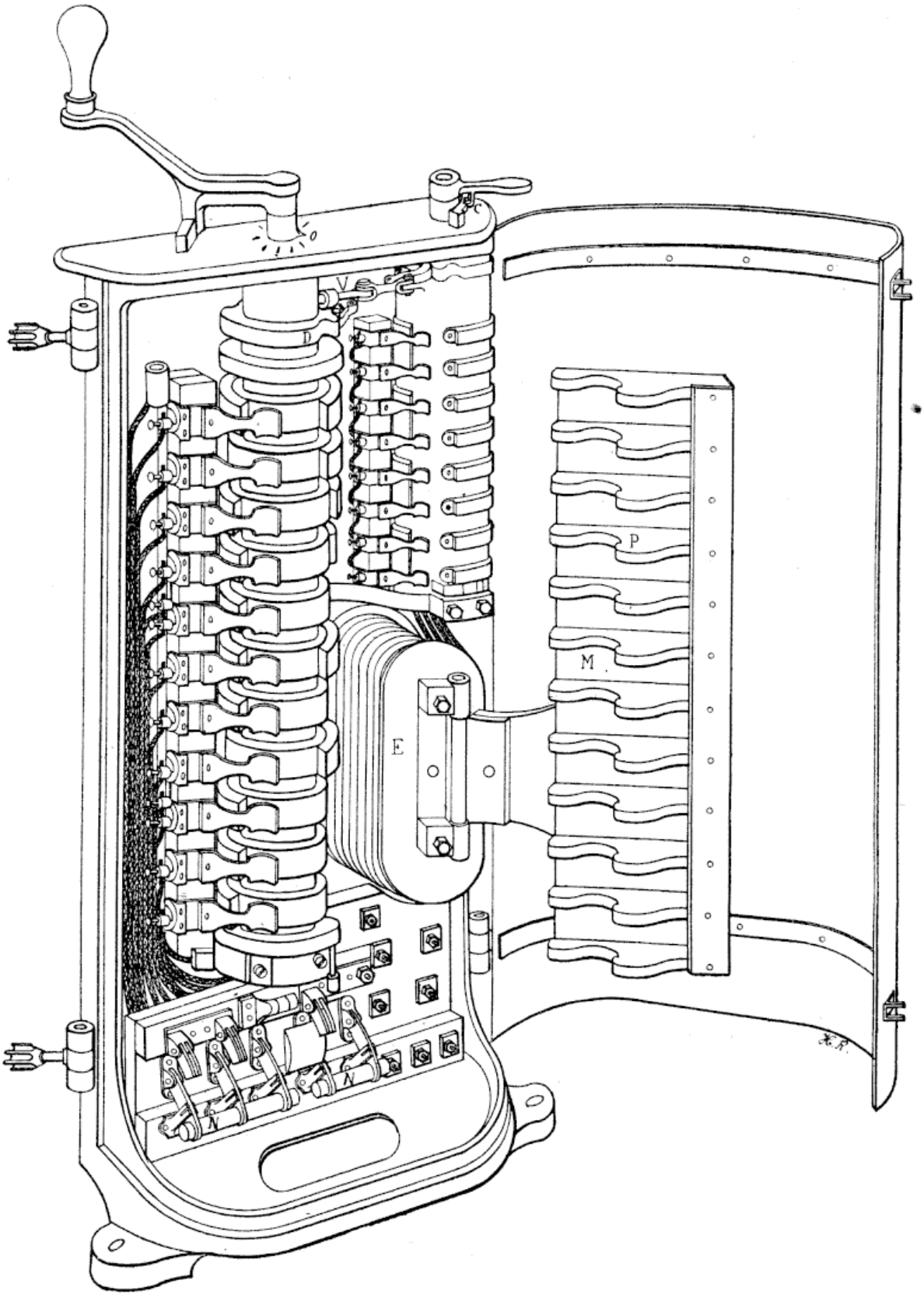


Fig. 106.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un petit cylindre à droite est le commutateur servant au changement du sens de la marche.

Entre ce commutateur et le cylindre régulateur existe une liaison mécanique : le verrou V ne peut pénétrer dans le logement pratiqué dans le noyau du régulateur que si la manette du commutateur est au point neutre, c'est-à-dire le courant coupé, et pour enlever cette manette, le crochet C qu'elle porte doit être en face d'une encoche correspondant à ce point neutre, milieu entre la position de marche avant et celle du recul.

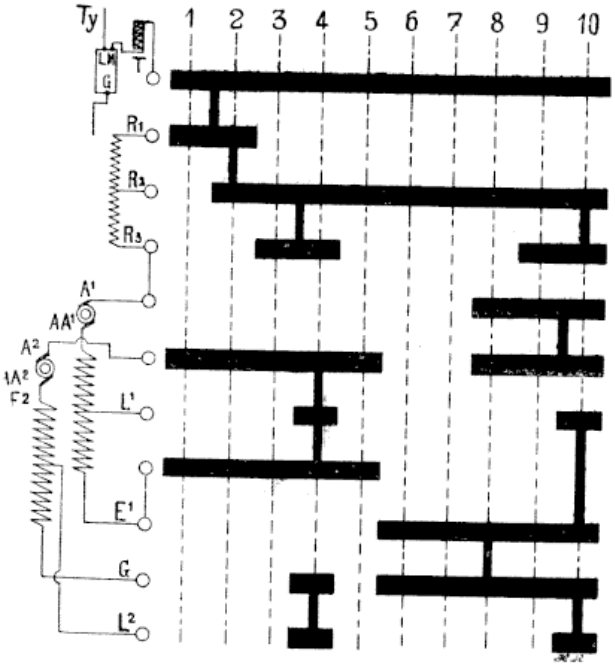


Fig. 107.

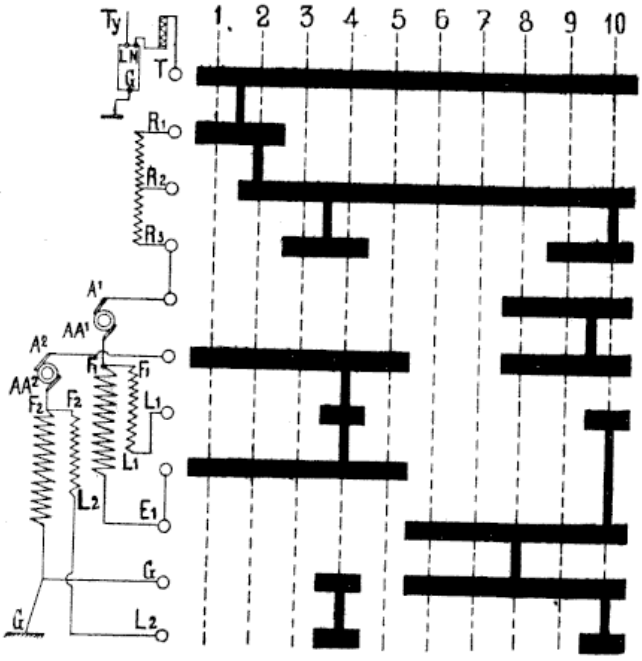


Fig. 108.

Le *souffleur magnétique* d'étincelle est une plaque M magnétisée par l'électro E et montée sur charnière; elle porte des planchettes isolantes P incombustibles qui s'intercalent entre les doigts du régulateur lorsque l'armature M est en place.

On voit, enfin, au-dessus du régulateur un disque denté D, dont chaque dent donne, à chaque phase, un léger choc avertisseur, sur un cliquet à ressort qui maintient en même temps la manivelle en place. Au-dessous se trouvent des commutateurs N servant au cas où l'un des moteurs doit être retiré du circuit.

δ. — Les figures 107 et 108 montrent le cylindre régulateur développé avec les liaisons établies intérieurement entre les plots, ainsi que les jonctions entre les doigts à ressort, jonctions différentes selon qu'il s'agit du *loop system* (fig. 107) ou du *shunt* (fig. 108).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La figure 109 indique les connexions du commutateur du sens de la marche.

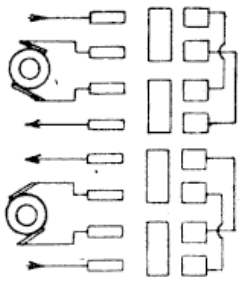


Fig. 109.

ε. — Nous reproduisons figure 110, le diagramme complet des connexions d'une voiture munie de deux moteurs de 20 à 30 chevaux, ainsi que les appareils de manœuvre et de sécurité à y installer.

Le câblage se fait en fils de 4.1 et 3.7 millimètres ou l'équivalent en câbles souples; ils sont réunis en deux séries, câble I et câble II.

On voit que le rhéostat principal et celui des shunts sont construits pour différents types de moteurs et connectés, selon le cas, comme nous l'avons dit ci-dessus.

Près du parafoudre se trouve le *kitching coil* B ou bobine d'impédance formée de dix tours de fil sur un cylindre isolant traversé par un noyau en fer fixé par des équerres au châssis.

ζ. — Freinage. — Il n'y a généralement d'autre phase de freinage électrique, dans les régulateurs Thomson-Houston, que celle du renversement du courant dans les armatures, par la manœuvre de la manette du commutateur du sens de la marche. Ainsi, en descendant une longue pente au moyen du frein à main, le régulateur étant au point mort, le changement de marche peut être mis sur marche en arrière pour obtenir, à la première alerte, l'effet retardateur désiré, dès que l'on fera tourner le régulateur. Mais c'est là un frein d'alarme que l'on déconseille d'employer couramment.

La *General Electric Company* a cependant étudié un freinage électrique fonctionnant au moyen de son « controller » et décrit à l'assemblée de 1895 des sociétés de tramways, à Montréal.

Le principe s'en définit ainsi : transformer les moteurs en dynamos sous l'action de la force vive et du poids de la voiture, et envoyer le courant dans des électro-aimants spéciaux actionnant des blocs qui agissent sur des disques en fonte calés sur les essieux. La communication avec le trolley est coupée. A cette fin, le régulateur porte cinq nouvelles rangées de plots cylindriques et ses connexions avec le moteur sont compliquées dans la même proportion.

A notre connaissance, les tramways ne se sont pas empressés d'accueillir cette complication.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

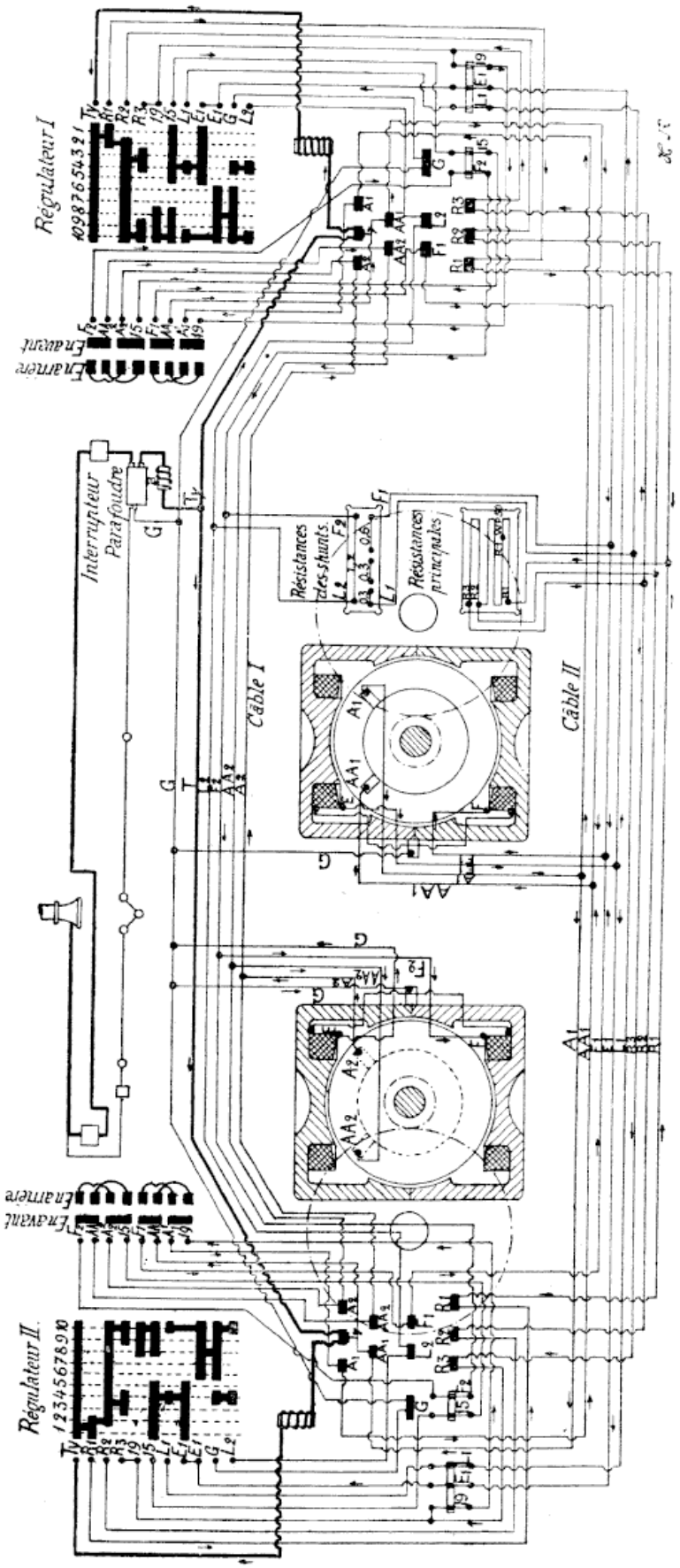


Fig. 110.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Régulateur Westinghouse. — C'est un « series-parallel system » ne différant pas essentiellement du précédent.

Régulateur Walker. — La manufacture américaine Walker, de Cleveland, a introduit dans son « controller » un *pare-étincelle* étudié d'après le principe du fractionnement de l'arc.

La figure 111 est une vue d'ensemble de l'appareil, la figure 112 montre ses connexions avec les moteurs, la figure 114 est un schéma des combinaisons.

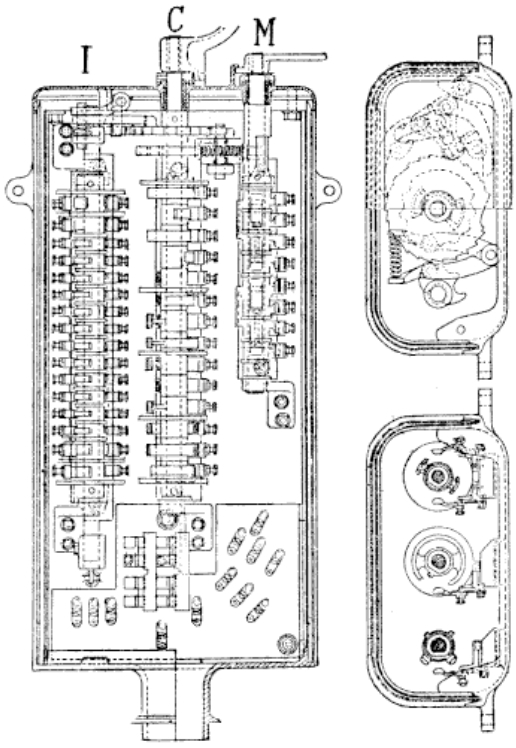


Fig. 111.

Le pare-étincelle est indiqué par la lettre I sur les figures 111 et 112. C'est un cylindre parallèle au régulateur C et manœuvré par la même manivelle, moyennant une transmission à déclenchement. M est le changement du sens de la marche

L'interrupteur I porte deux séries de plots P que la rotation amène en contact avec deux séries de doigts D, voir aussi la figure 113.

Lorsque le contact est établi, un fil forme court circuit entre les plots T du fil de trolley et ceux du fil R allant au régulateur ; mais lors de la rupture du circuit, la série supérieure entre en jeu tout entière, et moyennant un léger désaxement des plots, commence la séparation par le bas. L'arc, subdivisé brusquement, ne persiste pas. D'ailleurs, le régulateur C n'a plus de touche en fonction à l'instant où agit l'interrupteur I.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mécaniquement, la rotation brusque du cylindre I qui provoque la rupture du circuit est le résultat d'un déclenchement qui s'opère dès que la manivelle du grand cylindre régulateur est détournée, ne fût-ce que de 6 millimètres; à l'instant même, un ressort agit sur le petit cylindre interrupteur.

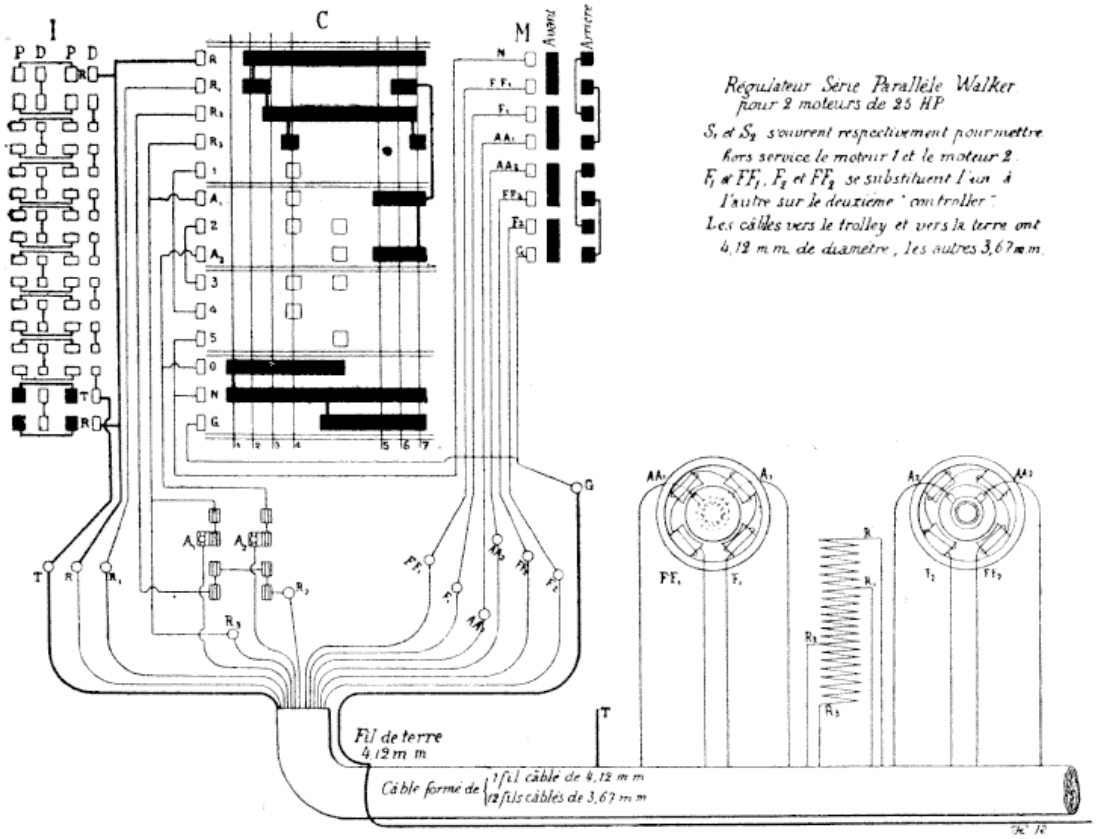


Fig. 112.

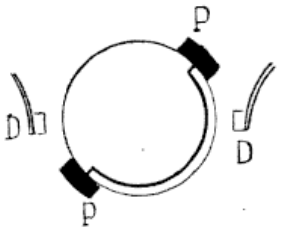


Fig. 113.

Sur le schéma des combinaisons série parallèle (fig. 114), il s'en trouve indiqué dix différentes. Les quatre premières et les trois dernières correspondent seules aux positions de la marche de la voiture, tandis que les trois autres sont des combinaisons de transition ayant pour but d'éviter les à-coups qui nuiraient aux moteurs, lors du passage de la marche en série à la marche en parallèle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

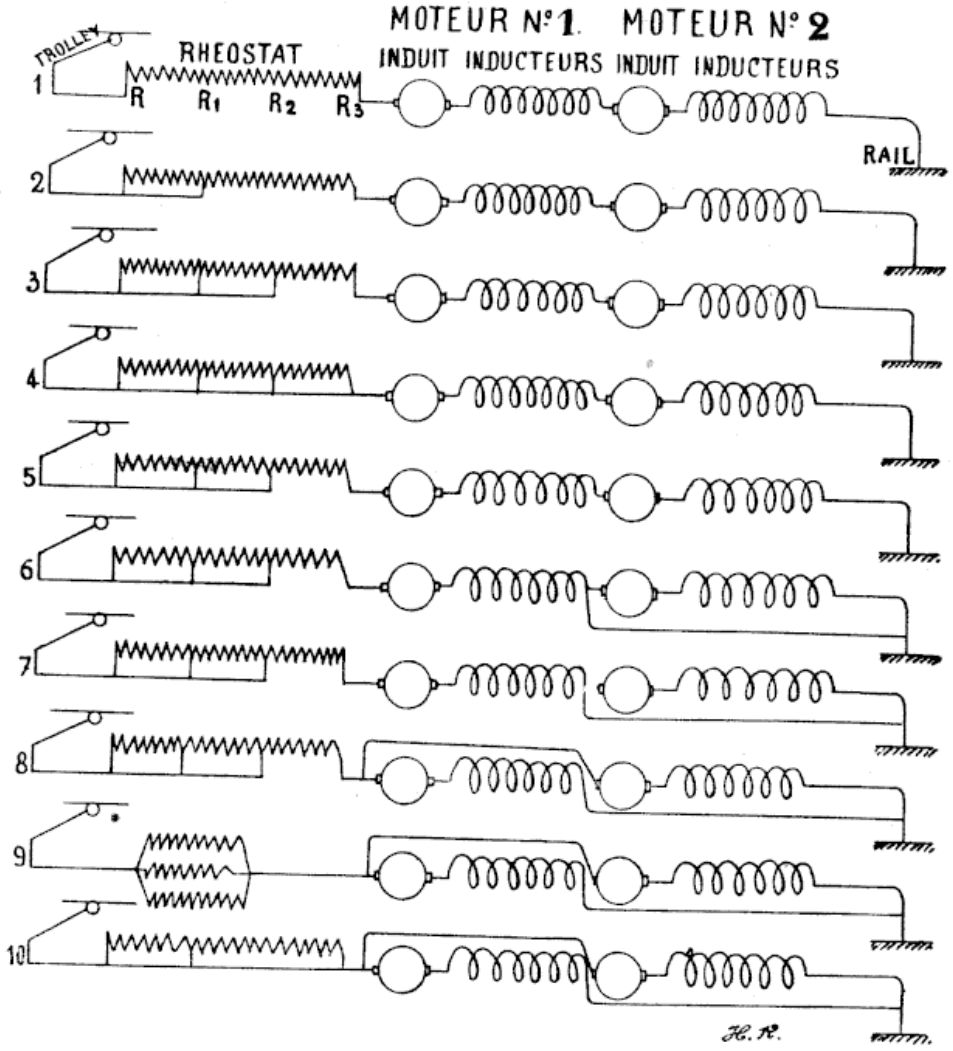


Fig. 114.

Aussi la figure 112 ne porte-t-elle de liaisons (en traits forts) entre les plots en noir, que pour les sept positions utiles du cylindre, savoir :

Les deux moteurs en série avec le rhéostat en entier;
— — — les $^2/_3$ du rhéostat;
— — — le $^1/_3$ — ;
— — sans rhéostat;

Ici s'intercalent les combinaisons transitionnelles, puis :

Les trois moteurs en parallèle, et en série sur $^1/_3$ du rhéostat;
— — — $^1/_6$ — ;
— — sans rhéostat.

Ce sont donc les combinaisons 1 à 4 et 8 à 10 de la figure 114.

Le circuit inducteur n'est ni fractionné ni shunté dans aucune combinaison.

Pour obtenir le fonctionnement des moteurs comme dynamos-freins, il faut inverser la position d'un commutateur coupe-circuit étranger au régulateur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La figure 115 montre le câblage d'une voiture avec les accessoires de l'installation.

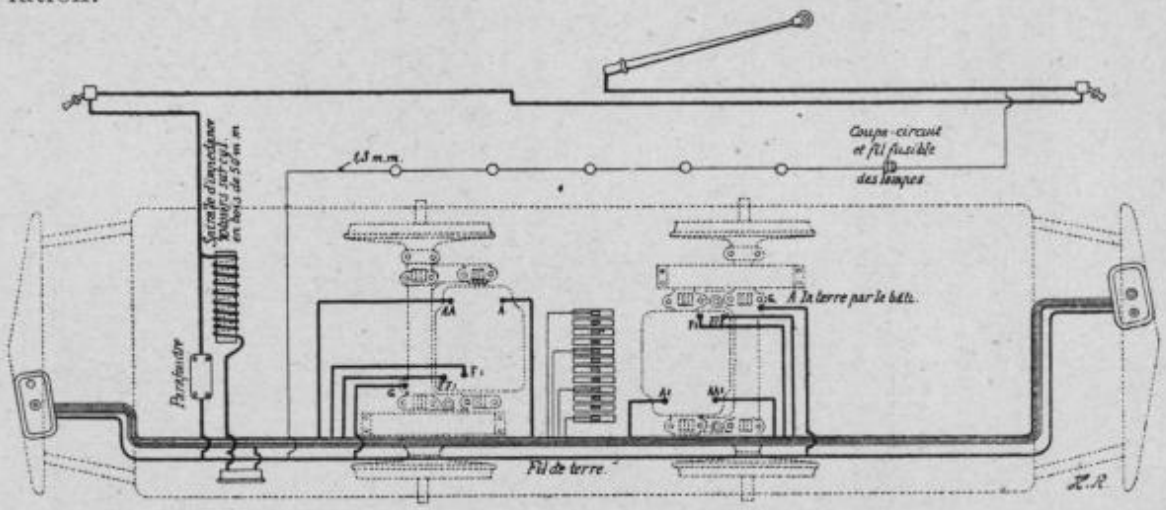


Fig. 115.

Régulateurs Siemens et Halske. — Divers types d'appareils et de modes de réglage sont en service sur les voitures électriques équipées par la maison Siemens et Halske.

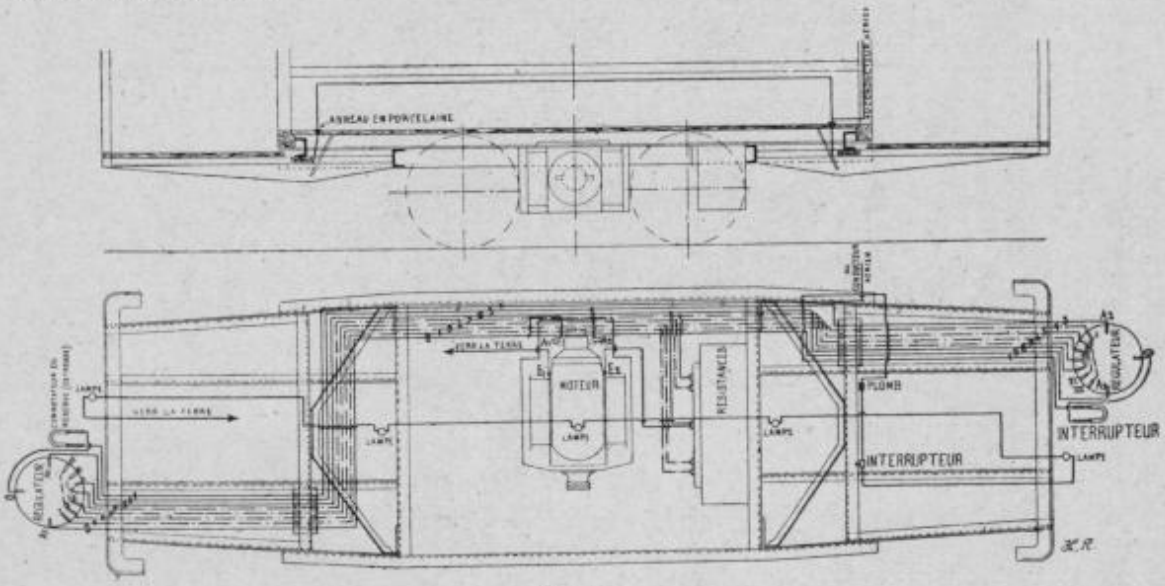


Fig. 116.

α. — Pour un seul moteur à chaînes tel que celui de Barmen-Wichlinghausen, le câblage de la voiture se fait comme l'indique la figure 116, et les circuits commandés de chaque plate-forme par un rhéostat de forme plate.

Le courant suit l'ordre suivant : ligne, interrupteur, bornes O et A_2, armature, résistances, inducteurs terre. Le régulateur est disposé de façon qu'en tournant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la manivelle à gauche ou à droite, on donne à la voiture le mouvement avant ou le mouvement arrière, on intercale en même temps des résistances en série au nombre de quatre, pour la marche avant, dont la somme passe successivement de 30 ohms à 6, et au nombre de deux pour la marche arrière de 20 et 12 ohms environ.

β. — La figure 117 est le schéma des connections entre les régulateurs de forme plate et les moteurs à engrenages du genre de Barmen-Wichlinghausen, ci-dessus décrits.

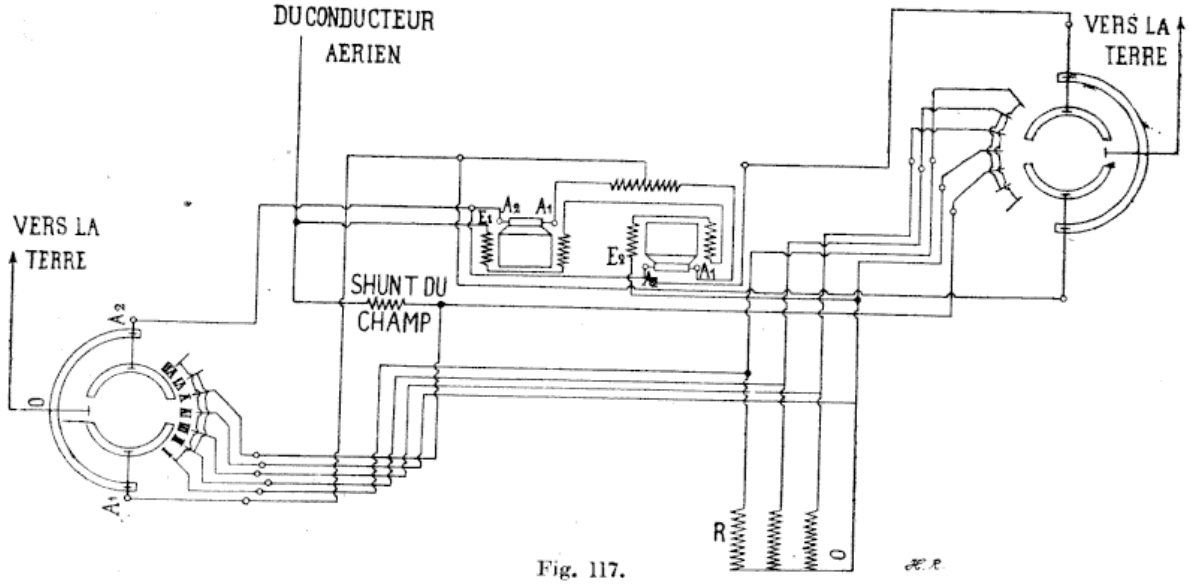


Fig. 117.

Marche du courant : la ligne, puis, *en série, les bobines d'électro-aimant des deux moteurs*, ensuite des résistances variables R selon la position de la manivelle entre I et IV, la borne A_1, *les deux armatures en parallèle,* les bornes A_2, O et la terre. A la position V un shunt s'intercale dans le circuit du champ magnétique. Les résistances sont en trois fractions de 6 ohms chacune, enfilées en séries de trois, deux, une et enfin supprimées. Le shunt est de 3 ohms.

γ. — Dans un mode de réglage plus récent, le régulateur comprend deux cylindres verticaux ayant deux fonctions distinctes, et manœuvrés par deux manivelles. L'une donne successivement l'accouplement des moteurs en série, puis en parallèle, ensuite ramenée en arrière et tournée en sens inverse, le freinage électrique faisant travailler les moteurs comme dynamos en série, avec courant principal en court circuit; enfin, le renversement du courant.

La petite manivelle soustrait à volonté une portion des résistances pour graduer le courant dans chaque position de la grande.

Un déclenchement à came et à ressort ramène la petite manivelle au point neutre, dès que la grande y est placée.

On a donc ici un réglage série parallèle avec fonctionnement des moteurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme dynamos-freins obtenu par un mouvement de la manivelle principale du régulateur.

Les contacts du régulateur sont tous en charbon recouvert d'une couche de cuivre.

Afin de rompre l'arc qui pourrait se former sur le régulateur, son arbre en fer se prolonge au bas dans un solénoïde.

Régulateurs d'Œrlikon. — Au tramway de Marseille, la « Maschinenfabrik » d'Œrlikon a installé un régulateur cylindrique, figure 118, mû par une paire de

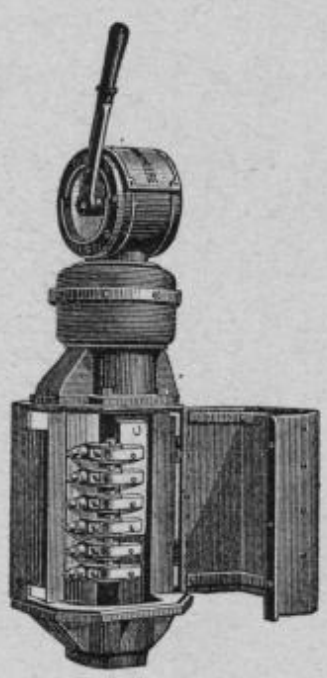


Fig. 118.

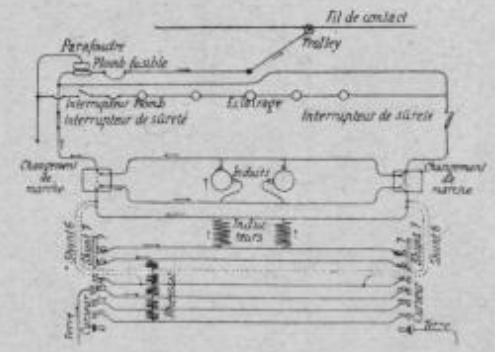


Fig. 119.

roues dentées coniques permettant la manœuvre par levier, afin d'avoir dans la position verticale, ou en avant, ou en arrière, l'indication de l'arrêt et du sens de la marche.

Le schéma des connections, figure 119, reproduit d'après l'étude de M. Denizet (1), montre que les moteurs qui sont excités en série sont réglés pour la marche en parallèle. Sur cette figure, les connexions sont établies avec le plot n° 3 de l'appareil de gauche en fonction. On sait qu'à Marseille la borne positive de l'usine est à la terre et la négative au fil de trolley. Les résistances sont en nickeline, séparées par des feuilles de mica.

Aux positions 6 et 7 correspond le shuntage des inducteurs.

---

(1) *Le Tramway électrique de Marseille,* par F. Denizet, ingénieur des ponts et chaussées, 1893.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Régulateurs de la Compagnie de l'industrie électrique de Genève. — α. — Pour le réglage d'un moteur, celui de Clermont-Ferrand, lequel desservait également les voitures de la ligne d'essai à contacts affleurants de Lyon, présente des traits originaux que nous allons décrire sommairement.

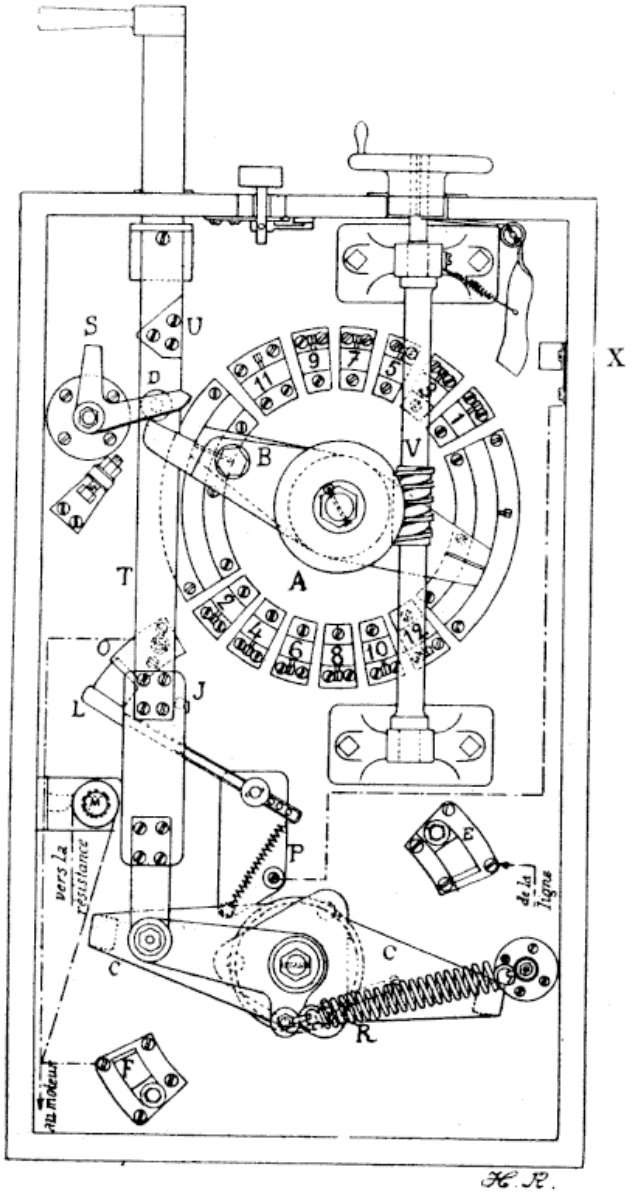


Fig. 120.

L'appareil (fig. 120) comprend deux éléments : le rhéostat et l'interrupteur.

Le rhéostat A parcouru par le bras B que meut la vis V est à douze plots alternant, communiquant avec des résistances, comme l'indique la figure 121. Le courant arrivant de la ligne va au moteur excité en série, avec shunt, au commutateur du sens de la marche, aux résistances et à la terre.

Dans la figure 120, l'interrupteur G est ouvert, ayant été manœuvré par la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tige T, soulevée par le galet D. Si le bras B descend en tournant, la tige T descend sous l'action de son poids et du ressort R, et l'interrupteur se ferme.

On voit donc que, quelle que soit la position du bras B, l'interrupteur peut être manœuvré à la main ; de plus, si la fourche S n'a pas été soulevée par le bras B, la tige T reste appuyée par le nez U sur le talon S, ce qui dispense le conducteur de la maintenir.

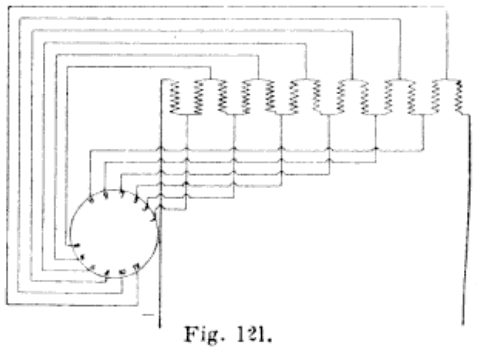


Fig. 121.

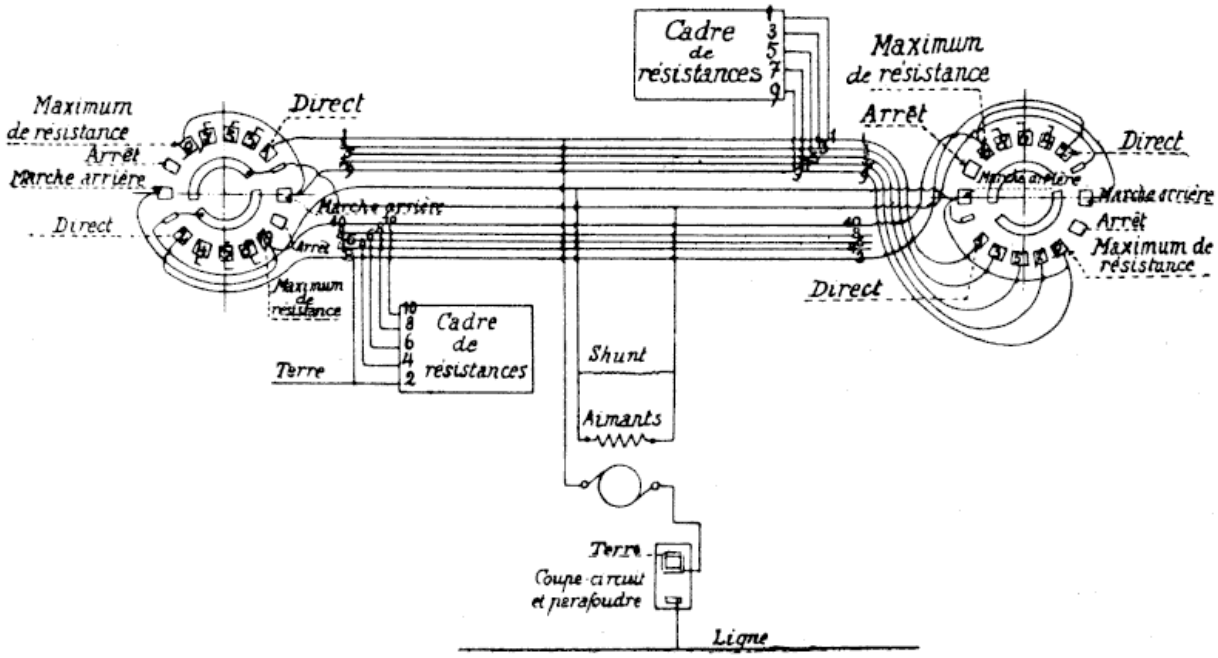


Fig. 122.

Une ingénieuse addition a été apportée à cet appareil, qui est également en service sur les lignes du Salève. C'est un pare-étincelle fonctionnant lorsque l'on veut couper le circuit en marche ou le renverser pour obtenir une action électrique de freinage opérée par le moteur. La tige T en s'abaissant pousse par le goujon J, la palette en fer L qui arrive en regard d'un électro-aimant M excité en dérivation. Lors de la rupture du courant principal entre F et C, l'électro-aimant M lâche la palette L qui va fermer un courant OPX, fermé préalablement en X par une manœuvre du rhéostat et mettant le moteur à la terre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

β. — Aux tramways de Genève, sur les voitures munies d'un seul moteur, la vitesse du moteur est également réglée au moyen de résistance, schéma (fig. 122), intercalées par un rhéostat plat à plots alternants comme dans le modèle précédent, mais manœuvré par une crémaillère au lieu d'une vis sans fin, ce qui en accélère la course. Le courant se renverse en tirant le levier en arrière. Le sens de la marche est toujours indiqué par la position du levier.

γ. — Sur les voitures à deux moteurs de cette ville, le mode de réglage s'opère autrement (fig. 123).

L'appareil est plan portant deux cadrans conjugués O et O'. Les touches numérotées et les touches A — B — C (B — C — D sur l'appareil de droite) entrent en jeu sous l'action d'un seul et même levier; seulement, cette action n'est simultanée que pour une partie de la course du grand commutateur numéroté; celui qui porte des lettres reçoit un déplacement à droite ou un déplacement à gauche, au commencement de la course à gauche ou de la course à droite de celui qui porte des chiffres. On voit figurés à part, les axes O et O' sur une même verticale. Un doigt *t* prolongeant la grande manette M et s'engageant dans une fourche pousse un instant la petite manette N, au commencement de sa rotation, dans un sens ou dans l'autre, puis se dégage en la laissant dans la position acquise ainsi : à la position de la marche avant de la grande manette M (trait plein 1—8 du cadran numéroté) correspond, pour la petite manette N, sur le petit cadran O', la position A dans l'appareil de gauche, et à droite la position D; inversement, à la position frein de la grande manette (pointillé 7 — 14) répond la position B pour l'autre. Le souffleur fonctionne pour la position centrale de M et N ramenées en une ligne droite. Cela étant, on suit aisément les connexions sur le schéma. Les lettres GFED indiquent des plots connectés aux bornes des induits et des inducteurs, chacune de ces deux séries servant à mettre un des moteurs en circuit ou à l'en ôter; cette mise en circuit s'opère donc sur une plate-forme pour un moteur, sur l'autre pour le second Une résistance shunte le circuit inducteur (voir Shunt sur la figure); son objet est de modérer l'effet de la rupture; elle est enroulée en sens inverse des inducteurs.

Le câblage est fait en fil de 4 millimètres, sauf pour l'arrivée et la mise à la terre du courant, où il est de 4.5. Pour les moteurs de puissance nominale inférieure à 20 H. P., le diamètre de ces fils est légèrement réduit.

δ. — La figure 124 est le schéma du câblage des voitures du Salève à deux moteurs. Le courant traverse les deux inducteurs en parallèle, passe au changement du sens de la marche, puis dans les deux induits en série, enfin aux résistances et à la terre.

On peut freiner en renversant le courant, mais la marche sur frein électrique s'obtient également en faisant travailler les moteurs comme génératrices et en envoyant le courant dans les résistances, ce qui donne un mouvement plus doux que les freins mécaniques, mais provoque un échauffement des circuits qui ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

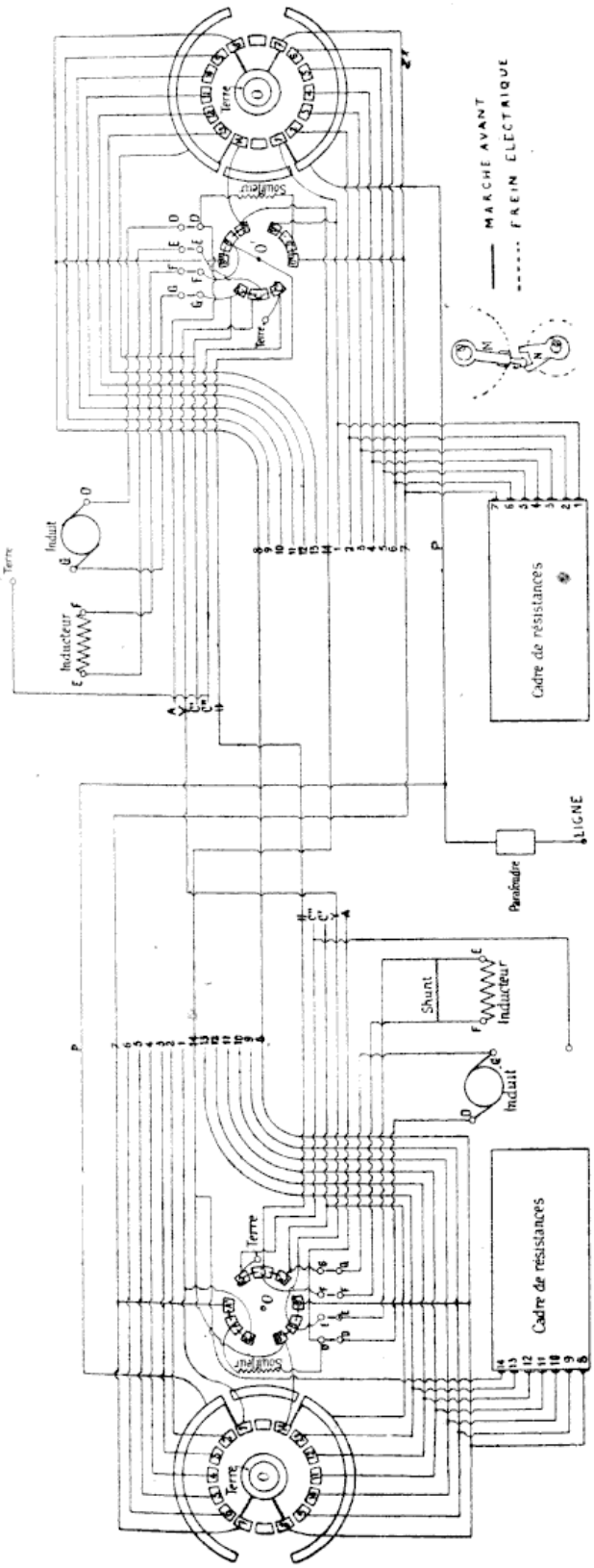


Fig. 123.

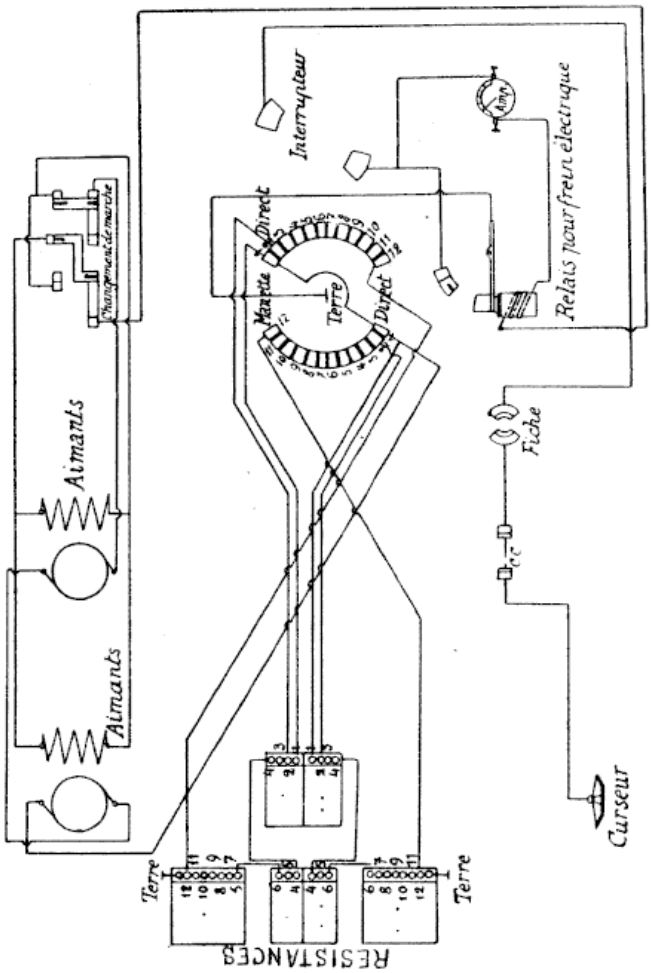


Fig. 124.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peut indéfiniment se prolonger, lorsque la température ambiante est déjà élevée, sans compromettre les enroulements des moteurs. Pour le reste, l'appareil est le même qu'à Clermont-Ferrand (fig. 120).

Tous ces appareils portent les plots disposés dans des plans verticaux.

Régulateur Berthet. — Au tramway de Saint-Just à Sainte-Foy près Lyon, on a coutume de marcher sur les pentes, *trolley abattu*, et cette coutume, imitée dans la même ville sur le tramway Vaise-Ecully, a été introduite par M. Berthet, à qui nous devons le schéma des connexions (fig. 125), qui permet ce mode de

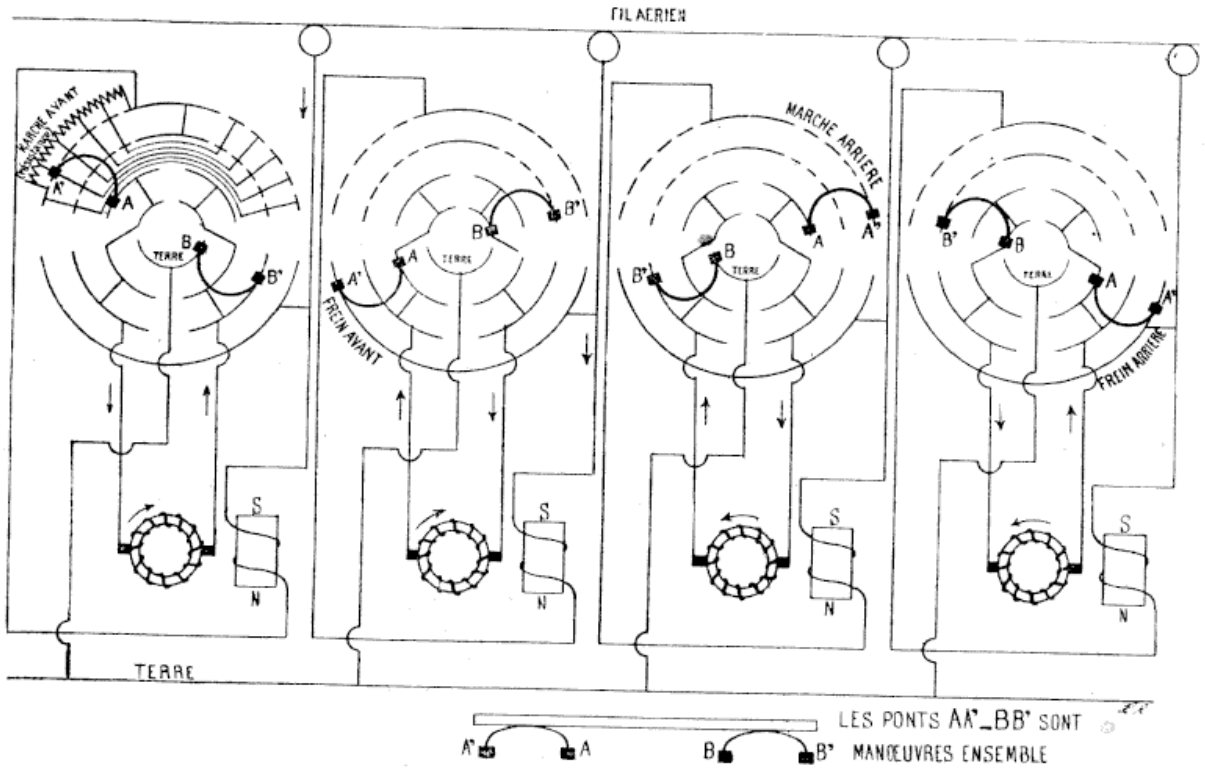


Fig. 125.

fonctionnement. Il faut supposer dans les quatre positions les résistances répétées comme sur la première. Les plots sont disposés sur un même plan.

Dans la marche « frein avant », le moteur engendre un courant dont le circuit fermé sur les résistances est indépendant du trolley et de la terre. Il en est de même, d'ailleurs, dans la marche « frein arrière » utilisable au retour.

Régulateurs Schuchert. — La Société anonyme d'électricité de Nuremberg a des voitures munies d'un régulateur accouplant les moteurs en parallèle, avec fractionnement du champ, du genre Sprague; d'autres ont leurs moteurs réglés en parallèle et le circuit inducteur shunté avec dispositif pour freinage électrique; sur d'autres, enfin, le réglage est série parallèle.

Pour le premier et le troisième, une description ferait double emploi avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

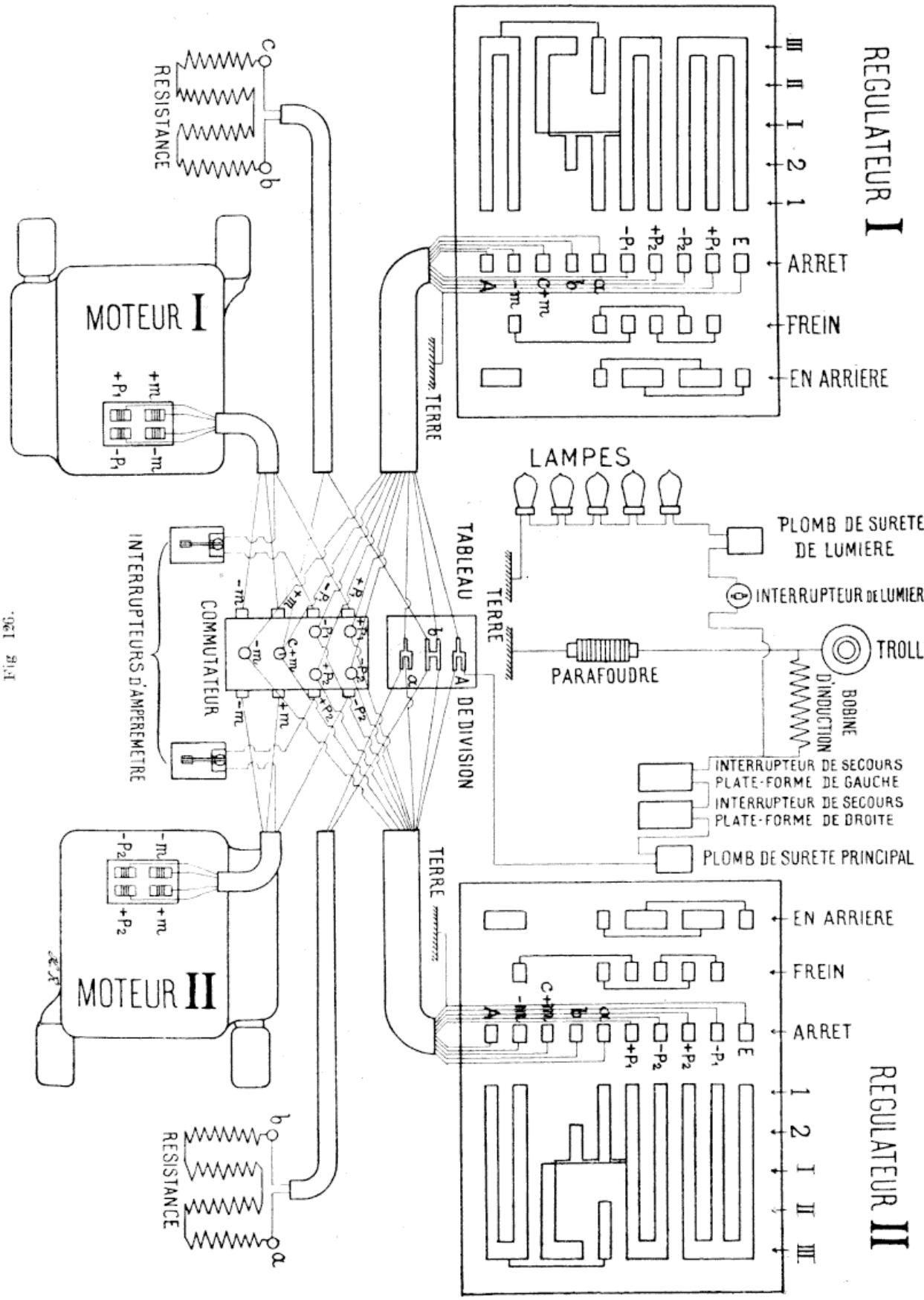


Fig. 121.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

celle des systèmes de l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft* et de la *General Electric Company*.

Mais le deuxième appareil qui fonctionne à Aix-la-Chapelle sur des voitures à deux moteurs-série est assez original.

En examinant le schéma (fig. 126), on voit que les positions 1 et 2 mettent les moteurs en parallèles entre eux et en série sur deux résistances, puis sur une seule, laquelle est soustraite à la position I ; en II, le circuit inducteur est shunté par les deux résistances en série, en III par les mêmes en parallèle.

En ramenant la manivelle en arrière du point de départ, on obtient le freinage par le fonctionnement des moteurs en dynamos, le circuit étant fermé par les résistances en suivant, pour le régulateur I, par exemple, le chemin : armature $+ P_1 - P_1$, $- m + m$, résistance cb et ba, a, armature $- P_2 + P_2$, $+ P_1$. Enfin, dans la dernière position, on produit le recul. Toutefois, ces mouvements inverses ne sont permis qu'à la condition de déplacer un levier latéral, à moins d'urgence, cas auquel l'arrêtoir relié au levier cède à un effort violent, étant fixé par une attache quelque peu flexible.

Les résistances sont assez faibles, 2×1.15 ohms $+$ 2.3 ohms combinées.

Régulateurs divers en Angleterre. — En général, dans les installations faites en Angleterre avant l'introduction des moteurs américains, on n'attachait pas une bien grande importance au type de régulateur, pourvu que les moteurs se trouvent suffisamment protégés. Pour un trafic peu intense, où les démarrages ne sont pas très fréquents, l'économie d'énergie, se traduisant par quelques tonnes de charbon, pourrait bien ne pas toujours compenser les frais d'installation et d'entretien d'un appareil compliqué.

C'est donc en général le rhéostat pur et simple avec fil fusible et commutateur d'inversion qui domine.

Déjà cependant, à *Blackpool*, dès 1884, une précaution spéciale fut prise dans les connexions des résistances entre elles, arrangées de façon à se trouver toujours toutes quatre en circuit, en série de 4 ohms d'abord, puis en parallèle par deux et enfin toutes ensemble.

Le câblage des voitures des tramways à fil aérien du South Staffordshire et de Guernesey est également très simple. Ce dernier est représenté schématiquement (fig. 127) d'après une étude de M. Dawson.

Cependant, à Liverpool, les trains de deux voitures du chemin de fer surélevé portent des régulateurs plus compliqués. Une petite cabine à chaque bout du train contient tous les appareils de réglage et de sûreté : un coupe-circuit automatique, un inverseur de courant mécaniquement enclenché avec le régulateur, lequel établit les circuits des moteurs en série d'abord, puis en parallèle avec une résistance en série sur chacun d'eux, et pour atteindre une vitesse de 48 kilomètres à l'heure, intercale une résistance shuntant les enroulements inducteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

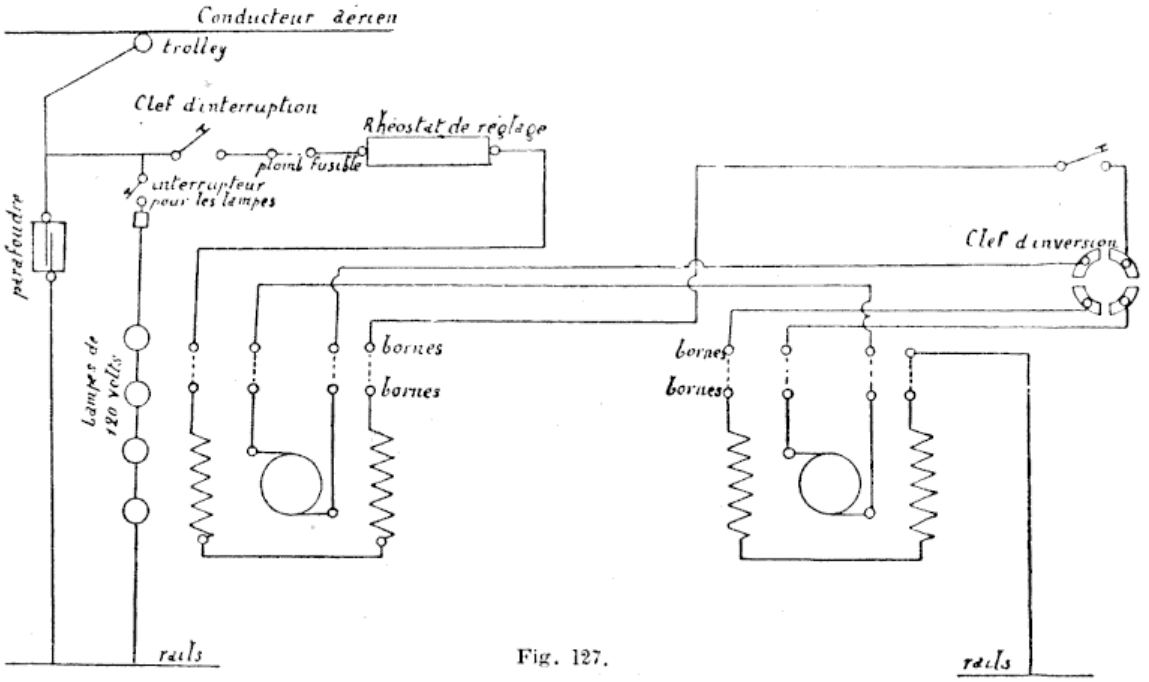


Fig. 127.

Au *City and South London*, le rhéostat est manipulé par un curseur de forme très robuste : le bloc B, poussé par un ressort, conserve toute sa mobilité, la conductibilité étant assurée par un bout de câble souple C (fig. 128).

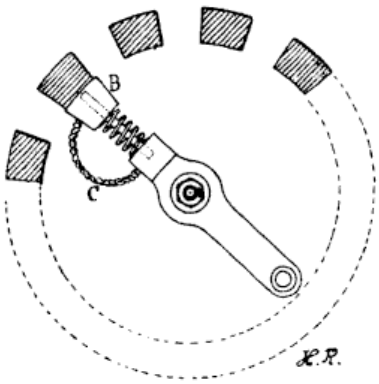


Fig. 128.

Régulateur du locomoteur d'essai (État belge). — 2. — Sur la voiture automobile ayant servi à la première série d'expériences effectuées de 1893 à 1895, en vue de la locomotion électrique, par l'Administration des chemins de fer de l'État belge (voir chap. VII), il a été essayé divers appareils régulateurs de la marche, dont un dernier modèle a fonctionné d'une manière assez satisfaisante. Cet appareil est représenté figure 129, et le schéma des connexions qu'il opère figure 130.

Dans ce locomoteur, pour des motifs exposés ailleurs, une batterie d'accumulateurs fournit un courant de 500 volts, qui tient lieu de source fixe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

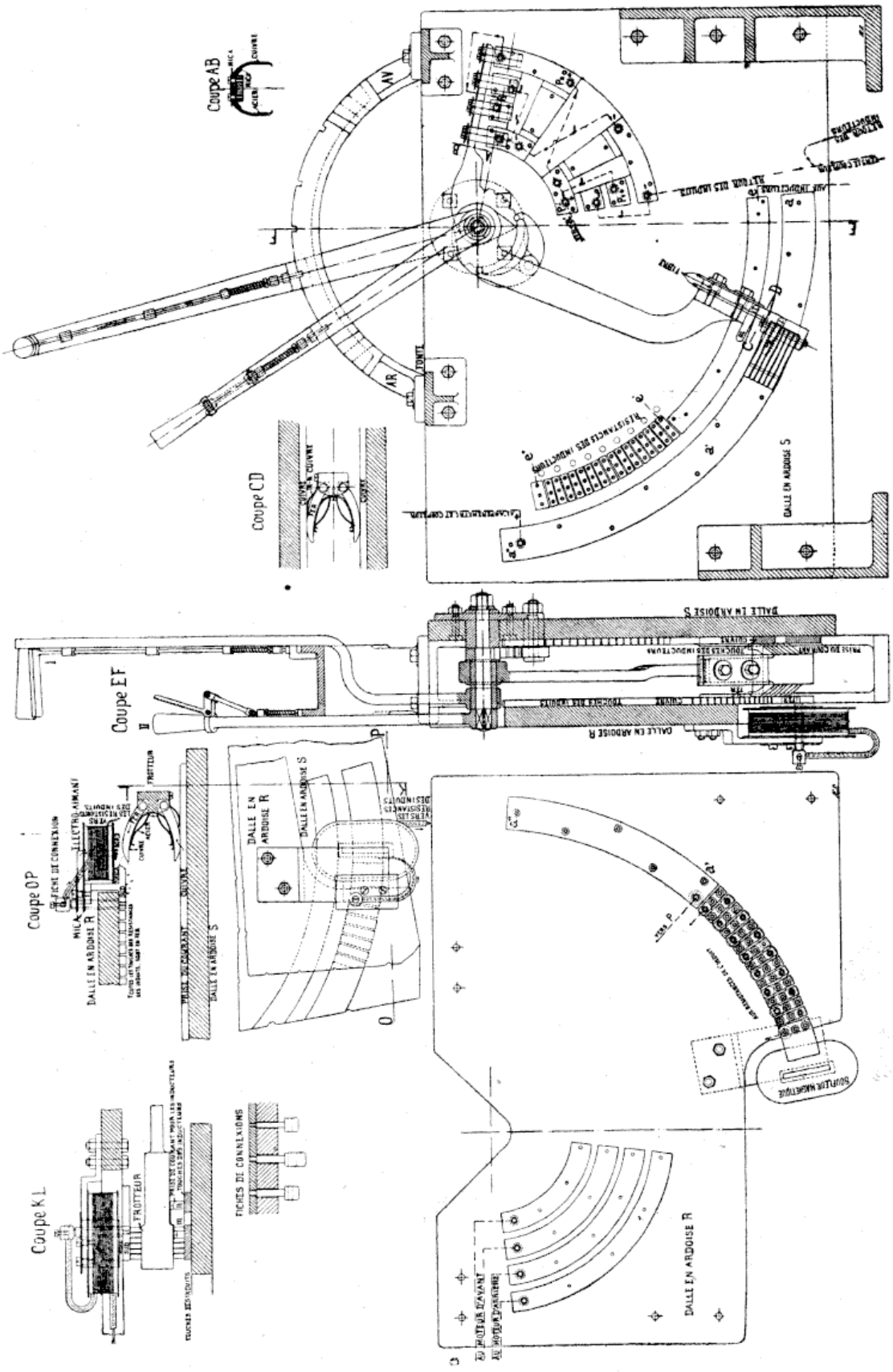


Fig. 120.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces moteurs sont excités en dérivation, disposition reconnue insuffisante comme il est dit plus haut (§ 1-*h*).

Ils peuvent marcher en série ou en parallèle, et dans chacune de ces phases un rhéostat intercale des résistances, de façon à diminuer l'intensité dans les

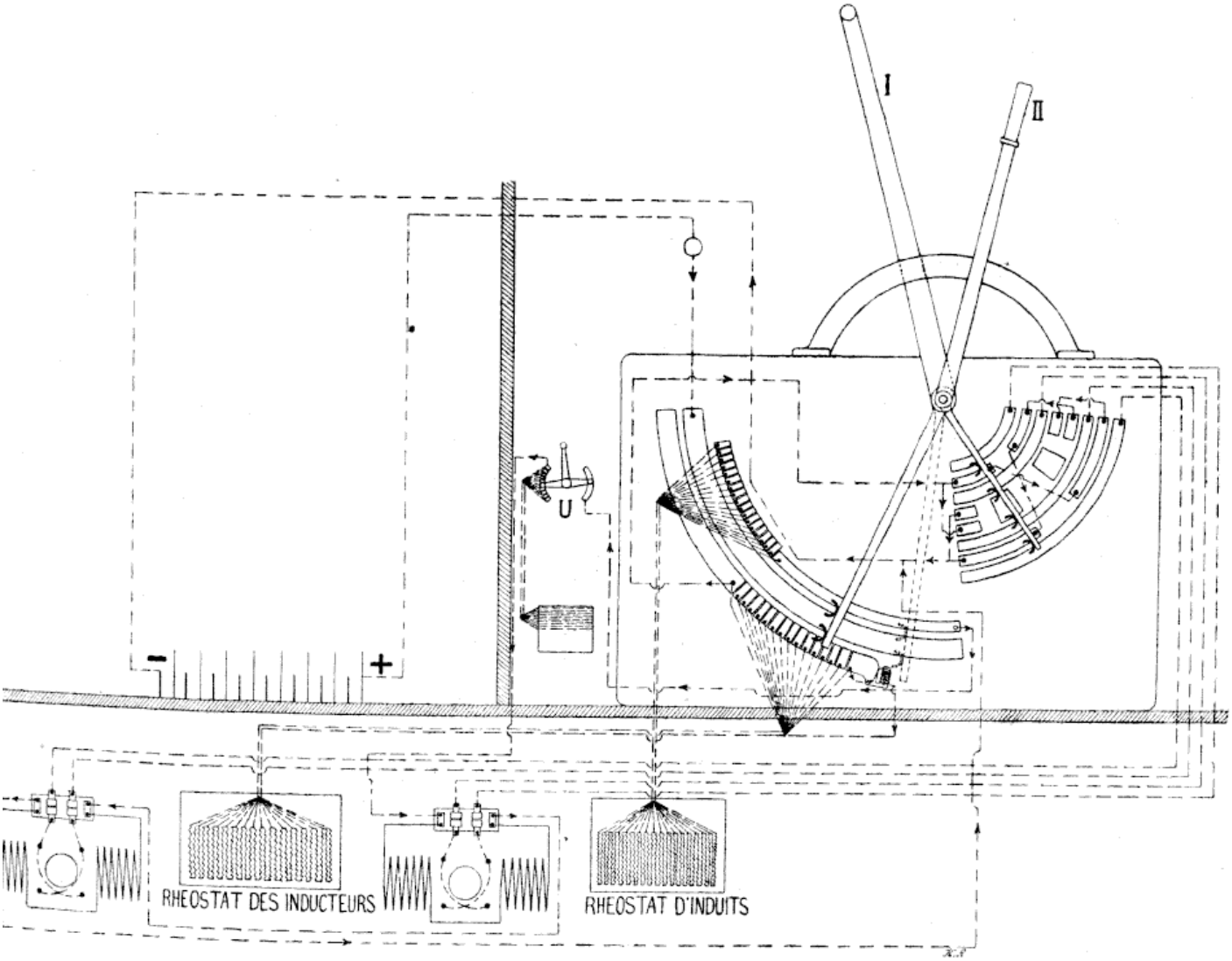


Fig. 130.

armatures, puis un autre rhéostat intercale des résistances dans le circuit inducteur, de façon à faire varier le champ magnétique dans le rapport de 1 à $^2/_3$. Ces variations sont produites par le levier I ou *modérateur*.

Un second levier II manœuvre le commutateur de mise en parallèle et de *changement* de *marche*, lequel peut occuper à cette fin cinq positions. Une came basculante à ancre lie entre eux ces deux leviers, de telle sorte qu'il faille toujours ramener au point neutre celui des rhéostats, avant de mouvoir celui du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

changement de marche. Un souffleur magnétique éteint l'arc qui se formerait entre le curseur et le dernier plot du rhéostat. En vue d'éviter la réaction provenant de la rupture du circuit inducteur, ce dernier est ouvert graduellement par un interrupteur U glissant sur les touches d'un troisième rhéostat.

β. — Manœuvre des leviers. — Positions du levier de changement de marche II :

Au centre, le point mort à droite, la marche en avant, le premier cran couplant les induits en série, le second en parallèle; à gauche, la disposition est identique et commande la marche en arrière par l'inversion du courant dans le circuit des induits.

L'alimentation par accumulateurs n'étant nullement dans les conditions du problème, on s'est interdit toute solution qui fractionnerait la force électromotrice de 500 volts de la batterie.

Voici les différentes manœuvres opérées pour passer de l'état de repos à une vitesse d'environ 60 kilomètres à l'heure.

Le modérateur I étant dans la position d'interruption, le levier de changement de marche II est poussé dans le sens voulu jusqu'au cran de l'accouplement des induits en série. Le modérateur est ensuite avancé sur une série de plots jusqu'à obtention d'un courant de 90 à 100 ampères. En ce moment, l'excitation est au maximum.

Le démarrage créant une force contre-électro-motrice qui réduit le courant, on continue à avancer le modérateur; cette manœuvre a pour effet de réduire progressivement la résistance de démarrage insérée dans le circuit de l'induit et de maintenir le courant à une intensité de 90 ampères environ. Lorsque la marche est de 20 à 25 kilomètres à l'heure environ, toutes les résistances du circuit des induits sont soustraites, mais le modérateur n'est pas encore à fond de course.

Les positions successives que peut prendre encore le modérateur correspondent à l'insertion progressive de résistances dans le circuit d'excitation et, partant, à la diminution du champ inducteur, la vitesse s'accélère donc jusqu'à 38 à 50 kilomètres environ. A cette vitesse, le modérateur est à fond de course et l'intensité du champ inducteur réduit aux $^2/_3$ de sa valeur primitive.

Pour accroître encore la vitesse, on doit modifier l'accouplement et le mettre en parallèle. Pour cela, on ramène le modérateur au cran de repos, on pousse à fond le levier de changement de marche et on manœuvre à nouveau le modérateur pour maintenir l'intensité du courant au taux de 90 ampères environ.

La voiture est pourvue de freins à sabots qui sont serrés lorsque le modérateur est fermé. L'excitation étant en shunt, les moteurs sont sensiblement auto-régulateurs et sur les pentes modèrent l'allure en chargeant les accumulateurs.

γ. — Constantes de construction. — La résistance de chaque induit (connexions aux appareils de commande comprises) a été trouvée, à froid, de 0.71 ohm;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

calculée à chaud, de 0.78 ohm, ce qui donne pour la résistance du circuit combiné, des induits, 1.56 ohm dans la marche en série et 0.39 ohm dans la marche en parallèle.

Les bobines inductrices, toujours en série, ont une résistance à froid de 77.92 ohms en total. Cette résistance devient 85.42 ohms, après 20 minutes d'application du courant maximum.

Le tableau ci-après donne la résistance à froid des éléments du rhéostat d'induits. Les boudins étant confectionnés en nickeline, leur résistance peut être considérée comme constante dans les limites de l'échauffement admissible.

Mesure des résistances du rhéostat d'induits.

TOUCHES.	RÉSISTANCES TOTALES A FROID BRUTES.	RÉSISTANCE DES CONNEXIONS.	RÉSISTANCES TOTALES A FROID (NETTES).	RÉSISTANCES PARTIELLES.
1	15.95	0.67	15.28	
				5.14
2	10.81	»	10.14	
				2.67
3	8.14	»	7.47	
				1.165
4	6.975	»	6.305	
				1.0
5	5.975	»	5.305	
				0.9
6	5.075	»	4.405	
				0.765
7	4.31	»	3.64	
				0.555
8	3.755	»	3.085	
				0.56
9	3.195	»	2.525	
				0.46
10	2.735	»	2.065	
				0.34
11	2.395	»	1.725	
				0.345
12	2.05	»	1.38	
				0.345
13	1.705	»	1.035	
				0.34
14	1.365	»	0.695	
				0.35
15	1.015	»	0.345	
				0.345
16	0.67	»	0	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les différentes résistances du rhéostat d'excitation sont consignées au tableau ci-après :

Mesure des résistances du rhéostat d'excitation.

TOUCHES.	RÉSISTANCE TOTALE.	RÉSISTANCE NETTE.	RÉSISTANCE PARTIELLE.
17	108.6	107.92	
			0
16	108.6	107.92	
			7
15	101.6	100.92	
			7.3
14	94.3	93.62	
			7.2
13	87.1	86.42	
			7.4
12	79.7	79.02	
			7.3
11	72.4	71.72	
			6 9
10	65.5	64 82	
			7.2
9	58.3	57.62	
			7.2
8	51.1	50.42	
			7.4
7	43.7	43.02	
			7.2
6	36.5	35.82	
			7.2
5	29.3	28.62	
			7.2
4	22.1	21.42	
			7.2
3	14.9	14.22	
			7.2
2	7.8	7.12	
			7.1
1	0.68	0	

Régulateur pour courants triphasés. — Le système employé à *Lugano* comporte un modérateur agissant sur les courants induits dans l'armature, et un commutateur de changement de marche qui porte le coupe-circuit en relation avec l'inducteur.

Le modérateur est formé de résistances variables intercalées dans les branches des courants engendrés sur l'induit. Les câbles venant du régulateur aboutissent à des contacts glissant sur trois bagues isolées, enfilées sur l'axe de l'armature

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et connectées à trois extrémités des courants induits, les trois autres étant réunies en un point neutre.

Pour démarrer, les résistances sont intercalées dans le circuit induit. En retirant successivement ces résistances sur une inclinaison donnée, la vitesse ayant atteint 15 kilomètres à l'heure se maintient sur les diverses inclinaisons rencontrées. Pour la diminuer, on remet les résistances en circuit.

b. — *Appareils pour régler le courant des accumulateurs.*

Modes primitifs. — Dans les premiers locomoteurs électriques mus par accumulateurs, la tension était réglée par *le nombre variable d'éléments mis en circuit*, à raison de 2 volts environ par élément.

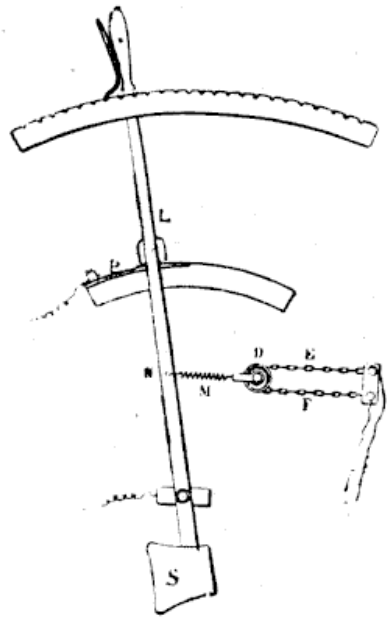


Fig. 131.

Étant donné l'ensemble des résistances de l'électro-moteur, il restait peu de chose à demander au rhéostat pour parfaire la résistance à opposer à la force électro-motrice de la portion de batterie en jeu dans chaque phase du réglage.

Un des moyens les plus originaux imaginés dans ce but est celui qu'Émile Reynier appliqua au véhicule automoteur Dupuy, employé en 1882 à la blanchisserie française de Breuil, et dont nous parlons au chapitre VI.

Il s'agissait de régler la puissance d'un moteur Siemens de 105 kilogrammètres. Cet appareil n'agissait que sur le circuit inducteur formé d'une dérivation.

Un même levier LN (fig. 131) desserrait le sabot du frein S du véhicule, fermait le circuit principal sur la plaque métallique P, et successivement agissait sur la résistance variable du circuit inducteur. Cette résistance consistait en une *chaîne à maillons d'argent*, entre lesquels s'établissait un degré de contact plus ou moins intime selon le degré de tension exercée par le levier L et offrant conséquemment, en vertu d'un principe énoncé par du Moncel, une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résistance variable au passage du courant (1). Ce procédé n'a pas reçu, croyons-nous, d'autre application en électro-traction. Indépendamment de cet appareil, un commutateur variait la tension en introduisant un plus ou moins grand nombre d'éléments d'accumulateurs dans le circuit, moyen condamné depuis, d'ailleurs, par Reynier lui-même.

Accouplement des accumulateurs en parallèle et en séries. — Dans sa brochure de 1883 (2), Émile Reynier reproche au tramcar d'essai qu'il décrit le mode de réglage consistant à « mettre en circuit un nombre d'accumulateurs variable par « addition de cinq couples, depuis 30, 35, 40, etc., jusque 80 pour faire varier « la vitesse du véhicule. Ce procédé, évidemment défectueux, est celui qui fut « proposé par M. Camille Faure dans son premier brevet *accumulateurs.* »

Puis l'ingénieux électricien expose d'une manière explicite les avantages de la méthode consistant à fractionner la batterie en groupes qui s'accouplent, soit tous en parallèle, soit par deux séries, soit tous en tension, *afin que tous les éléments fonctionnent à la fois*, au lieu d'en écarter du circuit un certain nombre et de fatiguer les autres.

Indépendamment de ces groupements, Reynier ne repoussait pas l'emploi de résistances faibles pour modérer l'intensité du courant :

« La complication du procédé, ajoute-t-il, n'est qu'apparente, c'est une question « de *commutateur*. Il est possible, sinon très aisé, de combiner un jeu de com- « mutateurs opérant les groupements nécessaires dans l'ordre indiqué. Par la « manœuvre simple d'un instrument compliqué, le pilote ira du travail positif « le plus élevé au travail négatif le plus fort, en passant par tous les régimes « intermédiaires, sans qu'il soit nécessaire de raisonner les diverses combinai- « sons effectuées successivement. »

Ainsi, dès 1883, Émile Reynier indiquait toutes les qualités que doit remplir un bon régulateur sans omettre la *récupération* par la phase des travaux négatifs.

C'est sur ces indications que fut construit l'appareil cylindrique (fig. 132) destiné à grouper différemment les quatre batteries d'un même accumulateur. Sur un cylindre en bois sont placés des plots reliés métalliquement entre eux, soit verticalement, soit horizontalement, en vue d'établir différentes connexions entre les doigts B allant aux bornes des quatre batteries pour les grouper en quantité, minimum de tension, en deux groupes parallèles, trois en parallèle, une en tension et quatre en tension A la troisième phase intervient un commutateur auxiliaire de même forme, mais devant lequel les doigts négatifs sont intervertis; cette précaution avait pour but de remettre en parallèle, avec deux

(1) Le comte du Moncel signala, en 1856, les variations de l'intensité du courant résultant d'un changement de pression entre deux éléments du circuit parcouru.

(2) *La traction électrique par accumulateurs*, par Émile Reynier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autres batteries, celle qui était mise seule en tension pendant un certain temps, afin de mieux équilibrer les conditions de travail de tous les éléments.

Des résistances additionnelles complétaient le réglage du circuit dans chaque groupement.

Ce dispositif se généralisa et fut adopté dans la plupart des essais ultérieurs décrits au chapitre VI.

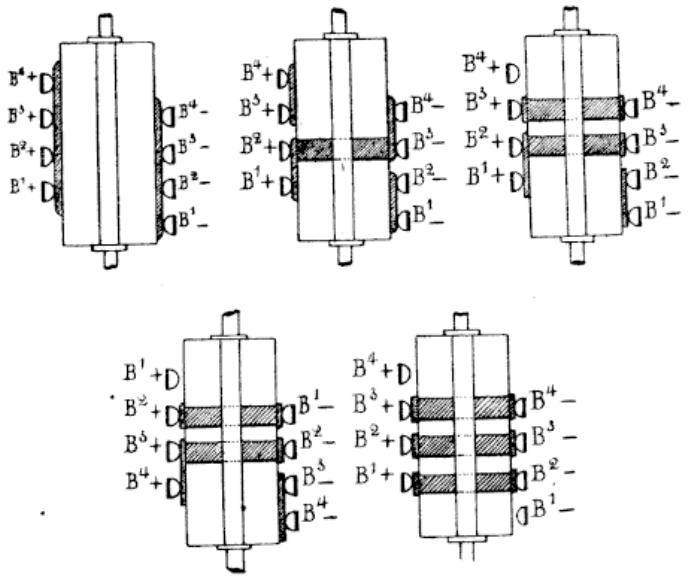


Fig. 132.

Régulateur des voitures Paris-Saint-Denis. — α. — Le mode d'accouplement électrique des 108 éléments de l'accumulateur les subdivise d'abord en quatre batteries de 27 éléments.

Voici comment s'effectue le couplage de ces batteries et le réglage des circuits des moteurs.

Les batteries se couplent : quatre en quantité; deux en quantité, deux en tension ; quatre en tension.

Avec ces trois couplages se combine d'autre part la position des circuits des moteurs : inducteurs et induits en série; inducteurs en série et induits en parallèle.

On voit sur la figure 133 un schéma de ces circuits. Chaque batterie de 27 accumulateurs fournit au moins 50 volts, de sorte que l'on réalise les effets suivants :

A. — 50 volts.	4 kilomètres à l'heure.
B. — 50 —	6 — —
C. — 100 —	12 à 16 kilomètres à l'heure.
D. — 200 —	

L'appareil coupleur de batteries d'accumulateurs porte en même temps le coupe-circuit principal du courant qui, de là, est conduit à une série de trois

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

appareils de distribution remplissant les fonctions suivantes : renversement de la marche, mise en série ou en parallèle des induits, marche sur un seul moteur.

Le *coupleur* est représenté en coupe verticale (fig. 134). La figure 135 en montre une coupe horizontale à côté d'une vue en plan du triple appareil de distribution. Ces deux dernières figures sont empruntées à l'*Électricien*.

La figure 136 est un schéma des connexions du coupleur; la figure 137, un schéma général des connexions du commutateur.

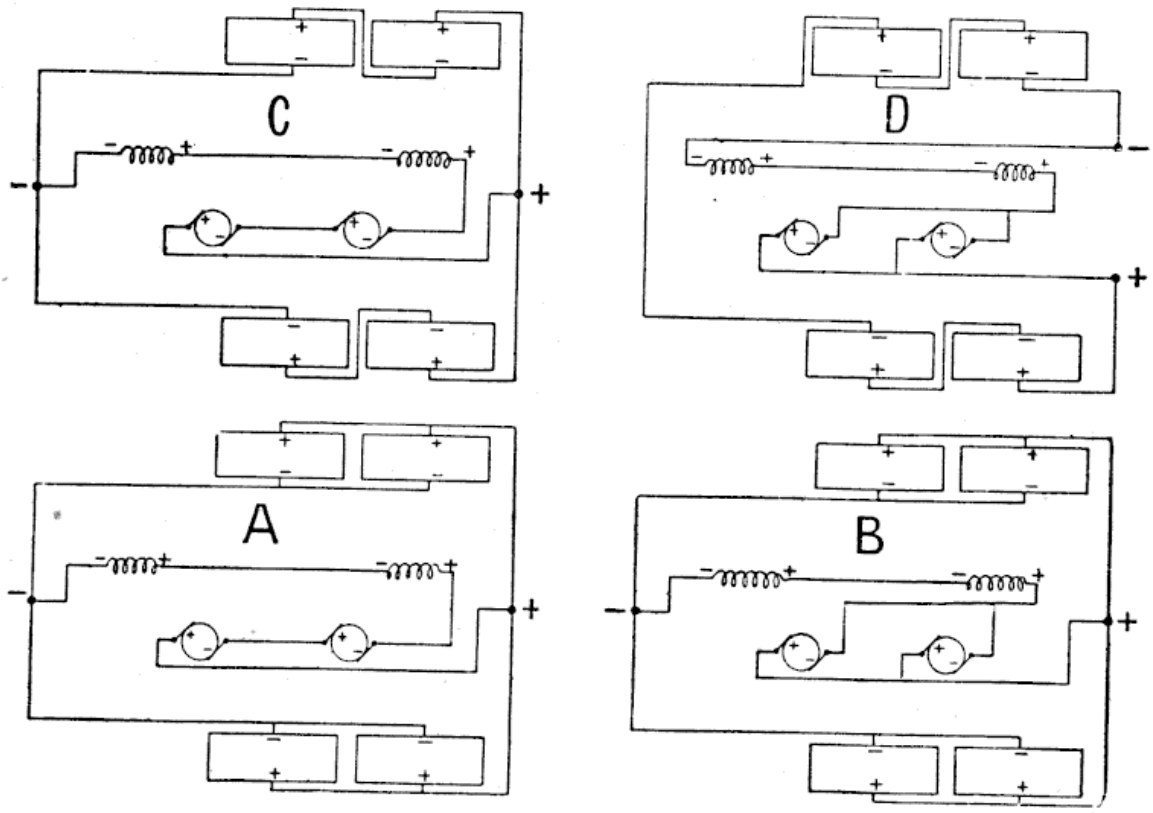


Fig. 133.

Au coupleur (fig. 134), la touche de rupture est garnie sur ses faces de plaques en charbon qui subissent les effets de l'étincelle ; cette précaution a été jugée inutile aux touches de couplage des accumulateurs.

Le triple appareil de distribution porte, sous les manettes, des disques s'enchevêtrant mutuellement en des échancrures pratiquées de façon à en solidariser les positions respectives. Ainsi la manette du milieu qui sert à supprimer l'un des moteurs n'est mobile que si le commutateur voisin est sur petite vitesse, c'est-à-dire si les induits et les inducteurs des deux moteurs sont accouplés en une seule série ; réciproquement, cette dernière position ne peut être modifiée pendant la marche d'un seul moteur (fig. 138).

Dans le principe, le cliquet d'arrêt de la manette manœuvrée pour passer de la petite à la grande vitesse était fixé par une serrure dont la clef se trouvait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

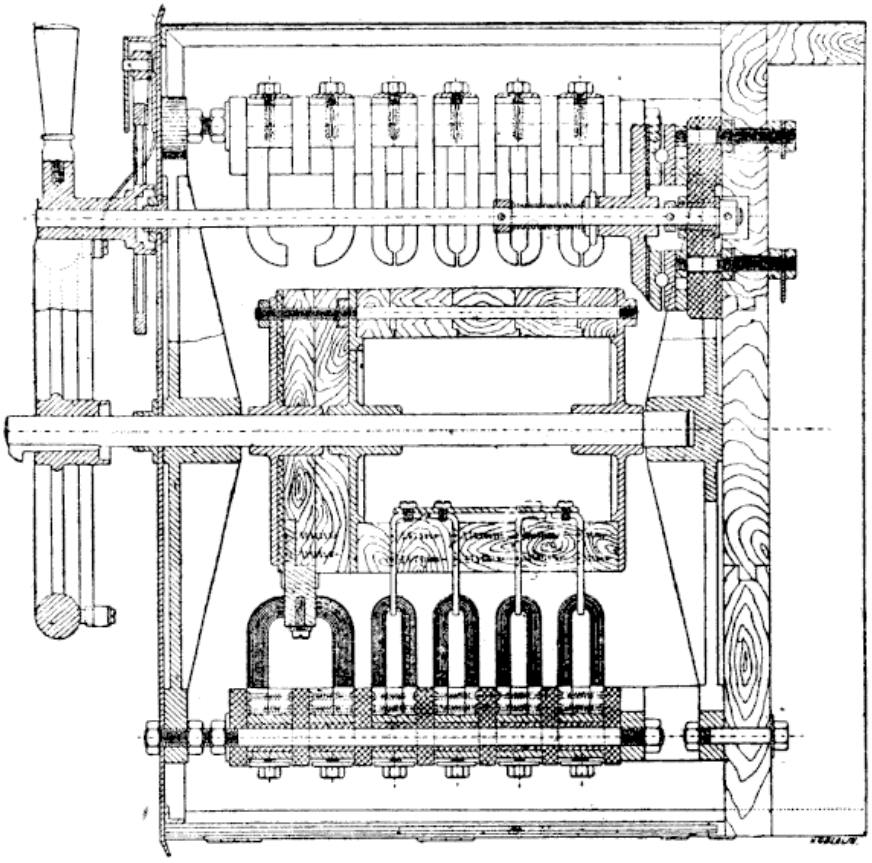


Fig. 134.

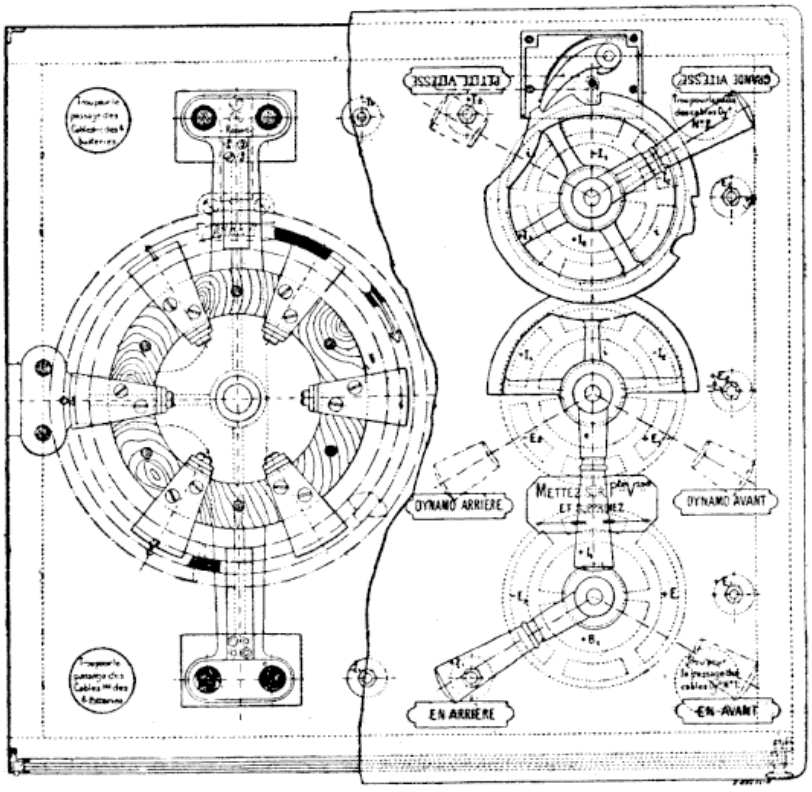


Fig. 135.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux mains des agents de l'octroi (1), afin d'empêcher l'allure rapide *intra muros*.

En vue d'interdire toute rotation des trois commutateurs quand le courant est fermé par le coupleur, l'axe de ce dernier porte sous sa manivelle une aiguille

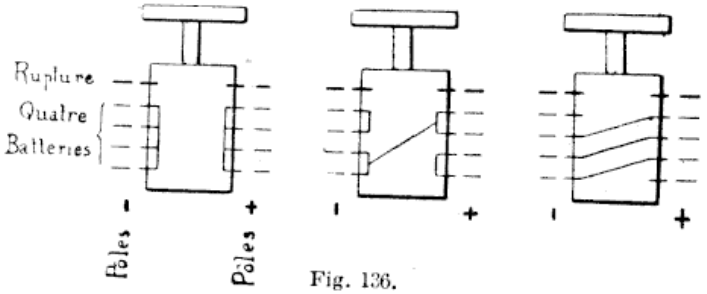


Fig. 136.

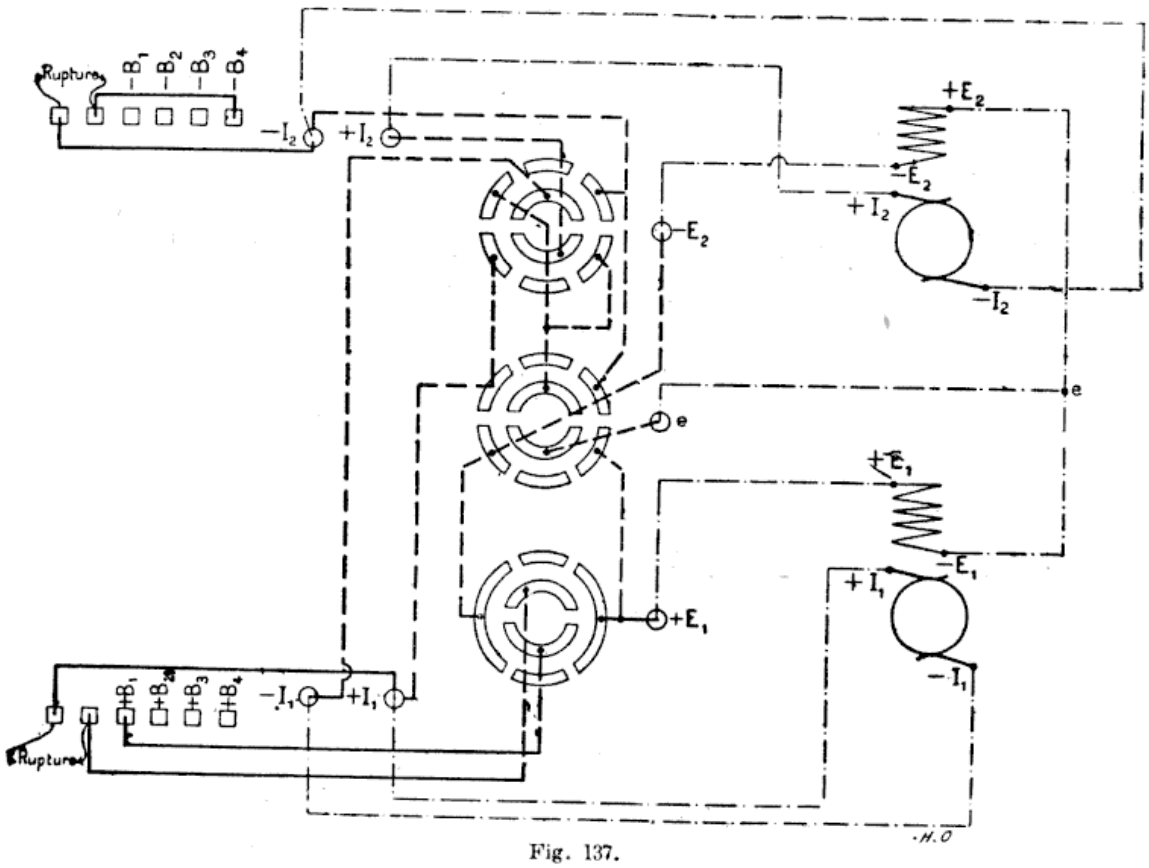


Fig. 137.

arquée A (fig. 138), dont la face supérieure en forme hélicoïdale soulève au moyen d'un galet un levier qui en commande trois autres correspondant à des encoches pratiquées dans chacun des trois disques échancrés du commutateur.

β. — Sur les *nouvelles voitures* sera installé un régulateur *de forme plate* simplifié, qui sera logé sous la plate-forme. Il est représenté schématiquement par la

(1) Si nos souvenirs sont exacts, nous l'avons vu plombé au cachet de l'octroi en 1892.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

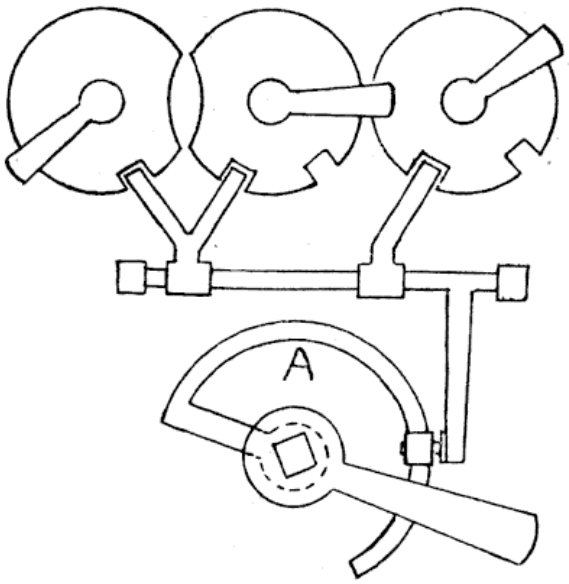


Fig. 138.

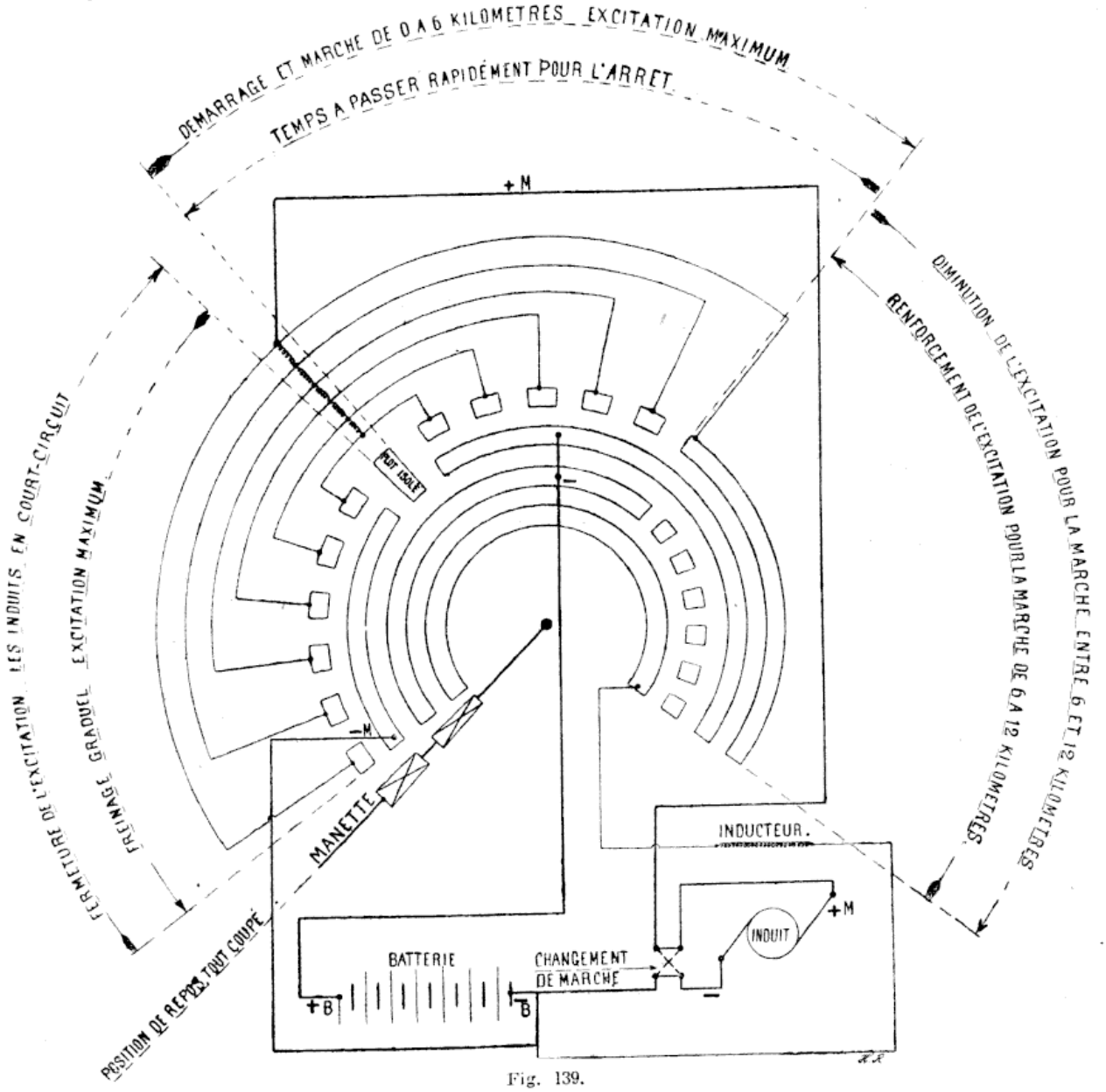


Fig. 139.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

figure 139, et le câblage par la figure 140. Nous devons ces schémas à l'obligeance de M. Parent, directeur du dépôt de Saint-Denis, qui a fait l'étude de l'appareil. Il est combiné pour une f. e. m. maximum de 110 volts, avec excitation séparée des moteurs marchant en parallèle.

On suit aisément sur la figure 139 les phases du réglage et sur la figure 140 les connexions entre le régulateur, les moteurs et l'accumulateur.

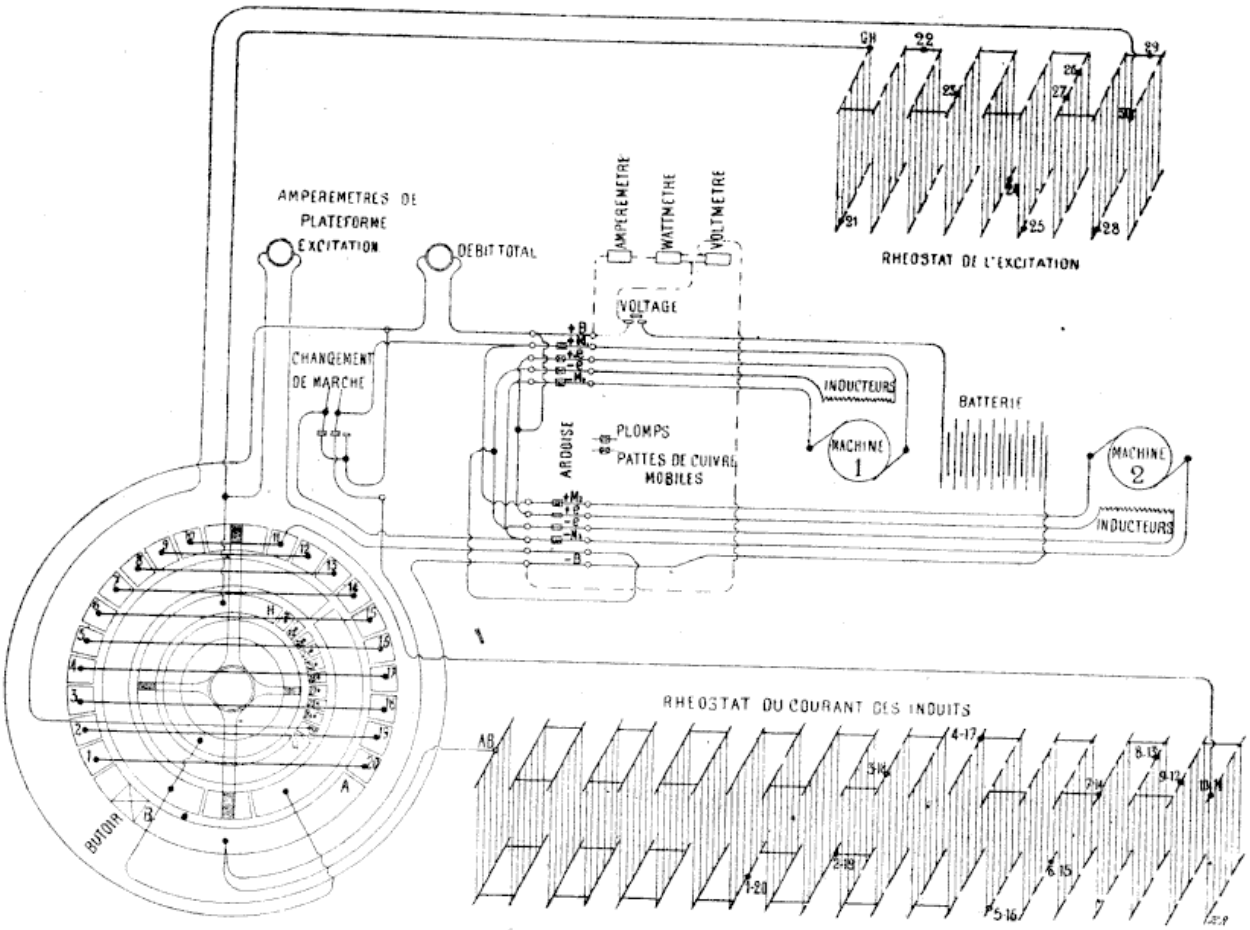


Fig. 140.

Régulateur des voitures la Haye-Scheveningen. — Le courant des 192 éléments (384 volts) peut, ou bien donner sa force électro-motrice maximum, ou être ramené à 190 volts par la mise en parallèle des deux moitiés de la batterie, selon qu'on marche à grande vitesse, 18 à 20 kilomètres, ou à petite vitesse, 10 à 12 kilomètres à l'heure.

α. — Voici la disposition des circuits sur la voiture. A ses deux extrémités se trouvent répétés symétriquement les organes graduateurs et inverseurs du courant et de groupement des batteries en une série ou en deux séries parallèles. Le changement de marche s'obtient par inversion du sens du courant dans l'induit de l'électro-moteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Schéma des connexions dans la voiture.

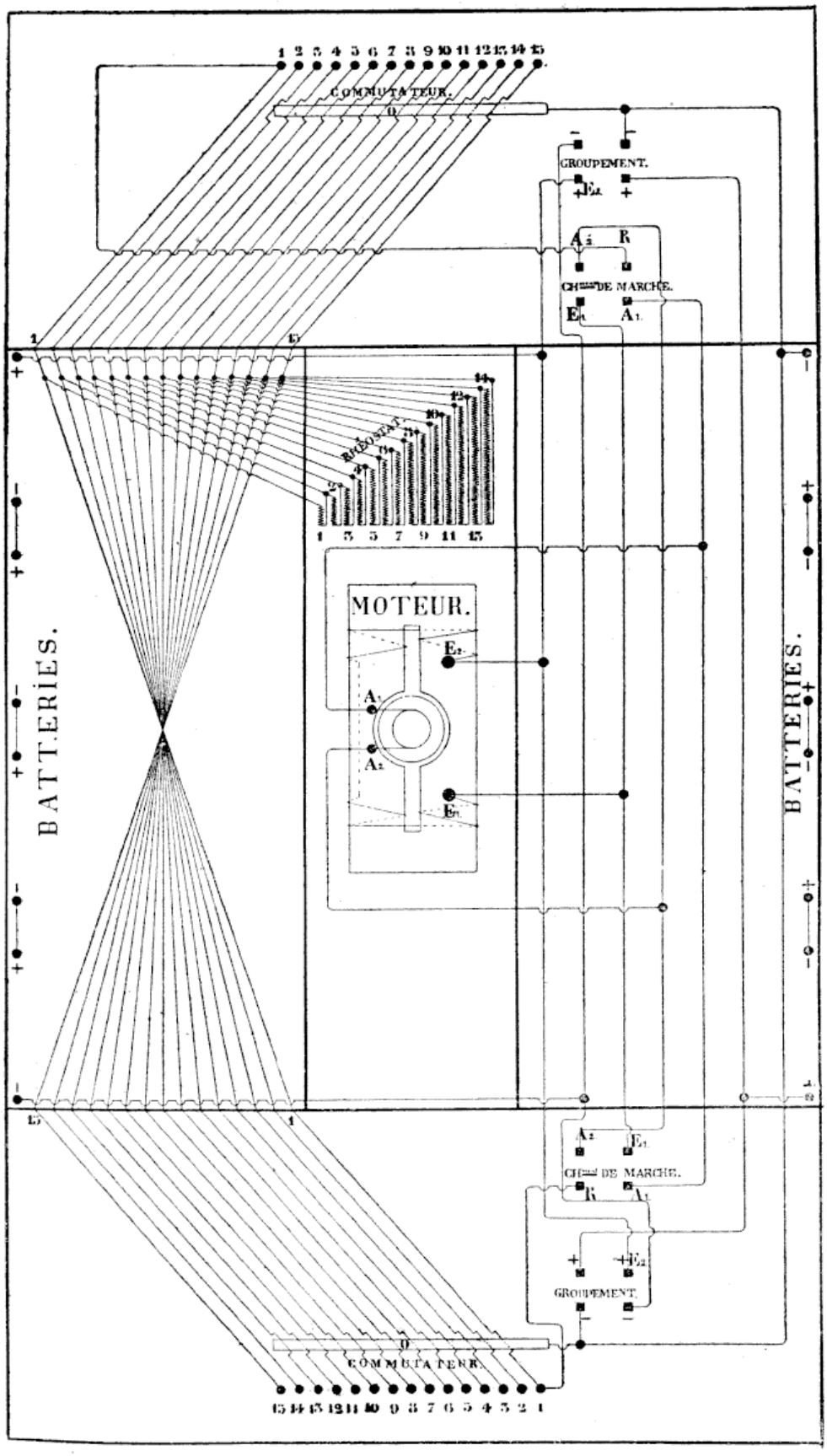


Fig. 141.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

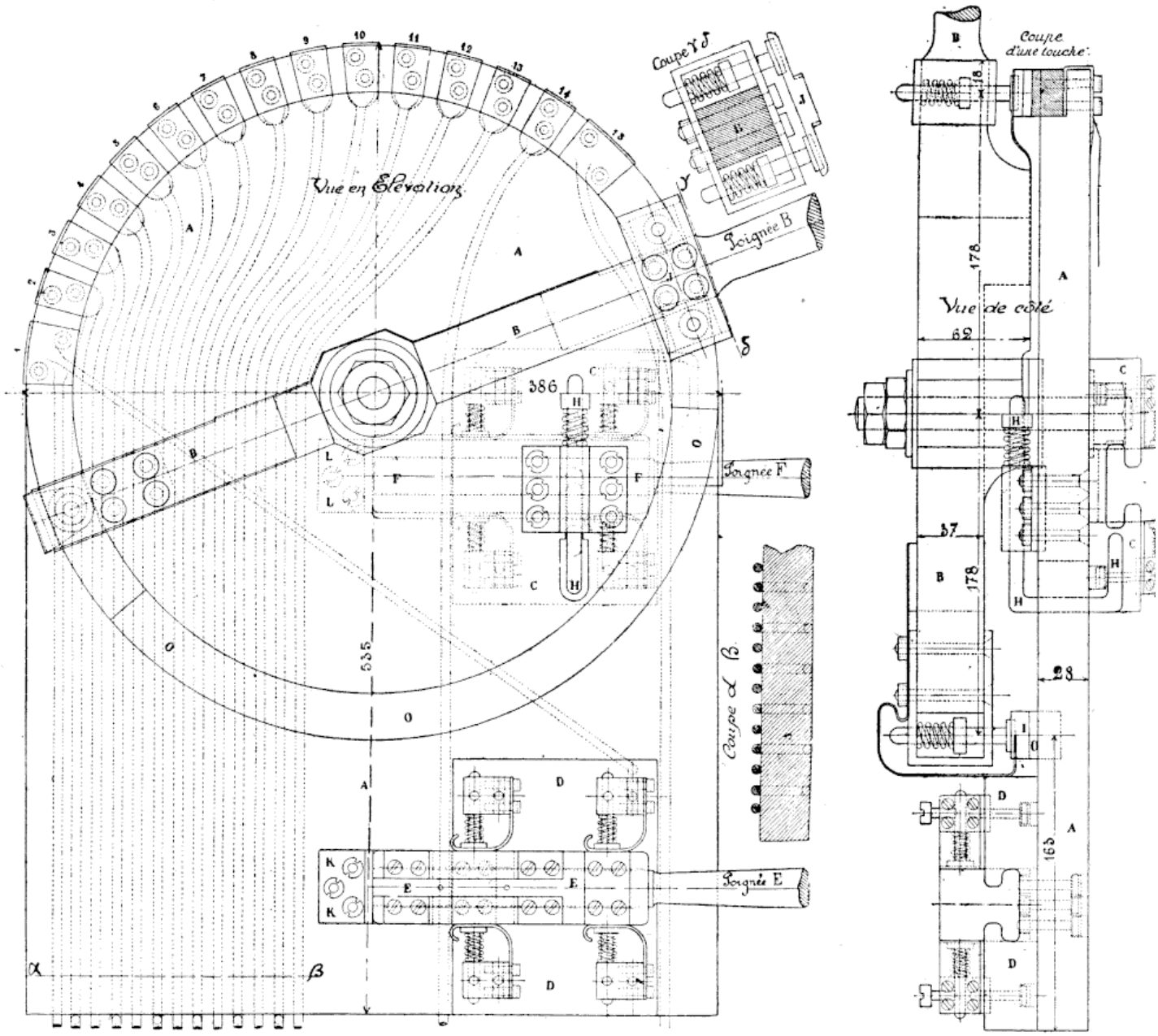


Fig. 142.

LÉGENDE.

Le plateau A est en marbre,
Les touches marquées de 1 à 15 et la touche O sont en bronze, de même les pièces I et J.
La manivelle B est en bois.
La lame de connexion entre I et J est en tôle de cuivre rouge de 1 millimètre d'épaisseur.
Les lames courbes de contact des appareils C et D sont en tôles de cuivre rouge de 1 ½ millimètre d'épaisseur.
Les glissières E et F sont en bois de gaïac.
Les pièces de connexion sur les glissières E et F sont en tôles de laiton de 2 millimètres d'épaisseur.
Les blocs porte-ressorts des appareils C et D sont en laiton.
Les vis sont en laiton.
Les buttoirs K et L sont en fer de 5 millimètres d'épaisseur.
Les armatures des porte-ressorts de la manivelle B sont en laiton.
L'axe de rotation de la manivelle B est en fer, ainsi que les écrou rondelles; mais les deux plaques de frottement inférieure et s rieure sont en laiton.
Les planchettes fixes des appareils C et D sont en chêne.
La tige H est en fer et la douille dans laquelle elle s'engage est en la
Les fils de connexion de 1 à 15 sont en cuivre rouge de 5 millimètre diamètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour suivre l'allure des connexions sur la figure 141, on partira, par exemple, d'une borne (+) d'un groupe de batteries, et l'on ira directement à l'organe de groupement; si ce dernier doit répondre à la position de l'accumulateur en une seule série, il conduit le courant par une diagonale au second groupe de batteries, de là aux électro-aimants du moteur par le pôle E_2, puis arrive à l'organe de changement de marche par E, et se rend à travers le rhéostat au pôle (—) de l'accumulateur.

Quand les deux groupes de batteries sont mis en parallèle, les deux bornes (+) de l'organe de groupement sont connexées ensemble, ainsi que ses deux bornes (—), et le reste se passe comme ci-dessus.

Le coupe-circuit fait partie du commutateur du rhéostat.

β. — Appareil régulateur. — Les organes remplissant les fonctions que nous venons de définir sont réunis sur un même appareil étudié par M. van Vloten. Il en décrit, comme il suit, le dispositif représenté figure 142 :

« A est une plaque de marbre ou de toute autre matière convenable et isolante, « dans laquelle sont encastrées les touches de bronze marquées de 1 à 15; et la « touche continue O, la manivelle B est destinée à mettre successivement et sans « interrompre le courant, la touche continue O avec les diverses touches mar- « quées 1 à 15. Ce nombre de quinze touches n'a rien de fixe, il est mis seule- « ment pour fixer les idées.

« La manivelle est constituée essentiellement par un corps en bois ou en « fonte et présente à ses deux extrémités I et J un dispositif assurant le contact « entre les pièces mobiles I et J de contact et les touches O et 1 à 15 encas- « trées.

« A cet effet, l'extrémité de la manivelle porte une pièce de contact I ronde, « pressée par un piston à ressort K, dont on peut régler la pression au moyen « de l'écrou L. La pièce de contact mobile J a la forme d'un secteur et est « appuyée sur les touches par deux pistons à ressort M et M', comme cela est « figuré ci-dessus.

« Le réglage de la pression est également possible au moyen des écrous « N et N', le double ressort a pour effet de donner toujours, en passant d'une « touche à l'autre, contact sur deux touches adjacentes, ce qui supprime les « étincelles; les deux pièces de contact mobiles I et J sont réunies électrique- « ment au moyen d'un câble souple ou d'une lame élastique conductrice P « appropriés, fixés le long du bras de la manivelle.

« La face postérieure du commutateur porte un appareil de groupement des « batteries C; cet appareil est constitué par quatre blocs à ressort S fixés sur « une planchette isolante et construits comme il est figuré au dessin. Une glis- « sière mobile en gaïac F, portant sur ses faces verticales parallèles des plaques « de laiton, permet d'effectuer à volonté les connexions (voir fig. 143) suivant la « position de ladite glissière dans la planchette isolante. Afin qu'il soit impos-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« sible de changer le groupement des batteries tant que le courant n'est pas « coupé par la manivelle B du commutateur, un verrou à ressort marqué H « peut pénétrer dans deux encoches correspondant aux deux positions deman- « dées à la glissière ; pour dégager celle-ci, on est obligé de couper le courant, « de comprimer le ressort du verrou de sûreté en appuyant sur la poignée de la « manivelle, alors seulement le changement de groupement devient possible. La « face antérieure de la table du commutateur porte une autre planchette D « munie de quatre blocs à ressort S', lesquels, convenablement réunis, font passer

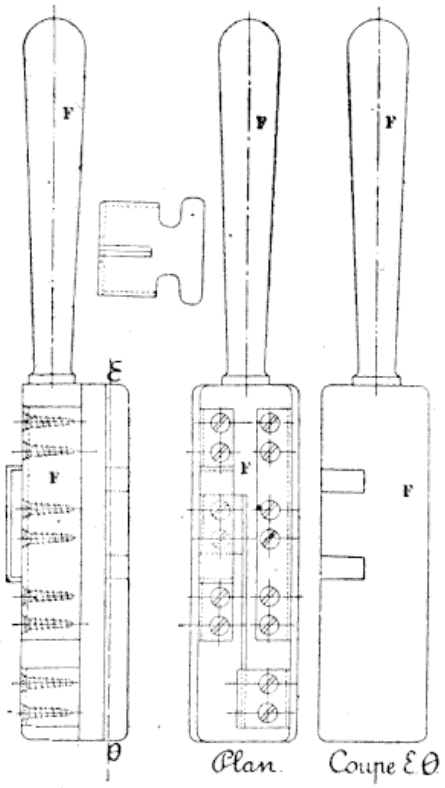


Fig. 143.

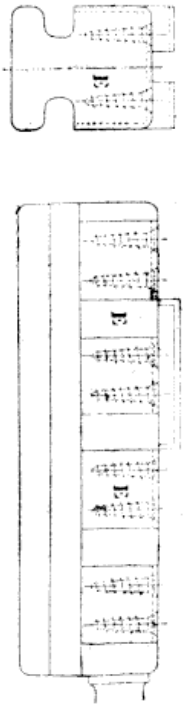


Fig. 144.

« le courant soit dans un sens, soit dans l'autre, dans l'armature du moteur « sans changer le sens de ce même courant dans les inducteurs. La pièce servant « à réaliser ces combinaisons est encore une glissière en gaïac marquée E « munie d'armatures métalliques appropriées, ainsi qu'il est figuré. Cette glis- « sière peut prendre deux positions, donnant les connexions pour l'une et pour « l'autre position. (Voir fig. 144.) Les glissières F et E sont construites de façon « qu'il soit impossible d'introduire la glissière E dans l'appareil C ou la « glissière F dans l'appareil D, ce qui écarte toute fausse manœuvre; ces glis- « sières buttent contre des pièces d'arrêt Z et W.

« Les résistances du rhéostat placé sous la voiture ne servent qu'aux démar- « rages; en marche, la manivelle est toujours à fond sur la touche n° 1.

« La vitesse est réglée par le commutateur de groupement qui donne deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« valeurs pour cette quantité, ce qui est amplement suffisant en exploitation de « tramways. »

Nous n'avons pas cru devoir écourter cette description un peu minutieuse, parce qu'elle nous a paru toucher à des détails de construction intéressants, témoignant de l'importance qu'attachait déjà, en 1889, M. van Vloten à l'appareil régulateur de la marche avant de connaître les « controllers » américains.

Régulateur Œrlikon, à Hagen. — La *Maschienenfabriek* d'Œrlikon a fourni les moteurs et régulateurs de marche de certaines voitures fonctionnant aux tramways de Hagen, pour compte de la fabrique d'accumulateurs Tudor, de cette ville, qui avait également procédé aux essais de traction de l'accumulateur Waddel Entz. (Voir chap. VI.)

Les voitures possèdent chacune un moteur de 15 chevaux à simple réduction agissant sur un seul essieu.

La figure 145 donne le schéma des connexions de la batterie d'accumulateurs à chacun des régulateurs montés aux plates-formes et les liaisons de ces régulateurs au moteur; la figure 146 en montre l'aspect extérieur.

La batterie d'accumulateurs, placée sous les banquettes, est divisée en six groupes, dont quatre de dix-neuf éléments en tension S_1, S_2, S_3, S_4, et deux de six éléments F, F, répartis par moitié de chaque côté de la voiture, par exemple S_1, S_2 et F à gauche, S_3, S_4, F à droite.

Les tiroirs FF sont groupés invariablement en tension et alimentent à la fois l'excitation et l'éclairage. Le circuit d'excitation, bifurqué vers les deux commutateurs, est toujours fermé, sauf aux plots fixes WW des commutateurs, où il y a interruption.

Les quatre tiroirs S_1, S_2, S_3, S_4 sont reliés de même par leurs pôles extrêmes aux autres plots fixes $S_1 +$, $S_1 -$, $S_2 +$, $S_2 -$, $S_3 +$, $S_3 -$, $S_4 +$, $S_4 -$, ainsi que les balais de l'induit à A + et A —.

Le tambour d'un commutateur est développé à la gauche de la figure; chacune des positions qui peuvent lui être données par rapport au rang des plots fixes est indiquée par les traits R, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 parallèles à l'axe de rotation du cylindre.

Dans la figure, c'est la ligne 0 du cylindre qui est amenée sur le rang des plots fixes; suivant cette ligne génératrice du cylindre, il n'existe aucun plot, de sorte que tout est coupé, même l'excitation. C'est le point mort.

Si nous amenons successivement les lignes 1, 2, 3, 4, 5, 6 sur le rang des plots fixes et si nous suivons les connexions réalisées ainsi par les plots frotteurs (tracés en plein) montés sur le cylindre, nous constatons la suite de liaisons ci-après :

Position 1. — L'excitation est établie, l'induit est fermé sur lui-même, les batteries S_1, S_2, S_3, S_4 restent isolées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

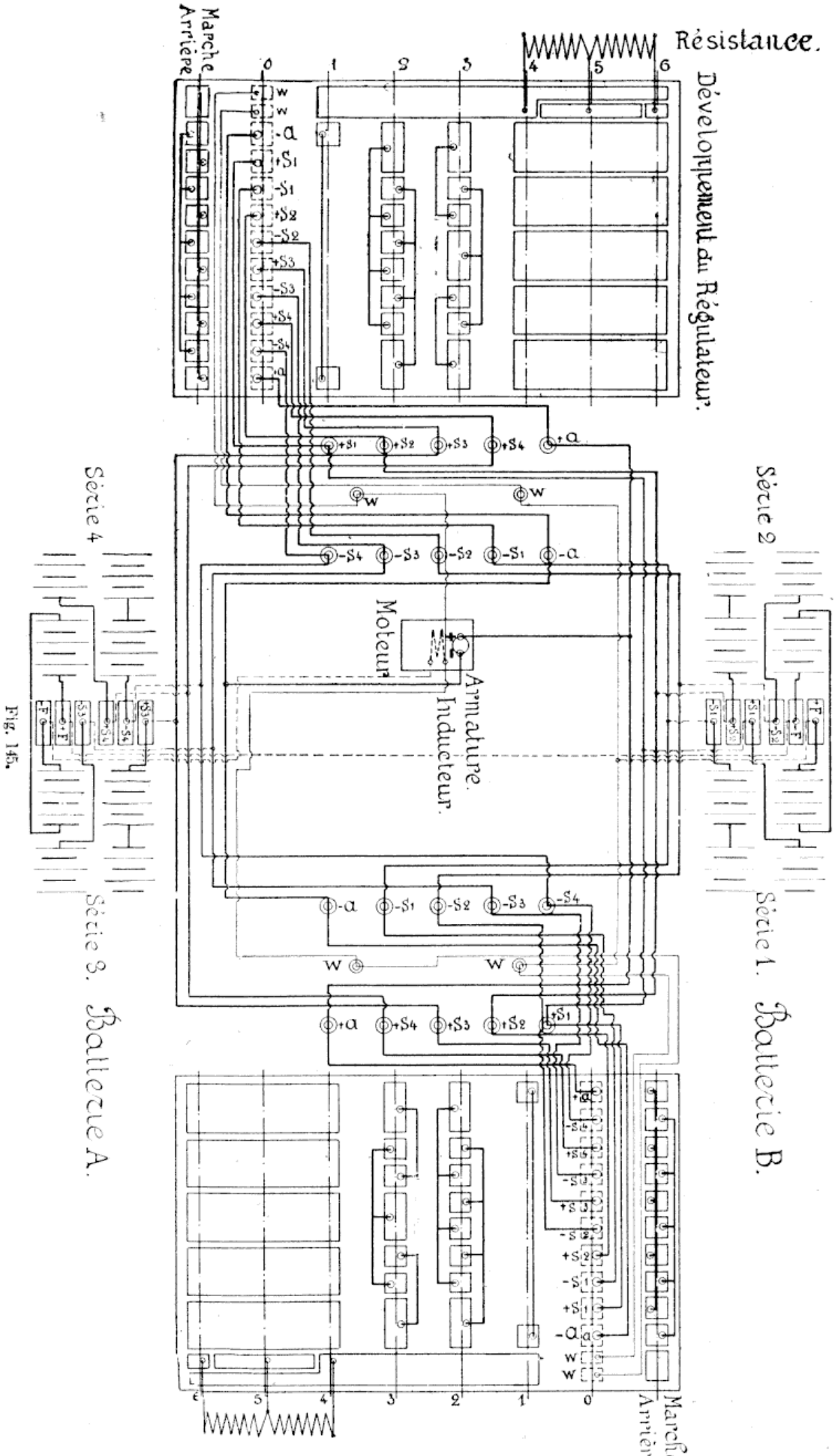


Fig. 145.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans cette position, le moteur fait office de frein sans charger les accumulateurs; c'est un cran de passage, plus ou moins prolongé, au retour des crans de marche vers le cran de repos. Son action d'enraiement est très énergique.

Position 2. — C'est celle du démarrage. Les quatre batteries sont disposées en quantité.

Position 3. — Celle-ci est prise immédiatement aprés le démarrage; les batteries sont en tension par deux.

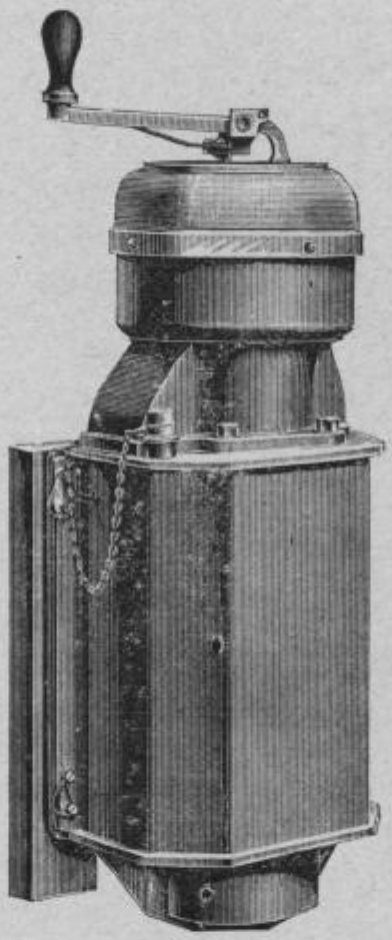


Fig. 146.

Position 4. — La vitesse ayant acquis une certaine valeur, toutes les batteries sont mises en tension en amenant le cylindre au cran 4.

Les positions 5 et 6 correspondent aux plus grandes vitesses que peut prendre la voiture. L'accouplement des batteries, tel qu'il est réalisé à la quatriéme position, n'est pas changé, mais le champ est réduit par l'insertion successive de deux résistances dans le circuit inducteur.

Position R. — Cette position commande le récul qui ne se fait qu'à une seule

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse. Les connexions de R sont les mêmes que celles de la position 2, sauf que le courant est renversé dans l'induit (1).

Régulateur Elieson. — Dans les cars mus au moyen d'accumulateurs Elieson, à Mont-Vernon, État de New-York, la modération de la marche est obtenue au moyen d'un commutateur auquel sont reliées les bornes de deux batteries de 100 éléments chacune.

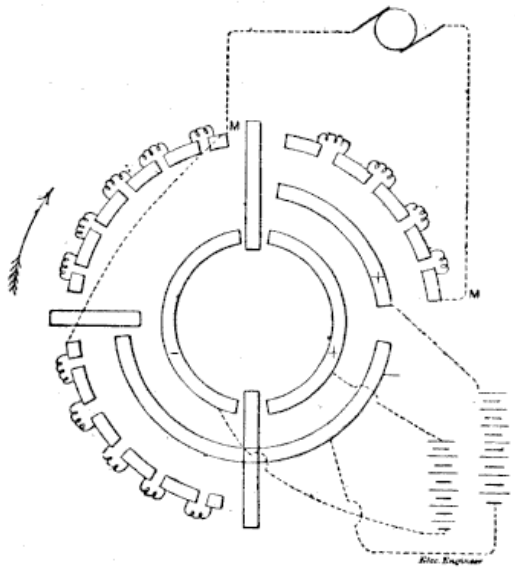


Fig. 147.

Les connexions assez simplement disposées sont faciles à suivre sur l'intéressant schéma (fig. 147) donné par *The Electrical Engineer* de New-York. En tournant à droite les trois pièces mobiles de contact, on voit qu'elles mettent d'abord les batteries en parallèle, en éliminant l'une après l'autre les résistances du circuit, puis coupent ce dernier après un quart de révolution, et passent aux connexions en série, avec retrait successif des résistances.

La construction d'un tel commutateur peut s'effectuer au moyen de *ponts* fixés aux barres mobiles, ou bien affecter la forme cylindrique.

Régulateur Julien. — Aux charbonnages d'Amercœur, les locomotives mues par accumulateurs sont de trois types et les régulateurs de deux types.

L'un (fig. 148) est employé sur la locomotive type I à un moteur et sur le type II ancien à deux moteurs (chap. VII). C'est en somme un simple rhéostat dédoublé pour la marche avant et pour la marche arrière. S'il n'y a qu'un moteur, le

(1) Le texte de cette description est tiré d'une étude de M. G. L'Hoest. (*Bulletin de l'Association des électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore.* Liége, 1895.) Le système a été modifié en 1896. (Voir chapitre VI.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courant passe de l'excitation du champ aux résistances, puis à l'induit. S'il y en a deux, ils sont associés en série.

Dans le second appareil (fig. 149), on a séparé en deux organes le rhéostat et l'inverseur, qui est très bien conçu. Il est employé sur la locomotive type III.

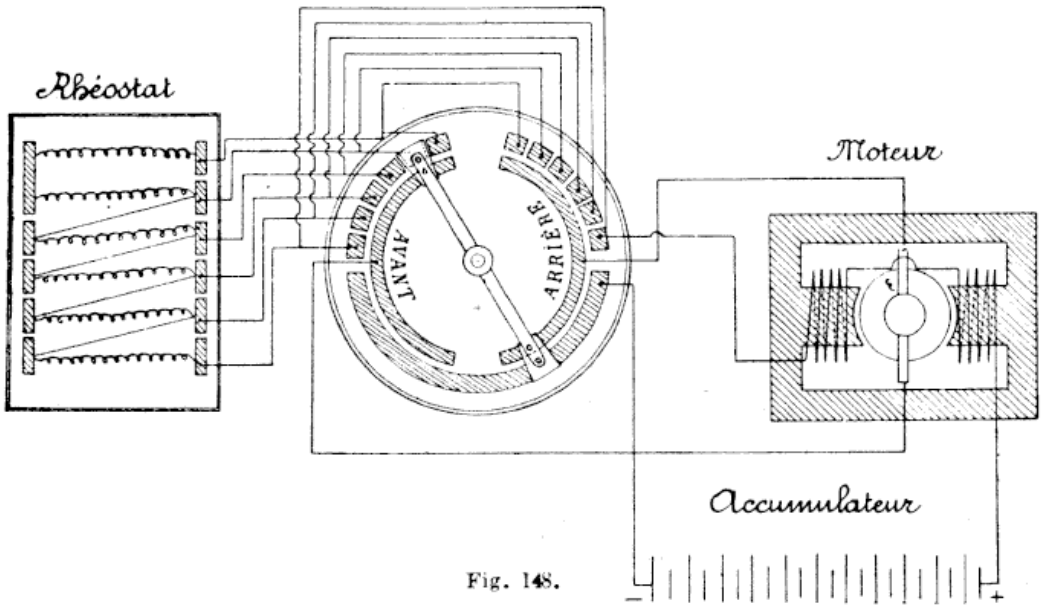


Fig. 148.

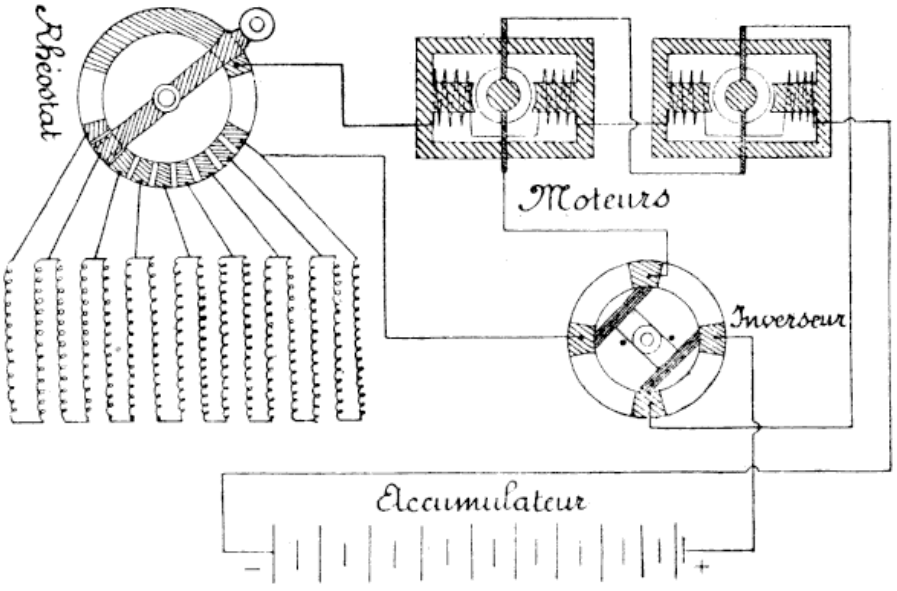


Fig. 149.

Régulateur pour canot électrique. — Dans les canots de la flottille mise à la disposition du public sur la Tamise, la marche du moteur est réglée par un triple appareil, afin d'éviter de fausses manœuvres qui seraient dangereuses.

L'accumulateur est partagé en deux batteries susceptibles d'être accouplées en parallèle ou en série.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit successivement sur les schémas des connexions (fig. 150), le rhéostat, le commutateur d'accouplement des deux batteries dans la position où elles

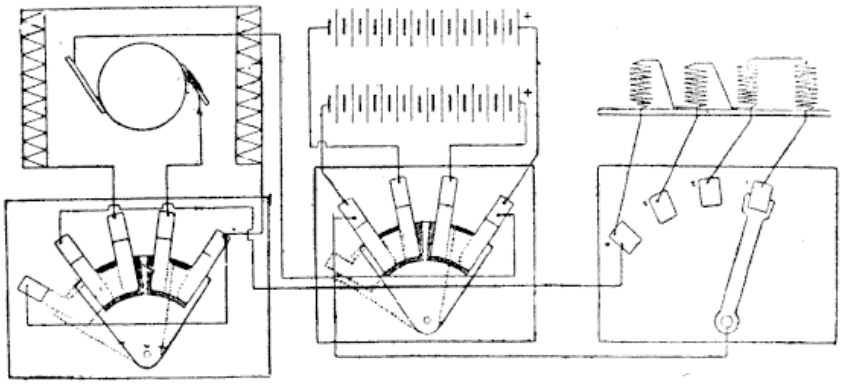


Fig. 150.

donnent leur courant en parallèle; enfin, le commutateur de changement de marche agissant par renversement du sens du circuit dans les inducteurs.

B. — Données expérimentales et commerciales relatives aux moteurs

1. — Éléments de la puissance électrique.

a. — *Définitions.*

Rendement électrique et rendement industriel. — Tous les traités d'électricité exposent la théorie des moteurs et les principes de leur construction. En reproduire ici un abrégé ne satisferait pas ceux qui les ignorent, et serait superflu pour ceux qui les possèdent. Quant aux données pratiques de construction, les nombreux spécimens de moteurs décrits dans le § A de ce chapitre fournissent des éléments variés propres à servir, sous ce rapport, de points de départ ou de termes de comparaison.

Abordons à présent les autres problèmes que comporte l'application des moteurs à la traction : leur rendement, les causes de ses variations, les résistances de toute nature à vaincre par l'énergie locomotrice fournie aux bornes du moteur.

Dans un électro-moteur, les principaux éléments électriques sont liés par la relation :

$$i = \frac{E - e}{r},$$

i = intensité du courant dans l'armature,
E = différence de potentiel aux bornes,
e = force contre-électro-motrice d'induction engendrée par la rotation dans le champ inducteur,
r = résistance intérieure du moteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La puissance utilisable en watts est $p = ei$.

La puissance fournie au moteur est $P = Ei$ pour une différence de potentiel E aux bornes.

La différence $P - p = Ei - ei = i^2r$ est perdue sous forme de chaleur développée dans le circuit intérieur. En faisant abstraction d'autres pertes secondaires dues à l'hystérésis, aux courants de Foucault et aux frottements, le rendement s'exprime par le rapport :

$$\eta = \frac{p}{P} = \frac{ei}{Ei} = \frac{e}{E} = \frac{E - ir}{E},$$

c'est le *rendement électrique*.

Ce qui nous intéresse surtout pratiquement, le travail recueilli sur l'axe de l'induit, s'obtient en défalquant de la puissance électrique $p = ei$ les pertes par hystérésis par courants de Foucault et par frottements de l'arbre, pertes que nous désignons par F; d'où l'expression de la puissance industrielle :

$$p_u = p - F = ei - F.$$

Le *rendement industriel* devient pour un moteur *excité en série :*

$$\rho = \frac{p_u}{P} = \frac{ei - F}{Ei} = 1 - \frac{ri}{E} - \frac{F}{Ei} = \frac{Ei - ri^2 - F}{Ei}.$$

Lorsqu'il s'agit d'un moteur *excité en dérivation*, le courant total se partage entre l'induit et le système inducteur. Appelant :

I = l'intensité totale,
i_a = le courant dans l'armature,
i_d = le courant dérivé dans les inducteurs,
r_a et r_d = les résistances de ces deux circuits,
E = la force électro-motrice aux bornes.

On a comme expression du courant total :

$$I = i_a + i_d.$$

Puissance fournie :

$$P = EI.$$

Les pertes se composent :

Des pertes sous forme de calorique

$$i_a^2 r_a + i_d^2 r_d$$

et des pertes parasites F;

La puissance industrielle est alors :

$$p_u = EI - i_a^2 r_a - i_d^2 r_d - F.$$

Le rendement industriel :

$$\rho = \frac{EI - i_a^2 r_a - i_d^2 r_d - F}{EI}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Torque, puissance à la jante. — Dans tout moteur, le produit C du rayon de l'induit par la force appliquée à la périphérie, c'est-à-dire le couple moteur, ou le *torque*, a pour expression simplifiée :

$$C = \frac{in\Phi}{2\pi},$$

pour n fils à la phériphérie dans un flux magnétique Φ à travers l'armature.

N étant le nombre de tours de l'armature *par seconde*, le travail par seconde sera :

$$2\pi CN = inN\Phi,$$

et par tour :

$$2\pi C.$$

La puissance motrice électrique en kilogrammètres-seconde se met sous la forme :

$$T = \frac{ei}{g},$$

et en chevaux :

$$HP = \frac{ei}{736},$$

en kilowatts :

$$KW = \frac{ei}{1,000},$$

dont il reste à défalquer les pertes secondaires.

Rapprochons immédiatement de ces puissances électriques celles qui entrent dans les équations de traction.

Entre l'effort à la jante f, le nombre de tours par seconde N_1 d'une roue de diamètre D et la vitesse V en kilomètres à l'heure, existe la relation :

$$\pi DN_1 = \frac{1,000V}{3,600},$$

l'effort à la jante étant f et C_1, le couple moteur correspondant :

$$f\frac{D}{2} = C_1,$$

d'où :

$$2\pi C_1N_1 = \frac{V}{3.6}f.$$

La puissance à la jante

$$2\pi C_1N_1$$

est évidemment celle du moteur diminuée de la perte dans les organes de réduction ; toutefois, à un moment donné, les efforts statiques de la puissance motrice du couple C et de la résistance du couple C_1 sont entre eux en raison

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

inverse du nombre de tours réduits par ces organes dans un certain rapport $m : 1$; si l'on pose :

$$N_1 = \frac{1}{m} N,$$

on a :

$$C_1 = mC,$$

et

$$C_1 N_1 = CN,$$

en faisant abstraction des frottements, le travail moteur égal au travail résistant.

Il est donc loisible, choisissant entre deux procédés de calcul, soit de retrancher immédiatement de la puissance motrice p_u fournie sur l'axe de l'armature, la résistance du frottement des organes intermédiaires; soit de supposer cette puissance entièrement transmise à la jante, à la condition de faire porter la déduction pour les frottements de toute nature sur l'effort à la jante f considéré comme un effet intégral de la puissance p_u.

Les deux méthodes sont bonnes, il suffit de s'entendre.

Si, par exemple, dans une équation de traction l'on introduit la résistance sur palier d'une voiture de tramway en disant qu'elle est de 12 kilogrammes par tonne y compris celle des engrenages, on part du rendement industriel *sur l'axe de l'induit*.

Inversement, si l'on discute les coefficients de rendement des divers types d'organes réducteurs mécaniques, on est amené à préférer l'autre méthode donnant *à la jante* un effort dont il ne reste à défalquer que la résistance au roulement et celle des coulants d'essieux, pour avoir la puissance de traction disponible, puissance qu'il s'agit de partager entre les autres éléments de la résistance connus et inconnus.

C'est à défaut de langage conventionnel précis que nous insistons sur ces points élémentaires.

b. — *Représentation géométrique et essai de la puissance électrique.*

Caractéristiques et données diverses. — α. — Les relations qui précèdent se traduisent géométriquement dans des diagrammes permettant à la fois d'étudier les conditions de fonctionnement des dynamos réceptrices et de les comparer entre elles; voici quelques exemples tirés d'essais exécutés sur des engins connus.

Les figures 151, 152, 153 et 154 sont des diagrammes relevés en 1891, par M. Hooper, sur deux moteurs Thomson-Houston des types *Single Reduction Geared*, S. R. G. et *Water-Proof*, W. P. que nous avons décrits plus haut, et qui se trouvaient à cette époque en service au *West End* de Boston.

Les caractéristiques, les courbes des vitesses et des torques montrent déjà la supériorité du W. P. comparé au S. R. G. sous le rapport du rendement, de ses fluctuations et de celles de la vitesse, en passant du couplage en tension au cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plage en parallèle de deux moteurs, c'est-à-dire de la marche à 250 volts à la marche à 500 volts. Nous revenons plus loin sur ce dernier point.

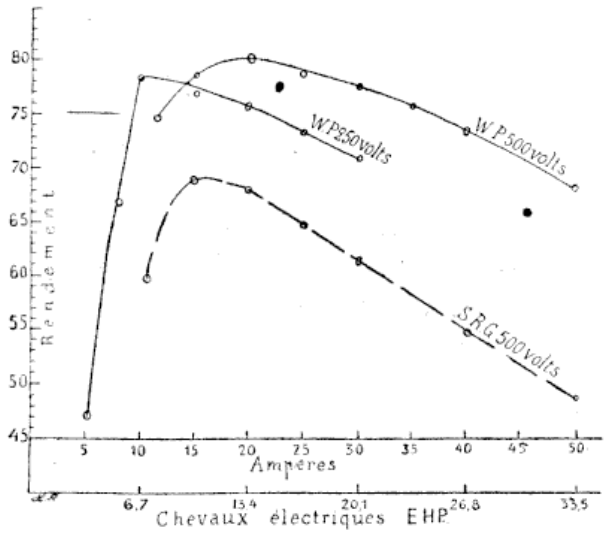


Fig. 151.

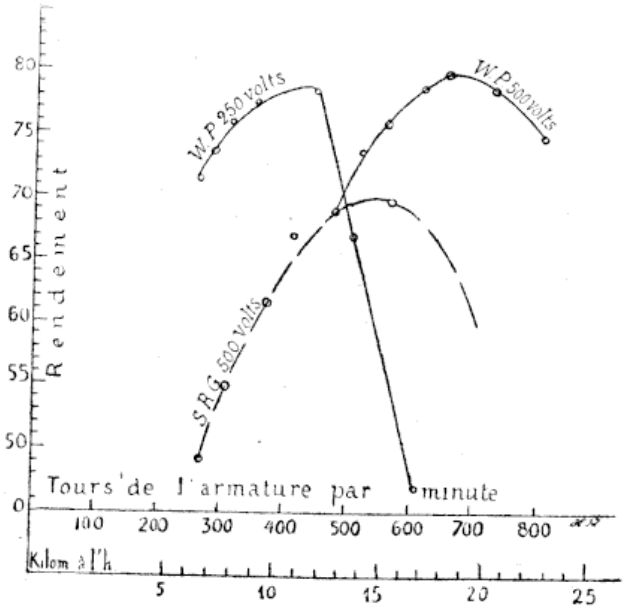


Fig. 152.

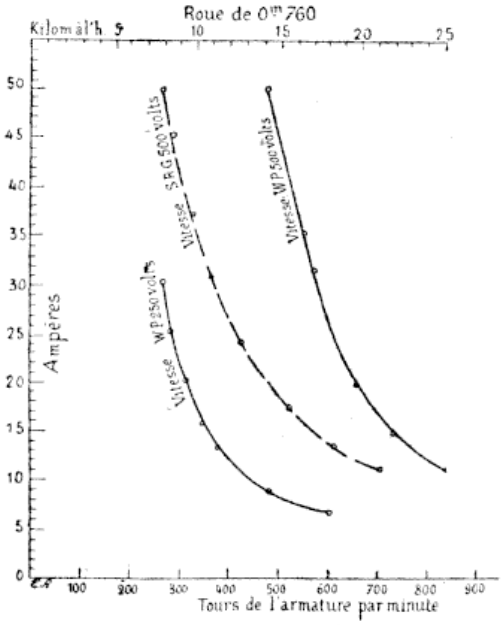


Fig. 153.

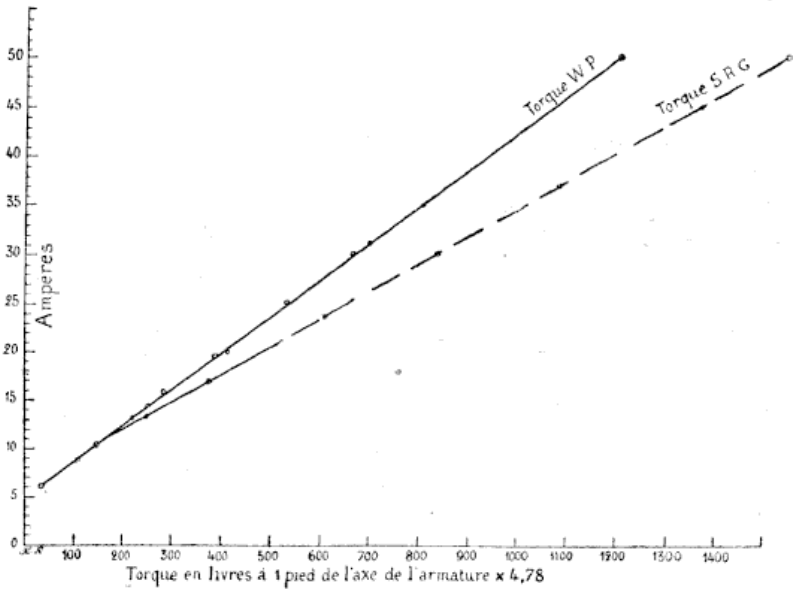


Fig. 154.

β. — Aujourd'hui, l'on considérerait ces courbes comme caractérisant des moteurs de qualité médiocre. Le *Street Railway Journal*, indiquant en janvier 1896 les progrès réalisés dans la traction électrique, fournissait les diagrammes (fig. 155 et 156) à titre de spécimen des résultats atteints dans la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

construction des moteurs de tramways. Nous avons traduit les chiffres en mesures françaises.

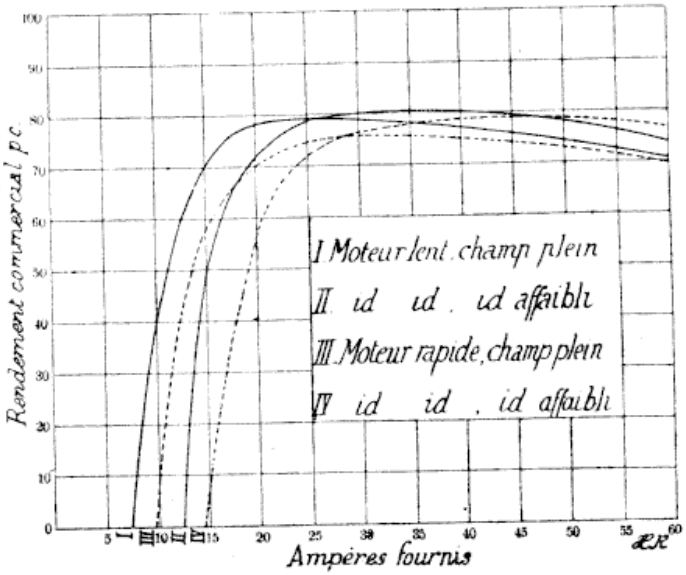


Fig. 155.

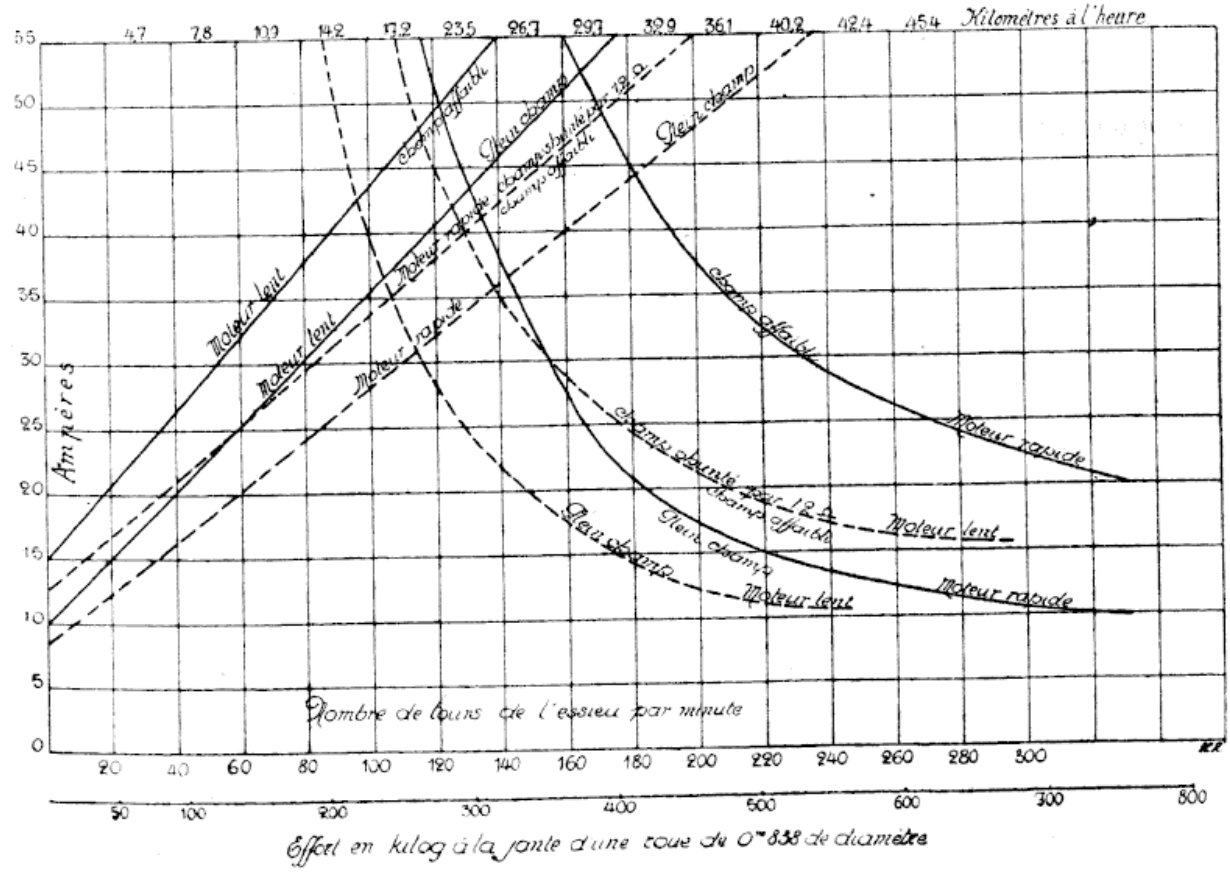


Fig. 156.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

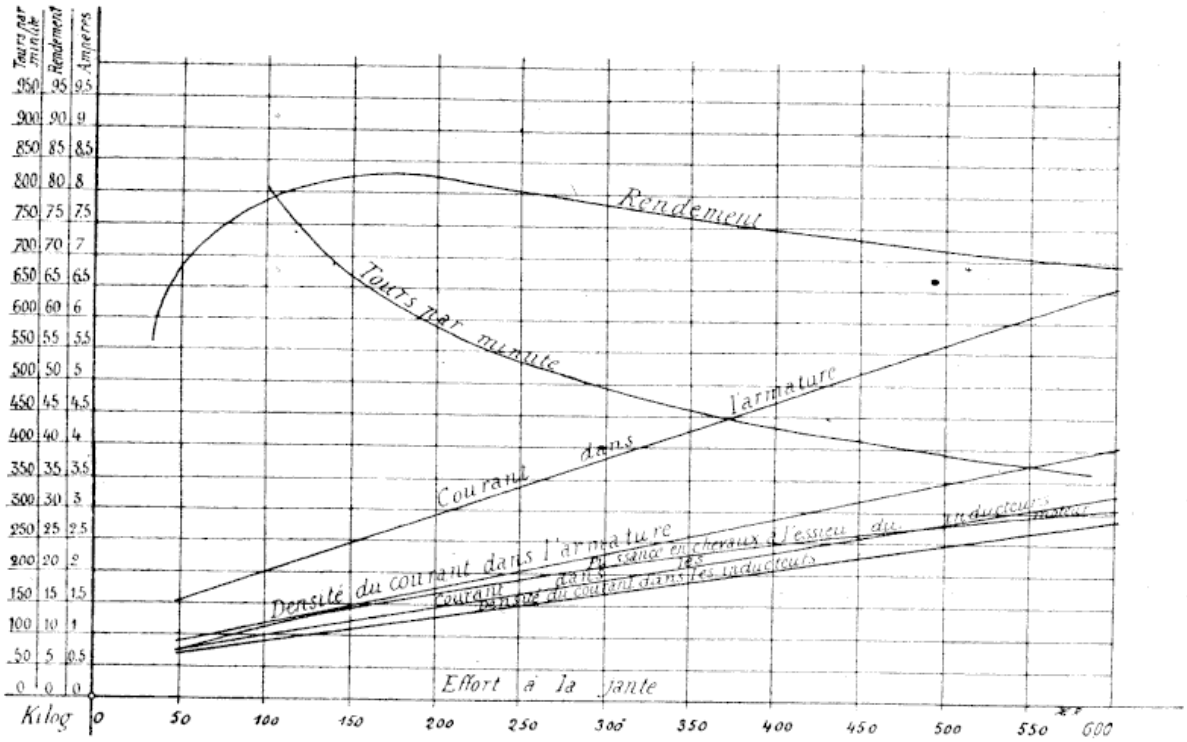


Fig. 157.

7. — Lorsque le courant dans les inducteurs n'est pas le même que celui qui circule dans l'induit par suite de l'introduction de shunts ou du partage du courant entre les inducteurs et des résistances, ou encore du couplage des inducteurs de deux moteurs en paralléle en laissant les induits en série, la caractéristique du rendement n'est guère altérée, ainsi que l'indique la figure 157, qui se rapporte à un moteur de construction européenne excité dans ces conditions, à simple réduction par engrenage, et d'une puissance de 25 H. P.

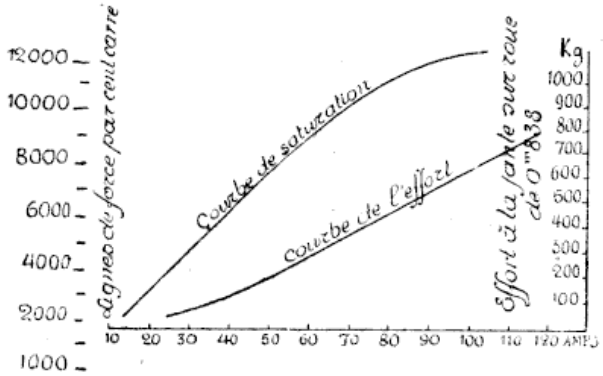


Fig. 158.

8. — La figure 158 donne des courbes intéressantes relevées par M. Parker sur les moteurs gearless du *Liverpool overhead Railway*. Il s'agit des moteurs excités en série, décrits au § A de ce chapitre développant 40 H. P. On y trouve la caractéristique de *magnétisation* et la courbe des torques traduits en efforts à la jante.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ε. — Nous reproduisons ci-dessous, d'après M. de Marchena (1), un tableau qui montre les variations du flux magnétique dans un moteur en fonction de l'effort à la jante et de la vitesse.

Courant absorbé I.	Induction spécifique B.	Effort de traction *f*.	Nombre de tours par minute.	Vitesse en kilomètres à l'heure.	Perte de volts.
Ampères.				Kilomètres.	
7.32	14,000	113	678	20.3	22.7
8.15	15,000	134	630	18.9	25.3
9.40	16,000	165	588	17.6	29.2
11.50	17,000	215	547	16.4	35.6
15.05	18,000	298	504	15.1	46.5
21.20	19,000	443	457	13.7	65.6
32	20,000	704	401	12.0	99.0
48.30	21,000	1.116	333	10.0	150.0

ζ. — Des données de construction que fournit le § A de ce chapitre, on peut déduire par le calcul l'induction spécifique variable en fonction de l'intensité.

Dans certains moteurs, *à la puissance nominale*, on trouvera 6,000 unités C. G. S. par centimètre carré dans l'armature, par exemple dans les moteurs à double réduction, où elle s'élève exceptionnellement à 8,000 dans l'armature et 11,000 dans le noyau.

Pour la simple réduction, elle est représentée par 12,000 à 13,000 dans l'armature, 10,000 dans l'entrefer, 15,000 dans le noyau. Elle s'élève à 16,000 dans un moteur attaquant à la fois deux essieux par deux chaînes à simple réduction.

η. — *La densité de courant* par millimètre carré varie beaucoup dans l'induit : de 3 à 5 ampères au régime normal, elle va jusqu'à 7 ampères en régime forcé pour un temps très court. Dans les inducteurs, elle est de 2.80 ampères par millimètre carré à 3 ampères et s'élève à 3.5 en régime forcé.

Méthodes d'essai. — C'est une opération assez délicate, un problème assez complexe, que l'essai détaillé d'un moteur; nous ne ferons qu'y toucher; les compagnies qui se montent à cette fin comptent généralement dans leur personnel des techniciens plus ou moins habiles.

M. le professeur Eric Gerard a publié un volume spécial sur les *Essais électriques*, ce qui montre l'importance de la matière.

(1) *La traction mécanique des tramways*, par M. de Marchena.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le *Bulletin des électriciens de l'Institut Montefiore*, de Liége (février 1893), M. Mélotte expose et discute des méthodes d'essais applicables précisément aux moteurs de traction, dans des conditions variées.

Les formules du § *a* ci-dessus permettent néanmoins des essais sommaires et distinguent les moteurs série des moteurs excités en dérivation.

On peut, dans certains cas, se borner au procédé consistant à embarquer sur une voiture un watt-mètre enregistreur, ou un volt-mètre et un ampère-mètre apériodiques, et attribuant aux frottements des organes mécaniques un taux donné, déterminer la puissance sur l'axe de l'induit, par différence entre la puissance fournie EI aux bornes du moteur et les résistances vaincues depuis cet axe, frottement, roulement, pesanteur.

c. — *Influence du mode de réglage.*

Rhéostat. — La puissance fournie EI, mesurée aux bornes du moteur, ne représente pas la totalité de l'énergie dépensée pour sa mise en marche. Il y a

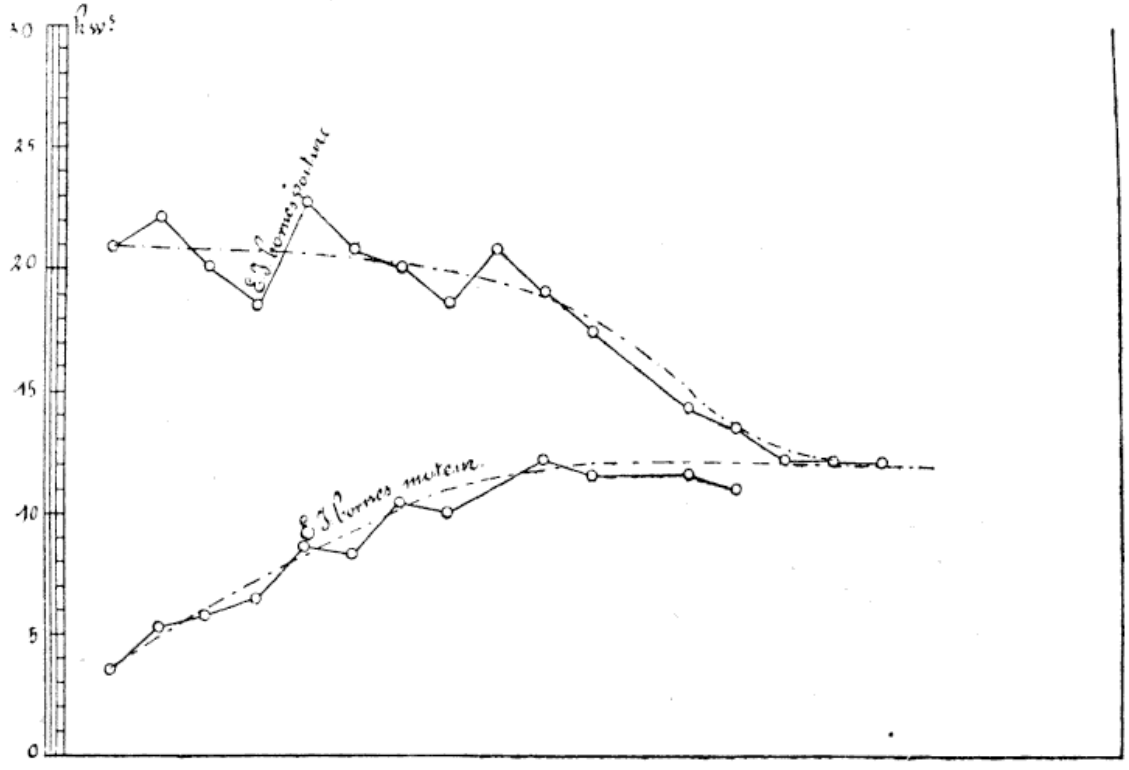


Fig. 159.

lieu de tenir compte de celle qui se perd dans les résistances constituant le régulateur de la marche.

Nous avons vu combien varient les différents modes de modération de la marche. Le moteur est généralement étudié pour donner son maximum de rendement dans des conditions d'effort et de vitesse très limitées; à ces phases de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la marche correspondent les positions de l'appareil de réglage présentant au courant le minimum de résistance.

Ainsi l'emploi pur et simple du rhéostat intercalé entre la ligne et le moteur, entraîne une dépense notable. M. Dierman donnait, en 1892, à titre d'exemple le résultat représenté graphiquement par la figure 159 (1). Sur l'échelle verticale se lisent les hectowatts. Entre les deux courbes s'indique l'énergie absorbée par le rhéostat aux différents crans, jusqu'à suppression complète des résistances après vingt secondes de marche. Ce travail correspondait à 125 watts-heures pour deux démarrages par kilomètre, alors que la voiture consommait moyennement 285 watts heures par kilomètre. Soit donc 62.5 watts-heures par démarrage.

Série-parallèle. — On constate sur les figures 151 et 152, données ci-dessus, que le couplage successif des moteurs en série puis en parallèle, fournit deux caractéristiques relevées à peu près au même niveau pour des phases notablement différentes de la marche.

Dans ces conditions, l'on peut compter sur une dépense de 50 watts-heures par démarrage.

C'est avec raison que l'on a profité des avantages du *series-parallel control* comparé au *rheostatic control*, eu égard à l'absorption d'énergie par le rhéostat.

On verra également plus loin comment le coefficient de rendement se relève par la substitution du *shunt* au *loop system* dans ce mode de réglage. La différence est de 10 p. c. en faveur du premier.

En réalité, le démarrage ne s'opère jamais sans intercalation d'une résistance dans le circuit.

Quand il y a deux moteurs, il est rationnel, en marche lente, d'ajouter à cette résistance la somme des deux forces contre-électro-motrices des moteurs pour les opposer à la différence de potentiel de la ligne, autrement il y a lieu d'augmenter les résistances de mise en marche par un autre artifice. Or, dans le système de réglage Van Depoele-Sprague, on enroule la presque totalité de ces résistances en les fractionnant sur les noyaux des inducteurs. (Voir la description des régulateurs de ce type.) Il semble donc, à première vue, que, de ce côté, l'on épargne une perte compensant l'état permanent de couplage des moteurs en parallèle : cette compensation ne se réalise effectivement que dans les phases de la marche ultérieures au démarrage.

Un autre système consiste à maintenir les induits en série entre eux et en série sur les inducteurs couplés en parallèle, avec de fortes résistances, pour un instant, au démarrage. (Voir régulateurs Siemens.)

L'expérience n'a condamné aucun de ces trois derniers systèmes.

Mixtes. — Si, au contraire, on se contente de maintenir toujours en parallèle

(1) *Bulletin des ingénieurs sortis de l'Institut électro-technique Montefiore.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des moteurs excités en série, avec modération par résistances externes seules, on obtient un résultat peu économique et qui relativement aux modes précédents se chiffre, sur un tramway urbain, par une consommation de 20 à 30 p. c. d'énergie en plus, du fait des ralentissements et démarrages, aucune compensation ne se présentant en d'autres phases de la marche.

Observation. — Le système série parallèle, moteurs excités en série, n'est complétement économique que si les résistances de démarrage sont faibles, ce qui occasionne une certaine brusquerie à la mise en marche ; celle-ci, par contre, est très prompte.

N. B. — On trouvera plus loin, concernant les différents systèmes, des chiffres de rendement usuel et de consommation d'énergie aux différentes phases du réglage de la marche (§ 2-*b*) et (§ 3-*b*).

2. — Dépenses usuelles des moteurs.

a. — *Résistance des organes mécaniques.*

Absence d'organes mécaniques. — La suppression des organes intermédiaires entre l'axe de l'induit et l'essieu constituera un progrès dans la construction des moteurs de tramways et la chose est déjà à peu près réalisée sur les railways.

Sur les tramways, les tentatives faites par MM. Short et Westinghouse ont échoué pour des motifs, nous l'avons dit, étrangers à la question du rendement. La consommation de courant est parfois moindre, d'autant plus que sur les plus faibles pentes il peut être supprimé. Des essais comparatifs exécutés sur une ligne peu accidentée de la *Brooklyn Street Ry C°*, de Cleveland, en 1891, portant sur un moteur gearless Short et un moteur à engrenage S. R. G. ont fourni, après de très nombreuses observations, les moyennes suivantes :

	Volts.	Ampères.	E. H. P.
Moteur gearless	427	34	19.46
— S. R. G.	459	38	23.38

Ce résultat prouve peut-être que le gearless essayé était une pièce bien soignée et que le « single reduction » avait encore à subir des améliorations aujourd'hui réalisées. On admet que l'on obtient actuellement, des deux types, un rendement égal à la jante, une compensation s'établissant entre la dépense d'énergie dans les engrenages de l'un et le supplément de courant exigé pour produire le torque dans l'autre qui tourne à 120 tours au lieu de 550.

Le poids du gearless Short pour tramway, primitivement de 1,400 kilogrammes, est descendu à 1,050 en 1892, mais c'est encore 250 kilogrammes de plus que les bons types de moteurs à une paire de roues dentées. Son armature descendit successivement de 610 à 533 millimètres de diamètre, pour une puissance de 20 H. P. On lui reproche, en le comparant aux moteurs munis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'organes de réduction, d'exiger de grands coussinets d'armature dont la graisse envahit les enroulements ; des ressorts de suspension à maintenir en position symétrique en dépit des chocs et de l'excentricité de l'action du torque qui en résulte ; la fatigue imposée à l'essieu et aux roues ; la difficulté de visite, de démontage et de réparation de l'induit qui ne peut s'effectuer sans retirer les roues et en mettre une paire hors de service. Ces inconvénients, son prix plus élevé, la nécessité d'en confiner l'emploi sur des lignes peu inclinées à un régime de vitesse assez élevé rendent finalement le moteur « gearless » actuel moins pratique que les « geared » sur les tramways.

Quel organe de transmission convient-il donc d'adopter ?

Engrenages. — La pratique générale donne la préférence à une paire d'engrenages. Les Américains adoptent l'acier fondu ou un métal équivalent que les sidérurgistes nomment métal homogène, fonte à grain fin très dure. Certain bronze d'aluminium a bien réussi pour les pignons. Les pignons mixtes fer et matière organique un peu moins bruyants sont, comme on le verra (*c*), coûteux d'achat et d'entretien. Quelques firmes européennes préfèrent les dents à chevron, qui ont donné d'excellents résultats aux tramways de Vevey-Montreux, de Birmingham et du South-Staffordshire au point de vue du bruit et des frottements. Enfin, exceptionnellement on s'est bien trouvé d'une roue dentée en bronze et du pignon en acier : contrairement à l'opinion qui adopte le métal le plus tendre pour la pièce la moins coûteuse, cette pratique a bien réussi sur la petite ligne de Saint-Just à Sainte-Foy près Lyon.

Le rapport de réduction varie entre 1 : 4 et 1 : 6. Toutefois, on le porte à 1 : 3 et même à 1 : 2 pour des vitesses élevées, notamment dans les moteurs de 50 à 75 chevaux à une paire d'engrenages qu'une firme américaine, apôtre autrefois du gearless, s'obstine à employer même sur certains railways jusqu'au régime de 60 kilomètres ! (Voir § A-1-*b* et *c*.)

Vis. — La lutte s'était un instant confinée entre les roues dentées et la vis. Nous avons décrit les moteurs à vis de Reckenzaun, d'Œrlikon et de la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi (§ A-1-*f*).

Au point de vue du rendement, si l'on suppose atteinte la vitesse de marche normale, on aurait, d'après M. Kolben, ingénieur en chef de la *Maschinenfabrik* d'Œrlikon, les pertes suivantes à compter entre l'axe de l'induit et celui de l'essieu :

GENRE D'ORGANES.	RÉDUCTION DE LA VITESSE ANGULAIRE.	PERTE D'ÉNERGIE EN POUR CENT.
Deux paires d'engrenages	12 : 1	20 à 24
Une paire d'engrenages	4 : 1 à 5 : 1	16
Vis à deux filets	14 : 1	14 à 20
Vis Reckenzaun à 3 filets	8 : 1	10 à 15

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La difficulté essentielle de l'emploi de la vis gît dans le montage et le maintien du point d'appui de son axe, lequel, avec ou sans billes d'acier, s'accommode mal des variations brusques et des chocs éprouvés dans la locomotion, d'autant plus qu'il exige deux faces d'appui, d'avant et d'arrière, d'égale résistance. A ce point de vue, le dispositif Pendleton (§ A-1-*f*) présenterait quelque avantage.

Chaîne. — Indépendamment des anciennes installations de Besbrook à Newry et de Portrush, la maison Siemens, ainsi que nous l'avons vu dans la description des moteurs, persiste à employer la chaîne, surtout lorsque la puissance à déployer n'exige qu'un seul moteur, et qu'il convient cependant de pouvoir utiliser à certains moments l'adhérence des quatre roues. (Voir § A-1-*e*.)

Sur une bonne voie, où les axes des essieux ne sont pas exposés à s'écarter beaucoup d'une position moyennement distante de l'axe du moteur, la chaîne se maintient bien. Elle donne lieu à des ennuis sur une mauvaise voie.

Bielles. — L'emploi de bielles constitue des cas isolés. Ainsi que dans l'usage d'un seul moteur à deux chaînes, on voyait dans celui des bielles l'avantage de réduire les frottements d'engrenages dans une forte proportion, pour en remplacer le poids par celui qui résulte d'un accroissement de l'induit et des inducteurs au profit desquels un emplacement plus grand se trouvait réservé, dispositif auquel était surtout favorable le système Eikemeyer à quatre bielles partant d'un moteur suspendu au châssis. Ce système ne s'est pas répandu. A Clermont-Ferrand, l'accouplement des deux essieux, moyennant l'usage d'un fort moteur, que nous avons décrit également, a eu pour effet de permettre un freinage très énergique de la voiture en ne serrant qu'un disque calé sur un essieu. A la Haye, les bielles ne servent qu'à doubler l'adhérence motrice. (Voir § A-1-*c* et *h*.)

Mais tout compte fait, le poids total de l'équipement est égal à celui de deux moteurs et l'on perd le bénéfice, en cas d'avaries, d'une mise hors service réduite de moitié.

Galets. — Concernant les autres systèmes de transmission que la pratique a d'ailleurs écartés, il n'a guère été publié de résultats d'essais de rendement ou de puissance. Il en est un cependant qui mériterait au moins un essai en service courant, c'est le galet de friction agissant sur disque en fonte ou directement sur les roues. M. Dulait l'a expérimenté dans les conditions que voici. Le moteur était adapté entre deux balanciers aux centres desquels passait l'axe de l'induit qui portait deux galets extérieurement à ces deux balanciers. Ceux-ci par une extrémité pivotaient sur un arbre fixé au bâti et, libres à l'autre extrémité, étaient soulevés ou abaissés au gré de l'opérateur, ces déplacements ayant pour but d'appuyer plus ou moins les galets sur les roues du chariot d'essai, avec 70 volts et 15 ampères, la dynamo et les leviers pesant 180 à 200 kilogrammes,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on exerçait un effort de traction de 60 kilogrammes à la jante de roues de 60 centimètres. En empêchant le chariot d'avancer, les roues patinaient sur les rails et non les galets sur les roues.

b. — *Coefficients de rendement usuels.*

Moteurs à transmissions. — α. — Les coefficients de rendement industriel des moteurs sont essentiellement variables et relatifs : variables avec la charge et la vitesse, relatifs selon qu'il s'agit d'un seul moteur ou de deux moteurs par voiture, attendu que l'identité de construction et la marche à l'unisson sont difficiles à réaliser. MM. Crosby et Bell, dans leur traité de 1892, citent le cas d'un moteur Sprague dont un seul spécimen donnait un rendement commercial de 83.6 p. c., et dont une paire employée sur la même voiture ne donnait plus que 77.6 p. c. A la jante, ces rendements descendaient respectivement à 71.2 et 55.9 p. c. L'opinion de ces auteurs est qu'il convient d'abaisser de 10 p. c. le rendement individuel d'un moteur lorsqu'il est employé en double sur une même voiture.

β. — Le rendement *individuel* des moteurs, ainsi que nous l'avons vu sur les diagrammes signalés au § 1-*b*, varie sans cesse. Si on l'envisage dans des conditions données de régime, il peut faire l'objet de stipulations admissibles par les constructeurs. En voici un exemple concernant une voiture munie de deux moteurs de 25 H. P., et visant des essais à effectuer sur l'un des moteurs considéré individuellement.

RAMPE EN MILLIMÈTRES PAR MÈTRE.	VITESSE EN KILOMÈTRES-HEURES.	PUISSANCE EN H. P.	RENDEMENT INDUSTRIEL.
60	10	2 × 20	0.73
50	12	2 × 20.5	0.75
40	14	2 × 20	0.82
30	17	2 × 25	0.80
20	20	2 × 18	0.75
0	30	2 × 10	0.68

γ. — En 1893, des expériences faites à Buda-Pesth sur des voitures équipées par la maison Siemens et Halske au moyen de moteurs à chaîne, simple

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

réduction dans le rapport 31 : 11, ont fourni les résultats suivants pour une voiture à deux moteurs :

ESSAIS	1	2	3
Poids à vide en kilogrammes	4,200	4,200	4,200
Charge —	2,535	375	375
Poids total —	6,735	4,575	4,575
Rampe en millimètres	0	53	96
Vitesse en kilomètres-heures	22.03	13.50	7 7
Nombre de tours des roues par minute	194.9	119.43	68.15
— — de l'induit —	549	337	192
Ampères par moteur	26	54	68
Watts	7,345	14,364	17,680
Effort à la jante	101.03	310.09	507.83
H. P. mécaniques	8.24	15.50	14.50
Rendement à la jante en p. c.	82.57	79.41	60.37

Le même type de moteur employé *seul* sur une voiture du poids de 6,735 kilogrammes, à la vitesse de 22 kilomètres en palier, prenait 24.5 ampères 6,982 watts, atteignait le rendement très élevé de 88.62 p. c.

δ. — Sur les lignes du « South Staffordshire », un moteur retiré d'une voiture après quatorze mois de service donna, au frein, un rendement industriel de 78 p. c. au maximum de puissance représentant 675 kilogrammes à la jante.

ε. — Un moteur de la Compagnie de Fives-Lille, à simple réduction dans le rapport de 5 : 1, d'une puissance nominale de 8 kilowatts et commandé par un régulateur Sprague, étant appliqué à une voiture de 28 places pesant en charge 7 à 8 tonnes à roues de 780 millimètres, montre les variations suivantes :

POSITIONS DU RÉGULATEUR.	RAMPE EN MILLIMÈTRES PAR MÈTRE.	VITESSE.	PUISSANCE EN H. P.	RENDEMENT A LA JANTE.
Bobines inductrices en série	+ 5.8	7.5	4	50
	— 10.7	12 2	1.35	49
Deux bobines en parallèle et une en série avec la troisième.	+ 12.5	8.6	6.3	62
	— 9.3	12.6	1.85	54
Trois bobines en parallèle	+ 10.5	12.2	8	78
	— 10.75	18.3	2	62
— —	+ 53.7	8 8	15.5	65
	+ 21.3	11.5	10.1	76

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces renseignements, puisés dans des tableaux publiés par M. de Marchena, montrent que le moteur répond aux conditions pour lesquelles il a été étudié, puisqu'il rend à la jante 76 et 78 p. c. en produisant 8 à 10 H. P. à la vitesse de 12 kilomètres.

ζ. — Nous avons déjà mentionné, § 1-*c*, les fluctuations du rendement résultant du mode de réglage de la marche quand deux moteurs fonctionnent simultanément et les pertes d'énergie qui peuvent en résulter entre la ligne et les bornes du moteur.

Dans le *series-parallel control* (voir régulateur Thomson-Houston décrit plus haut), l'une des phases comporte l'affaiblissement du champ, soit par le « loop system », c'est-à-dire en mettant hors circuit une partie des bobines inductrices, soit en les shuntant. Un essai comparatif, exécuté aux Tramways bruxellois, a fait voir qu'en appliquant le *shunt* aux moteurs W. P., on relevait le rendement de 10 p. c. relativement à ce qu'il était avec le système du *loop*. La moyenne passait de 60 à 70 p. c. Le G. E. 800 aux crans de marche de la vitesse de régime peut donner en bon ordre de 70 à 82 p. c. de rendement industriel, à la condition qu'on lui fournisse l'occasion de développer sa puissance de 20 à 25 H. P. On compte sur une moyenne générale de 75 p. c. sur l'axe de l'induit.

Moteurs gearless. — On avait cru les moteurs gearless peu aptes à fournir un bon rendement eu égard à la vitesse circonférentielle réduite de leur induit. Ce n'est pas ce motif qui en écarte l'emploi, mais, paraît-il, la difficulté de les maintenir en bon ordre, si l'isolation n'est pas parfaitement établie et toutes les parties soignées à un tel degré de fini qu'ils deviennent finalement plus coûteux d'achat et aussi coûteux d'entretien qu'un robuste moteur à engrenages. Les petites vitesses sur de fortes rampes ne leur conviennent pas.

En comparant les différents modes de transmission du mouvement entre l'axe de l'induit et l'essieu, nous avons appuyé sur ce point à propos des tramways. Le rendement à la jante est finalement le même que celui des moteurs à simple réduction.

Sur les railways, où la vitesse de régime est plus grande, les démarrages moins fréquents, l'emplacement et le poids moins restreints justifient la suppression des organes de réduction, l'on obtient de très bons résultats dans l'emploi des moteurs gearless. Le locomoteur d'essai État belge a fourni les résultats suivants à la tension de 500 volts :

	INDUITS EN SÉRIE. Les moteurs développant leur puissance		INDUITS EN PARALLÈLE. Les moteurs développant leur puissance	
	moyenne.	maximum.	moyenne.	maximum.
Rendement électrique. . .	0.838	0.707	0.916	0.848
— industriel. . .	0.760	0.677	0.804	0.815

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On remarque que le rendement industriel s'améliore au maximum de puissance; il a même atteint 0.835 dans une phase antérieure.

Au « Liverpool Overhead Railway », M. Parker a trouvé un rendement électrique moyen de 88 p. c.

Des moteurs fournis au *City and South London E. R.* par la maison Siemens Brothers, et essayés *avant le montage*, ont donné des résultats remarquables, 94 p. c. de rendement au frein à la vitesse de rotation moyenne et 92 p. c. à la vitesse maximum avec une puissance de 26 à 60 H. P , à 48 et 17 kilomètres, le minimum de 89.89 p. c. se montrant pour la vitesse de 25 kilomètres et 22.36 H. P.

Moteurs de mines. — Dans les mines, malgré les conditions peu avantageuses de l'emplacement, on trouve encore des coefficients de rendement satisfaisants. D'après M. Daily, ingénieur principal des mines de Marles, le rendement à la jante des locomotives à vis a atteint de 67 à 74 p. c., le maximum répondant au $^4/_5$ de la charge, 20 berlines; le rendement sur la barre d'attelage étant de 50 à 58 p. c. respectivement pour 16 et 20 berlines. Avec 24 berlines, ces rendements sont respectivement 67 p. c. à la jante et 54.8 p. c. sur la barre d'attelage. Il s'agit ici de l'engin moteur; nous donnons plus loin le rendement total de la transmission et du transport (3-*b*).

c. — *Usure des organes et prix des moteurs.*

Précautions contre l'usure. — Il n'a pas été publié grand'chose concernant l'usure des organes; les comptes des compagnies portent principalement sur l'ensemble de l'entretien des moteurs; les chapitres qui décrivent les lignes en exploitation contiennent de nombreux relevés de frais de traction fournissant le chiffre de cette dépense.

Un élément important de la variation de l'usure des organes et de leur bon état d'entretien absolument indépendant de leur nature, c'est le soin qu'en prend le personnel du dépôt, et l'on conçoit que des disproportions notables existent d'un tramway à un autre, entre le nombre de visiteurs et celui des voitures, selon l'importance relative et la densité du service.

On recommande une visite quotidienne et un démontage complet au moins après quatre semaines; une compagnie de Oakland adopte comme règle un intervalle de deux semaines seulement et s'en trouve très bien.

Nous n'en finirions pas si nous voulions relever tous les dérangements auxquels sont sujets les moteurs malgré leur apparente simplicité. Les enroulements se dérangent pour une cause essentielle, vice d'isolation ou excès de courant, ou pour une cause accessoire, pénétration d'huile ou d'humidité dans un recoin quelconque. Il en est de même du collecteur.

L'usure des coussinets de l'arbre d'induit a deux conséquences fâcheuses :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

elle diminue la symétrie de l'entrefer et des efforts du champ, accentuant ainsi le mal; elle anéantit le parallélisme des dents du pignon et de la roue dentée dans la transmission par engrenages, argument en faveur de la chaîne.

Il est donc bon, à ce point de vue, de chercher dans l'étude du moteur à augmenter l'entrefer. Il faut alors renforcer le champ en multipliant les bobines inductrices, ce qui permet de réduire un peu le diamètre d'armature; il en résulte l'avantage indirect de diminuer l'effet de volant de l'armature et d'épargner ainsi les dents de la transmission.

Le métal blanc est largement employé pour racheter l'usure.

Dans la description des moteurs, nous avons vu les précautions prises, pour éviter la pénétration de l'huile dans le logement réservé à l'armature, pour maintenir ses enroulements, pour en éviter le décalage et les déplacements latéraux, pour en ventiler les parties. Nous avons vu aussi les différents systèmes de suspension destinés à soulager la pression sur l'essieu et donner de l'élasticité aux appuis; outre les flexions et les bris d'essieux, on évite ainsi l'usure anormale des coussinets qui entraîne l'obliquité des roues dentées l'une sur l'autre et le bris des dents ou leur rapide destruction.

Durée et frais d'entretien des organes. — Voici quelques relevés de durée d'organes et de dépenses d'entretien auxquelles ils ont donné lieu.

α. — MM. Crosby et Bell donnent la table suivante se rapportant à des moteurs à deux paires d'engrenages dont l'ensemble avait couvert des millions de milles :

ORGANES.	VIE EN KILOMÈTRES.	PRIX D'ACHAT.	COÛT PAR KILOMÈTRE.
		Fr. C.	Centimes.
Roue dentée d'essieu	48,000	37 40	0.075
— intermédiaire.	46,000	31 25	0.070
Pignon intermédiaire	16,000	33 75	0.200
— d'armature	13,000	30 25	0 220
Coussinet d'armature	39,000	18 35	0.045
— intermédiaire.	56,000	22 00	0.040
Roue de trolley	9,000	7 00	0.075
Total. . .	...	...	0.715

β. — Le *Street Railway Journal*, de janvier 1896, donnait le relevé suivant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fourni par une ligne qui avait encore en service des moteurs à double réduction.

ORGANE OU PIÈCE DÉTACHÉE.	NOMBRE.	DURÉE MOYENNE EN KILOMÈTRES.
Coussinets d'essieu en métal blanc	62	21,104
— — en laiton	22	59,736
— — encore en service.	32	91,245
Coussinets d'armature en métal blanc	90	16,595
— — en laiton	17	19,534
Coussinets d'arbre intermédiaire en métal blanc	87	31,814
Roue dentée d'essieu.	75	28,253
— — intermédiaire	86	30,773
Pignon intermédiaire en acier.	37	27,696
— — en cuir non tanné.	3	10,142
— — en bronze	2	17,960
— — en acier matricé	8	33,603
Pignon d'armature en acier	13	43,790
— — en cuir non tanné	22	26,165
— — en bronze	2	18,851

Les voitures parcouraient en moyenne 214 kilomètres.

γ. — Un pignon d'armature à simple réduction fait de 20,000 à 35,000 kilomètres dans des conditions moyennes d'effort.

Le *Street Railway Journal*, de novembre 1896, reproduit l'aspect d'un engrenage en fonte mis hors d'usage après 160,000 kilomètres, sur lequel il ne s'était usé complètement que deux pignons d'acier. Des dents amincies en pointe, aucune n'est cassée. Il était retiré d'un car de la *Citizen's Traction Company*, de Pittsbourg.

δ. — En Europe, il a été fait quelques constatations intéressantes. A Marseille, deux des voitures du tramway Marseille-Saint-Louis ont roulé, en 1895, l'une 27,000 kilomètres, l'autre 35,379 kilomètres, sans aucun accident à l'équipement électrique. La seconde avait transporté 215,000 voyageurs; le parcours moyen journalier est de 155 kilomètres, maximum 208. Ces voitures sont munies de deux moteurs d'Œrlikon de 20 HP.

ε. — Nous avons des renseignements détaillés concernant l'entretien des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moteurs du tramway la Haye à Scheveningen, que nous devons à l'obligeance de M. Blanchard. Ils ont été relevés de 1890 à 1895. Rappelons qu'il s'agit de grandes voitures à 53 places mues par un seul moteur, alimenté par accumulateurs et pesant de 14 à 16 tonnes, selon le type. Les armatures souffrant beaucoup sous l'effort nécessaire, ont été remaniées, renforcées et rebobinées en câble au lieu de fil uni (voir A-1-*b*), le câble souple se prêtant mieux au rebobinage. Comme ce tramway ne fonctionne activement qu'en été, à la remise en service des moteurs comme aussi après toute cause d'humidité, les induits sont séchés au four, trempés dans le bitume et séchés à nouveau.

Les pignons d'armatures étaient jusqu'ici composés de plaques alternantes de fer et de cuir ou de papier; ils parcouraient sur les voitures de 14 tonnes de 35,000 à 42,400 kilomètres; sur celles de 17 tonnes, 20,000 à 30,318, et coûtaient neufs 105 francs; l'entretien, resserrage des boulons, remplacement de plaques, était assez onéreux. Les nouveaux pignons en acier d'un bloc coûtent 16 francs. Les trains de roues intermédiaires n'ont pas été renouvelés avant 1895.

Les coussinets d'arbre d'armature, côté du pignon, vont 15,000 kilomètres avant renouvellement; ceux du côté du collecteur, 20,000 kilomètres. Ils coûtent 14 fr. 70 c. la paire.

Les coussinets d'équipage intermédiaire ne font que 10,000 kilomètres. Ils coûtent 10 fr. 50 c. la paire.

Les charbons du collecteur, qui sont cuivrés, sont usés après 2,000 ou 2,500 kilomètres. Les ressorts qui les pressent s'usent ou se brûlent après le même parcours. Une garniture de collecteur, comprenant 8 charbons et 8 ressorts, coûte 2 fr. 88 c.

L'assiette des accumulateurs doit être périodiquement réasphaltée, les contacts et le câblage retouchés.

Au régulateur, on remplace ou relime les plots et les touches.

Un relevé des dépenses, comptées jusqu'en 1895, donnait en moyenne par voiture-kilomètre :

	Centimes.
Entretien du bobinage de l'induit.	0.9870
— du collecteur.	0.0504
— des balais et charbons	0.1050
— des bobines d'inducteurs	0.0168
— des bielles et coussinets	0.7140
— des régulateurs	0.1680
— du câblage et de l'asphaltage	0.2100
— des contacts de tiroir d'accumulateur	0.1050

L'entretien des pignons et leur renouvellement varie ainsi que leurs prix, comme il est dit ci-dessus, et les trains de roues intermédiaires n'avaient donné lieu à aucun renouvellement.

ζ. — Concernant la chaîne, nous savons que celle de Blackpool, tramway à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

caniveau, voiture à impériale à un moteur, est fabriquée en fonte malléable et qu'elle est considérée comme matière de consommation. Sa longueur est de 3 mètres; elle coûte 25 francs et dure quatre mois. Celle des moteurs Siemens, mieux soignée et plus coûteuse, se meut dans l'huile; elle va douze à quatorze mois, parfois dix-huit mois.

η. — Si l'usure des balais et des collecteurs est très variable, cela peut tenir au système et à la pression exercée; la perte d'énergie qui en résulte n'est pas négligeable; elle est plus élevée dans les moteurs à double réduction, vu le double développement de l'application de cette résistance. Elle n'est cependant pas aussi considérable que certains auteurs américains le supposent. Sur les collecteurs des moteurs à simple réduction, M. Henry, constatant une pression de 3.63 kilogrammes dans un cas et 4.54 kilogrammes dans un autre, en déduit que sur un *car* marchant à la vitesse de 24 kilomètres à l'heure, cette pression occasionnerait une perte de puissance de *deux chevaux!* Ce chiffre résulte d'une erreur de calcul qui confond la pression avec le frottement qu'elle exerce.

Plus grande encore était son erreur lorsqu'il arrivait au chiffre de 6 H. P. pour la perte de ce chef dans les moteurs à double réduction sous une pression de 19.2 kilogrammes (1). Ces pertes sont évidemment beaucoup moindres. M. S. Hanappe, professeur à Mons, a mesuré expérimentalement cette résistance sur deux moteurs et l'a trouvée en moyenne de *64 watts;* elle augmente toutefois de 40 à 100 watts quand la vitesse de rotation passe de 400 tours à 1,200 tours à la minute. En admettant que dans la pratique des tramways elle soit un peu plus élevée, elle reste donc bien au-dessous des évaluations de M. Henry. Elle ne dépasse probablement pas un à deux dixièmes de cheval.

Prix des moteurs. — On ne peut guère donner que le prix moyen des moteurs usuels des tramways. Le prix de base du moteur à une paire d'engrenages pour 20 H. P. est de 3,000 francs; pour 25 H. P., 3,800 francs; pour 30 H. P., 4,500 francs.

Mais on traite ordinairement l'équipement électrique complet d'une voiture, sur la base de 6,000 francs avec un moteur et 9,000 francs avec deux moteurs, régulateurs, éclairage et câblage compris.

Dans ces prix, les régulateurs entrent pour 1,500 francs les deux, l'éclairage, ses fils et interrupteurs pour 150 à 200 francs, l'appareil de prise de courant et trolley pour 150 francs, le reste étant le câblage et les appareils de sécurité.

Trucks. — Il serait oiseux de présenter, concernant les trucks et châssis des voitures, des règles empiriques que mettent en défaut les habitudes des différents pays, les formes du matériel roulant préexistant à l'adoption de la traction électrique, et dépendent d'ailleurs de la charge en voyageurs, de l'écartement de la voie et du confort exigé.

---

(1) Voir *Electrical Engineer,* de New-York, du 20 février 1895 et du 11 septembre 1895.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mais nous avons pris soin, dans la description des installations spéciales, de donner aussi explicitement que possible tous les renseignements recueillis concernant cette partie de la construction du matériel adapté à chaque cas particulier.

3. — Résistance et consommation des trains.

a. — *Résistance des trains.*

Tramways. — L'équation générale de traction s'écrit :

$$f = \mathrm{T}\,(\mathrm{K} \pm m),$$

où f est l'effort à la jante, T le poids du train en tonnes, K un coefficient de résistances passives, m l'inclinaison de la voie en millimètres par mètre; cette équation se développe différemment, selon qu'il s'agit de tramways urbains ou de lignes de railways à vitesses plus considérables.

Sur les *tramways*, le coefficient de résistance K est généralement choisi *grosso modo*, de manière à comprendre à la fois les effets du roulement, les frottements dans les fusées d'essieux et les résistances dues aux engrenages ou à tout autre mécanisme de réduction de la vitesse de rotation de l'induit.

Pour les voitures motrices, en comptant largement, on adopte pratiquement la valeur K = 12 kilogrammes par tonne, comme une moyenne applicable à toutes vitesses sur les voies à ornières, et 8 kilogrammes sur les rails saillants.

Il s'ensuit que l'effort à la jante f est une fonction plus directe de la puissance industrielle p_u sur l'axe de l'électro-moteur, de telle sorte que si le rendement industriel du moteur est

$$\rho = \frac{p_u}{\mathrm{E}i} = \frac{p_u}{\mathrm{P}},$$

on ait

$$p_u = \mathrm{P}\rho = \mathrm{T}\,(\mathrm{K} + m),$$

égalité qui sous-entend que TK comporte la part de la puissance p_u absorbée par les organes de réduction de la vitesse.

La puissance à fournir aux bornes du moteur est alors :

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{T}\,(\mathrm{K} + m)}{\rho} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad [1]$$

N. B. — On prend soin, en outre, de majorer cette puissance d'un tantième pour cent pour tenir compte de la dépense d'énergie entraînée par le passage du courant dans les résistances du régulateur.

Nous avons vu quelles valeurs variables prend le rendement ρ.

A la voiture remorquée s'appliquent des coefficients moindres, 10 kilogrammes sur rails à ornière, 6 kilogrammes sur rails saillants. La propreté des ornières est indispensable à l'électro-traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Railways. — α. — *Trains.* — Sur les railways, où l'élément vitesse V en kilomètres à l'heure modifie le coefficient de traction

$$f' = 1.83 + 0.08V \pm m \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad [2]$$

s'applique à la tonne moyenne d'un *train*, tonne remorquée ou tonne motrice, pour le roulement et les fusées d'essieux, ainsi que la résistance gravifique. Il y a lieu d'y ajouter un quantum afférent aux organes mécaniques s'il y a réduction de vitesse entre l'induit et l'essieu, ou une majoration de frottement due aux coulants de l'armature, dans le cas de moteurs gearless.

Lorsqu'il s'agit d'engrenages, on ajoutera au moins à f' 15 à 16 p. c. de l'effort pour représenter la perte dans ces organes, en supposant la simple réduction et une lubrification parfaite.

Les moteurs gearless ne présentent aux coulants d'induit qu'une résistance supplémentaire minime.

β. — *Voitures isolées.* — Des essais auxquels il a été procédé sur le locomoteur État belge, il résulte que cette voiture isolée rencontre une résistance spéciale de *la part de l'air*. En effet, aux faibles vitesses jusqu'à 25 ou 30 kilomètres, c'est à peine si l'on trouve une différence entre les résistances totales et celles que donne la formule [2]; les écarts s'accentuent ensuite progressivement.

M. L'Hoest, ingénieur de l'État, en se basant sur de nombreuses données expérimentales, propose pour les *voitures automotrices électriques à moteurs gearless*, la formule suivante applicable jusqu'à 60 kilomètres à l'heure :

$$f'' = 1.80 + 0.04V + \frac{0.0415}{T} V^2 \pm m \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad [3]$$

Courbes. — Dans les courbes, on rencontre un supplément de résistance représenté pour les railways par 1, 2, 3, 4 kilogrammes, selon que le rayon est de 600, 500, 400, 300 mètres, les courbes de plus grands rayons étant négligeables.

Sur les tramways, cette résistance entre en ligne de compte, selon que la ligne est plus ou moins sinueuse, moyennant une majoration en centièmes des travaux positifs, rampes non comprises; cette majoration se base sur le rapport du développement des courbes à la longueur du trajet où le courant travaille, et se suppute dans le calcul du travail dépensé, pour le trajet d'un train aller et retour. Toute courbe un peu raide d'une ligne intra-urbaine exige un certain ralentissement.

Mines. — Dans les mines, d'après M. Libert, le coefficient de résistance à la traction en palier est de 5 kilogrammes par tonne remorquée. Pour une locomotive à engrenages, on adopterait le même chiffre majoré de 10 p. c. de l'effort à la jante.

b. — *Consommation d'énergie par les trains.*

Le travail électrique fourni au locomoteur dépend d'abord du coefficient de traction, poids et vitesse du train, inclinaison de la voie; elle dépend aussi du type et du rendement du moteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Déjà, au § 2-*b*, se trouvent des chiffres de puissance absorbée dans différentes conditions par les moteurs.

Il est peut-être superflu de reproduire ici les chiffres se rapportant à des essais anciens et que nous avions compulsés dans une note antérieure (1). Cependant les données suivantes, recueillies par M. Bell en 1889 sur une voiture de tramway de La Fayette, n'ont pas perdu tout intérêt, ne fût-ce qu'à titre comparatif. Il s'agit d'une voiture munie d'un moteur Sprague à double réduction et d'un régulateur de même nom décrit plus haut; elle pesait 3,715 kilogrammes.

CRAN DU RÉGULATEUR.	VITESSE EN KILOMÈTRES.	NOMBRE DE TOURS DE L'ARMATURE.	CHEVAUX ÉLECTRIQUES FOURNIS.
Sur voie de niveau.			
1.	12	1,000	5.15
2.	14.9	1,230	5.79
4.	14.6	1,200	5.64
5.	17.4	1,450	9.35
7.	19.8	1,650	8.93
Sur rampe de 65.8 millimètres.			
2.	4.4	333	12.65
4.	6.7	545	13 47
5.	14.9	840	17 14
7.	9.9	830	15.85

On a pu constater plus haut (§ 2-*b*) des résultats analogues d'essais effectués récemment sur un moteur de la Compagnie de Fives-Lille réglé par le système Sprague.

Sur la ligne de Francfort à Offenbach, avec une voiture de 4 tonnes remorquant une autre de 2 tonnes, un moteur à double réduction, tension de 240 à 300 volts, on a trouvé en 1889, au démarrage, 80 à 100 ampères; après cinq secondes, 50 à 60 ampères; après dix secondes, 30 à 40 ampères, et en marche normale, 15 à 25 ampères, sauf sur la rampe de 30 millimètres, où le courant atteint 50 à 60 ampères.

En 1891, la commission spéciale qui, après l'exposition de Francfort, fut chargée de procéder à des essais électriques de toute nature, recueillit de nombreuses données que nous allons essayer de résumer.

Il s'agit d'essais effectués dans la voiture.

---

(1) « A propos d'un essai de traction électrique sur un railway. » (*Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, 1891.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TYPE DE VOITURE.	POIDS REMORQUÉ.		NATURE DE LA LIGNE.	VITESSES MOYENNES en kilomètres.	WATTS-HEURES		*Observations.*
	Voiture vide.	Total avec voyageurs.			par voiture-kilomètre.	par tonne-kilomètre.	
Œrlikon à accumulateur. Moteur à vis. Rapport 12 : 1. Équipée pour l'exposition.	7,500	8,249	Longueur : 5.77 kilomètres. Moyennement accidentée. Différence de niveau : $25^{m}21$. Rampes de $\frac{1}{60} - \frac{1}{50} - \frac{1}{41}$. Courbes de 50 mètres.	17.09	En montant : 263.7	32.00	La voie est à écartement normal, bien construite en *rails saillants*. Trajets non interrompus.
				15.29	En descendant : 142.8	17.29	
				16.19	En moyenne : 203.3	24.64	
Francfort à Offenbach. Tramway, voiture et moteurs décrits ailleurs. Moteur à double réduction.	Motrice + remorquée. 5,920	6,610	Voie décrite ailleurs.	14.77	Aller : 255.6	38.69	Rails à ornière, écartement de 1 mètre. Voie défectueuse. Trajets normaux.
				14.77	Retour : 209.4	31.70	
				14.77	Moyenne : 232.5	35.20	
Voiture Siemens pour fil aérien, prise de courant Archet. Moteur à chaîne. Équipée pour l'exposition.	4,900	6,260	Ligne de $1^{m}225$, à peu près de niveau.	12.56	399.8	63.86	Rails à ornière. Trajets fréquemment interrompus obligeant à des remises en vitesse nombreuses.
				12.64	326.9	52.22	
				12.60	363.3	58.04	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Dierman pendant son séjour aux États-Unis, en 1891, a pu assister à un grand nombre d'essais qui, pour des lignes moyennement accidentées, ont donné en watts heures au trolley :

Voitures motrices à deux moteurs de 15 H. P., 373 watts-heures par kilomètre.

Trains de deux voitures, 542 watts-heures par kilomètre, mesures faites sur la voiture.

A Paris, les essais exécutés entre la Madeleine et Saint-Denis au moyen des voitures à accumulateurs de 13.5 tonnes (voir la description du tramway et celle des moteurs), on a trouvé, en 1894, les chiffres suivants relevés sur la voiture :

Effort total maximum.	382.00 kilogrammes.
— moyen.	91 39 —
Effort par tonne maximum	27.7 —
— moyen	7.61 —
Travail maximum	19 2 H. P.
Travail moyen	4.71 —
Vitesse hors Paris.	16.00 kilomètres.
— dans Paris.	12.00 —
— moyenne	13.92 —

En se reportant à la description du régulateur de marche donnée plus haut, on pourra se faire une idée des variations du débit des batteries, sachant qu'au démarrage et sur les plus fortes rampes on marche, batteries en parallèle, à 50 volts, avec un débit qui débute à 100 ou 120 ampères au démarrage et se maintient à 80 ou 90 ampères sur les rampes moindres et hors ville, couplage à 100 volts avec débits de 40 à 60 ampères, enfin, sur les faibles inclinaisons, couplage à 200 volts, avec 28 à 38 ampères. Dans les nouvelles voitures, on bornera le voltage à 120 volts.

M. Uppenborn a procédé, au mois d'août 1895, à des essais de consommation d'énergie sur les voitures des tramways de Munich ayant fourni les résultats suivants :

Voiture motrice chargée de 8 personnes.	246 watts-heures par kilomètre.
— — de 1,767 kilogrammes de dalles .	308 — —
Voiture motrice plus une remorquée, plus une charge de 1,767 kilogrammes de dalles et 2 personnes.	414 — —

A Bruxelles, aux Tramways bruxellois, le relevé de la consommation d'ampères aux voitures pour un train formé d'une motrice munie de moteurs W. P. 30 et d'une remorquée, le tout pesant 11,600 kilogrammes, a fourni les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chiffres suivants à la vitesse de 12 à 16 kilomètres sur les paliers et les parties peu inclinées, et 8 à 10 kilomètres sur les fortes rampes :

De la gare du Nord vers la rue de la Loi.		De la gare du Midi vers la rue de la Loi.	
Rampes en millimètres	Ampères	Rampes en millimètres.	Ampères.
22	35	0	10
37	50	9	20
48	70	15	30
62	85	26	45
46	58	38	58
29 5	50	25	43
5	15	46	58
20	40	38	55
8 8	32	23	42
19	35	15	32
0	12		

La tension au trolley varie considérablement, elle est moyennement de 450 volts sur la moitié partant du Nord, et 480 sur celle partant du Midi.

Dans la pratique courante des tramways, ainsi qu'on a pu s'en assurer par la description des moteurs, les constructeurs, afin de n'en pas multiplier les types, ce qui en élèverait le prix sans grande utilité, ont adopté des modèles susceptibles de s'adapter aux cas les plus communs de puissance et de vitesse, par une simple modification de l'enroulement. Puis, la gamme épuisée, on passe à un autre type.

Sur *voies de niveau,* voitures à 32 voyageurs, c'est le modèle de 8 à 10 kilowatts. Si elles doivent en remorquer une seconde, on les munit d'un moteur de 15 kilowatts. Pour les lignes accidentées, *rampes moyennes*, voitures uniques, un moteur de 15 kilowatts; pour les *fortes rampes*, deux moteurs de 10 kilowatts, et en cas de remorque, 15 kilowatts. Si au lieu de 64 voyageurs on doit en transporter 80 et plus, et qu'il existe certaines inclinaisons très raides, on prend deux moteurs de 18 kilowatts.

De grandes voitures à impériale, roulant sur rampes moyennes de tramways, comme à Paris (voir chap. VI), représentent à peu près, quant à la résistance, une paire de voitures ordinaires (motrice plus remorquée); on les munit de deux moteurs de 20 à 25 H. P.

Sur le tramway de la Haye-Scheveningue, les voitures de 14 tonnes parcourent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une voie bien entretenue dont les rampes ne dépassent pas 15 millimètres par mètre ; on y trouve une dépense moyenne supposée continue de 35 ampères sous 192 volts dans une partie du trajet, et sous 384 volts dans l'autre partie; le couplage en tension des deux moitiés de la batterie s'opérant vers le milieu du trajet pour accélérer la vitesse hors ville sur des rails Vignoles, où elle passe de 12 à 18 kilomètres.

Sur les portions du trajet où le courant travaille, le débit moyen atteint à l'aller 44 ampères, au retour 35.4, avec des maximums de 100 ampères, des périodes de 36 à 38 secondes avec 65 et 70 ampères. La puissance développée au maximum est 18 H.P. en ville et 30 H. P. hors ville, et la moyenne globale environ 15 H. P.

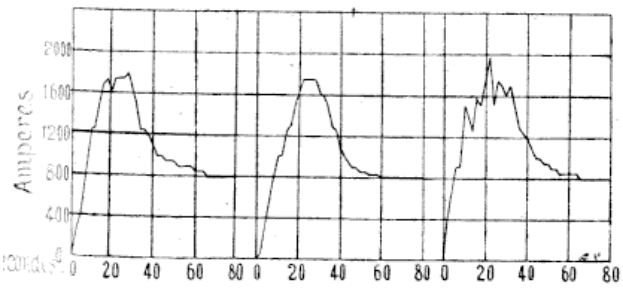


Fig. 160.

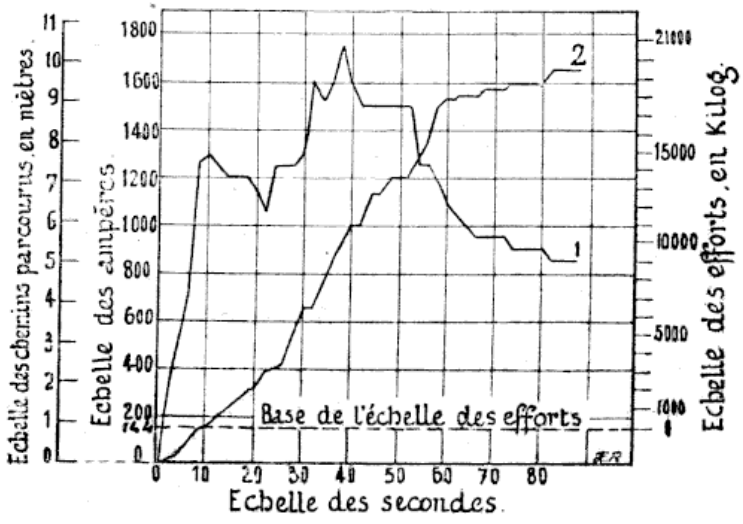


Fig. 161.

Démarrage. — Au § 1-*c*, dans la figure 159, on voit ce qu'absorbe de puissance la mise en marche. Quel que soit le mode de réglage, le démarrage absorbe toujours une quantité de travail importante, variable toutefois avec les différents systèmes et modérable, selon la dextérité du wattman. On peut dire, en se basant sur des résultats expérimentaux, que sur un tramway urbain où les arrêts sont fréquents, elle est égale à 25 p. c. de l'énergie qui serait nécessaire pour effectuer le parcours sans arrêt.

La locomotive de 95 tonnes du *Baltimore and Ohio Belt line*, à quatre moteurs, dont nous avons décrit le type, a été soumise à des essais de démarrage sur la rampe de 8 millimètres par mètre. La figure 160 montre les courbes des ampères en fonction du temps, pour trois démarrages avec un train de 875 tonnes.

Sur la figure 161 se trouvent deux courbes relevées avec un train de 910 tonnes : 1° efforts sur la barre d'attelage en fonction du courant; 2° chemin parcouru en fonction du temps. La ligne de base des efforts sur la barre d'attelage part de 144 ampères, qui sont absorbés pour la remorque de la locomotive elle-même, les quatre moteurs étant en série.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mines. — On peut se faire une idée de la consommation d'énergie par un train ou par berline, dans une mine, au moyen des chiffres du tableau suivant, résumant les expériences exécutées aux mines de Marles.

La locomotive électrique est une machine de 15 H. P. à réduction de vitesse par vis. (Voir § A-1-*f* de ce chapitre.)

Dans ce tableau, l'expression *coefficient d'effet utile mécanique* traduit la puissance utilisable à la jante, en pour-cent, de la puissance mesurée aux bornes de la dynamo génératrice, et le *coefficient d'effet utile industriel* mesure en pour-cent de cette même puissance la résistance des berlines remorquées.

Numéros des essais.	LOCOMOTIVES REMORQUANT	Distance parcourue.	Vitesse moyenne par seconde.	Travail indiqué aux bornes de la dynamo génératrice E. H. P.	Coefficient d'effet utile mécanique.	Coefficient d'effet utile industriel.
		Mètres.	Mètres.	Chevaux.	P. C.	P. C.
1	1 berline et 1 homme	500	4.00	13.55	12.4	...
2	6 berlines et 5 hommes . . .	500	3.75	16.05	62.9	35.5
3	12 — 6 — . . .	500	3.22	18.65	68 3	48.0
4	16 — 6 — . . .	500	2.85	20.10	67.4	50.8
5	20 — 7 — . . .	300	2.50	18.91	74.3	58.7
6	24 — 7 — . . .	300	2.31	22.12	67 0	54.8

On constate que, bien utilisée, la locomotive électrique présente un bon rendement qui diminue avec la charge; pour la locomotive sans véhicule, lors d'essais antérieurs, M. Baily avait trouvé un coefficient d'effet utile mécanique de 27 p. c. seulement.

C. — Puissance de la transmission et de la source d'énergie

---

1. — Transmission a distance.

a. — *Conducteur amenant le courant.*

Méthode d'évaluation. — Lorsque le moteur est choisi, en fonction de la puissance requise par un train, sur les différents tronçons de ligne, l'horaire et le nombre de trains en circulation permettent de déterminer leur emplacement à l'heure du service le plus intense. Si la ligne est accidentée, il est utile de rapporter à un profil en long donnant les rampes, les diverses positions que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peuvent prendre tous les trains en un même instant, soit de cinq en cinq minutes ou de dix en dix minutes, selon la variation des inclinaisons et la fréquence relative des trains sur les différentes sections.

On déduira de là la quantité d'énergie à amener sur chaque section et la puissance totale à produire à l'usine.

Il est bien entendu que la chute de potentiel autorisable aux extrémités de la ligne et, par contre, le capital à engager dans les feeders se mettent en opposition dans ces calculs. On tiendra compte naturellement des extensions prochaines ou périodiques de trafic.

La question est donc ramenée à un problème de distribution et de production de force motrice dont nous n'avons pas à faire ici l'exposé didactique.

Au point de vue documentaire, on trouvera, à titre d'exemples, dans la description d'un grand nombre d'installations que nous avons choisies parmi les applications des divers modes de conduction du courant, des indications précises concernant l'emplacement et les dimensions des feeders et les circuits de retour. Au surplus, le chapitre IV, traitant du fil aérien, fournit, à l'endroit du retour du courant, les renseignements et les règles à suivre, eu égard à l'électrolyse et aux perturbations téléphoniques.

Il nous reste à reproduire ici certains renseignements pratiques.

Formules. — Il est assez rare que l'on puisse faire usage de la formule de Thomson (lord Kelvin), donnant la relation entre la dépense en cuivre, intérêt du capital y compris, et la chute de potentiel la plus favorable.

M. Max Schiemann (1), dans son traité, donne une formule plus directement applicable au cas des tramways, lorsque l'emplacement de l'usine est déterminé et que la densité de courant nécessaire à la locomotion sur chaque section est calculée :

$$q = \frac{I \times 0.0185 \times l}{E},$$

dans laquelle :

E est la perte en volts ;
I, intensité du courant en ampères ;
l, longueur du conducteur en mètres ;
q, section transversale en millimètres carrés.

Le même auteur admet que la densité de courant dans les feeders enfouis dans le sol ne doit guère dépasser 2 ampères par millimètre carré et que le fil de trolley ainsi que les feeders aériens peuvent supporter un courant de 4 ampères par millimètre carré.

Alimentation par le conducteur de contact. — Exemples. — Non seulement

(1) *Bau und betrieb Elektrischer Bahnen*, par MAX SCHIEMANN.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il est tenu compte du conducteur de contact dans le calcul de la section du métal nécessaire, mais souvent il n'y a point d'autre câble. Cela se présente lorsque le trafic n'est pas intense et la ligne assez courte.

α. — Lorsque le conducteur de contact est un *troisième rail*, on dispose de sa section *ad libitum* pour conduire le courant, ce qui dispense alors de feeders.

Il est clair que, dans ce cas, l'emploi du fer ou de l'acier doux est tout indiqué; la conductibilité des deux métaux fer et cuivre étant 1 : 8 et leurs prix 15 : 200, on aura en dépenses, pour une même conductibilité, le rapport :

$$\frac{\text{fer}}{\text{cuivre}} = \frac{120}{200}.$$

A Portrush, le conducteur est un fer T de 9 kilogrammes par mètre, en barres de 6 mètres reliées par deux bandes de cuivre soudées; les rails Vignoles sont de même éclissés par intercalation de bandes de cuivre; M. Hopkinson donne comme résistance du circuit d'aller et de retour, d'après le calcul, 0.093 ohms, d'après les essais, 0.143, ce qui tient aux petites lacunes de l'éclissage. (Voir chap. II.)

Isolement du conducteur à 0.55 du sol, 800 à 1,600 ohms; force électro-motrice, 225 volts. On compte sur une perte de 2 $^1/_2$ ampères en tout, soit 5 p. c. de celle qui résulte du mouvement de quatre trains électriques.

A Liverpool, le conducteur en acier présente une section de 25 centimètres carrés; il est installé sur les traverses par longueurs de 9 mètres et transmet dans chaque sens à 6 kilomètres le quart du courant total qui atteint parfois 860 ampères pour sept trains à certains moments. On compte sur une perte de 2 ou 3 ampères.

La force électro-motrice à l'usine étant de 510 volts, ne tombe pas au-dessous de 475 volts aux voitures.

Au Salève, les feeders, venant de l'usine hydraulique, viennent se souder au rail conducteur (15 kilogrammes par mètre) vers le milieu, et il n'y a pas d'autre câble de distribution.

Si l'on n'a pas suivi cette règle au *City and South London*, c'est que l'exploitation, dans des tunnels plus ou moins humides, requérait des mesures de prudence spéciales et que l'intensité énorme du courant requis par dix trains eût été difficile à répartir sans feeder. Pour ces motifs, deux câbles parcourent chaque tunnel.

β. — Les deux *conducteurs aériens tubulaires* de Mœdling, à Hinterbrühl (voir chap. III), sont en fer, suspendus à des câbles mixtes formés d'une âme de cuivre de 5.75 millimètres de diamètre entourée de 8 fils de fer de 3.1 millimètres. La résistance de cet ensemble est de 2 ohms pour une longueur de 4,500 mètres; la chute de potentiel est de 110 volts sur 500.

Au tramway Vevey-Montreux, où le diamètre des tubes en cuivre est de 25 à 20 millimètres extérieurement, selon la distance à l'usine, et 15 millimètres intérieurement, ils ne présentent dans le tronçon de 8 kilomètres qu'une résis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tance de 1.361 ohm, et dans celui de 4 kilomètres, 0.672 ohm; on a néanmoins renforcé la section de passage du courant sur le tronçon de 8 kilomètres par un câble formé de quatre fils de 9 millimètres, d'une résistance de 0.17 ohm.

Poids total de cuivre : 55,000 kilogrammes.

γ. — La ressource que présentent soit des conducteurs au niveau du sol ou en caniveau, soit des conducteurs aériens tubulaires à large section, de compenser celle qu'apporteraient des feeders, échappe jusqu'à un certain point dans l'emploi du conducteur aérien unique, et l'on a tort de l'oublier lorsque l'on compare aux autres ce mode d'amener le courant.

Néanmoins, en certains cas, même dans ce système, on se dispense de feeders.

Le conducteur rectangulaire spécial, de Mont-Ferrand à Royat, présente une résistance de 1 ohm pour 7 kilomètres.

Sur la petite ligne de Saint-Just à Sainte-Foy, près Lyon, 3 kilomètres, service à 2 voitures, et sur celle du Raincy à Montfermeil, près Paris, 5 kilomètres, 4 voitures, il n'existe d'autre conducteur du courant que le fil de trolley.

Un fil aérien en cuivre dur à 96 ou 97 p. c. de conductibilité, du diamètre ordinaire de 8.25 millimètres, pèse environ 480 grammes par mètre courant et présente par kilomètre une résistance de 0.3 ohms; sa section est de 53 millimètres carrés.

La chute de potentiel sur le fil unique, dans ces conditions, ne devient grave que s'il existe des rampes aux extrémités de la ligne et un trafic assez important.

Alimentation indirecte. — Feeders. — α. — Il va de soi que le trafic autant que la longueur du réseau entre comme facteur dans l'examen des moyens d'alimentation. Il se présente aussi d'autres considérations.

Au sein d'une population dense, où l'on a des motifs de pouvoir à volonté couper le courant sur une section quelconque de 500 à 800 mètres de longueur, un feeder s'impose naturellement en tous cas, même sur une ligne relativement courte; mais alors un double reliement de chaque bout des sections du fil de trolley au feeder permet de faire participer la section de ce dernier à l'alimentation totale. On ajoute généralement deux fils fusibles à l'interrupteur dans un appareil dénommé *jumper* par les Américains.

β. — Une affirmation qui semble devenue doctrinale, c'est que le rendement de la ligne doit être de 90 p. c., et l'on ajoute comme article au *credo* que les dynamos à l'usine sont hypercompoundées pour compenser une perte de 10 p. c. sur la ligne. Rien n'est moins conforme à la pratique courante que cet énoncé dans sa généralité.

Le but à atteindre est évidemment avant tout d'apporter aux moteurs le courant nécessaire. Sur un palier ou sur de faibles inclinaisons, l'on peut à la rigueur marcher avec 350 et même 300 volts, sacrifiant plus ou moins le rendement sur une section lointaine, bien que le moteur soit nominalement construit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour 500 volts. Le régulateur de marche oppose moins longtemps alors au courant la barrière des premiers crans, après démarrage.

Nous avons l'exemple d'une ligne où circulent 14 trains de 2 voitures, sur 5 kilomètres de double voie, et où l'on maintient difficilement 400 volts à l'extrémité dans d'excellentes conditions de construction, avec des feeders de forte section. La moyenne sur la ligne est de 465 volts. (Voir IV, Tramways bruxellois.)

MM. Crosby et Bell citent des lignes où la perte moyenne est de 7 et de 9 p. c., ce qui suppose 14 à 18 p. c. à l'extrémité; mais ce sont des réseaux compacts *plenty of feeders*. Ces auteurs s'empressent d'ajouter que la situation avantageuse de l'usine dans un endroit écarté de la ligne où le charbon revient à bon marché et où l'eau de condensation est abondante, compense économiquement une chute de potentiel plus notable dans les circuits d'alimentation.

On se trouve donc en présence d'une simple question d'espèce.

Dans des notes sur le calcul des feeders, reproduites par le *Street Railway Journal* de février 1895, W. Ward Easby donne les chiffres suivants tirés de la pratique actuelle en ville pour un service de quatre minutes : ampères, en moyenne, par car, 15 ampères; vitesse de 14.5 kilomètres, un car par section de 500 mètres; chute de potentiel, 15 p. c. de 550 volts, ou 82.5 volts. En tenant compte de la section du ou des fils de trolley, on trouvera aisément où il y a lieu de les alimenter et les sections des différents tronçons des feeders, depuis l'usine. Chaque section est ainsi desservie uniformément sous une même force électro-motrice. Encore est-ce un cas particulier.

S'il s'agit de lignes à faible trafic, service non homogène, plus fréquent au centre qu'aux extrémités, on admet une chute de potentiel moyenne de 15 à 20 p. c., et l'on se contente en ce cas, aux extrémités, d'une force électro-motrice de 350 volts. Il y a intérêt, dans ce cas, à ne pas trop écarter l'usine de la section la plus chargée.

7. — Néanmoins, il n'est pas toujours possible de se contenter d'une installation qui, économique dans le coût d'établissement, néglige en quelque sorte les parties excentriques du réseau au profit des centrales. Il peut arriver qu'à l'occasion du dimanche ou de fêtes, certaines de ces sections requièrent un renforcement de moyens d'exploitation. La limite d'abaissement de force électro-motrice ayant été atteinte pour le service ordinaire, dans les conditions susdites, sera dépassée aux jours d'affluence. Ce défaut de force électro-motrice aura deux conséquences fâcheuses; l'une consiste dans une marche peu économique des moteurs, car construits pour donner leur plein rendement de 75 à 80 p. c., à 500 volts ou au moins 450, ils ne rendront plus que 60 ou 55 p. c. à un voltage inférieur à 300 volts, avec une dépense exagérée en ampères; l'autre est plus grave : au moment où l'on amènera un deuxième train doublant le passage offert au courant, la chute de potentiel s'accroîtra hors de toute limite compatible avec la vitesse requise, sans parler de l'éclairage sur le circuit duquel il faudrait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

shunter une ou deux lampes, ou n'en obtenir qu'une lumière rouge. Le remède consiste donc à relever le potentiel sur la section considérée.

Boosters. — Or, si l'on n'a pas cru qu'une installation secondaire sous forme d'une seconde station ou d'accumulateurs, ou qu'un surcroît de feeders se justifiât pour un trafic intermittent, il reste à recourir à un moyen de survoltage émanant de la station centrale. C'est un procédé de l'espèce que les Américains appellent *booster system*.

Il consiste en l'introduction dans un feeder, et en série sur ce conducteur, d'une force électro-motrice additionnelle pour y compenser la chute de potentiel.

Cette force électro-motrice additionnelle sera, par exemple, de 125 volts, de telle sorte que la totale serait 625 à 675 volts s'il n'existait, dans le circuit de la machine servant de « booster », des résistances qui l'affaissent d'une dizaine de volts.

On réalise donc le « booster system » en intercalant dans le circuit alimentaire envisagé (et non pas dans les autres) une dynamo à lumière, par exemple, de 125 volts, dont l'induit est traversé par le courant à survolter. Ordinairement, le même courant traverse les inducteurs du « booster ».

Cette dynamo auxiliaire peut être conduite par une machine à vapeur ou attelée à un moteur électrique.

On rapprochera sans peine le coût de cette installation accessoire de ce qu'aurait coûté le surcroît de feeders pour porter au loin l'énergie motrice à faible voltage.

Courants polyphasés. — α. — Ne considérant pas l'emploi de courants polyphasés à longue distance, pour mouvoir indirectement des génératrices à courant continu, comme un problème spécial à l'électro-traction, nous nous bornons à rappeler ici qu'il en est fait usage à Lowel, aux États-Unis et à Dublin. (Chap. IV.)

Dans ces installations, la source primaire produit un courant polyphasé à basse tension, 350 à 500 volts, transformé à haute tension, 3,000 à 5,000 volts, pour la transmission jusqu'à la station transformatrice, où il est réduit au taux primitif avant d'arriver au moteur actionnant la génératrice à courant continu. Le réseau distributeur du tramway est alors soumis aux règles déjà énoncées.

β. — Quant à l'accès immédiat des courants triphasés aux moteurs des voitures mêmes, l'expérience en est faite à Lugano. (Voir chap. III.)

Concernant l'alimentation à grande distance, l'avantage du système est manifeste. Un transformateur par induction est moins coûteux et occupe moins de place qu'un transformateur à rotation changeant le courant polyphasé en continu. Il demande peu de frais d'entretien et de surveillance.

Mais les conducteurs de contact aériens sont doubles. Il faut donc deux trolleys par voiture.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A Lugano, *le troisième conducteur est constitué par les rails*. Le *service téléphonique*, assuré par fil unique, a dû renoncer au retour par la terre et *doubler ses fils aériens*. Grâce à l'exiguïté du réseau et au fait que le parallélisme entre ses lignes et celle du tramway ne s'étend pas sur de grandes longueurs, cette mesure a suffi provisoirement. Elle ne suffirait pas pour prévenir les perturbations dans un réseau à mailles plus serrées sous lequel s'étendraient les sections du tramway. D'où pour ce dernier, l'alternative ou d'*isoler le troisième conducteur*, chose peu pratique, ou de supporter les frais de *mise en câbles souterrains, en des endroits convenablement écartés, de tout le réseau téléphonique à double fil*.

De tels frais s'ajouteraient à ceux d'établissement et d'entretien du double trolley, pour être comparés à l'économie réalisée en feeders, ainsi qu'en stations secondaires sans appareils à mouvement rotatif.

Un avantage également relatif de l'emploi du courant triphasé admis à prendre terre, c'est l'absence de détériorations des conduites logées dans le sol, par voie électrolytique.

Pour les chemins de fer de montagne, les conditions sont plus favorables à l'emploi direct du courant triphasé. Ceux de la Jungfrau et du Gornergrat, près Zermatt en Suisse, seront de ce type.

Isolement. — Généralement, l'attache des lignes aériennes est isolée en deux points. Ce double isolement atteint aisément une résistance de 40,000 ohms et dépasse souvent ce chiffre dans les installations bien soignées, lors de la réception.

b. — *Retour*.

Résistance des rails. — Les conditions que doivent remplir les conducteurs de retour dans les systèmes qui empruntent les rails non isolés, en ce qui concerne les dommages et troubles causés aux conduites enfouies dans le sol et aux conducteurs de courants faibles, sont exposées ailleurs. (Chap. IV.)

Nous avons à les envisager ici comme partie du circuit résistant parcouru par l'énergie électrique utilisée.

Les rails se caractérisent par leur profil et par leur poids au mètre courant. Or, le kilogramme de rail présente sur 1 mètre de longueur une résistance de 0.00086 ohm, donc un rail de N kilogramme au mètre courant présente par mètre une résistance de $\frac{0.00086}{N}$ ohm.

Chute de potentiel. — Si l'on veut calculer la chute de potentiel qui s'y produit sur 1 mètre de longueur pour le passage d'un courant I, on aura :

$$e = I \times \frac{0.00086}{N},$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour une seule file de rail, soit donc pour une voie et par mètre :

$$e = \frac{I \times 0.00086}{2N} = 0.00043 \frac{I}{N}.$$

On suppose ainsi que les connexions en cuivre et l'éclissage en même temps que le sol fournissent ensemble au courant un passage équivalent en conductibilité au rail seul.

Résistance des connexions. — Si l'on veut pousser plus loin le scrupule, on tient compte des résistances spéciales aux connexions, en imaginant les rails interrompus aux points où commencent ces jonctions.

Ainsi pour le cas, le plus commun, de deux fils de cuivre de 9 millimètres de diamètre encastrés dans l'âme des rails et de 75 centimètres de longueur, par joint, en supposant des rails de 9 mètres et rapportant ensuite la résistance au mètre courant, il faudrait ajouter, tous calculs faits, une résistance de 0.0000048 ohm répartie sur deux files de rails et par mètre.

Bref, la résistance maximum d'une telle voie dans ces conditions serait par kilomètre en ohms :

$$\frac{0.43}{N} + 0.0048,$$

pour un rail de N kilogramme au mètre courant.

Conducteurs supplémentaires. — Supposons, par exemple, qu'il soit prescrit de ne pas laisser se produire une différence de potentiel supérieure à e' volts entre l'extrémité de la voie et l'usine, distantes de L kilomètres, dès lors on posera, pour une ligne à simple voie pourvue, entre rails, de connexions à double fil ordinaires :

$$e = I \times L \left(\frac{0.43}{N} + 0.0048 \right).$$

Le chiffre ainsi trouvé sera donc en excès de $e - e'$ en volts.

Cette différence servira à calculer la section d'un conducteur spécial de retour dans lequel se produirait cette chute de potentiel sur la longueur envisagée. Ce conducteur sera en fil, en câble isolé ou en vieux rails, selon les circonstances et les conditions du marché local.

Si la ligne est à double voie, le terme entre parenthèses est divisé par 2.

Ainsi, là où l'on prescrit une différence de potentiel limite entre l'extrémité de la ligne et le point le plus rapproché, comme le fait, par exemple, le règlement anglais du « Board of Trade », qui fixe cette limite à 7 volts, on appliquera cette formule, qui suppose, *au minimum*, une connexion à double fil entre rails, en vue de déterminer le supplément de conducteurs de retour nécessaire. C'est une erreur d'escompter l'absence de conductibilité de la part du sol ; mais comme l'idéal, aujourd'hui, semble être d'encaisser les rails dans un ballastage et des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

garnitures latérales en sable et en briques, voire de les reposer sur une couche de béton, on tend à l'isolement de la voie, et le vernissage des connexions pour les garantir de l'oxydation ne fait qu'ajouter à cette résistance.

Force électro-motrice. — Ayant ainsi déterminé les dimensions ainsi que les résistances du circuit d'aller et retour, on saura la force électro-motrice à produire à l'usine pour entretenir sur la ligne la différence de potentiel nécessaire à la bonne marche des voitures.

Le type normal est 550 volts de différence de potentiel aux bornes de la dynamo; mais, en Angleterre, plusieurs installations fonctionnent à 300 volts; par contre, à Marseille, elle est portée à 600 et à Genève à 700 volts.

On a cru pouvoir relever le voltage de la distribution par le système à trois fils.

Nous donnons, au chapitre IV, un schéma de l'alimentation par ce système, qui a été essayé en vue de mieux répartir le cuivre dans les feeders ainsi que la tension dans le circuit de retour. Un service de tramways, par suite de la variation des points de dérivation établis par les voitures, se prête peu à la réalisation de l'économie présumée par l'emploi de ce système. Aussi, ne se répand-il pas. Essayé à Scullen (E. U.), il a été abandonné.

2. — Calcul du poids d'accumulateurs.

a. — *Évaluations empiriques.*

α. — Pour le calcul du poids d'accumulateurs nécessaire à la marche d'une voiture, il n'est pas possible d'établir une règle absolue et uniforme, parce que les fabricants actuels fournissent des chiffres de débit extrêmement variables ou proposent des procédés de charge des batteries qui mettent en défaut toute méthode scientifique.

β. — *Exemples.* — Ainsi, à Paris, sur les lignes Madeleine-Saint-Denis, les accumulateurs primitifs pesaient au moins 2 $^1/_2$ tonnes pour les voitures de 13.5 tonnes. Les batteries du nouveau type pèsent 1.7 tonne pour un poids total de 11.5 tonnes de la voiture. Mais, d'autre part, un contrat avec la Société Tudor pour l'essai de ses accumulateurs à charge rapide autorise l'emploi de batteries de 3 tonnes pour des voitures semblables desservant d'autres lignes.

A la Haye, on trouve 4 tonnes pour 14 à 16 tonnes de poids total.

A Birmingham, les batteries ont passé par différents poids d'une moyenne de 2,600 kilogrammes. Une voiture de 7 à 8 tonnes, à Vienne, à Hagen, à Hambourg comporte une batterie de 1,900 à 2,000 kilogrammes ; à Berlin, 1,800 kilogrammes. Voilà pour les accumulateurs au plomb. L'accumulateur au cuivre n'eût pesé que 1,200 kilogrammes, poids brut, permettant en conséquence un allègement notable du châssis et du moteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

γ. — Le nombre de trajets demandés par charge, fonction de la capacité de la batterie, dépend évidemment de son type.

Aussi la description minutieuse des installations et exploitations existantes, que l'on trouvera au chapitre VI, fournira-t-elle les exemples les plus variés dans des conditions bien déterminées.

b. — *Formules.*

Voici néanmoins des formules d'un emploi restreint :

α. — *M. Gadot*, dans un ouvrage spécial (1), ramène le calcul du poids de la batterie à l'égalité

$$(P + x)\, L \times 0.005 = x.$$

dans laquelle P est le poids de la voiture, moteur compris, diminué du poids x de la batterie; L est le nombre de kilomètres à parcourir entre deux charges et 0.005 coefficient déduit de l'expérience représentant le poids brut en kilogrammes d'accumulateurs nécessaire au transport de 1 kilogramme de voiture à 1 kilomètre.

En faisant différentes hypothèses sur le parcours L, on arrive à se convaincre que les limites d'application de cette formule ne doivent pas trop s'écarter des conditions qui ont fourni le coefficient 0.005 (Madeleine-Saint-Denis), autrement la *puissance* devient insuffisante.

β. — *MM. G. Ghenet* et *H. Boy de la Tour* ont donné dans l'*Industrie électrique*, du 25 juin 1895, une méthode plus complète aboutissant aux équations suivantes :

$$A'' = \frac{A'}{127.28\,\frac{I}{kv} - 1},$$

où

A'' est le poids cherché de la batterie;
A', le poids de la voiture, moins A'';
I, le débit en ampères par kilogramme d'accumulateurs;
v, la vitesse en kilomètre-heure.

Quant au coefficient k, c'est une sorte de coefficient virtuel de la ligne obtenu en sommant les travaux par tonne sur chaque section d'inclinaison r et de longueur l pour l'aller et le retour et divisant cette somme par deux fois la longueur de la ligne :

$$k = \frac{\Sigma\,(15 + r)\,l}{2L},$$

en adoptant un coefficient de traction = 15.

---

(1) *La traction électrique et la traction animale des tramways*, par P. Gadot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a attribué au moteur un rendement de 75 p. c. à la jante et une perte de 10 p. c. dans les démarrages et les courbes, dans l'égalité entre la résistance et la puissance, sous une tension de 1.85 volt par élément, d'où :

$$\frac{1.85 \times 1{,}000 \times 0.75 \times 0.9}{9.81} = 127.28.$$

Pour autant que l'on se contente de la *puissance moyenne* attribuable à la batterie, cette formule est applicable aux cas où des régimes s'écartant de cette moyenne ne se présentent pas sur des sections longues et rudes à franchir.

γ. — On peut résoudre cette question par un procédé qui, pour être approximatif, a le mérite de la simplicité. En comptant, par exemple, le débit en ampères nécessaire au moteur comme étant représenté par a, si le débit au kilogramme de plaque est de d ampères, $\frac{a}{d}$ est le poids de plaques par élément; le poids brut de 0.4 plus élevé, caisses et agrès compris, sera :

$$\frac{a}{d} + 0.4\,\frac{a}{d},$$

à la tension totale E, il faut $\frac{E}{1.95}$ éléments, donc en kilogrammes :

$$\frac{1.4Ea}{1.95d} \text{ kilogrammes.}$$

Le débit général ou moyen des accumulateurs au plomb, à oxyde, étant de 2 ampères au kilogramme de plaque, peut sans inconvénient se maintenir à 3.5 ampères pendant des périodes de travail alternant avec des repos et s'élever à 5 ou 6 ampères, lors des coups de collier.

Pour le cas qui nous occupe, prenons $d = 3.5$, il vient en simplifiant :

$$0.2Ea \text{ kilogrammes.}$$

On a donc immédiatement le poids brut de la batterie en fonction de la puissance Ea du moteur en watts.

Cette puissance doit être déterminée d'ailleurs, soit par comparaison, soit en appliquant l'une des formules ci-dessus données qui supposent connu le poids de la voiture, avec son moteur, déchargée de celui des accumulateurs.

Nous ferons usage de la formule [1] du § B-3. Le poids total T en tonnes se décompose en $T = t + x$, dont x tonnes pour l'accumulateur; or, nous venons de trouver pour ce poids en kilogrammes, soit $\frac{1.4Ea}{1.95d}$ en général, soit $0.2\,Ea$, si l'on admet que $d = 3.5$ sur certaines sections; on aurait donc :

$$T = t + 0.0002Ea \text{ en tonnes,}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et comme

$$Ea = P = \frac{T\,(K + m)}{\rho};$$

on voit que l'on peut trouver E*a* en fonction de *t*.

Reste à choisir la valeur de E. Elle est ordinairement de 200 volts et parfois de 120 sur les tramways urbains, avec variations par le régulateur.

A la Haye, elle atteint 394 volts. Dans le cas particulier du locomoteur d'essai de l'État belge, elle est fixée invariablement à 500 volts pour représenter une source de courant externe; mais ce sont là des cas spéciaux auxquels d'autres calculs sont applicables (formule [2] ou [3] du § B-3.)

δ. — Étant ainsi fixé sur les conditions de *puissance* de la batterie, il restera, et ce sera facile, à s'assurer qu'elle répond aux conditions de *capacité* voulues. Or, celles-ci sont essentiellement arbitraires. La formule de M. Gadot, ci-dessus reproduite, fournit à cet égard une limite pour les accumulateurs à oxyde de plomb. Néanmoins, c'est une question d'exploitation tout empirique de savoir si l'on rechargera après un trajet aller et retour, ou après plusieurs trajets. Cette question est résolue à priori dans le nouveau système préconisé par MM. Muller et Tudor, qui emploient des batteries à faible capacité supportant une charge rapide susceptible d'être effectuée entre deux trajets, alors que les autres systèmes n'admettent de charges qu'au régime de 1.5 à 2 ampères. Enfin, la question est éliminée s'il s'agit de batteries chargées pendant la marche sous trolley comme à Hanovre.

Quoi qu'il en soit, une batterie ne doit jamais être épuisée, et un élément de conservation important consiste à ne pas les décharger au point que la force électro-motrice descende sous 1.85.

ε. — Quant au procédé de recharge des batteries, nous renvoyons à la description des installations diverses, notamment le procédé de l'usine de Saint-Denis près Paris, où l'on recourt pour la fin de la charge au survoltage de la source, par l'insertion d'une dynamo-auxiliaire.

ζ. — Enfin, la récupération d'énergie sur les fortes inclinaisons est un fait qui va de soi et qui dépend évidemment du degré de pente et de la longueur parcourue sans arrêt. M. Sarcia a développé la théorie et la pratique de la récupération dans un article publié par l'*Industrie électrique* le 10 décembre 1895. La récupération peut commencer dès une pente de 20 millimètres si le coefficient de traction n'est pas supérieur à 10 p. c., elle sera de 23 p. c. et augmentera avec la pente. Il est établi que les grandes voitures à impériale Madeleine-Saint-Denis descendent sans courant une pente de 11 à 12 millimètres. Ne perdons pas de vue qu'un poids donné réparti sur deux essieux suscite moins de frottements que s'il est réparti sur quatre essieux; au surplus, les résistances des organes mécaniques se répartissant sur un poids plus considérable contrebalancent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une portion plus petite de l'effort gravifique. Sur les rails à ornières, le coefficient de traction était de 11.25 kilogrammes, et sur rails Vignoles 8.06 en moyenne. La récupération suppose l'excitation des moteurs en dérivation.

3. — Rendement et dépenses a l'usine génératrice.

a. — *Rendement à l'usine.*

Rendement total. — Le rendement à l'usine s'entend en deux sens bien distincts.

Une dynamo d'une part, une machine à vapeur de l'autre considérées *individuellement* présenteront des conditions de fonctionnement qui réduisent les pertes à 10 ou 12 p. c.

Accouplées, elles pourront donner pour une charge déterminée un résultat maximum, qui décroîtra rapidement avec la diminution du travail. Rappelons à cet égard l'expérience faite sur un ensemble formé d'une machine Goolden-Willans et d'une dynamo de 60 H. P. à la vitesse constante de 440 tours; force électro-motrice, 120 volts.

Proportion de la pleine charge	1	1/2	1/4	1/8	1/16
Intensité en ampères.	375	200	100	50	25
Rendement commercial de la dynamo . . p.c.).	91.2	89.1	82.5	71	55.3
— — de la combinaison (—)	81	72.2	57.5	40.6	25 6
D'où rendement propre à la machine à vapeur (—)	88.8	81	69.7	57.1	46.3

Avec moins de précision, la même échelle de rendements décroissants est observée dans les usines génératrices de railways.

D'essais conduits par MM. Bell, Hulett, Larned et autres, il résulte que dans certains cas le rendement en énergie électrique aux bornes de la dynamo rapportée au travail indiqué dans les cylindres n'est pas, *en service courant*, supérieur à 65 p. c. et qu'il descend pour la moyenne diurne à 40.7 p. c. Dans des installations plus soignées, on atteint un maximum de 82 p. c. et une moyenne de 62.8 p. c. pour ce rendement d'ensemble avec un service assez uniforme.

MM. Crosby et Bell estiment à 75 p. c. la moyenne la plus favorable sur laquelle on puisse compter, dans une installation étudiée avec le plus grand soin, pour un tramway américain ordinaire, ce qui représente, pour l'Europe, un tramway à trafic intense. Du reste, on y garantit le même chiffre moyen de rendement total. Le cheval produira dans ces conditions environ 560 watts.

Dynamo. — Le rendement individuel des dynamos varie avec leur charge, et l'on se garde bien de les construire pour le maximum possible de débit qui n'est atteint que pendant de courts instants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ainsi, pour une installation d'importance moyenne, on peut compter sur les chiffres suivants de rendement individuel de la dynamo :

Régime normal.	92 p. c.
— $^2/_3$ de la charge normale	90 —
— $^1/_2$ — —	85 à 88 —
— forcé ou $^5/_4$ de la charge normale.	90 —

La dynamo est donc étudiée pour produire le rendement maximum au $\frac{4}{5}$ de celui que peut atteindre son débit, à de courts instants de la journée. La densité de courant dans l'armature est de 2.25 à 3 ampères par millimètre carré au régime normal, avec 0.25 à 0.5 ampère en plus au régime forcé. Dans les inducteurs, 1.1 à 1.3 ampère par millimètre carré normalement, 1.2 à 1.45 au régime forcé, rarement plus.

Machine. — Une règle analogue est suivie dans la détermination de la puissance de la machine à vapeur. On peut compter sur une perte de 10 p. c. dans ses organes dans les grandes installations, 15 au moins dans les moyennes, 20 dans les petites au *régime normal;* mais le quantum de friction reste à peu près le même aux moindres puissances; les effets utiles de la détente et de la condensation s'affaissent d'ailleurs simultanément. Dans les machines à vapeur d'une puissance de 100 à 150 H P., on compte en service courant sur une consommation de 14 kilogrammes de vapeur par cheval indiqué; dans celles de 200 H. P. et au delà, on descend, au régime normal, à 10 kilogrammes ou 11 kilogrammes; au régime forcé, 12 à 14 kilogrammes de vapeur. En partant de la puissance effective, on augmente ces chiffres de 1 $^1/_2$ kilogramme de vapeur par cheval à la jante du volant. Certains constructeurs garantissent des chiffres moindres aux essais, mais sans aucune fluctuation au-dessus ou au-dessous d'une charge donnée.

On est descendu à des chiffres de consommation de vapeur de 5.75 kilogrammes par cheval indiqué dans des stations communes à l'éclairage et à la traction, comme à Hambourg, avec des machines de 1,200 H. P.

Choix des engins. — Quant au choix de l'engin à vapeur et des chaudières, il est subordonné aux conditions locales; on ne descend guère en dessous d'unités de 120 chevaux, si ce n'est dans des cas spéciaux, et la puissance des dynamos, aussi bien que celle des machines et des chaudières, est déterminée de façon à disposer d'un tiers de réserve, ou d'une moitié si cela s'arrange mieux quant à l'économie générale du projet. On stipule, d'ailleurs, des moyens d'alimentation, d'épuration et condensation des eaux adéquats aux puissances requises et variant avec la qualité, l'abondance et le prix de l'eau. La prudence commande une tuyauterie à vapeur à double circuit des chaudières aux machines, un joint crevé sur une branche pouvant compromettre le service.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est bon, dans les grandes installations, de pourvoir les cheminées de valves automatiques suivant les fluctuations de la pression et proportionnant le tirage et partant la consommation de combustible à la dépense de vapeur. Ce procédé est très répandu aux États-Unis.

Les nombreux exemples d'installations individuelles décrites plus loin dans les différents genres de distribution du courant, complètent ces renseignements généraux en précisant les circonstances dans lesquelles sont appelés à fonctionner les engins désignés.

b. — *Puissances et consommations enregistrées à l'usine.*

α. — Il ne manque pas d'exemples d'enregistrement de la puissance électrique à l'usine, montrant à la fois ses fluctuations et la consommation d'énergie.

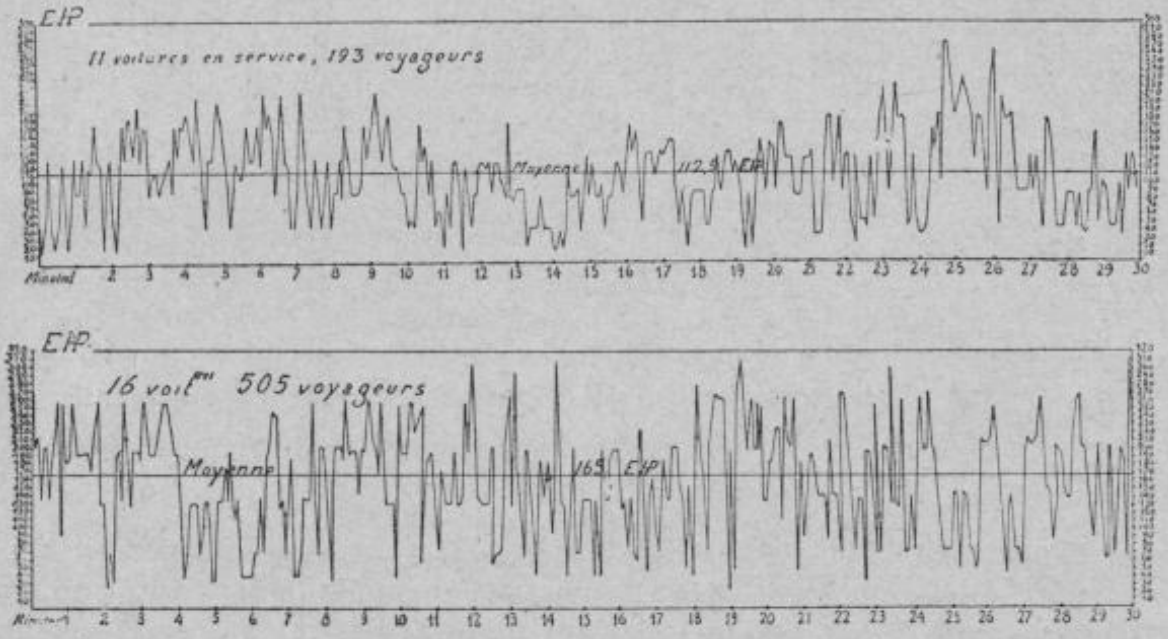


Fig. 162.

Reproduisons des diagrammes relevés sur les tramways du « South Staffordshire » en 1894 (tension 300 volts) et donnant le débit des dynamos en chevaux électriques pour 11 et 16 voitures, se chiffrant à 10.23 et 10.31 E. H. P. par voiture à l'usine sur des lignes relativement accidentées, formant un réseau de 12.8 kilomètres (fig. 162).

Il s'agit de voitures à impériale marchant à une vitesse moyenne de 12 kilomètres. (Voir chapitre IV.)

β. — A Boston, des *load diagrams* inscrits dans les diverses stations qui, en 1894 et 1895, fournissaient le courant à 700 cars, sans remorque, fournissent con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cernant les cars moteurs une moyenne de 17.8 ampères pour les fermés et de 15 6 ampères pour les ouverts, tous à deux moteurs de 25 H. P. à cette époque de l'année. La ville n'est pas accidentée.

Pour les lignes moyennement accidentées aux États-Unis, on compte 15 kilowatts disponibles par voiture, et 430 watts-heures par kilomètre-voiture à l'usine.

A Montréal, sur des lignes « pratiquement de niveau », sauf en quelques points, on a relevé les chiffres suivants d'après le *Street Railway Journal* de décembre 1895, alors qu'il circule de 100 à 150 cars, selon la saison. Voie en d'excellentes conditions.

Les voitures motrices pèsent 6 5 tonnes, les trailers 2.5 tonnes, mais les $^4/_5$ des trains n'ont qu'une voiture, vitesse 12 kilomètres à l'heure.

La consommation de charbon, dans ces conditions, par kilomètre a été par voiture motrice de 2 kilogrammes seulement. Par tonne-kilomètre remorquée, 0.3 kilogramme. Le charbon consommé par E. H. P. 1.27 kilogramme (machine Corliss de 600 H. P., attaque des dynamos par courroie).

Ces résultats sur voies en palier se sont confirmés à Brême, où les mêmes conditions se présentent ; la consommation par voiture-kilomètre est de 2.5 kilogrammes.

A Hambourg : voitures à 30 places, un moteur de 25 H. P. consommation à la vitesse de 12 kilomètres pour 100 voitures, 435 watts-heures par voiture-kilomètre ; arrêts fréquents.

A Zwickau : voitures à 28 places, 2 moteurs de 10 kilowatts; il y a une rampe de 4 p. c.; consommation moyenne à l'usine, 365 watts-heures en été, 440 en hiver.

A Baden, près Vienne : vitesse 14 kilomètres, arrêts peu fréquents; une rampe de 3 p. c.; voitures à 28 places, munies de 2 moteurs de 10 chevaux; consommation à l'usine, 330 watts-heures en moyenne par voiture-kilomètre.

7. — Tout autres sont les résultats lorsqu'il s'agit de lignes fortement inclinées. Ainsi à Reimscheid (fil aérien), où existe une rampe de 10 p. c., la consommation en watts-heures atteint 753, pour des voitures munies de 2 moteurs de 25 H. P.

On trouve des résultats analogues à Bruxelles sur la ligne de la Petite-Espinette (fil aérien), où les trains sont formés de 2 voitures dont une motrice munie de 2 moteurs de 25 H. P. Ces trains pèsent, chargés, 14 tonnes, absorbent 900 watts-heures par kilomètre à la moyenne vitesse de 15 kilomètres et la consommation de combustible correspondante est de 4 à 5 kilogrammes, selon la saison (charbon menu), par train-kilomètre pour 6 ou 12 trains sur la ligne.

Ces différentes installations sont décrites en leur place, où l'on trouvera les profils des lignes. (Voir IV-C.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au *Syracuse and East Side Railway*, où les voitures chauffées électriquement requièrent à cet effet 40 ampères pour une moyenne de 7 $^1/_4$ cars en usage, et où la ligne très accidentée présente des rampes de 96 millimètres par mètre, on a trouvé en octobre 1895 :

Qualité du charbon, tout venant, la tonne	fr. 14 60
Consommation par E. H. P.	kg. 1.56
Coût du combustible par E. H. P.	fr. 0.0255
Eau évaporée par E. H. P.	k. 13.1
Coût de l'eau par 24 heures	fr. 1 50
Eau évaporée par kilogramme de charbon	kg. 8.36
Coût de l'huile et déchet par E. H P.	fr. 0 00155
Dépense en salaires à la station par E. H. P.	fr. 0.0245
Coût total de la force motrice par E. H. P.	fr. 0.050
— de la force motrice par voiture-kilomètre	fr. 0.05
Par 18 heures, E. H. P.	fr. 14 72
En moyenne par heure	fr. 0 81

c. — *Régularisation du débit.*

Station commune. — La fourniture du courant aux tramways est souvent effectuée par une station centrale commune à l'éclairage et à la traction, condition avantageuse à l'économie totale de la marche de l'usine. Le cas est très fréquent en Allemagne. (Voir les descriptions locales du chapitre IV et ci-dessus, § *a*, le cas des machines de Hambourg.)

Batteries fixes. — Un moyen de régulariser le débit des dynamos déjà très répandus dans les distributions de lumière et qui est susceptible d'utiles applications à la traction seule, pour les petites installations, c'est l'emploi de batteries fixes d'accumulateurs. On ne peut en citer de meilleur exemple que celui de Zurich. D'une longueur de 4.6 kilomètres avec des rampes nombreuses variant de 15 à 50 millimètres et même 64.8 sur 115 mètres, elle est parcourue par 9 ou 10 voitures et le calcul démontrait que l'on allait se trouver en présence de fluctuations de débit de 0 à 200 ampères, la moyenne étant 80 à 90 ampères, la rampe moyenne étant 11 millimètres. Les voitures à vide à 28 places pèsent 3.8 tonnes, en charge 5.6 tonnes, vitesse moyenne 10.5 kilomètres, et sont munies d'un moteur de 18 H. P. On avait compté par voiture sur une consommation à la jante de 4.79 H. P., moyenne d'aller et retour, démarrages compris, et 7.2 H. P. à l'usine ; et pour un service de jour de 6 minutes avec 9 voitures et un service le matin et le soir de 12 minutes avec 5 voitures, on arrivait à 925 H. P. heures à répartir sur la journée.

En bornant l'installation à la moyenne ainsi établie, c'est-à-dire à un groupe formé d'une machine de 90 H. P., d'une dynamo de 66 kilowatts 550 volts, d'une batterie de 300 éléments Tudor, 245 ampères de capacité, on est arrivé à une con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sommation de 1.46 kilogramme de charbon par H. P. heure, alors que la plupart des installations d'importance réduite consomment 2.5 kilogrammes. La réserve est formée d'une machine et d'une dynamo de même puissance. Le service du personnel de l'usine est pour la majeure partie limitée à 12 heures de jour.

Au point de vue de la consommation de combustible, il est certain que la réduction obtenue par l'emploi d'accumulateurs est très sensible; mais il se justifie moins, vu le coût et les frais d'entretien de ces appareils, dans de larges installations à trafic intense et constant.

Batteries portatives. — Nous avons vu, dans le calcul du poids de ces batteries § C-2, à quelles variations conduisent les types divers d'accumulateurs. Les dépenses à l'usine doivent nécessairement s'en ressentir.

Il est certain cependant que le débit plus uniforme des dynamos est une cause de réduction de la consommation kilométrique des voitures qui compense largement la dépense en énergie primaire, résultat du poids additionnel des batteries.

Ainsi à Paris, où les voitures à 53 places, pesant 13.5 tonnes, circulent sur des rampes de 2 à 4 p. c., la consommation de charbon à l'usine est de 2.3 kilogrammes par voiture-kilomètre, et de 1.66 kilogramme par cheval électrique-heure.

On trouvera au chapitre VI d'autres exemples d'extraits de comptabilité fournissant les dépenses à l'usine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II. — Rails conducteurs et troisième rail.

A. — Lignes primitives ou temporaires.

Essais anciens. — En suivant l'ordre chronologique (1), on retrouve des tentatives de locomotion électrique, au moyen d'un courant transmis par les rails, dans les appareils d'essai du docteur Colton et du professeur Farmer, en 1847, aux États-Unis, puis par Thomas Hall, de Boston, à partir de 1851 (2).

L'idée d'employer un conducteur isolé distinct des rails pour amener l'électricité aux véhicules était breveté en Italie, en France, en Angleterre dès 1855 et même auparavant.

Chemins de fer Siemens et Halske. — Ainsi que nous l'avons dit à propos du premier locomoteur construit sur les principes dynamo-électriques par Werner Siemens, cet engin inaugura dans le monde la remorque, par courant électrique, d'un train livré au public, à l'Exposition industrielle de 1879, à Berlin. Il fut ensuite montré à Dusseldorf, puis, en 1880, à Bruxelles à l'Exposition du Cinquantenaire, et transporté au Palais de Cristal de Londres l'année suivante. C'était, on s'en souvient, une ligne circulaire de petit écartement d'environ 300 mètres de longueur, portant au milieu un troisième rail simplement fixé sur les traverses en bois sans intermédiaire, et consistant en une barre méplate en fer dans les deux premières installations, en cuivre ultérieurement.

La petite locomotive dont la figure 163 montre l'aspect extérieur et dont le moteur à engrenages est décrit au chapitre I-A, portait son conducteur sur un siège central supérieur. Elle remorquait trois wagonnets découverts, à deux banquettes longitudinales adossées, à trois places, soit 24 voyageurs pour le train.

---

(1) Voir « Origines techniques de l'électro-traction », par l'auteur, dans le *Bulletin de la Société belge d'électriciens*, 1896.

(2) Le mobile électrique que David Davenport exhiba en Amérique et en Angleterre en 1837 ne recevait pas son courant par les rails, mais bien par deux fils formant les rayons du cercle que ces rails décrivaient, fils qui plongeaient au centre dans des godets à mercure.

La locomotive de l'électricien écossais Davidson (1838) et celle du professeur américain Page (1850), qui transportèrent quelques expérimentateurs, portaient leur source de courant sous forme de piles galvaniques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lichterfelde. — Rails seuls. — Près Berlin, entre Lichterfelde et l'Ecole des cadets, la maison Siemens et Halske essaya le fonctionnement, en service régulier de tramways, d'une ligne dont les rails seuls servaient au circuit électrique d'aller et retour (1). La voie, qui avait été établie par un entrepreneur, pour le transport de ses produits, sur un parcours de 2,600 mètres, fut reprise par la maison Siemens et Halske, en 1880. Les rails, en acier à l'écartement de 1 mètre, sont fixés sur des traverses en bois reposant sur un ballast de gravier. Jusqu'en 1895, ils servirent seuls au transport du courant, l'un pour l'aller, l'autre pour le retour, sans autre précaution quant à l'isolation. Pour améliorer la conductibilité, on avait ajouté aux joints de petites estroppes en fer recourbées de façon à suivre le jeu des dilatations et contractions. Il est clair que d'un côté de la voiture, les bandages des roues sont isolés de leurs moyeux par des plateaux en bois.

Fig. 163.

La ligne traverse plusieurs passages à niveau où les chevaux recevaient parfois des secousses qui, sans être aucunement dangereuses, présentaient certains désagréments : le courant n'était que de 90 volts et de 30 ampères. La perte par les rails dépassait rarement 25 p. c. pour une seule voiture et était moindre pour plusieurs. Ordinairement, une voiture à 20 personnes et marchant à 15 kilomètres assurait le service. Son moteur attaquait symétriquement par deux chaînes les deux essieux.

Cette ligne a été depuis doublée en longueur; le système à fil aérien unique fonctionna sur le nouveau tronçon seul, de 1890 jusqu'en 1895, époque à laquelle il fut étendu à tout le tramway.

La maison Siemens et Halske n'a jamais attaché grande importance aux résultats d'exploitation de cette ligne, considérée plutôt comme un champ d'expérimentation.

---

(1) C'est ce système qu'Edison essaya, en 1880, à Menlo-Park.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Brighton. — Le système fut imité à Brighton par M. Magnus Volk qui, en 1883, établit sur les galets de la plage une ligne de 1,600 mètres. Une voiture à 30 places était mue par un courant circulant, à l'aller et au retour, dans les deux rails, sous la tension de 150 volts et 32 ampères, et fourni par une machine à gaz de 12 chevaux. La voie à l'écartement de 826 millimètres était formée de rails de 12 kilogrammes posés sur traverses espacées de 80 centimètres et connectés électriquement au moyen de plaques de cuivre placées sous les éclisses.

La ligne tracée entre deux mêmes cotes de niveau présentait, sous le *pier*, deux déclivités symétriques parcourues par élan.

Le moteur, fixé sous la caisse au milieu, attaquait un seul essieu par l'intermédiaire d'une courroie. Enroulé en série, il était réglé de chaque plate-forme par un rhéostat à 12 plots. Poids de la voiture à vide, 2.6 tonnes; en charge, 5.1 tonnes.

Voici les résultats d'exploitation pris pour une moyenne de cinq ans, de 1883 à 1888, et un parcours de 100 kilomètres environ par jour, avec une charge moyenne de 8.51 voyageurs par trajet :

Gaz, huile et déchets de coton	7.5	centimes.
Réparations au moteur à gaz	0.25	—
— à la dynamo et au moteur	1.00	—
Appointements et salaires.	4.4	—
Soit par voiture-kilomètre. . .	13.15	centimes.

Un comptable, abrité dans un chalet à l'une des extrémités de la ligne, était en même temps receveur et contrôleur.

Est-ce parce que la ligne souffrait trop des tempêtes, est-ce à cause des difficultés soulevées par les autorités locales, que l'on a renoncé à la maintenir? Le fait est qu'aujourd'hui, où les sources d'électricité abondent à basse tension, des installations de l'espèce trouveraient, par leur simplicité même, occasion de se justifier au moins temporairement.

Ce système a été repris pour être appliqué à une exploitation provisoire à l'*Exposition de Genève, en 1896*. Un chemin de fer à l'écartement de 1 mètre s'y trouvait établi sur un développement total d'environ 2 kilomètres. Les rails, seuls conducteurs du courant d'aller et retour, étaient prolongés longitudinalement par des planches de sapin contre le contact direct du macadam des chemins, ce qui constituait tout l'isolement. Quatre voitures à 30 places et 1 moteur y faisaient le service. Elles prenaient ensemble, en chiffre rond, 50 ampères à la génératrice, en temps sec, et 100 ampères après la pluie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B — Lignes en exploitation.

1. — Tramways.

a. — *Ligne de Portrush.*

Le chemin de fer de « Giant's Causeway, Portrush and Bush Valley », en Irlande, est une ligne vicinale de 13,760 kilomètres, présentant des rampes très raides atteignant parfois 35 millimètres par mètre. La largeur de la voie, 0.914. Avant l'utilisation de la chute d'eau, en 1883, il était desservi par des locomotives à vapeur. La puissance motrice est actuellement fournie par trois turbines de 50 chevaux, et trois dynamos réglées à 300 volts. L'usine est située dans la vallée de Bushmill.

La traction électrique fonctionne toute l'année, mais pendant la forte saison, on remet en service les trois petites locomotives à vapeur.

Le courant est amené par un conducteur en fer en forme d'U renversé cloué sur des petits poteaux en bois fixés aux traverses et émergeant du sol d'environ 40 centimètres. Aux traversées des chemins, le conducteur est interrompu, la continuité électrique étant assurée par un bout de câble isolé dans le sol. Les voitures portent deux sabots, l'un devant, l'autre à l'arrière. Des lames de cuivre complètent le circuit aux joints des rails comme à ceux des conducteurs.

Exploitation. — Le parc de matériel comprend, outre les 3 locomotives à vapeur, 4 cars électriques, 13 cars ordinaires et 7 wagons ; il n'y a que 13 ou 14 trains par jour dans chaque sens en temps ordinaire ; ils marchent à une vitesse commerciale de 16 kilomètres à l'heure.

Voici les résultats d'exploitation détaillés pour trois années :

	1890	1891	1892
	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.
Entretien. Voies et travaux.			
Gages	1,168 95	2,608 20	2,295 40
Matériel	188 30	2,896 85	1,421 75
Traction. Électricité.			
Gages des conducteurs	2,934 35	3,220 60	3,931 10
Réparations et renouvellements	1,753 20	3,485 90	2,444 85
Chaînes	1,020 80	629 45	922 60
Huile, graisse et déchets	478 40	504 05	304 05
Annuité à la station génératrice	604 45	...	...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	1890	1891	1892
Vapeur.	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.
Gages des conducteurs	4,136 55	5,211 55	5,054 05
Combustible	7,257 25	6,817 80	7,433 00
Réparations et renouvellements	5,661 95	2,871 95	2,522 35
Huile, graisse et déchets	628 40	969 35	555 30
Réparation et renouvellement des voitures et wagons.			
Salaires	56 65	208 40	93 30
Matériaux	345 90	3,208 10	678 50
Exploitation.			
Salaires des gardes	4,279 15	3,985 10	3,607 70
Salaire de l'agent de la station	1,083 75	810 00	815 00
Tickets, imprimés, avis	1,287 90	1,175 10	1,159 65
Divers	1,989 90	1,332 80	1,569 35
Garniture	606 85	467 80	405 80
Éclairage et chauffage	263 75	26 25	...
Frais généraux	6,019 90	4,977 70	4,353 30
Parcours.			
Électrique (kilomètres)	33,414.4	31,780.8	22,411.2
Vapeur (—)	18,057.6	19,648	19,203.2
Nombre de voyageurs	82,802	91,698	84,970
Marchandises (tonnes)	316	181	36

Les dépenses de traction proprement dites se détaillent comme suit :

	PAR TRAIN-KILOMÈTRE					
	1890		1891		1892	
Traction. Électricité.						
Gages des conducteurs	0.087		0.101		0.175	
Réparations et renouvellements	0.052		0.109		0.109	
Chaînes	0.030	0.200	0.019	0.245	0.041	0.338
Huile, graisse et déchets	0.014		0.016		0.013	
Annuité à la station génératrice	0.017		...		...	
Vapeur.						
Gages des conducteurs	0.229		0.265		0 261	
Combustible	0.401	0.977	0.347	1.052	0.380	1.137
Réparations et renouvellements	0.312		0.146		0 130	
Huile, graisse et déchets	0.035		0.049		0.028	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

b. — *Ryde. Carstairs.*

A *Ryde*, dans l'île de Wight, existe, depuis 1887, un petit tramway de même type, de 655 mètres de longueur, construit par Siemens Brothers, de Londres. La dynamo est mue par une machine à gaz de 12 chevaux.

Le conducteur latéral est un U en fer de 51 × 38 × 6 millimètres. Tension, 120 volts.

Il est desservi par une voiture de 30 places munie d'un moteur à chaîne et engrenages.

En 1889, à *Carstairs*, en Écosse, la traction électrique par *rails latéraux* a été installée sur un chemin de fer ayant un caractère privé, utilisant l'énergie produite par une chute d'eau dans une usine pourvue d'une batterie d'accumulateurs qui dessert à la fois l'éclairage du domaine sous 110 volts, la traction sous 250 volts.

La ligne a 2 kilomètres de longueur, plus des embranchements. Le retour du courant n'emprunte pas les rails; deux conducteurs en fer pur sont supportés de part et d'autre de la voie à 25 centimètres au-dessus des traverses, moyennant des isolateurs portant les connexions qui, étant quelque peu flexibles, se prêtent au jeu des dilatations

2. — Lignes sur siège spécial.

a. — *Besbrook à Newry.*

Voie. — Sur cette ligne, établie en 1884, le conducteur est au niveau des rails, fer en U sur blocs en bois paraffinés (fig. 164) cloués aux traverses. Ces isolateurs

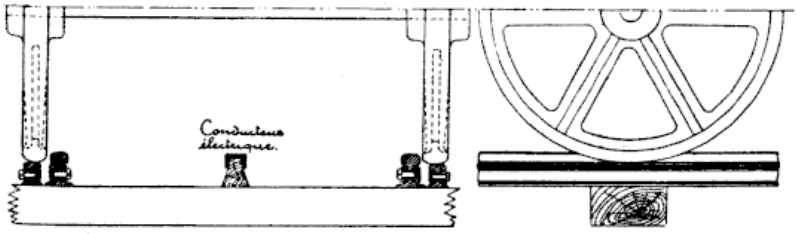


Fig. 164.

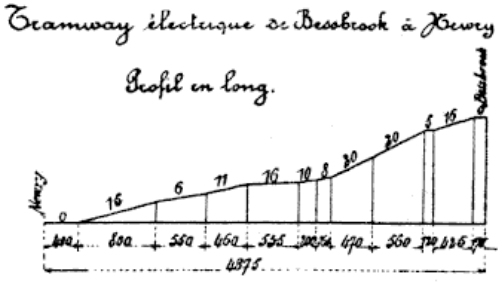


Fig. 165.

rudimentaires, sous la tension de 250 volts, n'éconduisent pas 5 p. c. du courant en temps de pluie. Toutefois, les intempéries les altèrent à la longue; c'est pourquoi on les remplace par des isolateurs en verre. La ligne, représentée au profil (fig. 165), est à voie unique d'une longueur de 4,875 mètres à l'écartement de 90 centimètres. Les véhicules remorqués par la voiture motrice étant destinés à aller prendre charge dans des usines de Besbrook ou au port de Newry, n'ont pas de bourrelets aux bandages et roulent sur des rails extérieurs, comme on le voit figure 164.

Pour la traversée des passages à niveau, on interrompt le conducteur fixé aux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

traverses des rails et l'on maintient la continuité du circuit au moyen d'un câble bien isolé logé dans le sol. Quant à la prise de courant, si l'ouverture est assez étroite, le balai d'avant de la voiture automotrice rejoint le conducteur interrompu avant que le balai d'arrière ait abandonné l'autre bout du conducteur. Lorsque l'interruption est trop large, un câble est tendu à hauteur du toit de la voiture qui porte une barre transversale chargée de capter le courant en ce moment.

Trains. — Les trains sont formés d'une voiture motrice remorquant une autre voiture à voyageurs et des wagons à marchandises. La voiture motrice pèse 8,250 kilogrammes se répartissant comme suit :

Caisse	3,300 kilogrammes.
Bogie d'avant.	1,900 —
— d'arrière	1,000 —
Dynamo, socle, armature et accessoires	2,050 —
Total . .	8,500 kilogrammes.

Les trains varient entre 21 et 28 tonnes de poids brut. Vitesse : 10 à 18 kilomètres à l'heure.

La voiture motrice a été créée par M. Hopkinson; la dynamo attaque par pignon un engrenage qui, à son tour, attaque l'essieu par une chaîne Galle. Il paraît que cette chaîne a fait l'objet d'études et d'essais suivis avant de prendre sa forme définitive, qui est représentée figure 60 et qui a donné pleine satisfaction. L'ensemble est porté sur deux bogies, l'électro-moteur étant monté sur celui d'avant; on réalise ainsi la souplesse nécessaire au passage dans les boucles de 16m70 de rayon établies à chaque extrémité de la ligne pour remplacer les plaques tournantes.

L'une des deux voitures motrices a 10 mètres de longueur et porte 34 voyageurs; l'autre, de 6m60, 24 voyageurs. Il existe, en outre, une voiture remorquée à 44 places et 27 wagonnets.

L'énergie motrice originelle vient d'une chute d'eau alimentant une turbine de 62 chevaux.

Résultats d'exploitation.

RECETTES.	1890	1891	1892
	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.
Voyageurs	10,288 75	9,647 60	9,744 70
Marchandises et paquets	27,080 40	14,031 35	15,355 10
Annonces et divers	973 50	389 05	221 25
Annuité fixe	798 95	318 05	556 00
	39,141 60	24,386 05	25,877 05
Kilomètres parcourus.	32,765	18,048	18,278

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉPENSES.	PAR TRAIN-KILOMÈTRE.		
	1890	1891	1892
Entretien des voies et travaux.			
Gages	0.045 \} 0.065	0.040 \} 0.072	0.050 \}
Matériaux	0.020 \}	0.032 \}	0.054 \} 0.158
Renouvellement	...	...	0.054 \}
Force motrice.			
Gages	0.045 \}	0.044 \}	0.039 \}
Matériaux	0.032 |	0.054 |	0.059 |
Renouvellement	... \} 0.110	... \} 0.128	0.0037 \} 0.1307
Rente pour l'eau	0.033 |	0.030 |	0.029 |
Menus frais	... \}	... \}	... \}
Réparation des voitures et wagons.			
Gages	0.025 \}	0 021 \}	0.025 \}
Matériaux	0.063 \} 0.088	0.089 \} 0.126	0.125 \} 0.150
Renouvellement	... \}	0.016 \}	... \}
Dépenses de trafic.			
Gages, conducteurs et gardes	0.164	0.175	0.180
Charbon et gaz	0.010	0.0025	0.008
Huile et graisse	0.014	0.035	0.0168
Manœuvres { cavalerie Newry	0.235	0.182	0.166
Manœuvres { — Besbrook	0.111	0.088	0.088
Frais généraux.			
Imprimés et fournitures de bureau	0.009	0.015	0.012
Salaires et frais de bureau	0.127	0.115	0.121
Annonces	0.007	...	0.0005
Assurances	0.021	0.005	0.006
Loyers pour terrains	0.129	0.121	0.121
Divers.			
Commissaires	0.0019	0.0034	0.0035
Taxes	0.012	0.005	0.0023
Téléphone	..	0.005	0.006
Contentieux	0.002	0.005	0.0005
	1 0996	1.1784	1.1703

Pour la chute d'eau, on paye 0.033 par kilomètre. C'est à peu près la dépense en combustible effectuée par voiture-kilomètre dans d'autres exploitations. Resterait à ajouter la dépense d'entretien de la chaudière et de la machine fixe et en déduire celle de la turbine, etc.

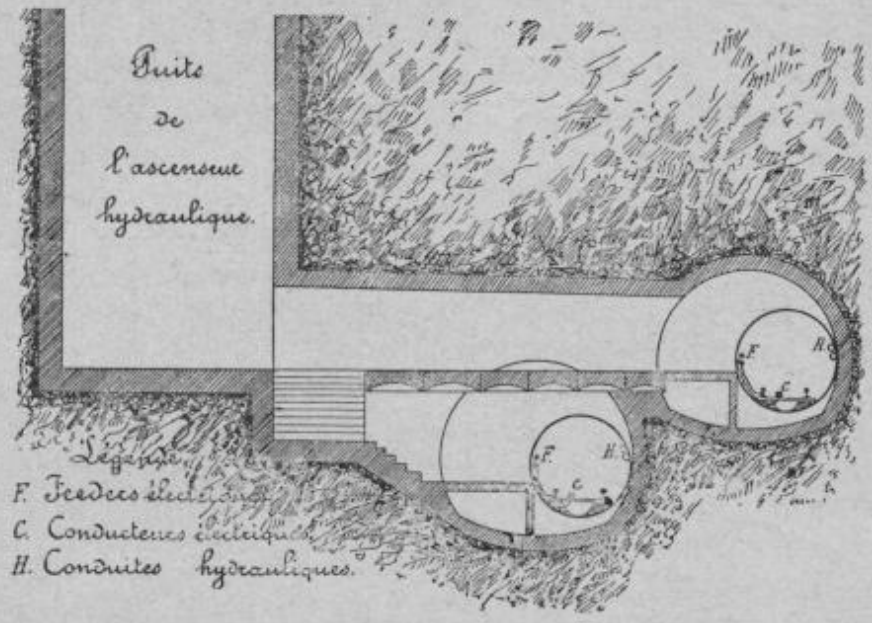
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Plusieurs lignes importantes sur siège spécial à conducteur fixé aux traverses des rails, actuellement en exploitation en Europe, ont fait l'objet de descriptions précises aux Congrès des chemins de fer de Saint-Pétersbourg et de Londres (1).

Les lignes qui suivent sont en partie empruntées à ces rapports.

b. — *City and South London Railway.*

Voie. — Cette ligne est établie en tunnel sur toute sa longueur, qui est de 5,070 kilomètres (3.15 milles).



City and south of London electric subway
Station sous la route de Clapham.

Fig. 166.

Les plus fortes rampes, qui correspondent à la traversée de la Tamise, sont de 33 millimètres. L'une d'elles a 140 mètres (153 yards) de longueur; l'autre, 80 mètres (88 yards). Sur les autres parties de la ligne, les rampes ne dépassent pas 10 millimètres ($^1/_{100}$).

La ligne est à deux voies; chacune de ces voies est établie dans un tube séparé, en fonte, d'un diamètre intérieur de 3^m19 (10 pieds $5\ ^{10}/_{16}$ pouces).

La distance entre les bords intérieurs des rails est de 1^m422 (4 pieds 8 pouces).

Aux extrémités, ces deux tunnels se trouvent au même niveau; mais dans certains points intermédiaires, ils passent l'un au-dessus de l'autre, dispositif qui,

(1) En 1892, de la part de l'auteur, à Saint-Pétersbourg; en 1895, par M. Auvert, ingénieur du chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée, à Londres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en permettant de maintenir les deux excavations dans l'axe des rues les plus étroites, a eu pour avantage d'éviter des droits de concession exigibles des particuliers, mais, par contre, d'entraîner les fortes inclinaisons du profil très onéreuses pour la traction. La figure 166 montre une des stations intermédiaires en coupe. On accède aux stations au moyen d'ascenseurs hydrauliques, ce qui a nécessité, comme on voit, deux systèmes distincts de transmission d'énergie à distance.

Disposition du conducteur. — Les locomotives prennent au moyen de frotteurs en fonte le courant nécessaire à leur marche, sur un conducteur isolé, en fer U, placé entre les rails.

Ce conducteur repose sur des isolateurs en verre, espacés d'environ 90 centimètres (2 pieds 11 $^1/_2$ pouces) les uns des autres et fixés sur les traverses au moyen de crampons.

Le retour du courant a lieu par les rails de la voie.

Les barres en U qui forment le conducteur isolé sont reliées les unes aux autres par une lame de cuivre recourbée, placée en dessous.

Les extrémités des rails consécutifs de la voie sont aussi reliées entre elles par des lames de cuivre rivées sous les semelles.

Le courant est amené de l'usine génératrice aux conducteurs isolés, par quatre feeders.

Deux d'entre eux sont reliés aux conducteurs à la gare de « Great Dover Street »; les deux autres sont couplés en parallèle depuis l'usine jusqu'à la gare de Stockwell, qui en est distante de 150 mètres (164 yards) environ. L'un d'eux se continue jusqu'à Oval.

Aux points où le conducteur isolé rencontre des rails de changements de voie, on a dû prendre des dispositions spéciales pour permettre aux frotteurs des locomotives de franchir les rails de ces changements de voie.

Le conducteur est interrompu à une certaine distance, de chaque côté des rails qui le croisent, et remplacé par des pièces de bois inclinées sur lesquelles monte le frotteur. Le rail de croisement passe dans une brèche ménagée dans la pièce de bois. Les frotteurs traversent la brèche diagonalement et sont assez larges pour ne pas s'y enfoncer.

La continuité électrique est assurée, bien entendu, entre les deux sections du conducteur, par un câble métallique isolé qui passe sous le rail que croise le conducteur. L'arrivée du courant aux locomotives n'est à aucun moment interrompue par les coupures du conducteur, chaque locomotive étant munie de trois frotteurs.

La tension sur le conducteur isolé est de 500 volts.

La perte de courant par défaut d'isolement est habituellement de $^1/_2$ ampère pour l'ensemble de la ligne.

Elle atteint 1 ampère dans les circonstances les plus défavorables.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Usine génératrice. — L'usine génératrice d'électricité est établie à Stockwell. Elle comprend quatre machines à vapeur actionnant chacune une dynamo.

Les machines à vapeur sont du type compound vertical, tournent à une vitesse de 100 tours par minute et ont chacune une puissance maximum de 400 chevaux.

Les dynamos génératrices sont du type Edison-Hopkinson, à excitation compound.

La différence de potentiel normale aux bornes est égale à 500 volts.

L'intensité maximum du courant est égale à 450 ampères.

La vitesse de rotation de l'induit est de 500 tours par minute.

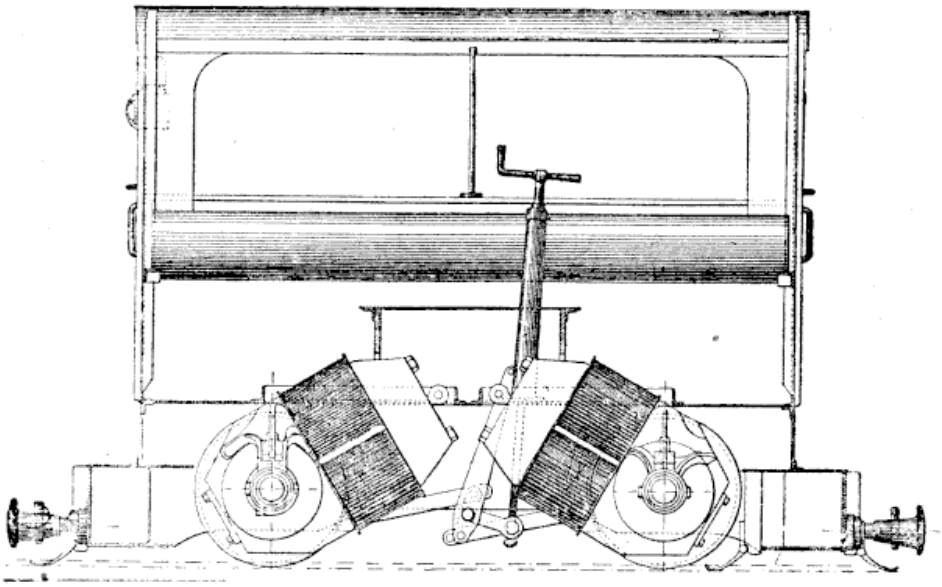


Fig. 167.

Locomotives. — Les locomotives sont portées par deux essieux moteurs.

Le diamètre des roues est de 684 millimètres (2 pieds 2 $^{7}/_{8}$ pouces).

L'induit est calé directement sur l'essieu; l'excitation est en série.

Les inducteurs, à deux pôles, sont portés d'un côté par des coussinets qui enveloppent des fusées intérieures ménagées sur les essieux; ces coussinets n'ont qu'un très petit jeu latéral; à l'autre extrémité, les inducteurs sont reliés au châssis de la machine par une barre articulée, mais non élastique.

Le poids d'un essieu avec ses roues, boîtes à graisse et ressorts, ainsi que l'induit, est de 1,215 kilogrammes (2,679 livres), et la partie du poids des inducteurs portée par l'essieu est de 506 kilogrammes (1,116 livres). La somme des poids liés d'une manière rigide à chaque essieu est donc de 1,721 kilogrammes (3,794 livres).

Les deux moteurs de chaque locomotive sont chacun capables de développer au maximum 50 chevaux à la vitesse de 40.250 kilomètres (25 milles) à l'heure, ce qui correspond à une vitesse de rotation de 310 tours par minute.

Il existe deux types de locomotives, les unes au nombre de quatorze fournies

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par la maison Mather and Platt, les deux autres par la maison Siemens Brothers.

Dans les premières (fig. 167), les induits sont à anneaux du type Gramme, de 45 centimètres (1 pied 5 $^{11}/_{16}$ pouces) de diamètre et 50 centimètres (1 pied 7 $^{11}/_{16}$ pouces) de longueur. Les deux moteurs sont couplés en série.

L'enroulement des inducteurs est tel que ceux-ci sont presque saturés pour un courant bien inférieur au travail normal, de sorte que le champ magnétique est sensiblement constant.

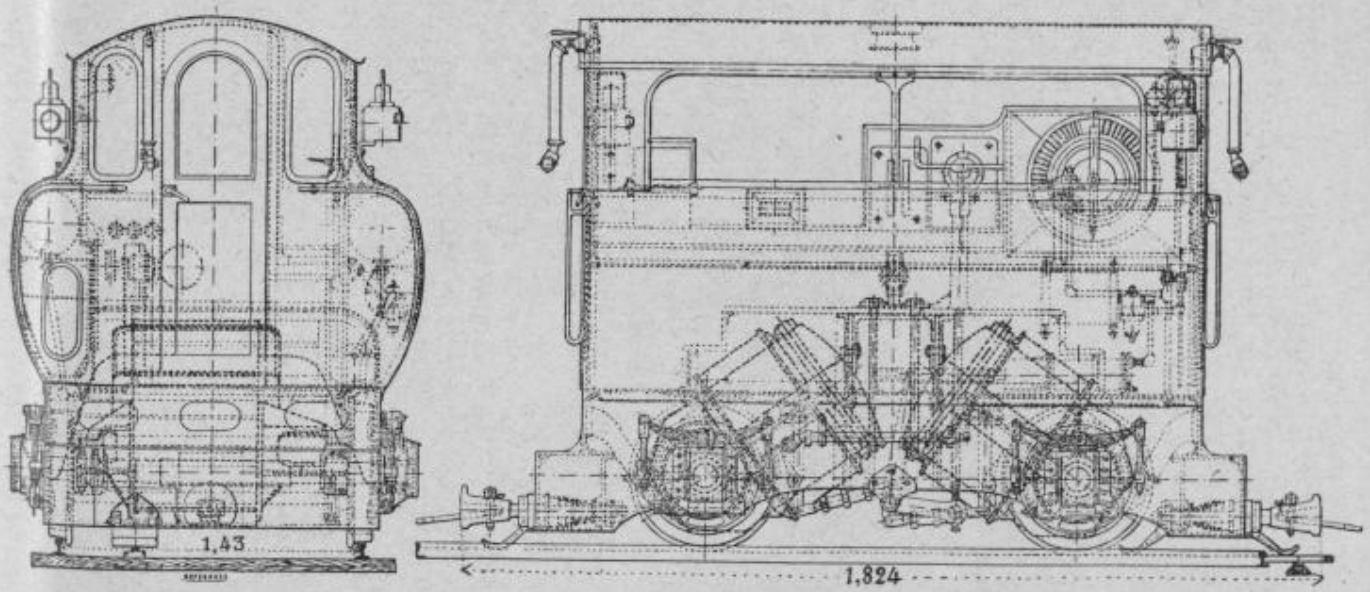


Fig. 168.

Les deux dernières locomotives (fig. 168) pèsent 13 $^{1}/_{2}$ tonnes. Leur moteur a fait l'objet d'une description détaillée au chapitre I-A, et les essais en sont consignés au chapitre I-B-2.

L'effort de traction total est égal à 533 kilogrammes (1,176 livres) pour un courant de 100 ampères.

L'effort maximum est égal à 1,356 kilogrammes (2,989 livres) pour un courant de 226 ampères à 500 volts.

Les balais sont calés dans une position fixe.

Les étincelles, pendant la marche, sont assez fortes.

L'appareil de démarrage et de réglage de la vitesse des électro-moteurs se compose uniquement d'un rhéostat qui a 50 touches sur certaines machines et 25 sur d'autres.

En marche, le nombre d'ampères varie ordinairement de 50 à 100. Il atteint 150 ampères dans les plus fortes rampes.

La vitesse de marche est d'environ 28 kilomètres (17.4 milles); la vitesse maximum ne dépasse pas 40 kilomètres (24.9 milles).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les trains sont freinés par des freins Westinghouse et des freins à main. Les locomotives ne portent pas de compresseur d'air. Le réservoir principal d'air comprimé est rempli à la gare de Stockwell.

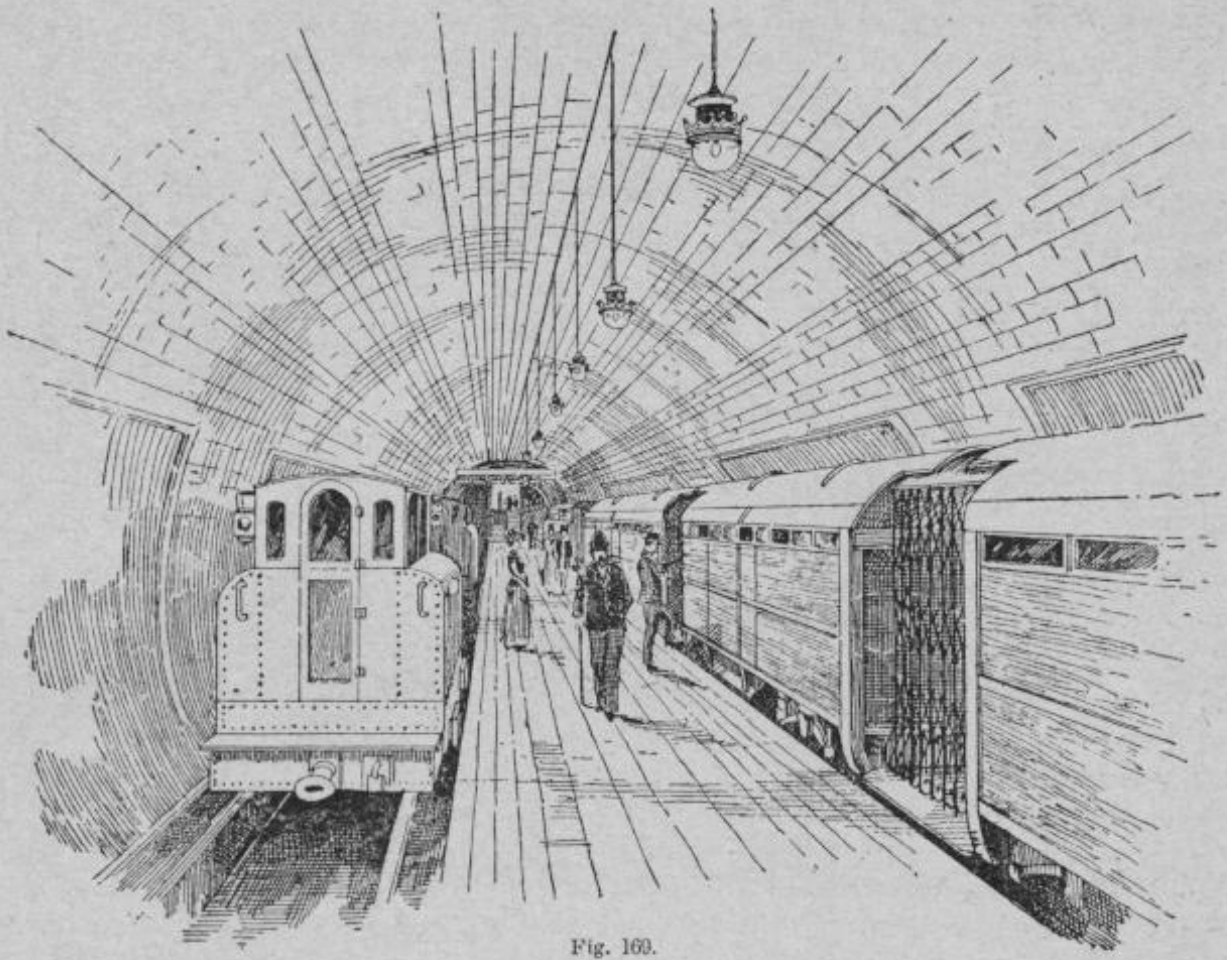


Fig. 169.

Les voitures à couloir intérieur montées sur bogies offrent 33 places. Elles pèsent 7 tonnes à vide. Les trains sont formés de trois voitures et d'une locomotive. On y accède par les plates-formes d'about fermées pendant la marche au moyen de grillages articulés. La vue perspective (fig. 169) en montre l'aspect.

Exploitation. — Entre 8 et 10 heures du matin et entre 5 heures et 7 h. 30 m. du soir, les trains se succèdent à intervalles de trois minutes et demie; aux autres heures, à des intervalles de cinq minutes.

Les trains circulent les jours de semaine entre 6 h. 30 m. du matin et 11 heures du soir; le dimanche, entre 12 h. 30 m. et 10 h. 30 m. du soir.

Grâce à cette continuité du service, les machines à vapeur de l'usine génératrice sont utilisées d'une façon très régulière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Frais d'exploitation. — Concernant les frais d'exploitation de cette ligne, il a été très difficile d'obtenir des renseignements précis ou du moins très détaillés.

Les recettes dépassent les dépenses, mais la recette nette est loin, jusqu'à présent, de pouvoir rémunérer l'énorme capital engagé dans la construction des tunnels. Toutefois, à chaque réunion statutaire de la Compagnie, on annonce une augmentation des recettes et une diminution des dépenses. Il est certain que le premier semestre d'exploitation (la ligne a été ouverte en décembre 1890) a été une période d'école très onéreuse, et, en somme, les administrateurs sont satisfaits d'avoir préféré la traction électrique aux autres modes de locomotion. En ce qui concerne la vitesse notamment, le système funiculaire, qui leur avait été d'abord proposé, ne leur aurait pas permis de dépasser 15 kilomètres à l'heure, c'est-à-dire moins de la moitié de celle qu'ils atteignent actuellement.

A l'assemblée du 15 février 1892, le président, M. C.-G. Mott, établissait comme suit la comparaison entre la traction électrique sur le « City and South of London » et la traction à vapeur sur divers railways anglais :

La recette par train-kilomètre a été de 1 fr. 65 c., et la dépense de 1 fr. 26 c., alors que la recette sur les railways anglais est en moyenne de 3 fr. 90 c., et la dépense de 2 fr. 12 c.

Concernant la dépense de locomotion, la traction électrique leur revient à 0.493 franc, alors que toutes les grandes Compagnies anglaises dépensent en moyenne 56 centimes au même poste. Mais ce n'est pas tout, la dépense de 0.493 franc comporte un prix très élevé pour le charbon, son transport et sa manutention au dépôt, tous frais qu'évitent les Compagnies de railways. En opérant de ce chef la réduction voulue, on arrive à 41 centimes pour la dépense de traction. Enfin, allant à l'encontre de cette objection que les trains sont beaucoup plus petits et d'une contenance beaucoup moindre que ceux des railways, il fait observer que la moyenne de fréquentation des trains a été de 47 passagers, alors qu'elle n'est que de 45 dans les autres et qu'ils présentent 5 sièges par tonne de train, alors que les autres n'en présentent que 3. Qu'enfin, on ne trouve pas sur les grands railways des rampes aussi raides que sur le « City and South of London ».

Depuis lors, la comparaison à l'avantage de la traction électrique, dans les conditions envisagées, s'est affermie.

En effet, en 1895, M. Mott établissait que les dépenses de traction (*locomotive expenses*) étaient réduites à 0.375 franc par kilomètre-train, et que, si la Compagnie avait par un prolongement de sa ligne un accès facile à une gare où elle recevrait à peu de frais son charbon, cette dépense tomberait à 0.298 franc.

Pendant l'exercice correspondant à ce compte rendu, les chiffres d'exploitation ci-dessous ont été relevés :

Recettes totales annuelles	1,212,000 francs.
Dépenses d'exploitation	738,000 —
Profit. . .	474,000 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Parcours annuel des trains	737,800 kilomètres.
Nombre de voyageurs	6,500,000

	Par train-kilomètre.
Entretien de la voie, des travaux et des stations . . .	3.50 centimes.
Production de la force motrice et locomotives. . . .	37.50 —
Réparations aux voitures	2 81 —
Mouvement (*Traffic expenses*).	39.31 —
Frais généraux, taxes, etc.	16.67 —
Total. . .	99.79 centimes.

c. — *Railway surélevé de Liverpool.*

Voie. — C'est un véritable chemin de fer surélevé à deux voies, longeant les quais maritimes sur 9,500 mètres de longueur.

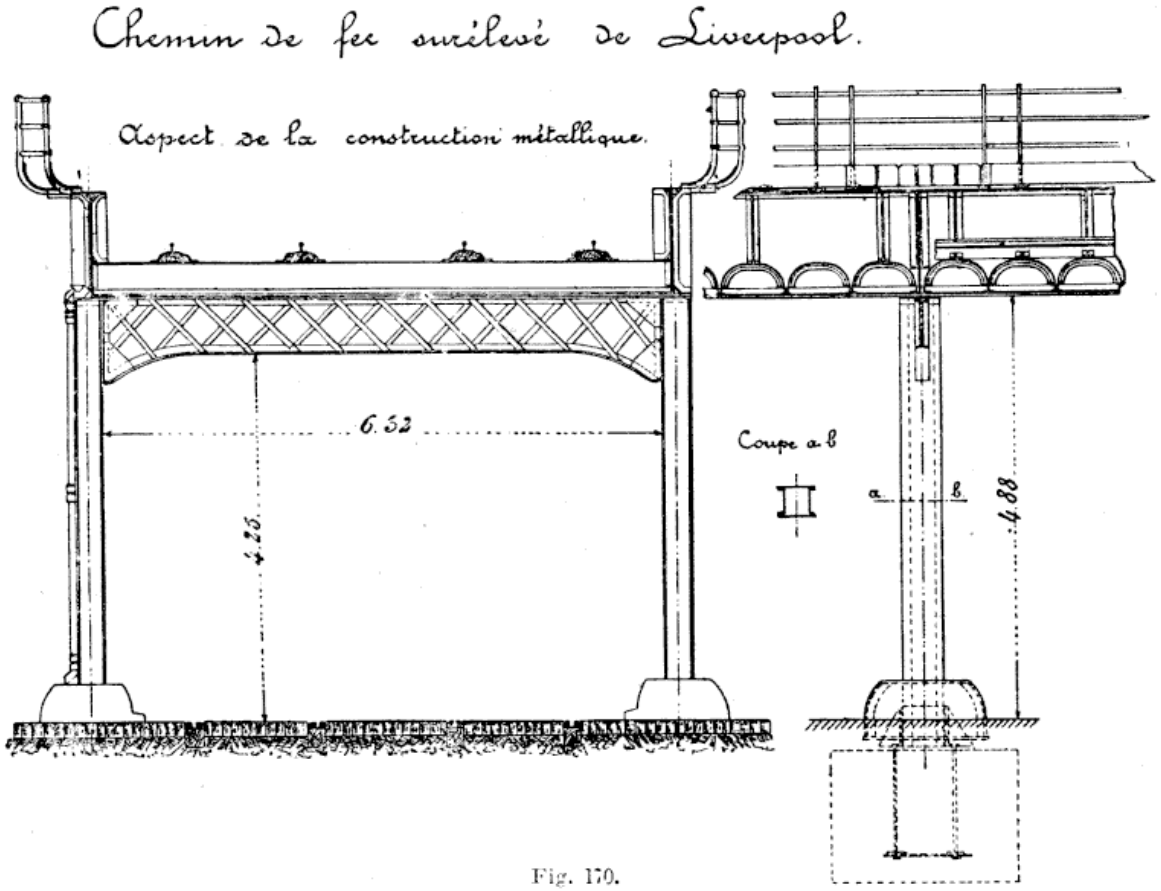


Fig. 170.

Le tablier métallique (fig. 170) est formé de travées de 15m20 de longueur, formées de longerons en âme pleine et soutenues sur piliers en fer.

Ces piliers émergent de 4m88 au-dessus du sol. Ils sont transversalement reliés par des poutrelles en treillis laissant un vide de 4m25 au-dessus du sol. L'espace entre les piliers est de 6m32.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le plancher est formé de traverses métalliques de coupe semi-circulaire, légèrement aplaties, du système Hobson.

Deux paires de longrines en bois courent directement sur ces traverses, et, maintenues à celles-ci par des fers d'angle, soutiennent les rails.

Les piliers sont maintenus par des boulons noyés dans des blocs de béton. Le point où ils émergent du sol est protégé par deux demi-cuirasses en fonte boulonnées ensemble et remplies de béton.

Ce système laisse le sol entièrement libre et la construction, sur une partie de son trajet, court au-dessus des voies ferrées du dock.

Beaucoup de difficultés ont été surmontées en divers points de cet ouvrage d'art par les ingénieurs-constructeurs, sir Douglas Fox et Mr. J.-H. Greathead.

L'*Electric Construction Corporation,* de Wolverhampton, a fourni l'appareillage électrique, comportant des voitures pesant 12 à 13 tonnes, munies chacune d'un moteur attaquant directement l'un des essieux et d'une puissance de 60 chevaux, pesant 3 tonnes.

Les plus fortes déclivités sont de 25 millimètres ($^1/_{40}$) par mètre; elles ne s'étendent d'ailleurs que sur une faible longueur.

Disposition du conducteur. — Chaque voiture est munie d'un frotteur servant à la prise de courant.

Ces frotteurs glissent sur un conducteur en acier en forme d'U, placé dans l'axe de la voie.

Ce conducteur repose sur des isolateurs en porcelaine, fixés sur des traverses en bois, espacées d'environ 2 mètres (6 pieds 6 $^3/_4$ pouces) l'une de l'autre.

Le retour du courant a lieu par les rails de la voie.

Les barres en U qui forment le conducteur isolé ont une longueur de 9^{m}90 (32 pieds 5 $^3/_4$ pouces); elles sont réunies électriquement par des lames de cuivre placées latéralement.

Chacune des jonctions de chaque côté est formée de trois lames minces superposées et courbées, de manière à ne pas gêner la dilatation des sections du conducteur.

Les rails consécutifs de la voie sont reliés entre eux au moyen de barres de fer rond cintrées, qui sont fixées aux extrémités des deux rails voisins, de part et d'autre des éclisses extérieures.

Les quatre rails des deux voies sont réunis entre eux de distance en distance. Il en est de même des conducteurs en U. Il n'y a pas de feeders.

Les changements de voie présentent la disposition suivante :

La surface supérieure du conducteur est élevée de 22 millimètres ($^7/_8$ pouce) au-dessus du champignon des rails; à chaque croisement ou changement de voie, le conducteur est interrompu et s'infléchit de chaque côté du rail, de manière à lui être parallèle sur une certaine longueur. Les contacts glissants qui mettent les électro-moteurs en relation avec la canalisation électrique, ont une largeur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suffisante pour porter à la fois sur les conducteurs des deux côtés du rail, de sorte qu'il n'y a jamais interruption du courant. Ces contacts consistent en deux sabots de fonte réunis entre eux à charnière et suspendus au châssis du bogie, mais isolés de ce dernier.

La tension sur le conducteur est de 500 volts.

La perte de courant par défaut d'isolement est, paraît-il, très faible même dans les conditions atmosphériques les plus défavorables.

Usine génératrice. — L'usine génératrice est placée vers le milieu de la ligne, près du Bramley Moore Dock.

Elle comprend quatre groupes formés d'une machine à vapeur compound horizontale, d'une puissance maximum de 400 chevaux et tournant à 100 tours par minute, et d'une dynamo Elwell Parker, tournant à 400 tours par minute. Ces dynamos, excitées en dérivation, fournissent le courant à la tension normale de 500 volts. L'intensité maximum est de 500 ampères.

Deux groupes sont constamment en fonctionnement.

Un troisième groupe est en marche très lente, de façon à pouvoir être substitué à l'un des deux premiers en cas de dérangement.

Le quatrième groupe sert de réserve.

Électro-moteurs. — Les deux voitures qui forment un train ont chacune un essieu moteur; elles sont accouplées de manière que les essieux moteurs sont le premier et le dernier du train. Lorsque le train change de sens aux gares extrêmes, l'arrière devient l'avant.

Le mécanicien, qui est toujours à l'avant, dans un petit compartiment qui occupe une partie du panneau avant de chaque voiture, change de voiture quand le train change de sens.

L'équipement électrique double pèse 6,350 kilogrammes, soit 3,175 kilogrammes par moteur s'exerçant sur un poids adhérent de 13,750 kilogrammes par paire de roues motrices, en charge.

L'induit des moteurs est à tambour et calé directement sur l'un des essieux. Les électro-aimants inducteurs sont à double fer à cheval ; leur excitation est faite en série. Deux appendices reliés aux culasses de ces électro-aimants portent des coussinets qui enveloppent des fusées intérieures ménagées sur les essieux. Le poids des inducteurs est équilibré par des ressorts, qui sont soutenus par le châssis du bogie. Ces ressorts servent en même temps à empêcher le système inducteur de tourner sous l'effet de la réaction du couple moteur. La figure 171 montre le truck moteur complet. Le moteur séparé a été détaillé au chapitre I-A.

A la vitesse de 50 kilomètres (31 milles) à l'heure, qui est pratiquement la vitesse maximum que les trains puissent atteindre à cause de la fréquence des arrêts, les moteurs ne font pas plus de 300 tours par minute. Diamètre des roues, 0.836.

Les deux moteurs sont couplés en série pour le démarrage et en quantité pour la marche normale, à 40 kilomètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

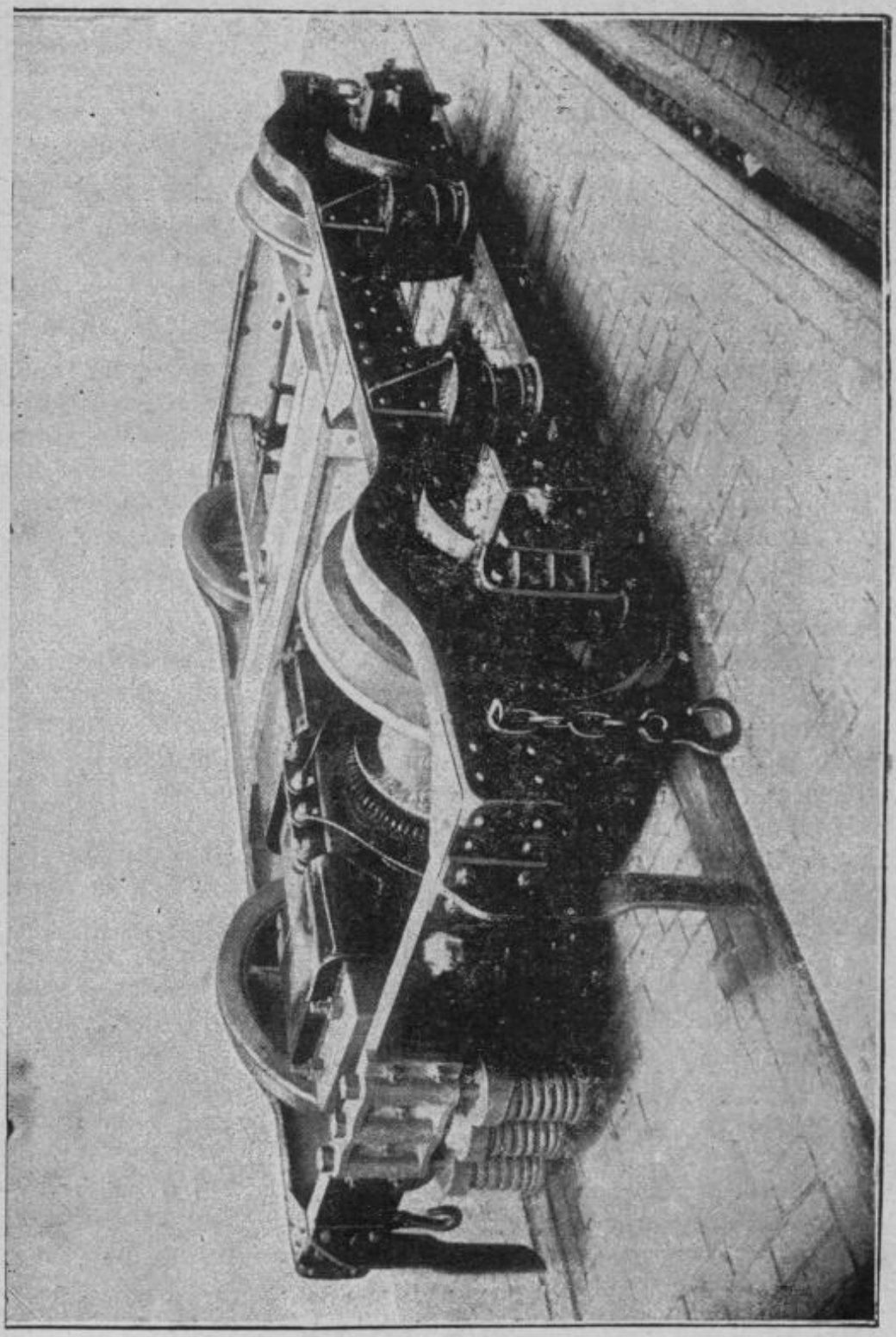


Fig. 171.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En outre, un rhéostat à vingt touches permet de modérer graduellement l'intensité du courant.

Les appareils d'accouplement, de mise en marche, ainsi que le rhéostat, sont placés dans la cabine du mécanicien.

Au démarrage, le courant envoyé dans les dynamos atteint 120 ampères.

En pleine marche, il n'est plus que de 50 ampères environ.

L'effort moteur à la jante des roues d'un essieu moteur est égal à :

76.5 kilogrammes (169 livres)	. . .	pour un courant de	5 ampères,
202.5 — (446 —)	. . .	—	de 50 —
et 447 — (1,052 —)	. . .	—	de 80 —

Comme au chemin de fer électrique souterrain de Londres, les trains sont munis de freins Westinghouse et de freins à main. Il n'y a pas de compresseur d'air sur les voitures, qui portent un réservoir d'air comprimé placé sous la caisse et renouvelé à chaque voyage.

Les trains sont composés de deux voitures automotrices à bogies, offrant chacune 57 places (16 de 1re et 41 de 2e classe).

Les caisses ont 13m70 (49 pieds 11 3/8 pouces) de longueur et 2m60 (8 pieds 6 3/8 pouces) de largeur; les bogies sont à deux essieux; les roues ont un diamètre de 838 millimètres (2 pieds 9 pouces). Le poids de chaque voiture vide est de 16 tonnes (15.7 tons). Un train de deux voitures pèse 31 tonnes à vide, 38 tonnes avec 114 voyageurs.

Exploitation. — D'une extrémité à l'autre de la ligne, il circule un train toutes les dix minutes depuis 5 heures jusqu'à 9 heures du matin; toutes les cinq minutes depuis 9 heures du matin jusqu'à 5 h. 30 m. du soir, et toutes les dix minutes depuis 5 h. 30 m. jusqu'à 8 h. 30 m. du soir.

Aux heures les plus chargées, c'est-à-dire entre 9 heures du matin et 5 h. 30 m. du soir, il y a à la fois douze trains sur la ligne.

On voit que, comme au chemin de fer électrique souterrain de Londres, les machines à vapeur de l'usine génératrice ont à fournir un travail très régulier.

Parcours annuel des trains	996,307 kilomètres.
Voyageurs	7,000,000
Recettes totales	1,325,000 francs.
Dépenses	900,000 —

Dépenses d'exploitation.

	Par train-kilomètre.
Entretien de la voie, des travaux et stations	13.94 centimes.
Traction (*locomotive power*)	22.42 —
Réparations et renouvellements aux voitures	1.31 —
Mouvement (*Traffic expenses*)	33.75 —
Frais généraux, taxes, etc.	19.00 —
Total. . .	90.42 centimes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépense de traction subdivisée.

	Par train-kilomètre.
Surveillance	2.496 centimes.
Station génératrice. Salaires	3.708 —
Salaires des conducteurs (*drivers*)	6.456 —
Charbon (en moyenne)	4.308 —
Huile, graisse, déchet de coton	0.840 —
Eau	0.060 —
Matières diverses	0.694 —
Nettoyage et réparations au dépôt des wagons. Salaires	3.270 —
Nettoyage et réparations au dépôt des wagons. Matériaux	2.304 —
	24.136 centimes.
A déduire pour signaux et éclairage.	1.716 —
Dépense de traction.	22.420 centimes.

d. — *Chemins de fer électriques du Salève (Haute-Savoie, France).*

Voie. — Les chemins de fer électriques du mont Salève (près Genève) présentent ce grand intérêt qu'ils sont les premiers chemins de fer de montagne à crémaillère où l'électricité ait été employée comme moteur. Construits de 1890 à 1893, ils ont été ouverts à l'exploitation, l'un en 1892, l'autre en 1893.

Ils partent de deux points, au pied du Salève, Étrembières et Veyrier, situés l'un à 408 mètres, l'autre à 428 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La ligne d'Étrembières, contournant les pentes du petit Salève, rejoint la ligne du Veyrier à la gare de Monnetier, située à 650 mètres au-dessus du niveau de la mer.

A partir de ce point, il n'y a plus qu'une seule ligne jusqu'à la gare des Treize-Arbres située sur le grand Salève, à 1,142 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La longueur totale des trois sections de ligne est égale à 9,100 mètres.

Les plus fortes pentes sur les deux sections inférieures varient de 10 à 25 p. c. et sur la section supérieure de 20 à 25 p. c.

L'installation électrique a été exécutée par la Compagnie de l'Industrie électrique, de Genève.

Voie. — La voie à écartement de 1 mètre est posée avec des rails Vignoles pesant 15 kilogrammes le mètre courant fixés sur des traverses métalliques.

Sur toute sa longueur, la ligne est munie d'une crémaillère Abt, à simple lame lorsque la pente est inférieure ou égale à 10 p. c. et à double lame lorsque la pente est supérieure à 10 p. c. (1).

(1) Concernant la construction des voies et bâtiments, consulter la *Revue générale des chemins de fer*, mars 1895, et les articles de M. du Riche-Preller de *Engineering*, mars et avril 1894.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Conducteur. — La tension sur le conducteur isolé est de 550 à 500 volts. Ce conducteur est constitué par un rail ayant même section et même poids que les rails porteurs, et il est placé extérieurement à la voie à 50 centimètres du rail porteur le plus proche. (Voir fig. 172.)

Ainsi que le montre la figure, le rail conducteur est retourné ; son patin, utilisé comme surface de contact, est à 266 millimètres au-dessus des rails porteurs.

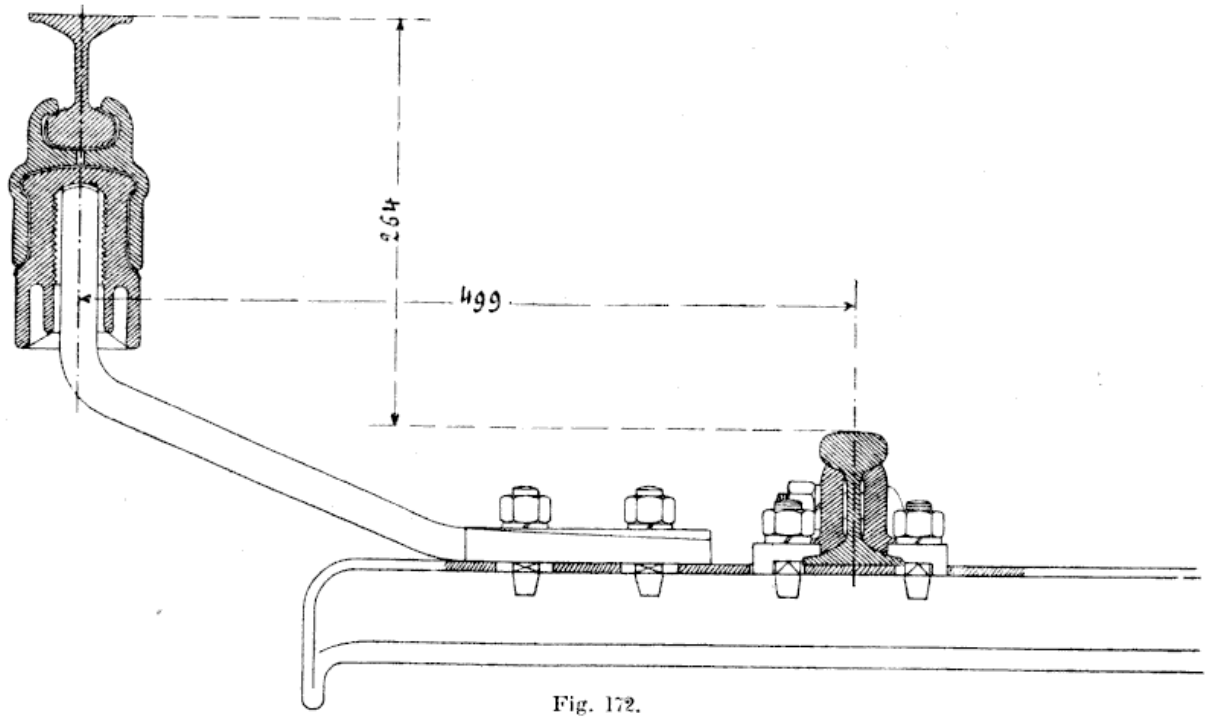


Fig. 172.

Toutes les deux traverses, le champignon du rail est tenu par des mâchoires en fonte portées par des isolateurs en porcelaine à double cloche, ceux-ci étant à leur tour portés par des tiges de fer courbé fixées chacune par deux boulons à la partie supérieure de la traverse.

Les jonctions des rails conducteurs sont faites au moyen d'une éclisse ordinaire en acier et d'une éclisse en cuivre de l'autre côté.

De distance en distance, pour permettre la dilatation, l'espace entre deux rails consécutifs a été porté à quelques centimètres.

Les éclisses sont alors remplacées par un double câble en cuivre relié à chacun des rails.

Afin de faciliter le passage des frotteurs, les extrémités des deux rails sont courbées.

Le rail conducteur est placé à gauche de la voie lorsqu'on se dirige d'Étrembières ou de Veyrier vers les Treize-Arbres.

Aux aiguillages, il y a un rail conducteur auxiliaire à droite pour assurer le contact, ce rail étant relié au rail conducteur principal par un câble isolé passant sous la voie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les frotteurs placés sur chaque voiture sont au nombre de quatre, deux de chaque côté, de sorte que le courant n'est jamais interrompu, même au droit des coupures du rail conducteur.

Le retour du courant se fait par les rails de la voie.

Pour améliorer la conductibilité électrique de la voie, les extrémités des rails consécutifs sont réunies par des bouts de câble en cuivre fixés dans des trous percés dans l'âme de ces rails.

Cette précaution, qui avait été omise au moment de la mise en service du chemin de fer du Salève, a permis d'éviter tous les troubles qui s'étaient produits au début dans le fonctionnement des lignes télégraphiques et téléphoniques voisines.

Usine génératrice. — L'usine génératrice du chemin de fer du Salève est située à Arthaz, non loin du village de Mornex, et est mise en marche par l'Arve. Un barrage de 60 mètres de longueur, établi sur la rivière, permet d'obtenir une chute de 3 mètres de hauteur environ avec un débit utilisable de 20 mètres cubes par seconde.

Le bâtiment des machines comprend quatre chambres de turbines à axe vertical, trois grandes et une petite, de 8 mètres de hauteur.

Le matériel hydraulique est composé : 1° de deux turbines Jonval d'un diamètre extérieur de 3 mètres et tournant normalement à la vitesse de 45 tours par minute; à cette vitesse, avec un débit de 9 mètres cubes, elles ont chacune une puissance effective de 250 chevaux; 2° d'une petite turbine à axe vertical de $1^{m}200$ de diamètre, tournant à 95 tours par minute et d'une puissance de 28 chevaux effectifs.

Chacune des grandes turbines actionne une grande dynamo Thury à douze pôles, à axe vertical. (Voir fig. 173.) L'armature, qui a $2^{m}50$ de diamètre, est montée directement sur l'arbre vertical de la turbine.

A la vitesse de 45 tours, le débit normal est de 275 ampères sous 600 volts.

Ces dynamos sont à excitation indépendante, le courant moyen d'excitation est fourni par une petite dynamo Thury de 20 H. P., tournant à 900 tours et actionnée au moyen d'une courroie par la petite turbine.

Le courant moyen d'excitation pour les deux grandes dynamos est de 90 ampères à 100 volts, soit 45 ampères par dynamo. L'induction est complétée par un court enroulement-série. Le poids de cuivre sur les inducteurs atteint 1,450 kilogrammes. Les plaques d'aimant sont en fer forgé et les pièces polaires en fonte disposées en couronne horizontale.

L'armature du type à cylindre creux, forme cloche, porte l'enroulement multipolaire Thury, formé de 451 sections, donnant un poids de cuivre total de 178 kilogrammes.

Le collecteur qui a un diamètre extérieur de $1^{m}80$ est composé de 451 sections en cuivre rouge étiré, isolées au mica.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le courant est recueilli à la surface du collecteur au moyen de 48 frotteurs en charbon cuivré disposés par série de quatre sur douze bras.

On a obtenu le réglage de la tension sur la ligne par deux moyens : par l'action d'un régulateur automatique de force électro-motrice agissant sur le courant de l'excitatrice, sous l'influence des variations du voltage de la génératrice, et par l'enroulement-série qui tend à renforcer le champ magnétique à mesure que le courant augmente dans la ligne principale. Ces génératrices marchent rarement à pleine charge.

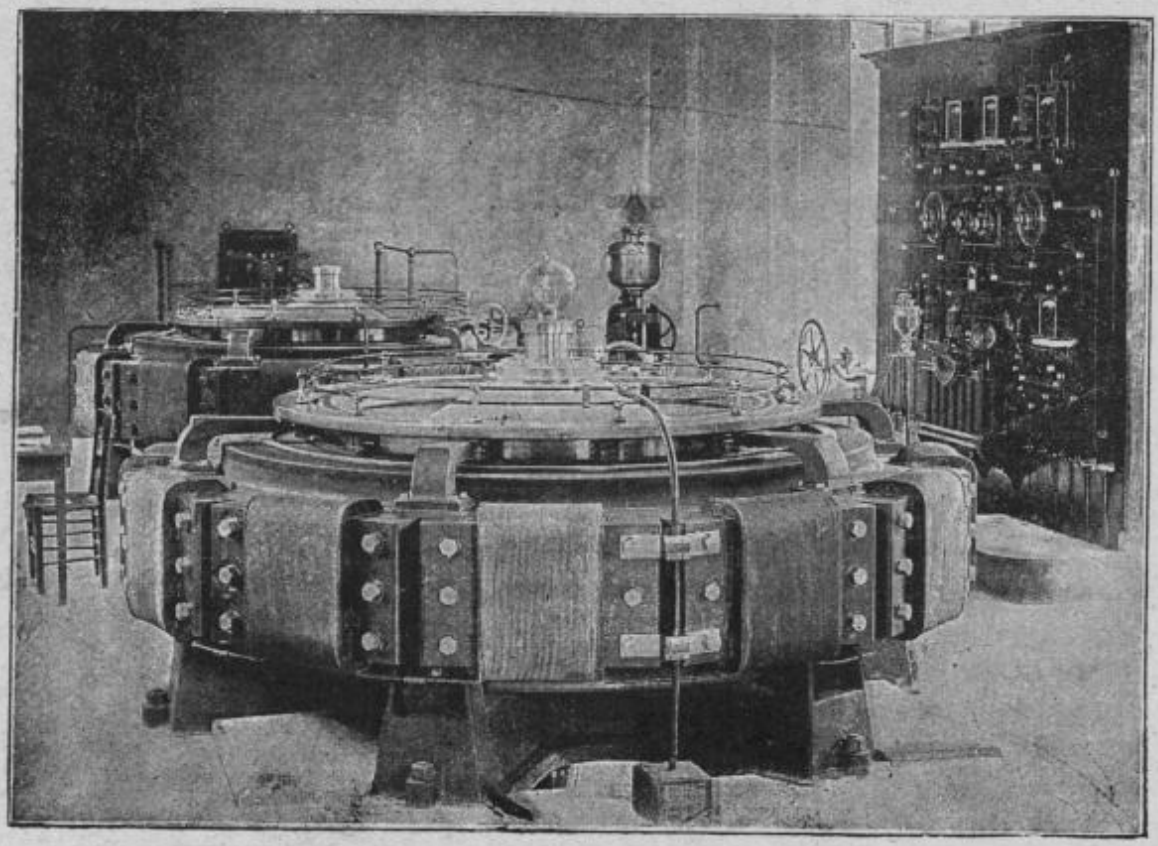


Fig. 173.

L'énergie électrique produite à l'usine est transmise vers la gare de Monnetier, en un point éloigné d'environ 1,700 mètres, au moyen de deux câbles de 430 millimètres carrés en cuivre nu portés sur des poteaux en bois au moyen d'isolateurs en porcelaine; l'un de ces câbles est relié au rail isolé, l'autre est relié aux rails de la voie. Ce point d'alimentation est à peu près au milieu d'une des lignes, à sa jonction avec l'autre (1).

(1) Le point d'alimentation n'est pas au milieu géométrique de la grande ligne, mais, eu égard aux situations des rampes et à la densité du courant requise sur les différents tronçons, ce point est *au centre de gravité électrique du système*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En sus des câbles principaux, les poteaux portent encore des fils pilotes reliés aux câbles principaux à la gare de Monnetier, et aboutissant, d'autre part, au régulateur Thury placé dans l'usine génératrice. Ce régulateur agit sur l'excitation des grandes dynamos, dans le sens voulu pour que le voltage, à Monnetier, se maintienne constamment égal à 550 volts environ, malgré les variations du débit.

Voitures. Electro-moteurs. — Le service est fait par des voitures automotrices circulant isolément et contenant 40 voyageurs (fig. 13), dont 32 assis.

La longueur des voitures est de $8^{m}50$ de tampon en tampon.

Le châssis est porté par trois essieux; la distance des essieux extrêmes est de $3^{m}28$.

Le diamètre des roues est de 600 millimètres, et l'une des roues de chaque essieu extrême est folle sur l'axe afin de faciliter le passage dans les courbes. Il en est de même des deux roues de l'essieu du milieu, qui, de plus, sont dépourvues de boudin.

Les roues de la voiture n'ont aucun travail à faire, l'avancement étant obtenu uniquement par deux roues dentées qui engrènent avec la crémaillère.

Chaque voiture est munie de deux moteurs qui conduisent chacun une paire de pignons, au moyen d'un système d'engrenages à double réduction de vitesse (voir fig. 9, chap. I-A) dans le rapport de 14 : 1.

Ces moteurs sont à quatre pôles, du système Thury, avec excitation en série. Ils développent normalement 30 chevaux à 600 tours par minute, ce qui correspond à une vitesse un peu inférieure à 6 kilomètres à l'heure, atteignent 40 et même 50 H. P.

Le bâti de chaque moteur est porté, d'une part, par un des essieux extrêmes; d'autre part, par l'essieu du milieu, de sorte que les vibrations ne se transmettent pas à la caisse.

Le poids maximum d'une voiture en charge s'établit comme suit :

Caisse et châssis.	4,400 kilogrammes.
Moteurs et engrenages.	6,000 —
Voyageurs et bagages	3,600 —
Total. . .	14,000 kilogrammes.

Les deux moteurs de chaque voiture sont couplés en série.

Les frotteurs servant à la prise du courant sont reliés aux appareils de mise en marche et de réglage, un sur chaque plate-forme. Ces frotteurs sont des sabots en bronze très massifs et pourvus de ressorts de pression.

Le courant passe successivement par un coupe-circuit fusible, un ampèremètre, un interrupteur, le rhéostat de réglage, les moteurs et, de là, aux rails et au circuit de retour.

L'appareil de mise en marche est commandé par un levier qui fait mouvoir le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

commutateur du rhéostat. Il y a une rangée de douze contacts pour le mouvement avant et une autre pour le mouvement arrière. Le rhéostat est constitué par une série de spirales en fil de fer reliées à ces contacts; il est placé sous l'une des plates-formes de la voiture. (Voir I-A-2.)

Chaque voiture est munie de freins à main très puissants, au nombre de deux sur chaque plate-forme. Les vis de ces freins agissent sur des mâchoires en bronze pressant des tambours cannelés montés sur le prolongement de l'arbre de chaque moteur. Ces sabots sont creux et sont refroidis au besoin par l'eau contenue dans un réservoir de 100 litres.

Indépendamment du frein à main ci-dessus, on emploie couramment le freinage électrique, qui est obtenu en isolant les moteurs des frotteurs et en les mettant en court circuit sur le rhéostat. Par temps chaud, et lorsque la charge et très forte, les moteurs s'échauffent notablement pendant la montée et l'on profite du temps de la descente pour les laisser refroidir; dans ce cas seulement, on ne se sert du freinage électrique qu'en cas d'arrêt subit, en mettant les moteurs en court circuit.

En marche normale, le voltage aux voitures est un peu supérieur à 500 volts.

Dans les rampes de 25 p. c. à pleine charge, l'intensité du courant fourni à une voiture atteint 115 ampères. On atteint parfois 160 ampères.

La durée du trajet du pied de la montagne à la gare de rencontre de Monnetier est de 40 minutes, et de 20 minutes entre ce point et le sommet.

Dépenses d'établissement.

Terrains	100,000 francs.
Terrassements	200,000 —
Travaux d'art	200,000 —
Voie et rail conducteur	460,000 —
Gares, abris, restaurant, mobiliers	200,000 —
Station génératrice	410,000 —
Ligne de transport	40,000 —
Téléphone, clôture, outils	30,000 —
12 voitures	300,000 —
Concession, administration, surveillance	240,000 —
Intérêts pendant construction	120,000 —

Exploitation. — Les chemins de fer du Salève travaillent toute l'année, sauf quelques interruptions de peu de durée, dues surtout à de grandes chutes de neige sur le sommet ou à la présence de glace dans les chambres des turbines, ou à des crues d'eau extraordinaires. Ils sont desservis par 12 voitures. Le service d'été comprend trente départs pour les deux sens les jours de semaine, et quarante les dimanches et les jours de fête. Le service d'hiver comprend quinze départs seulement.

Le nombre maximum des voitures-kilomètres par jour est de 276 et la moyenne de l'année 114.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les trains sont formés d'une ou deux voitures motrices. On attelle à certains trains un petit wagon pour le transport de l'eau aux hôtels et des grosses marchandises.

Frais d'exploitation. — Parcours en 1894, 41,674 voitures-kilomètres. Dépenses d'exploitation, 75,341 francs, se répartissant comme suit :

	Par voiture-kilomètre.
Administration	28 centimes.
Entretien et surveillance de la voie	14 —
Exploitation	30 —
Traction et matériel	44 —
Usine génératrice	16 —
Impôt et dépenses diverses	37 —
Publicité	12 —
Total.	181 centimes.

En séparant les dépenses de l'usine génératrice de celles de la traction et du matériel, y compris l'entretien du rail de prise de courant et divers, on arrive à 66 centimes pour les frais de traction.

c. — *Embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près Saint-Étienne.*

Dans son rapport au Congrès des chemins de fer de 1895, à Londres, M. Auvert, ingénieur de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, donnait sur cette ligne les renseignements qui suivent.

Voie. — La Compagnie possède près de Saint-Étienne un embranchement de 2,000 mètres (2,840 yards) de longueur, partant de la gare du Clapier (ligne de Saint-Étienne à Langeac), exclusivement affecté au transport des charbons provenant des puits Montmartre (Compagnie des mines de la Loire), Saint-Dominique et Ferrouillat (Compagnie des mines de Montrambert)

De la gare du Clapier jusqu'à la gare Montmartre, la voie en ligne droite a une inclinaison de 66 millimètres par mètre ($^1/_{15}$) et le service est fait au moyen d'un plan automoteur sur lequel les trains descendants sont uniformément composés de huit wagons houillers chargés, et les trains montants de huit wagons houillers vides, chaque train montant étant relié à un train descendant par un câble métallique passant sur une poulie horizontale installée au sommet du plan.

Depuis la gare de Montmartre jusqu'à la Béraudière, extrémité de la ligne où se trouve le puits Saint-Dominique, la rampe maximum est de 14 millimètres par mètre ($^1/_{72}$) et le service était fait, jusqu'au commencement de l'année 1894, par des locomotives à vapeur du type de celles employées aux manœuvres des gares.

Entre Montmartre et la Béraudière existent deux souterrains, dont l'un, situé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

près de la gare de Montmartre; a subi de fréquentes déformations par suite des mouvements de terrain provenant des travaux du fond effectués dans la mine desservie par les puits Montmartre.

Pendant l'année 1893, de nouveaux tassements se sont produits, qui ont fait craindre un éboulement total, et on décida de boiser le souterrain de Montmartre sur 150 mètres de longueur.

Le boisage ne devant plus laisser un espace suffisant pour le passage des locomotives ordinaires, on se résolut à installer la traction électrique depuis l'origine du souterrain jusqu'à la Béraudière.

L'ensemble du système adopté est le suivant :

Une usine génératrice d'électricité fournit le courant à un conducteur nu placé près du sol latéralement à la voie sur des supports isolants.

Un locomoteur électrique à deux essieux, du poids de 15 tonnes, reçoit le courant au moyen de frotteurs en fer (fig. 174 et 175) suspendus au châssis, dont ils sont isolés par des supports en chêne et ébonite.

Ces frotteurs sont appuyés par leur propre poids sur le conducteur latéral le long duquel ils glissent.

Le retour du courant se fait par les rails de la voie, qui sont, comme le conducteur isolé, reliés à la dynamo de l'usine.

Usine génératrice. — L'usine génératrice comprend :

1° Un générateur de vapeur constitué par une ancienne chaudière de locomotive Crampton;

2° Un moteur pilon compound Weyher et Richemond de 50 chevaux, à échappement libre, tournant à 275 tours par minute;

3° Une dynamo bipolaire Hillairet Huguet, de 30 kilowatts, actionnée directement au moyen d'un plateau d'accouplement élastique par le moteur à vapeur et donnant normalement une différence de potentiel de 360 volts;

4° Un tableau de distribution comprenant un voltmètre, un ampèremètre, un parafoudre et deux interrupteurs, un pour le conducteur isolé, un autre pour le conducteur de retour.

Conducteur. — Le conducteur isolé est constitué par une file de rails de 34 kilogrammes environ le mètre courant, placés sur des tasseaux en bois paraffiné, fixés eux-mêmes sur des sommiers en bois reposant sur les extrémités des traverses (fig. 176, 177, 178).

La partie supérieure de ce conducteur se trouve à 229 millimètres au-dessus du niveau des rails et à 320 millimètres de l'axe du rail voisin.

Le conducteur est placé tantôt à droite, tantôt à gauche de la voie. Toutefois, dans les appareils de changements de voie à trois directions, le conducteur correspondant à la voie du milieu est placé entre les rails de cette voie. On voit sur les figures (fig. 179 et 180) les trois emplacements que peut occuper le conducteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les extrémités des rails conducteurs ont été soigneusement nettoyées au moment de la pose, ainsi que les éclisses, et on a interposé entre chaque éclisse et la partie correspondante du rail, une mince feuille de cuivre rouge.

Ce système très simple a suffi pour assurer dans d'excellentes conditions la continuité électrique.

Le retour du courant se fait par les rails de la voie, éclissés à la manière ordinaire et, en outre, par un fil de cuivre de 6 millimètres de diamètre, noyé dans le ballast et relié aux rails de la voie de distance en distance. Le développement total du conducteur, tant sur la voie principale que sur les voies de service, est de 2,700 mètres.

Locomoteur électrique (fig. 179 à 182). — Sur un châssis de fourgon à deux essieux, on a fixé un plancher supportant une petite caisse vitrée dont le gabarit a été déterminé d'après les dimensions intérieures du passage dans le souterrain de Montmartre après boisage et dans laquelle ont été installés le moteur électrique et les appareils de manœuvre.

Le moteur est du type bipolaire Hillairet Huguet et a une puissance normale de 25 kilowatts à 720 tours. Il est excité en série. (Voir chap. I-A-*e*.)

Le noyau de fer de l'induit a un diamètre de 360 millimètres et une largeur de 300 millimètres.

Ce moteur commande, au moyen d'un pignon en bronze et d'une roue à chevrons en fonte, un arbre intermédiaire supporté par deux paliers fixés sur le châssis.

Un double pignon à dents, placé sur cet arbre, actionne deux chaînes Galle, à maillons pleins, dont chacune entraîne une roue dentée en fonte fixée sur chaque essieu.

La roue à chevrons est clavetée sur l'arbre intermédiaire, tandis que le double pignon à dents est fou sur cet arbre.

Lorsqu'on lance le courant dans le moteur électrique, le double pignon est rendu solidaire de la roue à chevrons par un embrayage magnétique de Bovet, en acier fondu.

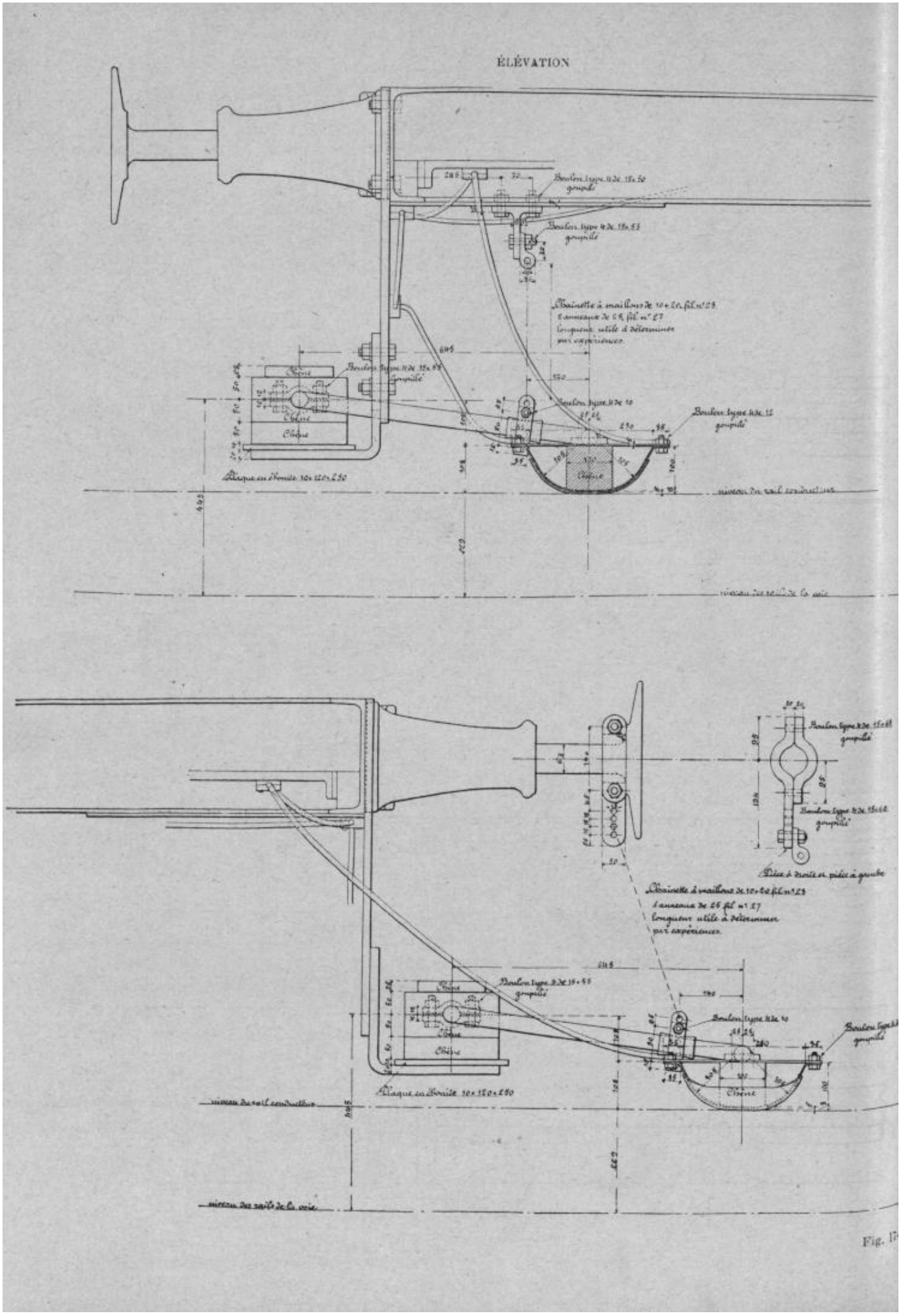
Cette disposition permet de débrayer l'engrenage et de ne pas freiner la dynamo quand le locomoteur marche par puissance vive, ou par la gravité sur une pente.

L'appareil de mise en marche consiste en un rhéostat à 28 touches, dont le levier de manœuvre est enclenché avec un autre levier qui permet de changer la marche en renversant le sens du courant dans les inducteurs. (Voir fig. 182.)

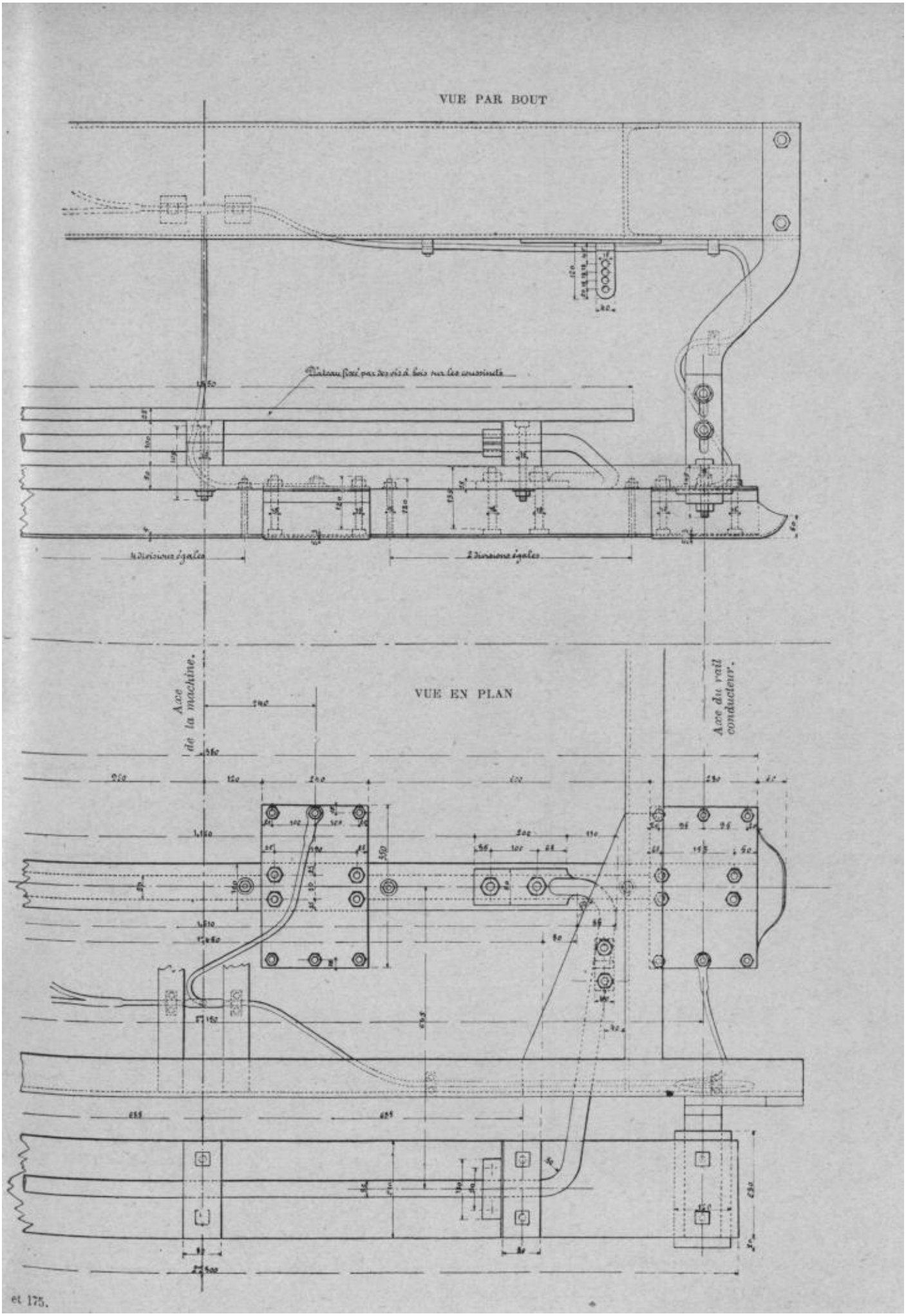
Dans la caisse vitrée se trouvent, en outre des appareils indiqués ci-dessus, un ampèremètre, un interrupteur à levier, un avertisseur acoustique destiné à remplacer le sifflet, la manivelle de commande du frein à main et, enfin, un siège pour le conducteur.

L'éclairage intérieur de la caisse est obtenu au moyen de quatre lampes à incandescence montées en tension.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



et 175.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

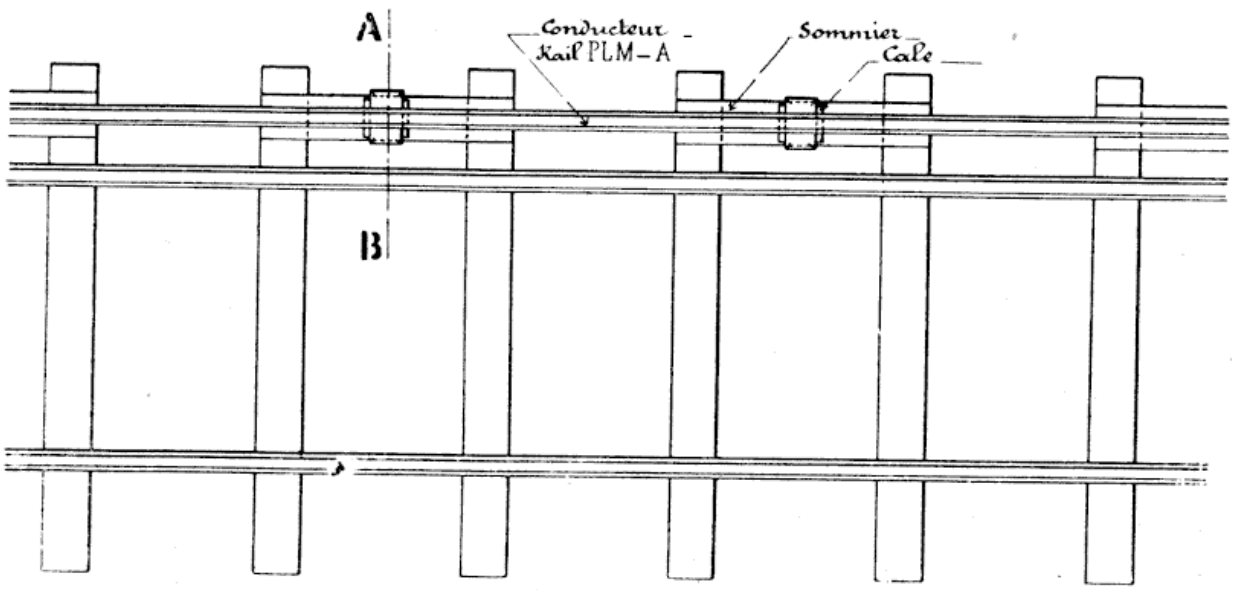


Fig. 176.

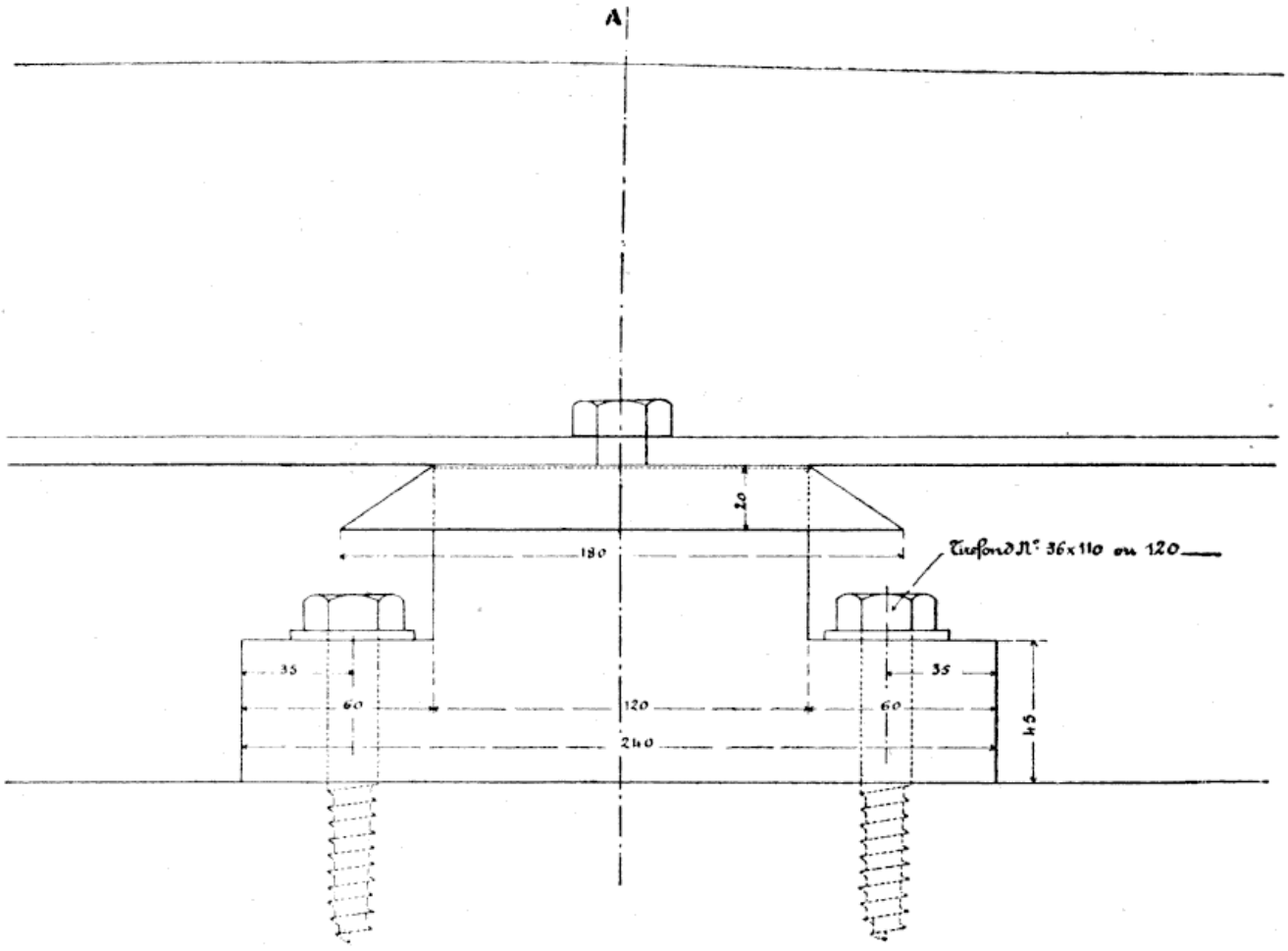


Fig. 177.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

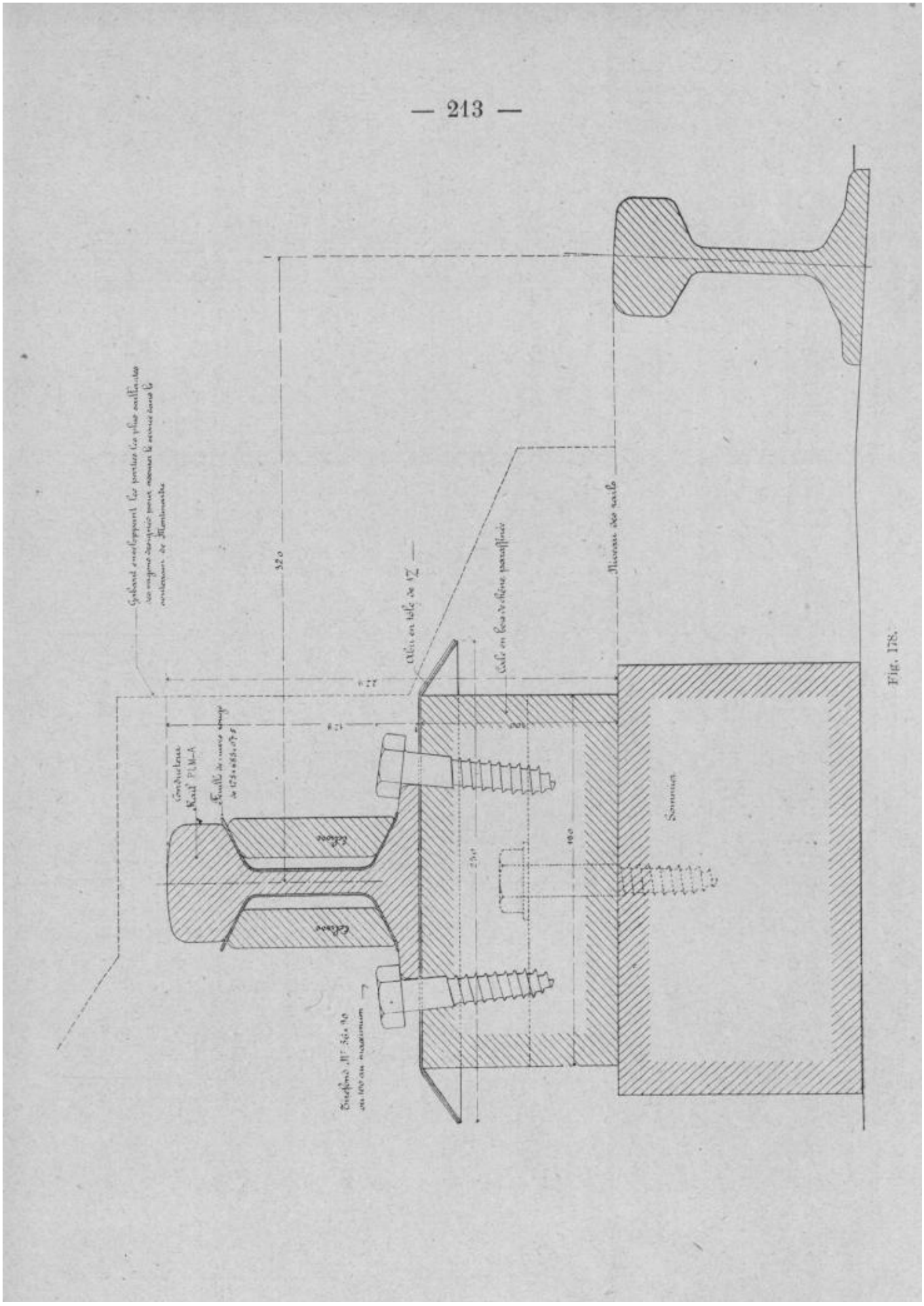
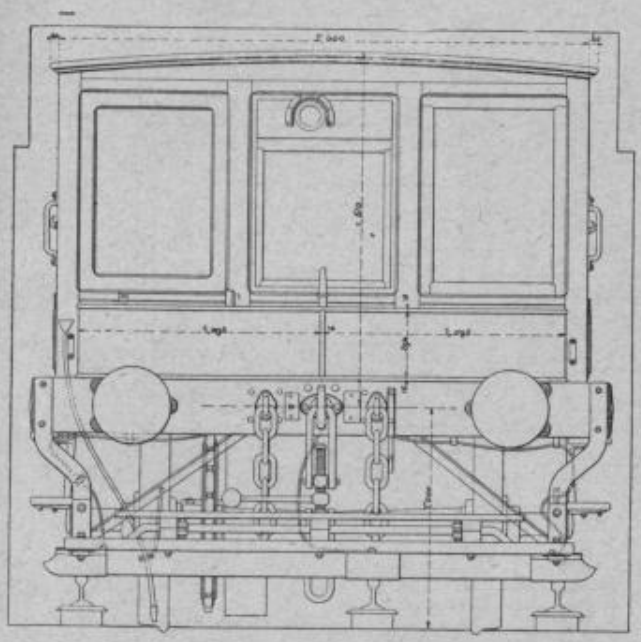
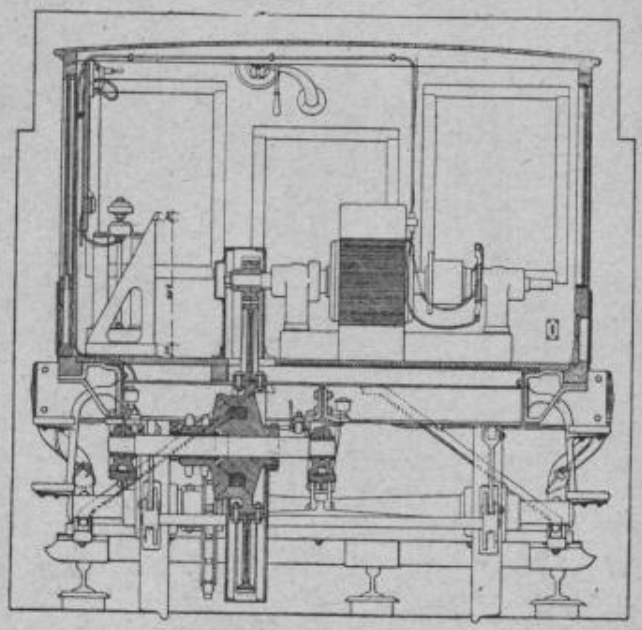


Fig. 178.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires





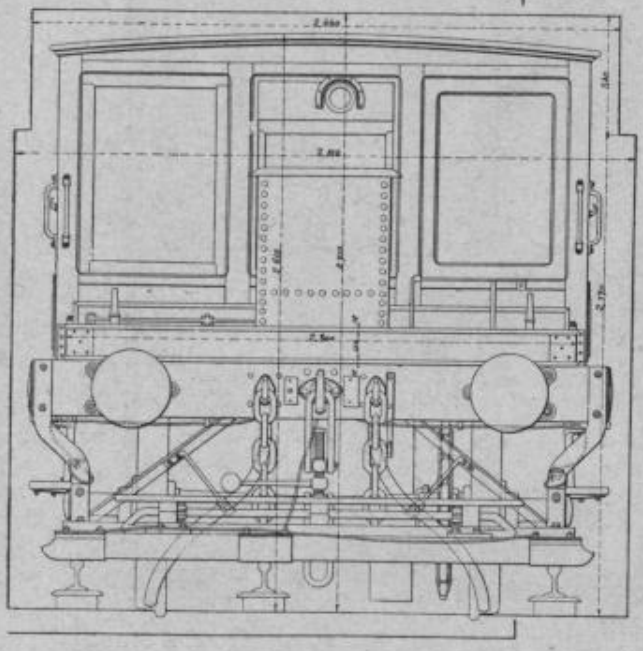


Fig. 179.

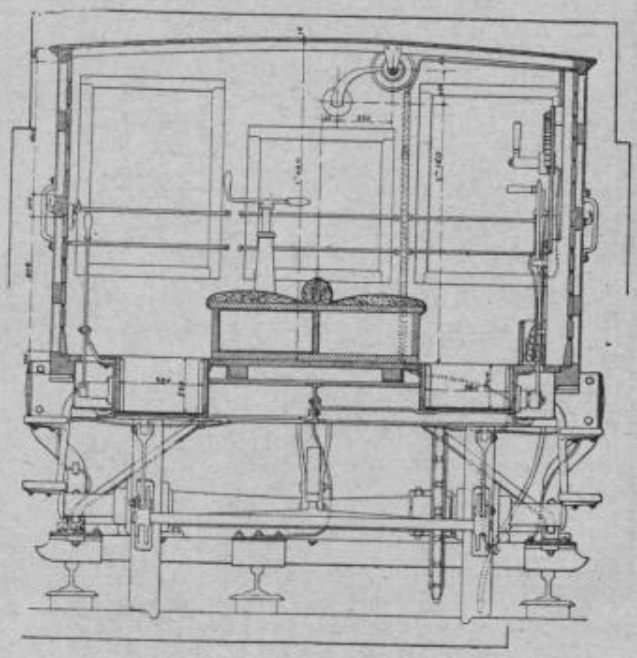


Fig. 180.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

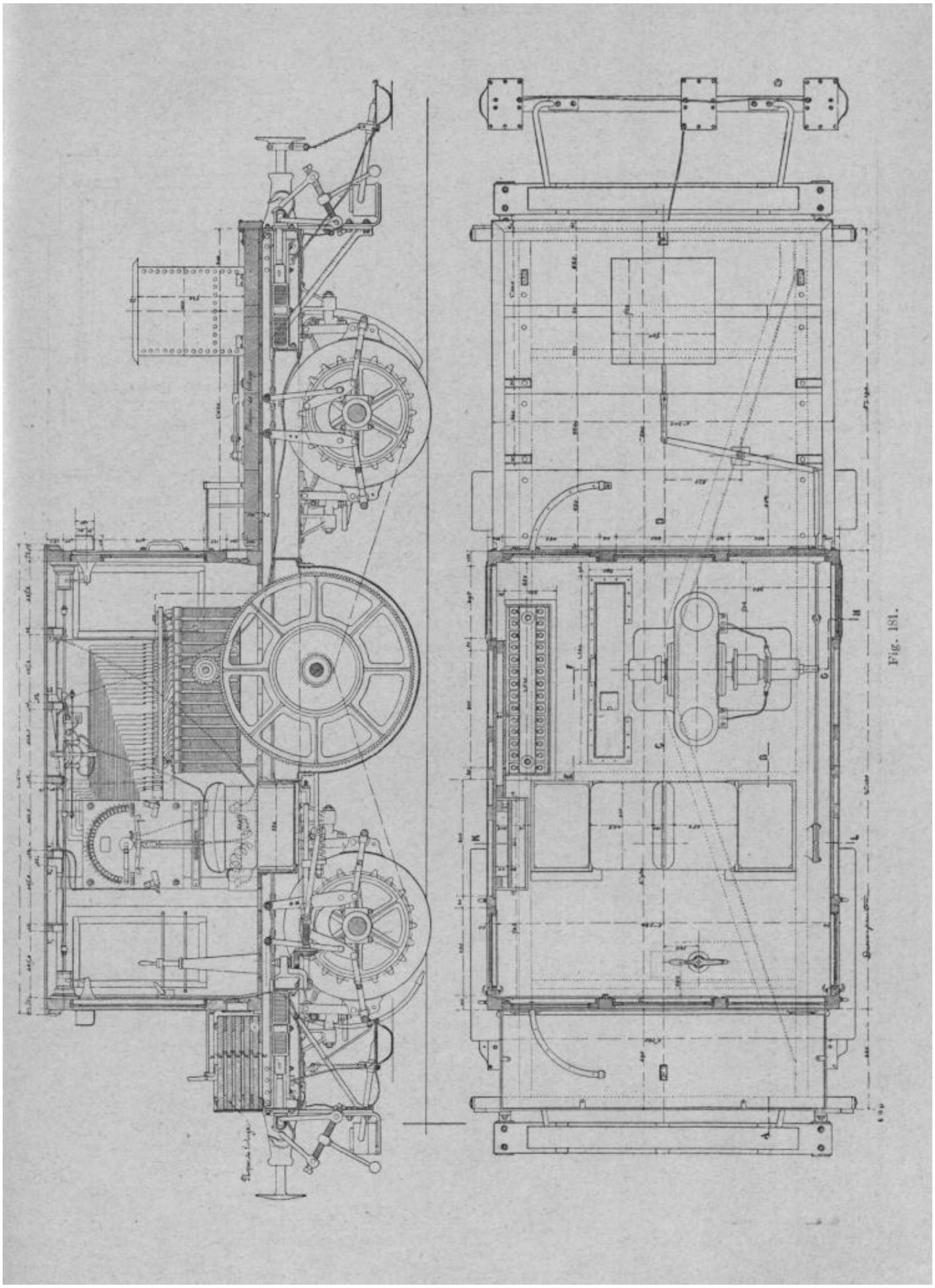


Fig. 181.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

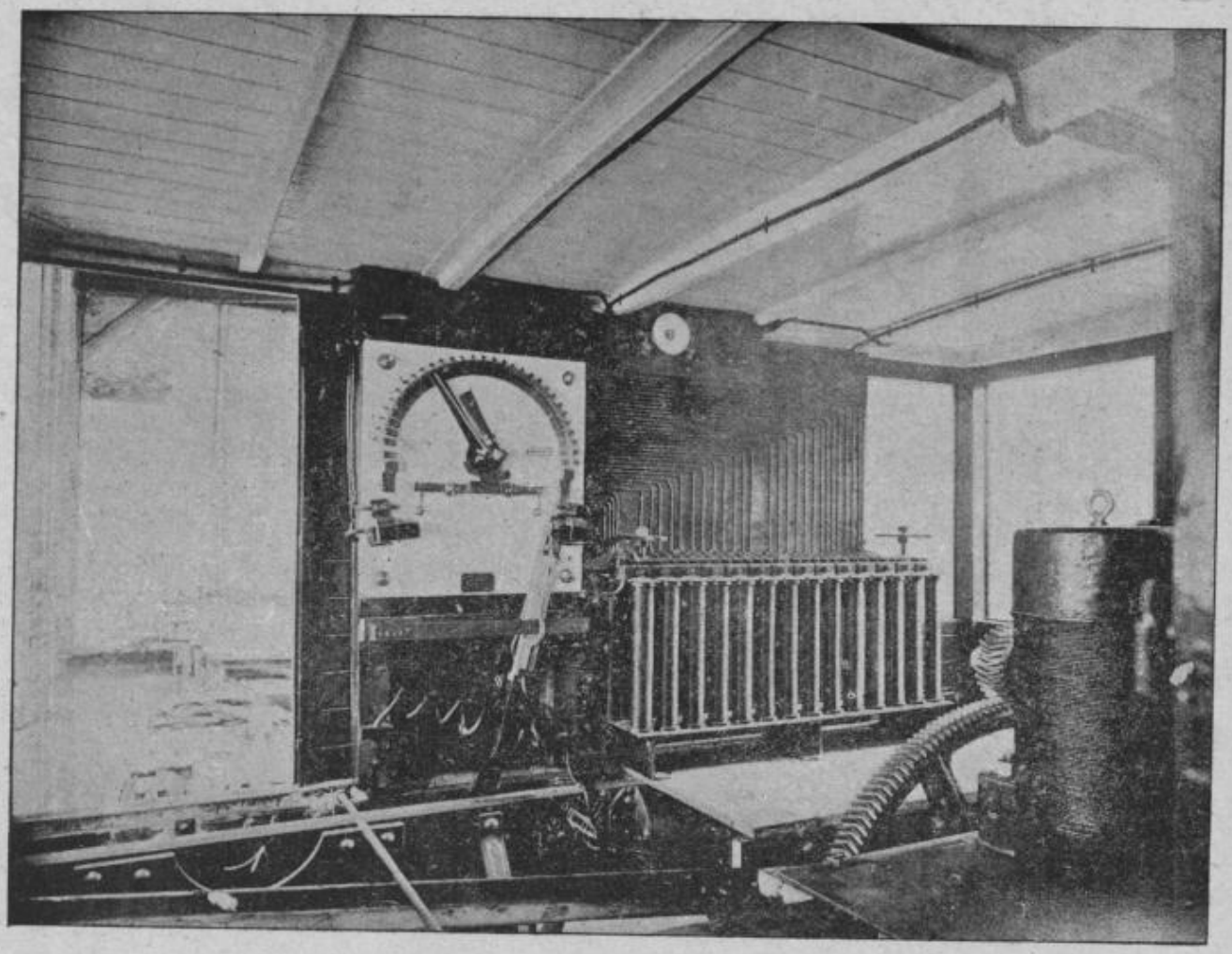


Fig. 182.

Le locomoteur électrique qui vient d'être décrit remorque, de Montmartre à la Béraudière, des trains de huit wagons vides, à la vitesse de 6 kilomètres à l'heure, en rampe de 14 millimètres, et de 7 à 8 kilomètres dans le reste du parcours.

Il retient à la descente des trains de huit wagons chargés, à la vitesse de 8 à 10 kilomètres.

Le nombre des trains atteint 12 à 15 dans chaque sens.

La traction électrique fonctionne d'une manière régulière, entre Montmartre et la Béraudière, depuis la fin de janvier 1894, et il ne s'est produit d'autre incident que deux légères avaries à l'induit du moteur électrique, avaries qui sont dues à des causes indépendantes du système.

On a pu constater :

1° Que la consommation de charbon journalière est légèrement inférieure à celle de la locomotive à vapeur qui faisait le service auparavant;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Que la pluie et la neige ne nuisent pas d'une façon appréciable à l'isolement du conducteur, et ne gênent nullement le fonctionnement de la traction électrique, bien que les isolateurs soient simplement constitués par des tasseaux en bois paraffiné.

Remarque. — Lors du passage des trains descendants, le conducteur est arrosé par de l'eau tombant des wagons chargés pour la plupart de menus lavés, et les 1,350 isolateurs qui supportent le rail conducteur restent plus ou moins couverts de poussière de houille. Malgré cette circonstance très défavorable, la perte totale de courant sur la ligne est de 5 ampères environ.

f. — *États-Unis.*

Chicago. — Sur le plan du chemin de fer élevé de Liverpool, il a été créé à Chicago un vaste réseau non encore terminé de *Elevated Railroads*. Rien de caractéristique au point de vue de la traction, si ce n'est l'emploi de moteurs à engrenages, recul manifeste comparativement aux moteurs gearless de Liverpool. On a, du reste, sous ce rapport imité les moteurs à une paire d'engrenages de l'Intramural de la *World's Fair*.

Nous pouvons donc nous borner à des indications générales concernant cette entreprise.

Le *West Metropolitan* est situé presque tout entier dans le district de l'ouest de la ville. Il comprendra :

LIGNES.	STATIONS.	NOMBRE DE VOIES.	KILOMÈTRES	
			de lignes.	de voie simple.
Rue Franklin vers l'avenue Marshfield .	5	4 voies.	2.8	11.2
Ligne du Garfield Park	3	2 —	6.4	12.8
— du Longan Square	9	2 —	7.2	14 4
— du Humbolt Park	5	2 —	3.6	7.2
— du Douglas Park	11	2 —	6.0	12.0
	43	...	26.0	57.6

La prise de courant s'opère sur des rails de 20.3 kilogrammes portés par isolateurs en blocs de bois paraffinés, longeant extérieurement la voie et surélevé de 15 centimètres sur longrines. Les frotteurs sont des patins en fonte articulés par des petites bielles à des supports en bois. Il en existe deux à chaque voiture (fig. 183). Deux estropes en cuivre de 7 millimètres d'épaisseur rivées aux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux côtés du patin servent de connexions aux abouts de ces rails de contact, tandis que les rails de roulement servant de retour sont dépourvus de connexions ; de celles-ci tient lieu le tablier métallique du chemin de fer sur lequel reposent les rails. Une partie des feeders sont en rails également de 20.3 kilogrammes, une partie en câbles de cuivre.

L'usine génératrice a débuté par 6,000 H. P. pour être portée à 12,000 H. P. en partie avec dynamos de 1,500 kilowatts, en partie de 800 kilowatts. On a mis d'abord en service 55 voitures motrices et 100 remorquées, à bogies de 15 mètres de longueur. Les motrices, munies de deux moteurs G. E. 2,000 mesurant 1m27 sur 84 centimètres et de régulateurs série parallèle, sont des voitures à banquettes longitudinales, les remorquées sont à 48 places. Poids d'une voiture motrice, caisse, châssis, roues, 18 tonnes; chaque moteur, 2 tonnes.

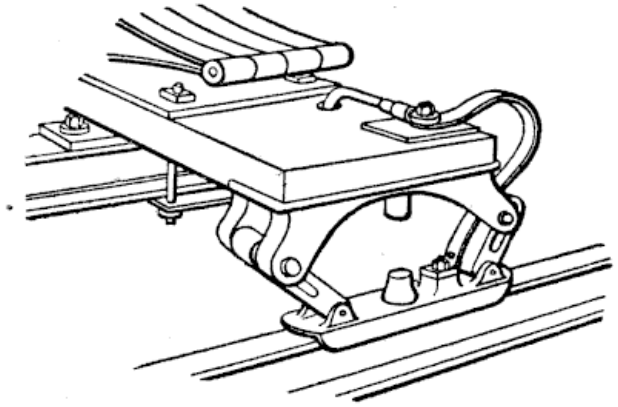


Fig. 183.

Les trains de 2 ou 3 voitures sont freinés par frein à action directe et portent une charge d'air pour un voyage. Certains trains sont chauffés électriquement à raison de 12 chaufferettes par train, prenant ensemble 14 ampères à 500 volts. La vitesse est de 26 kilomètres à l'heure, vitesse commerciale.

La dépense dépassera pour ce réseau 33 millions de francs, non compris le coût des expropriations.

Le *Lake Street Elevated* de la même ville et qui était exploité à vapeur a été transformé, en 1896, pour la traction électrique. Ce sont à peu près les mêmes conditions d'exploitation. On y a préféré, pour soutenir les rails de prise de courant, des isolateurs spéciaux formés d'une cloche en fonte coiffant une masse de matière isolante fixée au bout d'une tige métallique qui, par son bout inférieur, est maintenue dans un pied vissé sur les longrines. On n'y emploie pas les feeders en rails. Il y a 30 cars-moteurs, toujours munis du G. E. 2,000, qui sont d'anciennes voitures transformées de l'exploitation à vapeur.

Nantasket Beach Railway. — Sur cette branche, située dans le Massachusetts, du « New York, New Haven and Hartford Railroad », l'électricité a été substituée à la vapeur avec transmission aérienne d'abord. (Voir chap. IV.) Mais certains inconvénients de ce système ont fait donner la préférence à la transmission par troisième rail pour un second tronçon de la même branche, de *Nantasket junction à East Weymouth.*

Voie. — Ce troisième rail pèse 42.5 kilogrammes par mètre. Il repose sur de simples blocs en bois créosoté.

Dans la partie supérieure, sa forme est celle des rails ordinaires, mais au bas le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

patin est rabattu de chaque côté en deux prolongements inclinés à 45°, dans le but de tenir les blocs isolateurs à l'abri de la pluie. Cet isolement suffit. On a même observé qu'un bas-fond s'étant un jour trouvé inondé, l'ensemble n'avait pas cessé de fonctionner convenablement. Il va de soi que ces rails sont connectés par des tiges de cuivre, de même que les rails porteurs qui assurent le retour du courant.

La longueur de ce tronçon est de 6 kilomètres; l'isolement est tel que, selon l'état de l'atmosphère, la perte de courant se maintient entre $^1/_2$ et 2 ampères pour la longueur entière.

Aux passages à niveau, au nombre de vingt, le troisième rail est simplement interrompu, étant continué électriquement par un bout de câble sous sol. Les sabots capteurs de courant fixés aux deux bouts de la voiture permettent de franchir ces espaces sans rupture du circuit.

Dans les gares, la lacune étant trop longue a été comblée par un bout de fil aérien, les voitures étant équipées dans les deux systèmes.

Voitures. — Elles sont au nombre de 24, 12 motrices à deux moteurs pesant 33 tonnes et 12 remorquées pesant 28 tonnes, toutes voitures ouvertes à sièges normaux au grand axe et à 100 places. L'éclairage est électrique. Le freinage s'opère à air comprimé, la pompe Westinghouse étant mue électriquement. On peut dès lors, par les mauvais temps, substituer à la voiture remorquée ouverte un car fermé ordinaire de la Compagnie. Tout le matériel, du reste, est interchangeable avec celui du service à vapeur, caisses, châssis, roues porteuses, etc. Les réservoirs du frein à air desservent en même temps le sifflet.

Cet équipement est muni à la fois de patins pour le troisième rail et de trolleys pour la première section d'essai appareillée au système aérien.

Exploitation. — Desservant des stations balnéaires et autres résidences estivales, la Nantasket Beach Branch n'est exploitée électriquement que durant l'été. En hiver, une locomotive à vapeur suffit pour assurer le trafic et la station génératrice est fermée. D'ailleurs, le service à vapeur n'est jamais interrompu.

Le trafic des voyageurs varie considérablement avec l'époque et le temps, entre 1,000 et 20,000 personnes par jour. Pendant l'été de 1896, il en a été transporté 700,000 environ, sans aucun accident. Le courant en pleine tension a été reçu par certains employés, parfois intentionnellement, sans souffrance permanente.

La distance entre les gares de « Nantasket Junction » et de « East Weymouth » est exactement de 3.61 milles, soit 5.81 kilomètres, et les trains électriques mettent 10 minutes, dans chaque sens, à la parcourir. Il y a deux stations intermédiaires. La vitesse, en pleine voie, n'est donc pas éloignée de 50 kilomètres à l'heure. Outre le service local qui se fait de demi-heure en demi-heure, des trains venant d'autres sections parcourent également cette branche, où la vitesse commerciale est de 36 kilomètres à l'heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III. — Doubles conducteurs aériens.

A. — Double tube.

1. — Essais primitifs.

On sait que c'est à l'exposition d'électricité de Paris, en 1881, le long d'une voie allant du palais de l'Industrie à la place de la Concorde, que ce système fit son apparition. M. Siemens, avec la collaboration de M. Boistel, y essaya d'abord l'emploi d'un seul conducteur aérien avec retour par les rails; mais il sembla que la malpropreté des rails s'opposait à un écoulement suffisant du courant électrique, car jusque-là, le retour par les rails n'avait été appliqué qu'à des lignes sur rails saillants et non sur tramways.

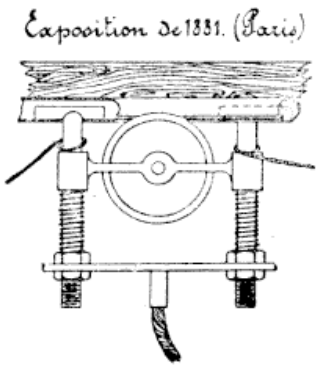


Fig. 184.

Ainsi fut alors abandonné un moyen simple, aujourd'hui si répandu, et l'on installa deux conducteurs aériens pour l'aller et le retour du courant.

C'étaient deux tubes de 22 millimètres de diamètre en laiton, portant vers le bas une fente longitudinale de 7 à 8 millimètres et pendus à des câbles de fer. Les câbles souples amenant le courant à l'électro-moteur de la voiture prenaient contact à chacun des tubes au moyen d'un chariot capteur (fig. 184) : deux olives à l'intérieur, une roulette pressée par deux ressorts à l'extérieur, parurent alors indispensables pour assurer un bon contact.

2. — Lignes existantes.

a. — *Dispositifs aériens communs.*

α. — On a depuis construit les lignes électriques de Francfort à Offenbach, Mœdling-Hinterbruhl, Vevey-Montreux.

Voici leurs principaux traits communs :

Les tubes (fig. 185), composés de bouts soudés les uns aux autres, sont suspendus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à des haubans formés de fils d'acier. L'un et l'autre sont supportés au moyen d'isolateurs par des poteaux surmontés de consoles espacés de 15 à 30 mètres et un peu plus rapprochés dans les courbes.

A Francfort et à Mœdling, les tubes sont en fer d'un diamètre intérieur de 25 millimètres et extérieur de 33 millimètres; au centre des haubans de suspension qui ont un diamètre de 12 à 13 millimètres, se trouve une âme en cuivre de 5.5 millimètres qui assure la conduction du courant. Au contraire, entre Vevey-Montreux, ce sont les tubes qui sont en cuivre et les haubans simplement en acier.

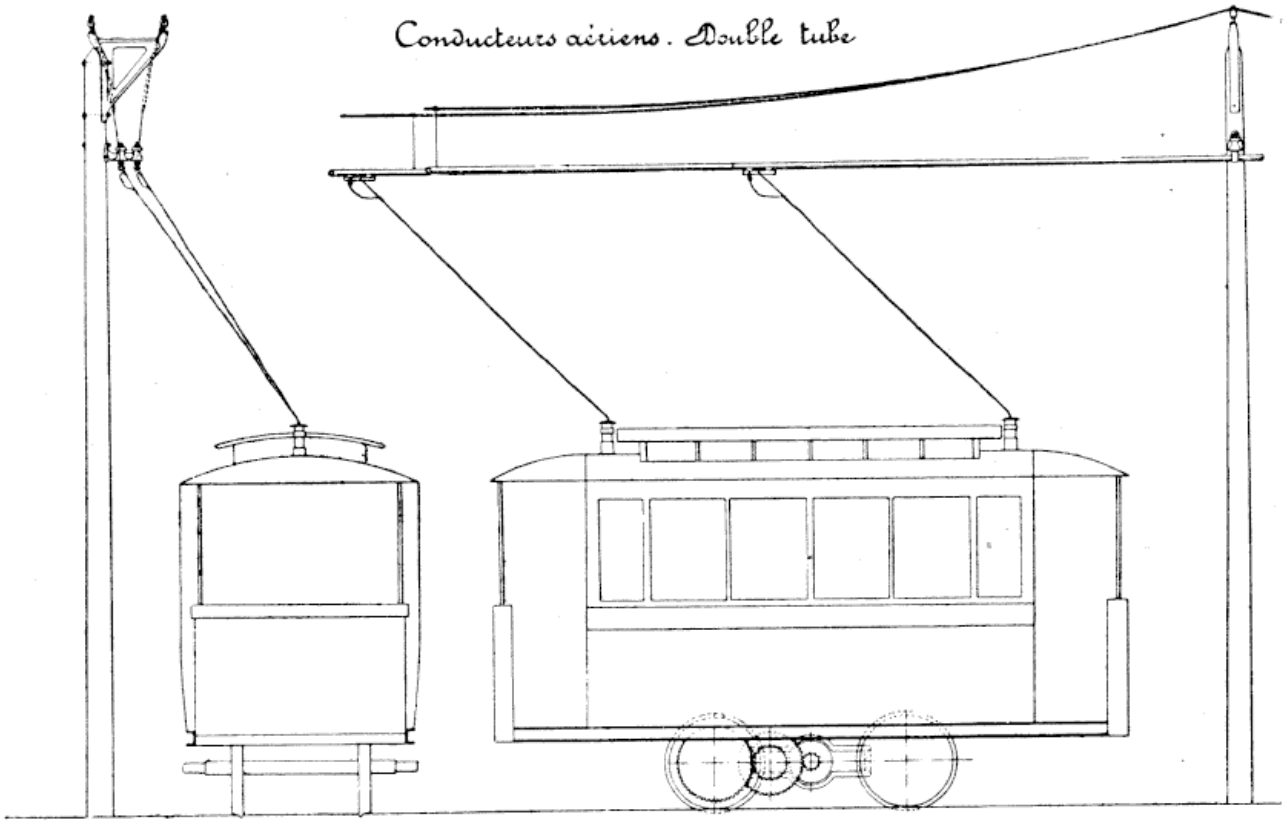


Fig. 185.

β. — Il y a également de légères différences dans les navettes glissant dans les tubes pour capter et reconduire le courant. Ainsi, entre Mœdling et Hinterbruhl, on a conservé le type primitif représenté en détail par la figure 186 et qui montre bien la préoccupation de l'époque d'assurer un contact intime avec les conducteurs. Comme on le voit, chaque élément du curseur est formé de deux pièces qu'un ressort presse contre la paroi interne du tube.

Entre Francfort et Offenbach, on a ramené la solution à sa plus simple expression : deux olives pleines en fonte (fig. 186).

Les curseurs employés entre Vevey et Montreux sont formés d'éléments en métal blanc, fondus sur une tige de cuivre. L'usage du métal blanc s'explique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par le désir de ménager les tubes en cuivre. A chaque curseur sont adaptés un câble souple en acier supportant la fatigue de traction et un autre en cuivre conduisant le courant (fig. 186).

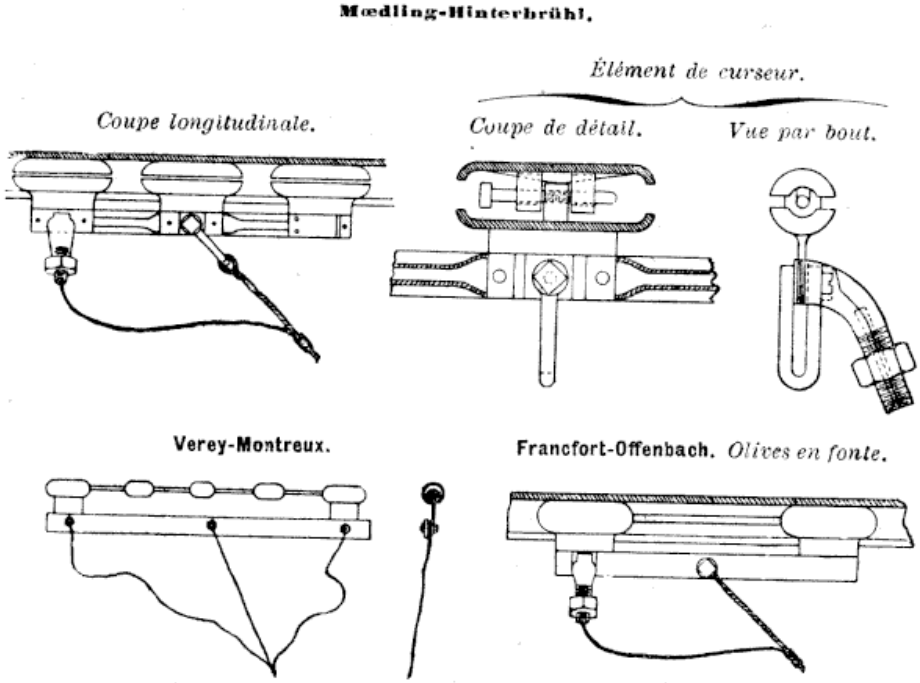


Fig. 186.

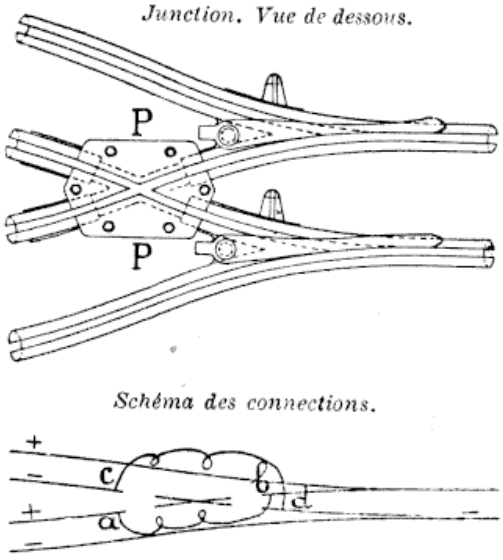


Fig. 187.

7. — Les trois lignes en question sont à simple voie avec évitement; il y a donc des jonctions avec crossings. A la jonction se trouve un système d'aiguillage qui force les curseurs à prendre la bonne voie (fig. 187). Dans la plupart des liaisons, ces aiguilles sont maintenues dans une position déterminée, au moyen de res-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sorts : dans ce cas, la voiture allant dans un sens prend toujours la ligne droite, celle qui vient en sens inverse par le point de jonction opposé prend toujours la voie d'évitement. C'est-à-dire que les aiguilles ne sont toujours manœuvrées que par les talons. Lorsque, au contraire, l'aiguillage doit donner accès sur l'une ou l'autre voie, il est manœuvré par un jeu de leviers solidaire avec les aiguilles des rails.

Quant au crossing, il est ainsi constitué : les quatre bouts de tubes sont arrêtés sur un bloc de bois P (fig. 187) qui les isole l'un de l'autre, et dans lequel sont creusés des canaux tubulaires de même section que les tubes. Le schéma des connexions montre comment les extrémités des tubes de même signe *a* et *b*, d'une part, *c* et *d*, de l'autre, sont reliées par connexion métallique.

Voici maintenant quelques renseignements particuliers à chacune de ces lignes et les résultats de leur exploitation.

b. — *Francfort à Offenbach.*

Description complémentaire. — Cette ligne, construite par la maison Siemens et Halske en 1883, est un tramway de 6,617 mètres de longueur, un mètre de largeur, avec trois garages intermédiaires, dont le profil en long est détaillé figure 188.

L'usine comporte deux machines à vapeur, l'une de 115, l'autre de 120 chevaux ; quatre dynamos fixes de 300 volts et 50 ampères, tournant à la vitesse de 110 tours.

Les voitures motrices, qui sont du type représenté figure 15, sont au nombre de 10, pèsent 4,000 kilogrammes chacune, dont 1,400 kilogrammes pour l'électro-moteur, les transmissions et accessoires. Il y a, en outre, huit voitures dépourvues de mécanisme du poids de 2,000 kilogrammes chacune. Les unes comme les autres comportent 24 places. L'électro-moteur des voitures motrices est à double paire d'engrenages et pignons. A vitesse normale (12 kilomètres à l'heure), l'induit fait 750 tours. Primitivement, tous les engrenages étaient droits ; aujourd'hui, la paire d'attaque est en chevron avec pignon en bronze.

Exploitation. — L'exploitation se fait en service quotidien avec quatre trains de deux voitures, dont quatre motrices alimentées par deux dynamos fixes ; le dimanche avec huit trains de deux voitures, dont huit motrices alimentées par trois dynamos.

Les pièces les plus sujettes à usure sont les roues dentées et les navettes. Concernant les engrenages, on peut dire que leur durée est à peu près en raison de leur diamètre : les grands font 15,000 kilomètres et les pignons 6,000 à 8,000 kilomètres. Les navettes durent six semaines, mais comme elles sont en fonte, de forme très simple, ainsi que nous l'avons vu, leur consommation n'entraîne qu'une faible dépense.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

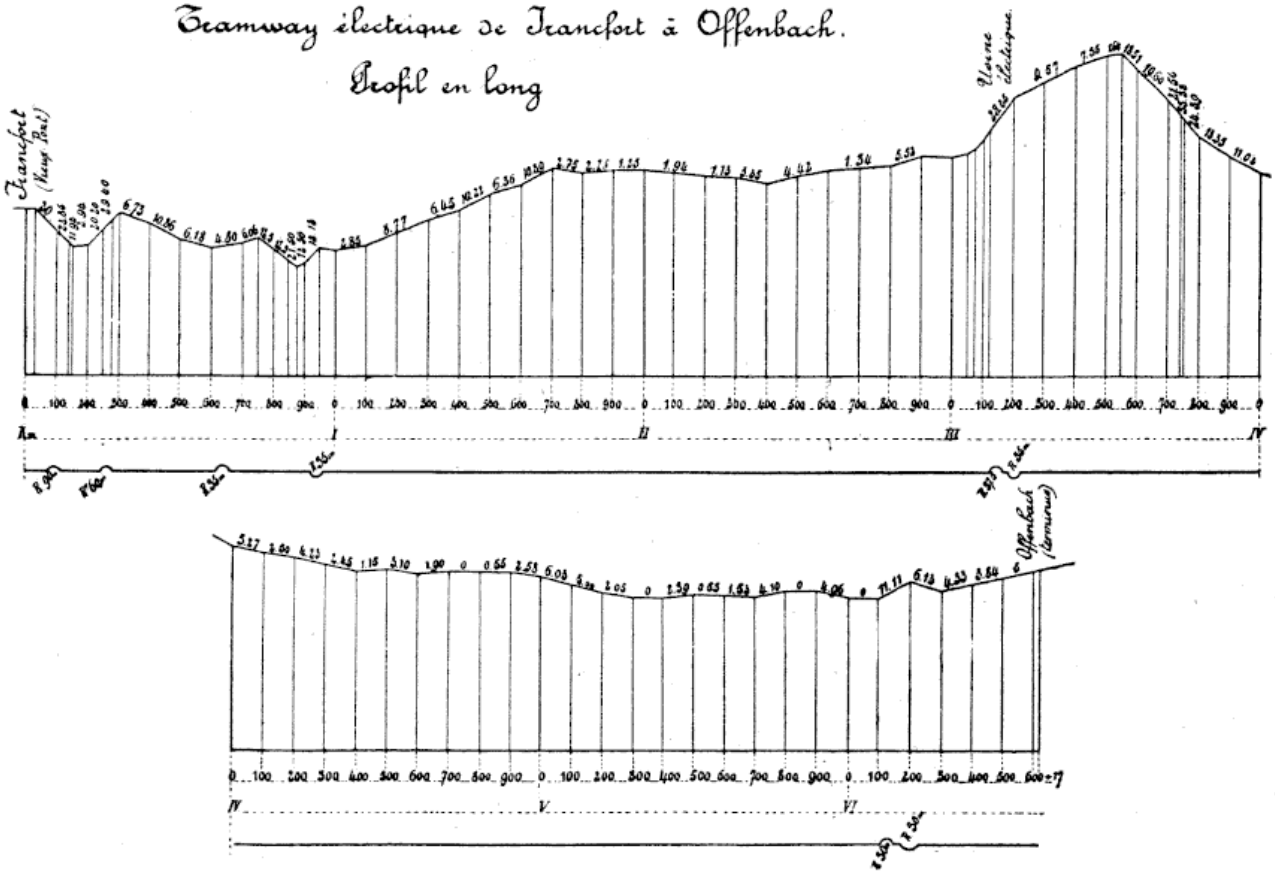


Fig. 188.

Frais de premier établissement et taux d'amortissement.

		1885-1886. Francs.	1890-1891. Francs.	Amortissement. Pour cent.
Terrains et bâtiments.		190,000	154,712	1 1/2
Voie		276,250	160,912	De 2 à 3
Conduction du courant		137,500	79,550	4
Machines à vapeur et dynamo		173,125	120,962	4
Matériel roulant :				
Voitures, caisses, châssis, roues . fr.	70,000			
Électro-moteurs, transmission, accessoires et réserve	124,960			
		194,960	125,000	De 4 à 6
Total. . .		971,835		
Outillage d'exploitation		8,000	7,225	De 15 à 20
Matériel des bureaux		1,760	1,887	10
Total de la valeur d'installation et du matériel.		981,595	650,248	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Frais d'exploitation.

	EXERCICES				
	1884-85.	1885 86.	1886-87.	1837-88.	1888-89.
	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.
Traitements et salaires .	70,239 28	68,076 37	66,166 68	62,005 92	63,066 84
Réparations et entretien.	43,689 41	24,437 56	35,084 70	25,700 03	31,189 40
Charbons	22,635 28	19,777 41	15,407 82	16,026 85	15,565 84
Huile	5,079 20	4,155 42	3,528 51	2,760 00	2,055 60
Éclairage et chauffage .	30,856 57	7,073 21	7,460 50	7,110 32	4,098 40
Impôts et redevances .		8,526 16	1,175 70	1,087 97	1,167 10
Imprimés et billets . .		1,920 29	986 78	1,294 12	1,085 20
Frais généraux . . .		11,414 21	5,356 77	8,033 35	5,598 00
Assurances	3,961 68	5,162 79	2 264 72	3,200 30	3,149 35
Totaux . . .	176,461 42	151,543 42	137,432 26	127,218 86	126,975 73
Nombre de voiture-kilomètres	352,360	470,340	505,010	521,720	519,500
Dépense d'exploitation pr voiture-kilomètre . .	0.490	0.322	0.2721	0.2438	0.2442
Nombre de voyageurs .	1,008,699	990,238	992,845	1,032,312	1,060,979
Recettes	185,673 10	191,744 50	173,963 94	174,611 75	179,047 00

Frais d'exploitation. (Suite.)

	EXERCICES				
	1889-90.	1890-91.	1891-92.	1892-93.	1893-94.
	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.
Traitements et salaires .	63,189 50	63,285 00	61,617 60	61,831 75	61,037 03
Réparations et entretien.	30,056 00	30,925 25	32,736 50	39,974 15	32,009 81
Charbons	17,026 55	20,087 00	20,429 58	15,105 09	16,133 09
Huile	1,974 30	2,254 35	2,286 64	1,553 88	1,430 78
Éclairage et chauffage .	3,096 50	3,125 25	2,685 84	1,806 36	1,246 89
Impôts et redevances .	1,634 15	1,250 25	4,709 04	3,552 14	2,724 65
Imprimés et billets . .	1,118 40	626 00	2,538 74	2,503 18	2,808 53
Frais généraux . . .	3,821 30	4,203 10	2,069 26	2,051 29	2,096 46
Assurances	1,989 80	2,272 85	977 44	662 55	625 83
Totaux. . .	123,976 50	128,029 05	130,050 64	129,040 39	120,113 07
Nombre de voiture-kilomètres	519,770	522,360	523,430	516,855	517,170
Dépense d'exploitation pr voiture-kilomètre . .	0.238	0.245	0.2485	0.2497	0.2326
Nombre de voyageurs .	1,047,689	1,032,592	1,303,650.00	1,268,442.50	1,264,586.25
Recettes	175,510 40	173,865 75	184,220 05	165,326 46	163,499 23

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉPENSES PAR SERVICE.	Exercice 1889-90. 519,570 voiture-kilomètres.			Exercice 1890-91. 522,460 voiture-kilomètres.			Exercice 1891-92. 523,430 voit.-kilomètres.		Exercice 1892-93. 516,855 voit.-kilomètres.		Exercice 1893-94. 517,170 voit.-kilomètres.	
Administration générale . . . . . fr.	20,013 37	0.038		20,631 05	0.0395		0.0374		0.0379		0.0345	
Entretien et surveillance de la voie	23,338 43	0.045		22,796 85	0.0436		0.0480		0.0488		0.0439	
Expédition et mouvement (recette et contrôle) . .	16,481 93	0.031		16,678 18	0.0319		0.0320		0.0325		0.0292	
			0.114			0.1150		0.1174		0.1192		0.1076
Traction et matériel.												
a) Personnel :												
Conducteurs	13,185 53	0.0254		13 342 48	0.0255							
Chefs mécaniciens	6,000 00	0.0115		4,388 75	0.0 83							
Chef ouvrier	2,063 90	0.0039		2,190 56	0.0041							
Machinistes et chauffeurs	5,616 66	0.0102		5,656 98	0.0108							
Salaire pour nettoyage des chaudières et machines.	882 01	0.0017		1,074 09	0.0023							
— — des voitures	1,341 88	0.0033		1,486 70	0.0028							
		0.0550			0.0538		0.0522		0 0529		0.0524	
b) Entretien et renouvellement du matériel roulant :												
Machines	3,193 11	0.0071		2,427 01	0.0047							
Voitures	15,150 15	0.0289		17,058 14	0.0326							
		0.0360			0.0373		0.0372		0.0378		0.0342	
c) Matières consommées par le matériel roulant :												
Charbons	17,026 59	0.0327		20,086 77	0.0385		0.0390		0.0292		0.0311	
Huiles	1,974 41	0.0038		2,254 46	0.0043							
Chauffage et éclairage des voitures	1,645 53	0.0035		1,800 72	0.0033							
		0.0073			0.0076		0.0071		0.0051		0.0056	
d) Conduite tubulaire :												
Salaire (nettoyage)	139 25	0.0002		141 62	0.0002							
Entretien	455 11	0.0008		987 73	0.0018							
		0.0010	0.132		0.0020	0.1392	0.0019	0.1374	0.0020	0.1270	0.0019	0.1252
Amortissement . . (Machines . . . . . / Conduite tubulaire . . / Voitures . . . . . / Appareils d'éclairage .)	15,622 18	»	0.030	14,175 57		0.0270		0.0262		0.0266		0.0242
Dépenses diverses	14,064 75	»	0.027	13,476 35		0.0258		0.0262		0.0265		0.0241
Total des dépenses . . . . . fr.	158,194 90		0.303	160,784 01		0.3070		0.3072		0.2993		0.2811
Excédent des recettes sur les dépenses. . .	17,691 51			13,599 24								
Fr.	175,886 41			174,383 25								

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c. — *Mœdling à Hinterbrühl.*

Description complémentaire. — C'est un chemin de fer vicinal construit en 1884 sur plate-forme spéciale, par la Compagnie Impériale des chemins de fer du Sud autrichien, pour relier sa station de Mœdling à Hinterbrühl, le long d'une vallée des plus pittoresques, lieu de villégiature très fréquenté à la bonne saison.

La ligne de 4,476 mètres, à écartement d'un mètre, est à simple voie, formée de rails Vignoles, avec quatre évitements dans les stations principales.

Il y a, en outre, cinq points d'arrêt.

Cette ligne rachète une différence de niveau de 40 mètres par une rampe presque continue de Mœdling à Hinterbrühl.

Le profil de la ligne se présente comme suit :

	Mètres.
Rampes inférieures à 10 millimètres par mètre	1,472.57
Rampes de 10 à 15 millimètres par mètre	2,425.00
Horizontales.	578.35
Longueur totale. . .	4,475.92

Le rayon des courbes varie de 30 à 1,000 mètres :

	Mètres.
Développement des courbes	1,868.22
— des droites	2,607.70
Total. . .	4,475.92

Rayon minimum en rampe de 15 millimètres : on rencontre successivement sur trois rampes de l'espèce les rayons de 40 mètres, de 30 mètres et de 80 mètres.

L'usine où se trouvent les dynamos génératrices est à Mœdling, elle comporte six dynamos de 460 à 500 volts et 30 ampères, faisant 300 tours par minute. Elles sont mues en temps ordinaire par trois locomobiles de 15 chevaux et le dimanche par une ancienne locomotive de 140 chevaux.

Le matériel roulant comporte huit voitures motrices pesant 4,300 kilogrammes chacune et sept voitures à remorquer, pesant chacune 2,900 kilogrammes; elles sont, à peu de chose près, du même type que celles de Francfort-Offenbach, c'est-à-dire que les électro-moteurs sont à deux paires d'engrenages et pignons. Le pignon d'induit dure deux ou trois ans.

Chaque voiture est de 30 places : 18 assises et 12 debout.

Au lieu de changer de place la voiture-motrice à chaque point terminus, on laisse le train intact et l'on manœuvre le régulateur de l'électro-moteur, au moyen d'un jeu de tringles connectées par joints universels, pouvant indifféremment être manœuvrées de l'une des plates-formes extrêmes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exploitation. — Les trains sont en majorité formés de deux voitures dont l'une motrice, 72 à 78 trains par jour en semaine, 130 à 164 le dimanche. En hiver, le service est assuré par une seule voiture qui fait vingt-deux fois le parcours par jour. La vitesse varie entre 19 et 30 kilomètres à l'heure.

Le bon état de la ligne exerce une heureuse influence sur la conservation du mécanisme des voitures. Les engrenages se remplacent rarement et les pignons durent deux ou trois saisons; les navettes vont deux mois avant le remplacement des demi-olives frottantes (fig. 186). L'usine, étant restée dans son état primitif, donne lieu, paraît-il, à d'assez fortes consommations : on a hésité entre cette situation et une nouvelle mise de fonds.

Frais de premier établissement.

Établissement de la voie	716,250 francs.
Conduction du canal.	105,280 —
Machines à vapeur et dynamos	105,060 —
Matériel roulant : 7 voitures sans moteur	128,180 —
— 8 — avec moteur	...
Premier établissement : Total.	1,053,770 francs.
Recettes.	117,458 —

Dépenses d'exploitation.

Exercice 1890. — Trains-kilomètres : 74,910.

		Dépense par train-kilomètre.	
Administration : Direction de la ligne (fonctionnaires et employés). Stations (personnel) . . . . . fr.	17,982 19	0.240	
Entretien de la voie	8,143 66	0.108	
Contrôle de la recette.	5,000 00	0.066	
			0.414
Traction et matériel.			
a) Personnel :			
Conducteurs (personnel de l'exploitation électrique). . fr.	4,987 33	0.066	
Machinistes et chauffeurs.	5,274 34	0.070	
Salaires d'ouvriers	56 09	0.0007	
b) Entretien et réparation du matériel :			
Voitures. . . . . fr.	7,478 95	0.099	
Locomobile et dynamos fixes	4,954 96	0.066	
Conduites électriques (supports et poteaux)	883 59	0.0113	
c) Matières consommées par le matériel :			
Charbon, huile et matière à graisser . . . . . fr.	8,061 33	0.108	
			0.421
Totaux des dépenses. . fr.	62,822 44		0.835

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses d'exploitation. (Suite.)

Exercice 1892. — Train-kilomètres : 72,881.

I. — Matériel fixe.

a)	Frais d'entretien de la ligne et de la voie :	
	Personnel et matériel	13.19 centimes.
b)	Frais d'entretien des conduites électriques, tubes et poteaux	1.10 —
c)	Machines-dynamo et machines à vapeur :	
	Salaires des machinistes et chauffeurs	5.81 —
	Matières de chauffage, de graissage et de nettoyage	8.43 —
	Frais de réparation des locomobiles et dynamos	11.44 —
	Journaliers et divers	0.18 —

II. — Matériel roulant.

Frais d'entretien des voitures motrices et remorquées	8.36 centimes.

III. — Personnel des trains.

Conducteurs des voitures électriques et receveurs	8.49 centimes.

IV. — Administration.

Chef du service électrique, chefs de station et employés	23.37 centimes.

d. — *Vevey-Montreux-Chillon.*

Description complémentaire. — La ligne électrique de Vevey à Montreux (Suisse) est la plus longue de l'espèce : 10,414 mètres entre Vevey et Chillon par Montreux. C'est un tramway à l'écartement d'un mètre livré à l'exploitation en 1888. (Voir le profil, fig. 189.)

Comme nous l'avons vu dans la définition du système, les tubes fendus sont ici en cuivre au lieu d'être en fer comme sur les deux autres lignes. Leur diamètre intérieur est de 15 millimètres, le diamètre extérieur descend de 25 à 20 millimètres de l'usine vers les extrémités de la ligne.

Il y a, en outre, entre l'usine, qui est au huitième kilomètre, et l'extrémité la plus éloignée, quatre fils conducteurs de 9 millimètres de diamètre. Le poids total du cuivre employé à la ligne est d'environ 35,000 kilogrammes. C'est du cuivre de haute conductibilité.

L'énergie électrique est fournie par une station centrale de force et lumière, alimentée par une puissante chute d'eau. La tension aux bornes des dynamos fixes est de 500 volts et réduite, en moyenne, sur la ligne, à 367 volts.

Les voitures sont à 32 places, avec électro-moteur unique à deux paires d'engrenages et pignons en chevrons qui se comportent très bien. Le poids est de 3,120 kilogrammes, ainsi réparti :

a)	Caisse, châssis, roues	3,300 kilogrammes.
b)	Moteur, transmission, accessoires.	820 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tramway électrique Vevey-Montreux-Chillon. —

Profil en long.

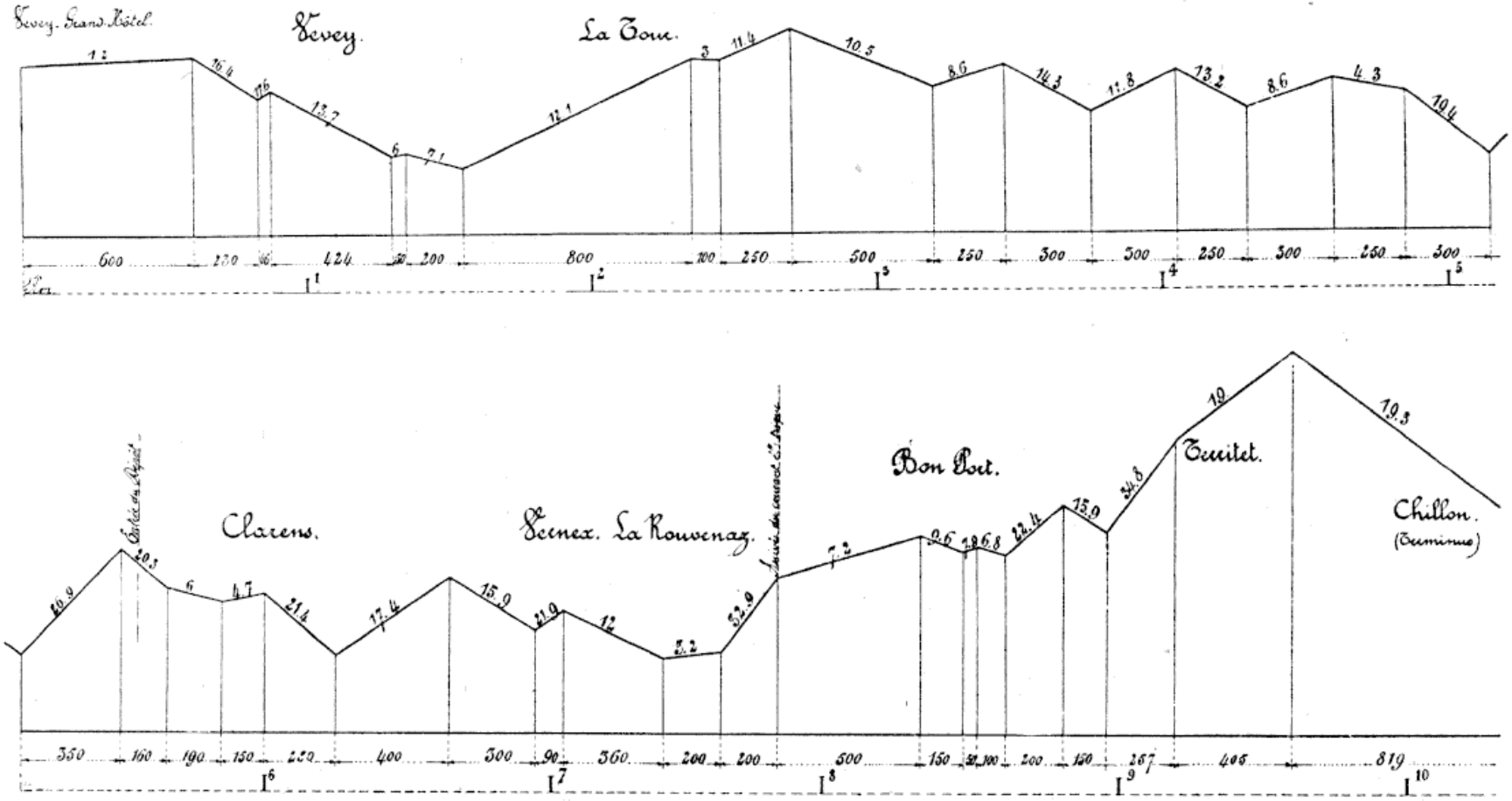


Fig. 189.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exploitation. — Dans le principe, le personnel de chaque voiture se composait de 3 hommes : un conducteur, un garde et un troisième sur l'impériale dont l'emploi consistait uniquement à dégager les navettes de toute entrave résultant d'un ajustement défectueux des tubes et de leurs connexions; actuellement, ces *tubiers* sont absolument supprimés.

Le nombre des voitures en service s'est accru chaque année, et le service se fait journellement avec 13 voitures.

Frais de premier établissement. — Ceux-ci ne comportent pas un chapitre spécial pour la production du courant à cause de la communauté des deux entreprises : force et lumière.

Une somme de 30,000 francs est portée au compte du tramway comme dépense annuelle d'énergie électrique. Les autres dépenses de premier établissement sont détaillées comme suit au compte rendu de 1888 :

Immeubles pour le tramway.

Acquisition de terrains pour le dépôt de Clarens	fr.	17,505 85	
Divers		38 15	
Établissement de plans		2,784 80	
			20,328 80

Établissement de la ligne.

a) Voie de fer :

Traverses, rails, contre-rails et leurs attaches	fr.	174,883 45	
Aiguilles, croisement, plaque tournante et chariot		7,477 65	
Fouilles et pose de voie		39,026 86	
Empierrement de la route		6,843 00	
			228,230 96

b) Voie aérienne :

Poteaux, consoles, câbles, tubes et leurs attaches. Les tubes sont de section décroissante.	fr.	112,782 02	
Établissement de la voie aérienne		16,175 90	
			128,957 92

c) Bâtiments de la ligne :

Dépôt et atelier.	fr.	16,736 38	
Kiosques pour stations		2,200 00	
Prise d'eau pour l'atelier.		138 10	
Installations pour l'éclairage		500 00	
			19,574 48

d) Téléphone et signaux :

Ligne du téléphone	fr.	578 80	
Appareils de signaux		326 80	
Indicateurs d'orientation et de police		100 00	
			1,005 60
A reporter.	fr.		398,097 76

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Report. . fr.		398,097 76
Matériel roulant.			
12 voitures avec électro-moteur et accessoires . . . . . fr.	...		94,000 00
Mobilier et ustensiles.			
Part dans le mobilier pour l'administration générale . . . fr.	314 95		
Pour le service d'entretien de la voie	280 00		
— — — des stations	500 00		
— l'atelier	4,000 00		
Appareils de téléphone	368 00		
			5,462 95
	Total. . fr.		497,560 71

Au compte de 1890, par suite d'acquisitions, modifications et amortissements, ce compte se présente un peu différent :

Établissement de la ligne et installations fixes . . . . . fr.		533,552 37
Matériel roulant : 15 voitures		134,705 59
Mobilier et ustensiles.		7,661 72
	Total . . fr.	675,919 68
Recettes		185,122 25

Frais d'exploitation.

Année 1890. — Voitures isolées de 35 places. — 394,737 kilomètres.

		Dépense par voiture-kilomètre.	
Administration générale . . . . . fr.	18,830 06	0.0480	
Entretien et surveillance de la voie	19,019 58	0.0490	
Expédition et mouvement (recette et contrôle)	28,994 70	0.0740	
			0.1710
Traction et matériel.			
a) Personnel :			
Bureau de la traction et du matériel . . . . . fr.	3,870 00	0.0100	
Mécaniciens (conducteurs)	21,005 27	0.0520	
Personnel chargé du graissage et du nettoyage des voitures.	3,538 05	0 0070	
b) Entretien et renouvellement du matériel roulant :			
Voitures. . . . . fr.	12,021 89	0.0310	
Dynamos (réceptrices) et accessoires	5,822 12	0.0150	
Câbles et cordeaux	504 58	0.0010	
Navettes (chariots capteurs du courant)	1,308 58	0.0038	
Porte-mousquetons	312 10	0.0009	
A reporter. . fr.	48,382 59	0.1207	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Reports. . fr.	48,382 59	0.1207	
c) Matières consommées par le matériel roulant :			
Force motrice . . . . . fr.	30,000 00	0.0760	
Chauffage des voitures	522 25	0.0012	
Éclairage	862 90	0.0025	
Matières servant au nettoyage, etc.	682 10	0.0026	
Huiles et graisses	466 50	0.0011	
d) Dépenses diverses :			
Éclairage, chauffage et nettoyage des ateliers et remises, fr.	1,010 85	0.0030	
Entretien de l'inventaire	689 99	0.0026	
Divers	109 40	0.0003	
			0.2120
Dépenses diverses	5,443 85		0.0140
Totaux des dépenses. . fr.	155,014 77		0.3960

Pour les années subséquentes, ces diverses dépenses se résument comme suit :

DÉPENSE EN CENTIMES PAR TRAIN-KILOMÈTRE.	Exercice 1891. 450,698 train-kilomètres.		Exercice 1892. 514,740 train-kilomètres.		Exercice 1893. 545,407 train-kilomètres.	
Administration générale. . . . . fr.	3.87		2.98		2.93	
Entretien et surveillance de la voie . . .	3.91		4.13		4.68	
Expédition et mouvement	6.54		6.24		6.11	
		14.32		13.45		13.72
Traction et matériel.						
a) Personnel de la traction et du matériel, mécaniciens (conducteurs). Personnel chargé du graissage et du nettoyage des voitures . . . . . fr.	7.02		6.65		6.57	
b) Entretien et renouvellement de la voie :						
Voitures, dynamos (réceptrices) et accessoires. Câbles et cordeaux. Navettes (chariots capteurs du courant). Porte-mousquetons . . . . . fr.	3.31		3.94		5.31	
c) Matières consommées par le matériel roulant :						
Force motrice . . . . . fr.	6.65		5.82		5.50	
Chauffage des voitures, éclairage, matières servant au nettoyage, huiles et graisses . . . . . fr.	0.61		0.49		0.56	
d) Dépenses diverses :						
Éclairage, chauffage et nettoyage des ateliers et remises. Entretien de l'inventaire et divers . . . . . fr.	0.44		0.48		0.59	
		18.03		17.38		18.53
Dépenses diverses. . . . . fr.		1.19		1.41		1.45
Totaux. . fr.		33 52		32.24		33.70

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — Double fil.

1. — Systèmes.

Fils porteurs. — Lorsque le conducteur aérien double passa aux États-Unis, les tubes firent place à de simples fils. Sous le nom de M. Van Depoele s'établirent ainsi quelques lignes d'essai dont la figure 190 indique les traits essentiels. Au début, c'étaient les fils qui portaient les poulies, comme on le voit à gauche de la figure ; les crochets soutenant ces fils étaient maintenus sur une petite traverse en bois suspendue à son tour à des haubans transversaux par des attaches isolées à chapeaux de caoutchouc.

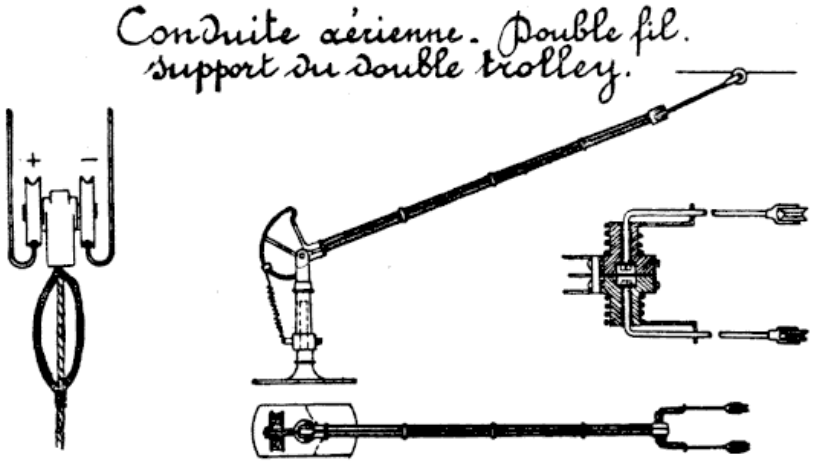


Fig. 190.

Double trolley. — α. — Ensuite on renversa les rôles des organes, en faisant passer les poulies de contact sous les fils ainsi soulevés par le *double trolley* porté au haut d'une perche, les fils étant suspendus d'une façon analogue à celle que l'on observe dans la suspension du fil unique, et distants l'un de l'autre de 25 à 30 centimètres.

Au sommet de la perche se trouvent deux chapes isolées l'une de l'autre et dans lesquelles peuvent tourner deux poulies à gorge. (Voir fig. 190.)

Chaque poulie est reliée par un câble métallique isolé fixé le long de la perche à un point isolé du toit de la voiture. A ces deux points aboutissent, d'autre part, les extrémités des circuits des électro-moteurs de la voiture.

Les poulies sont engagées chacune sous un des fils aériens et appuient énergiquement contre lui, grâce à l'action des ressorts qui tendent à soulever la perche et des ressorts propres au levier de chacune d'elles.

β. — A tous les changements de voie et croisements, on est obligé d'adopter une disposition analogue à celle qui est employée dans le système à double conduc-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teur tubulaire, avec cette différence toutefois que les aiguilles mobiles sont remplacées par de simples nervures fixes, saillantes à la partie inférieure des plaques métalliques auxquelles sont attachées les extrémités correspondantes des fils de même polarité.

Au point de croisement de deux fils, les quatre tronçons qui aboutissent au sommet de l'angle sont arrêtés à une plaque isolante CC sous laquelle roule le galet pour passer d'un tronçon au tronçon voisin. (Voir fig. 191.)

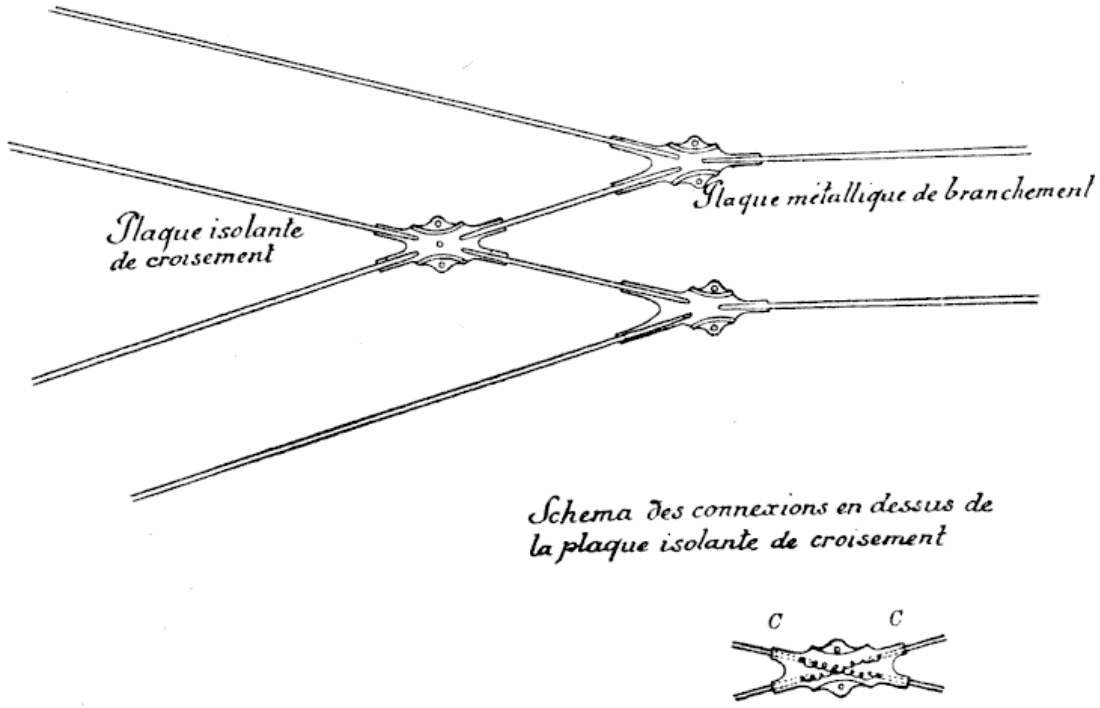


Fig. 191.

Comme chaque poulie ne touche le fil conducteur correspondant qu'en un seul point, on voit qu'il y a interruption du courant, pendant un temps très court, au moment du passage d'une poulie sous la pièce isolante CC.

γ. — A Cincinnati, il a été établi expérimentalement, lors d'un essai effectué en l'absence des voitures sur un réseau de deux lignes, l'une de 19.2 kilomètres, l'autre de 14.4 kilomètres à double voie, que la *perte totale*, sous la force électromotrice de 500 volts, était de 12 ampères.

2. — Applications.

a. — *Tramways à courants continus.*

Avantages. — Le double fil à double trolley pour courants continus évite les courants vagabonds, causes d'électrolyse, ainsi que les perturbations téléphо-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

niques. En parlant de ces inconvénients du fil unique, nous faisons ressortir le coût et l'entretien des connexions entre rails et du circuit de retour (IV-B), deux postes parfois comparables, en dépenses, sur certaines sections à l'installation d'un deuxième fil de contact avec ses feeders.

Malgré ces avantages, le double fil installé à Cincinnati (Ohio) et à Camden (Pensylvanie) ne se propage pas. La suspension et l'isolement du fil sont plus coûteux et leur aspect plus compliqué que ceux du simple fil.

Cincinnati. — On prétend qu'à Cincinnati la question s'était posée autrement : entre le doublement des fils téléphoniques et celui des fils de trolley, la seconde alternative a été adoptée par suite d'une certaine communauté d'intérêts entre la Compagnie exploitant le téléphone préexistante, et celle des tramways.

Le réseau de cette ville est très développé, 231 kilomètres de voie simple desservis par 440 voitures alimentées par une usine de 3,200 H. P.

Le fonctionnement du système est satisfaisant.

Usines. — Il va de soi que le double fil convient bien à des lignes courtes sans feeder, le retour aérien s'installant, en ce cas, plus aisément que les connections entre rails. C'est le cas notamment pour certaines lignes d'usines.

b. — *Tramway à courants triphasés.*

Lugano. — Le double fil a été forcément employé à Lugano, en Suisse, pour l'essai des courants triphasés amenés directement au moteur de la voiture, le troisième conducteur étant les rails connectés entre eux électriquement. Commencée en 1895, cette ligne présente deux parties, celle qui sépare la source des transformateurs et le tramway proprement dit.

La première puise l'énergie primaire à un générateur triphasé de 150 H. P. 5,300 volts, 14.3 ampères par phase, à 600 tours par minute, et la transmet, à Lugano, par 3 fils de 5 millimètres, longs de 12 kilomètres, connectés à un transformateur qui réduit la tension à 500 volts. Le nombre des périodicités est de 40. Le générateur est bobiné à haute tension et à excitation fixe.

Le tramway, long de 4.9 kilomètres, assez accidenté, présente des rampes de 30 millimètres par mètre et, en un endroit, de 55 millimètres. Il est alimenté par 2 fils de contact en cuivre de 6 millimètres distants de 25 centimètres.

Il y a 4 voitures à 24 places munies chacune d'un moteur triphasé de 20 H. P. marchant à 15 kilomètres à l'heure. Le poids des voitures non équipées est de 4 tonnes; l'équipement électrique pèse 850 kilogrammes. On arrive à 6 $^1/_2$ tonnes.

La figure 192 est un croquis à l'échelle du moteur qui attaque l'essieu par pignon et engrenage dans le rapport de 1 : 4. Des renseignements plus détaillés sur cette réceptrice sont fournis au chapitre I, § A-*i*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le démarrage sous charge s'opère très bien en augmentant la résistance du circuit induit.

On règle la vitesse en intercalant également des résistances dans les circuits de l'induit au moyen du régulateur ou en les retirant successivement. Lorsque la vitesse de régime, 15 kilomètres à l'heure, est atteinte, elle se maintient quelle que soit la charge, ou la rampe, ou la pente, la consommation d'énergie variant avec le travail de traction.

Cette intéressante expérience de courants polyphasés appliqués directement à l'électro-moteur mobile a été entreprise par MM. Brown Boveri et C^ie^, de Baden, en Suisse.

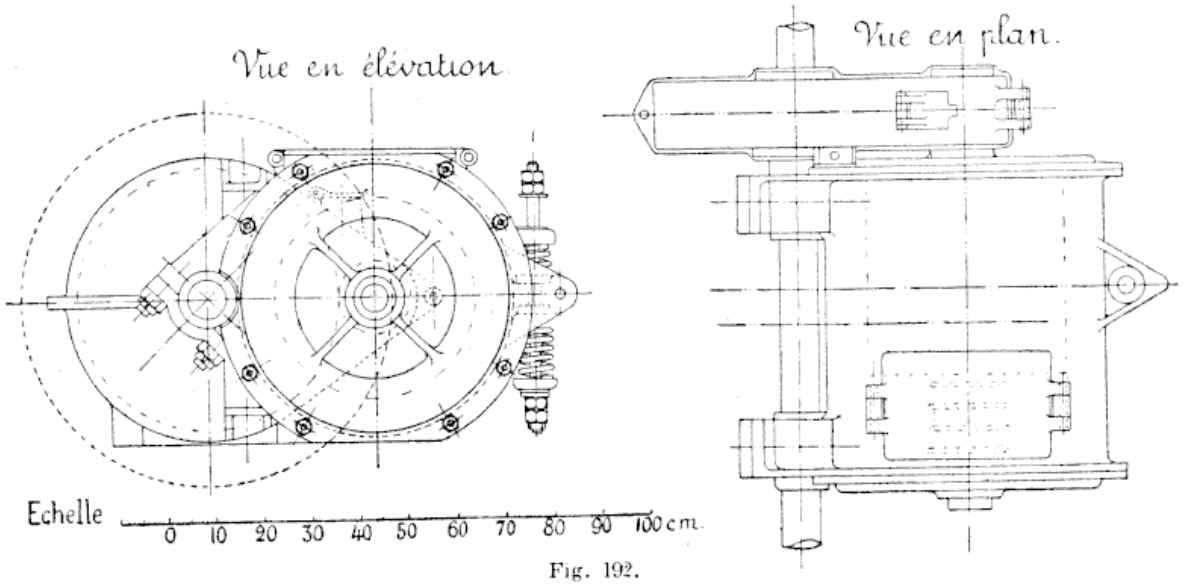


Fig. 192.

En lui-même, le système fonctionne très bien. On lui reproche de graves perturbations téléphoniques; il résulte d'expériences faites dans le cours de 1896, que le réseau à un fil était profondément troublé dans son fonctionnement, de telle sorte que le doublement de ses fils s'imposa immédiatement. Néanmoins, l'action inductrice est encore marquée, mais supportable, parce que l'exploitation du téléphone est limitée à une centaine d'abonnés dont les lignes n'ont que des portions assez courtes parallèles à celles du tramway.

Les autorités se sont donc provisoirement contentées de cette situation, en se réservant d'exiger l'isolement du troisième conducteur ou une mesure équivalente, si le réseau prenait une grande extension. (Voir chap. I-C.) Évidemment, l'isolement des trois fils serait d'une application frayeuse, difficile, encombrante; on y substituerait pratiquement la création d'un réseau téléphonique entièrement souterrain, solution efficace, moyennant certaines conditions de pose, mais également très coûteuse.

Les mêmes inconvénients ne sont pas à redouter dans l'application du système aux lignes de montagne, telles que celles de Zermatt au Gonergrath (10 kilomètres) et celle de Stansstadt à Engelberg (20 kilomètres).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c. — *Application au batelage.*

α. — Il existe également quelques exemples d'application du double fil au batelage, la première en date, aux États-Unis, depuis 1893, sur le *Erie Canal*. Les fils des trolleys, du diamètre ordinaire de 8.25 millimètres, sont suspendus à la manière ordinaire par isolateurs à des haubans transversaux. Ces fils sont distants l'un de l'autre de 1m52. Les moteurs, de 25 H. P., attaquent directement l'arbre d'hélice.

β. — En 1894, *M. de Bovet* a exécuté des essais de propulsion électrique des bateaux, en France, sur le *canal de Saint-Denis*, en captant le courant au moyen d'un chariot roulant sur deux fils conducteurs.

γ. — La même année, des essais analogues furent organisés, sur le *canal de Bourgogne*, à l'initiative de *M. Denéfle*.

L'énergie électrique engendrée par une dynamo que meut une turbine installée près d'une écluse, est transmise le long du chemin de halage par deux fils aériens, sur chacun desquels roule une poulie captant le courant, équilibrée par un contrepoids.

Pour remorquer les bateaux, on y accroche un bachot en tôle porteur de la réceptrice et d'une hélice. On le fixe ou bien on le substitue au gouvernail, dont il remplit alors la fonction, étant manœuvré comme ce dernier.

Dans un autre système, au lieu d'envoyer le courant à un propulseur flottant, on le reçoit dans un remorqueur roulant sur le chemin de halage, à trois roues: deux motrices mues par un moteur électrique à vis, la troisième servant de guide. Ce tricycle remorqueur a reçu le nom de *cheval électrique*.

Ces engins remorquent des rames de deux ou trois bateaux de 200 tonneaux et plus. Chaque bateau prend 14 à 15 ampères sous 300 volts dans la propulsion par hélice et 10 à 12 ampères seulement dans la remorque par le tricycle (1).

On a pu atteindre aux essais les vitesses suivantes :

Avec 100 tonnes.	3	kilomètres	à l'heure.
— 150 —	2.7	—	—
— 180 —	2.5	—	—
— 230 —	2 3	—	—

En pratique, on ne dépasse guère 2 kilomètres.

(1) *Annales des travaux publics de Belgique*, août 1896. Étude de MM. Maillet et Dufourny, du corps des Ponts et Chaussées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C. — Fers profilés doubles.

1. — Galeries souterraines.

a. — *Lignes urbaines.*

Tramway souterrain de Budapest. — Afin d'éviter des installations encombrantes dans l'avenue monumentale Andrassy, on a construit, sous cette grande

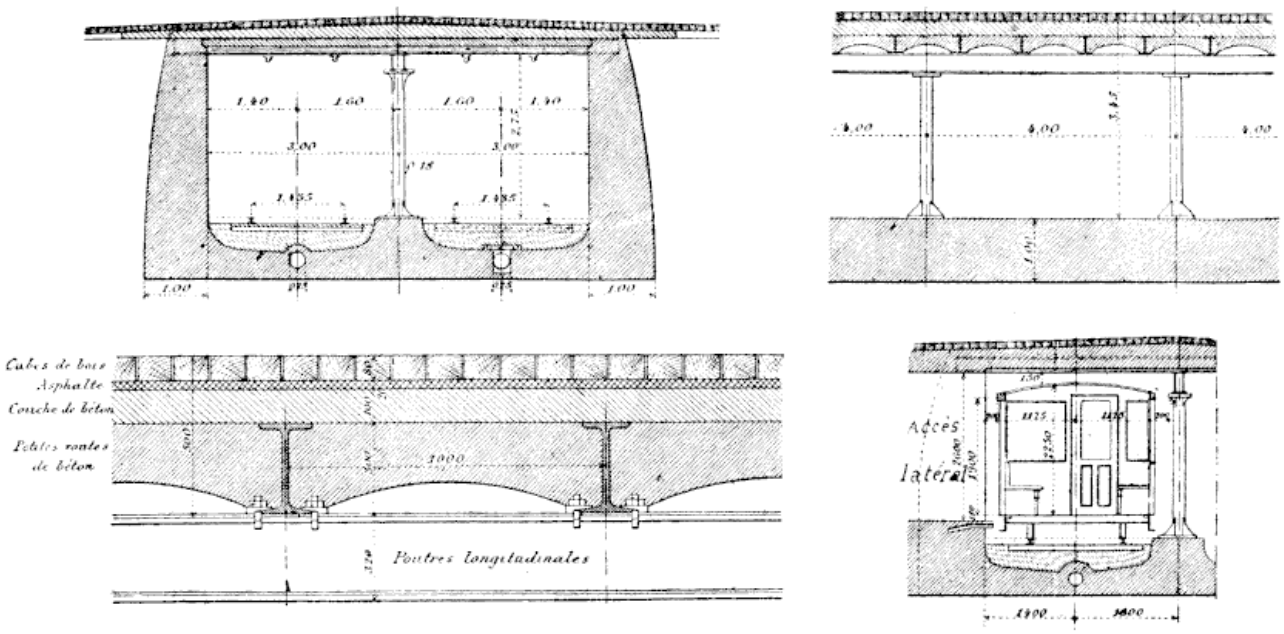


Fig. 193.

artère, un chemin de fer souterrain formé par excavations, puis voûte en poutrelles et voussettes. Cette construction est en béton (fig. 193). Elle est revêtue extérieurement d'une couverture en feutre asphalté s'étalant au-dessus et retombant de 50 centimètres sur les côtés, afin de prévenir toute infiltration d'eau. C'est sur cette couverture que s'étale le béton sur lequel est posé le pavage, tantôt en bois, tantôt en pierre. Le vide réservé aux voitures en hauteur n'est que de $2^{m}75$.

Le jeu entre le toit et celui de la voiture est de 10 à 15 centimètres selon les oscillations des ressorts.

La longueur de la ligne en souterrain est de 3.22 kilomètres en y ajoutant 510 mètres à ciel ouvert, la longueur totale est de 3.73 kilomètres à double voie à l'écartement de 1.435. Les rails de 24.2 kilogrammes au mètre reposent sur des traverses en fer pesant 34.24 kilogrammes. On accède aux voitures par des galeries transversales que l'on atteint au moyen d'escaliers débouchant sur l'avenue dans d'élégants pavillons.

Il y a onze stations distantes de 230 à 500 mètres. Le profil en long est à peu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

près de niveau, sauf une rampe courte de 20 millimètres par mètre. Il existe une courbe de 40 mètres de rayon.

La station centrale comporte, pour ce service, 4 chaudières de 267 mètres alimentant 2 machines compound à condensation conduisant chacune une dynamo capable de débiter, sous 300 volts, de 1,100 à 1,400 ampères.

Chaque voie est alimentée en circuit d'aller et retour, par des câbles de 500 millimètres carrés de section de cuivre. Isolés, à l'extérieur (câbles sous plomb armés de rubans de fer), ils sont accrochés nus par des isolateurs aux parois de la galerie.

Il en est de même des circuits d'éclairage et du block à signaux lumineux formés de câbles de 150 millimètres carrés.

Les voitures longues de 11 mètres entre buttoirs reposent sur deux bogies à quatre roues débordant la caisse, qui a $9^{m}70$ de longueur. Les axes des tourillons des trucks sont distants de 8 mètres.

Les bogies sont placés tout à l'extrémité, de telle sorte que le plancher de la voiture dans l'intervalle descende à un niveau suffisant pour ménager la hauteur nécessaire, $2^{m}25$, à l'intérieur, les longerons formant col de cygne de part et d'autre au-dessus des bogies. Leur largeur est de $2^{m}35$. Le courant est conduit par deux conducteurs distants d'un mètre l'un de l'autre et fixés au moyen d'isolateurs au toit de la galerie. Ce sont deux rails de mine de 50 millimètres de hauteur et pesant 5 kilogrammes au mètre.

La prise de courant s'opère au moyen de frotteurs fixés sur tringles articulées à ressorts et dédoublées de façon à fournir deux points de contact (+) et deux (—). Hors du tunnel, les petits rails sont prolongés par des fils en cuivre dur de 10 millimètres de diamètre.

Les voitures sont munies de deux électro-moteurs de 50 chevaux excités en dérivation et partant autorégulateurs de la vitesse. Des 20 voitures, 10 ont des moteurs à deux pôles qui attaquent les deux essieux par des chaînes doubles ; les 10 autres voitures sont munies de moteurs gearless montés directement sur les essieux extrêmes.

Elles offrent 42 places, dont 28 assises. Leur poids est de 15,000 kilogrammes. La vitesse maximum atteint 40 kilomètres. Le service est assuré de deux en deux minutes au moyen de 14 voitures. Il a été inauguré, en mai 1896, d'une manière entièrement satisfaisante sous tous rapports.

La construction de cette ligne souterraine et son armement ont coûté 7,560,000 francs. Ce chiffre comporte toutes les dépenses, celles de la voie y compris les pavillons et leur décoration, ainsi que le matériel fixe et les voitures.

L'équipement électrique en a été confié à la maison Siemens et Halske.

b. — *Mines.*

Premières installations. — Dans les mines, le conducteur aérien double présente des avantages marqués : au lieu d'avoir à connecter entre eux des rails

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de faible section pour les utiliser au retour du courant, on préfère fixer, aux cadres soutenant la galerie, deux conducteurs en fer.

Depuis 1883, ce système fonctionne dans les mines de Zaukerauda et de Neu-Stassfurt, et nous avons, au chapitre I-A, décrit le type de locomotive Siemens à engrenages qui y est en service. Dans la première, la galerie desservie mesure 750 mètres de long ; les 2 locomotives, d'un poids de 1,600 kilogrammes, pouvant exercer un effort de traction de 200 kilogrammes, y remorquent des trains de 10 wagonnets pesant 7,250 kilogrammes, à la vitesse de 9.5 kilomètres; dans la seconde, la galerie mesure 1,400 mètres, les trains sont de 15 wagonnets, 12,000 kilogrammes; les 3 locomotives, d'un poids de 1,975 kilogrammes, exercent un effort de 250 kilogrammes, à la vitesse de 10.8 kilomètres.

La prise de courant se fait sur deux fers en T renversé, où s'accrochent les frotteurs tirés par des câbles conducteurs. La force électro-motrice à la dynamo primaire est de 350 volts, réduite par les feeders jusqu'aux conducteurs en fer à 275 volts.

Le prix de revient du transport de la tonne-kilomètre s'est trouvé considérablement réduit, comparativement à celui de la traction animale.

A ces installations primitives que nous citons en souvenir des pionniers de cette industrie, ont succédé en Allemagne celles des mines de Hohenzollern, près Beuthem ; de Bockwa, près Zwickau, en Saxe ; en Angleterre, celles de Normanton, Llanerch, Andrew's House; aux États-Unis, à Lykins-Valley, d'abord, puis en de nombreuses exploitations au fond et à la surface, récemment en Belgique et en France, notamment dans les mines de Marles.

Ces locomotives de mines, pour une puissance de traction de 250 à 450 kilogrammes, coûtent de 7,500 francs à 11,000 francs.

Marles. — Sans nous étendre aux détails de ces installations minières qui font l'objet de traités spéciaux (1), nous dirons quelques mots de celles de Marles qui tendent à prendre une certaine importance.

Elles remontent à 1889 et se sont depuis étendues à plusieurs galeries dont l'une, de 1,400 mètres, une autre, de 2,000 mètres et d'autres raccordements. Une usine génératrice, d'une puissance de 500 chevaux électriques, comportant une machine à vapeur et quatre dynamos de 125 H. P., est destinée à desservir la traction,

(1) Voir pour les mines de Zaukerauda Neu-Stassfurt, Hohenzollern, les *Annales industrielles*, décembre 1884, janvier 1885; pour d'autres installations plus récentes, une communication de M. Saladin (*Bulletin de la Société internationale des électriciens*, décembre 1891), concernant les mines de Marles; une note de M. Baily à la Société des ingénieurs du Hainaut, 1892, et une étude de M. le professeur Cambessédès, sur la traction électrique dans les mines (*Bulletin de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, 1894). Voir aussi diverses études de M. Masson, sur les applications de l'électricité dans les mines, celle de M. Baily dans la *Revue universelle des mines*, t. XIX, 1892, et celles de A. Snell, dans les *Proceedings Institution Civil Engineers*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et le transport vertical de la charge entre des étages de niveaux différents.

Les nouvelles locomotives construites par M. Lebrun, de Nimy, et décrites au chapitre I-A, sont d'une puissance utilisable de 15 H. P. à 500 volts, au lieu de 10 à 12 $^1/_2$, puissance des premières. Les voies ont été renouvelées en rails de 16 kilogrammes au lieu de 10 pour faciliter le roulement, dont le coefficient s'est, paraît-il, abaissé de 50 p. c. sur cette voie plus forte et mieux établie. Les nouvelles locomotives marchent à 15 kilomètres au lieu de 13 $^1/_2$ kilomètres, en remorquant 15 berlines; elles pèsent 2,300 kilogrammes au lieu de 1,800 kilogrammes.

Les deux conducteurs en fer ne sont pas séparément et directement fixés aux cadres en bois ou en fer soutenant les parois des galeries, mais bien adaptés d'abord à une traverse commune en bois paraffiné. Celle-ci est ronde, de 8 centimètres de diamètre sur 55 centimètres de long, et traversée longitudinalement par un barreau de fer passant dans les œillets des attaches qui se cramponnent aux cadres par l'intermédiaire d'un isolant. Sur ce manchon de bois sont enfilés, avec interposition de bagues en caoutchouc, les deux supports des conducteurs, sous un écartement de 27 centimètres. Enfin, à ces supports sont boulonnés, toujours avec interposition de matière isolante, les deux conducteurs en forme de double T (75 × 35 × 8 millimètres) distants l'un de l'autre de 57 centimètres et sur lesquels est capté le courant au moyen de chariots à quatre galets, deux dessus, deux dessous par conducteur. Ces doubles T pèsent 8.75 kilogrammes par mètre au lieu de 6.5 que pesaient les premiers en forme Vignoles.

Des résultats d'essais de rendement mécanique exécutés au moyen de la locomotive de 15 H. P. (puissance à la jante) se trouvent au chapitre I^{er} (§ B-2 et 3). Partant de la puissance en chevaux fournie aux bornes de la dynamo, d'où le courant, avant d'arriver au train, doit parcourir les feeders et les conducteurs en fer, ces renseignements comportent le rendement de la transmission et du transport mécanique.

Quoi qu'il en soit, le résultat économique final est considérable, puisque les frais de traction, comparativement à la traction animale, se chiffrent par une diminution de 50 à 60 p. c., c'est-à-dire fr. 0.076 à 0.089 la tonne kilométrique au lieu de fr. 0.148.

2. — Applications diverses.

Nous avons dit un mot à l'endroit des conducteurs sur traverses (chap. II), de la transmission par deux files de fers profilés pour l'aller et le retour du courant. (*Carstairs.*)

En décrivant les conduites sous-sol, nous trouverons l'occasion d'en décrire explicitement d'autres applications. (Chap. V.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV. — Conducteur aérien unique.

A. — Appareillage de la ligne aérienne.

Subdivision. — Pour le trafic public, on installe le conducteur aérien simple sous la forme d'un *fil* ou d'un *tube*, mais, jusqu'ici, ce dernier mode ne se présente que dans le seul spécimen de Clermont-Ferrand, qui sera décrit en ce chapitre.

Dans l'industrie et les mines, on a toute facilité d'employer un *conducteur profilé plus ou moins rigide.*

Bien que s'appliquant pour la plupart aux divers types de conducteurs uniques, les renseignements généraux qui vont suivre se rapportent principalement au fil aérien. Ils touchent successivement aux points ci-après désignés :

1. — Plan des circuits :
   a) Allure générale du courant;
   b) Tracé en plan de la ligne aérienne.
2. — Métal, dimension, tension des fils aériens.
3. — Suspension du réseau aérien :
   a) Supports. Poteaux;
   b) Organes d'attache et d'isolement.
4. — Protection contre les chutes d'autres fils.
5. — Prix unitaires.

1. — Plan des circuits.

a. — *Allure générale du courant.*

Fil de contact. — Le courant issu de l'une des bornes de la dynamo génératrice se rend au fil aérien (fig. 194), où il est recueilli par un organe relié à la voiture; il en traverse les appareils électro-moteurs et passe par les roues aux rails; ces rails et le sol sont raccordés à la deuxième borne de la dynamo pour fermer le circuit.

Le fil de contact est suspendu à des potences ou à des fils transversaux (*span wires*) (fig. 195 et 196). Selon que ce fil surplombe l'axe de la voie ou qu'il est placé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

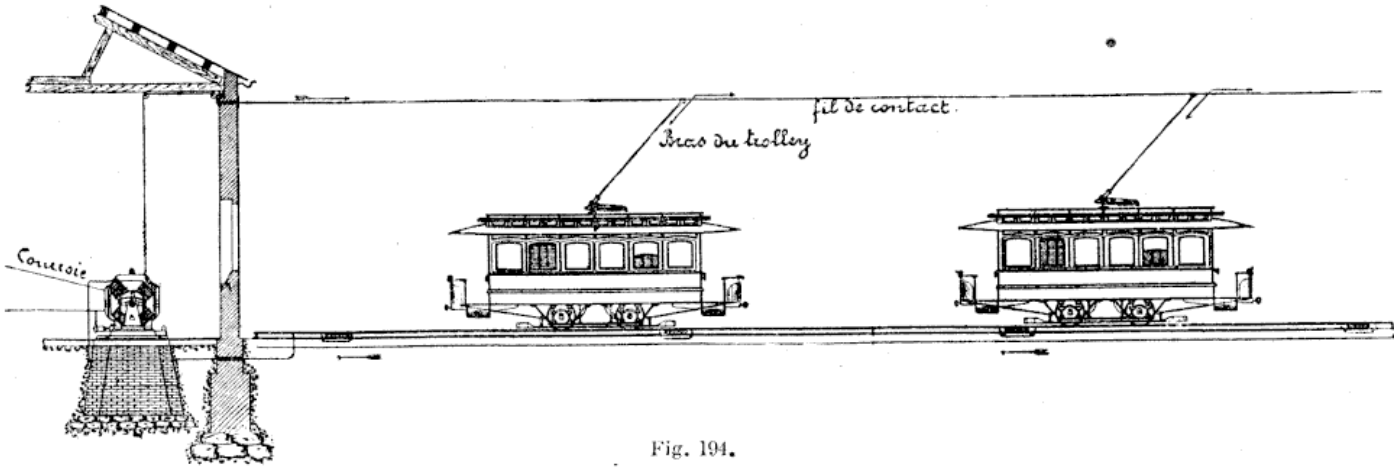


Fig. 194.

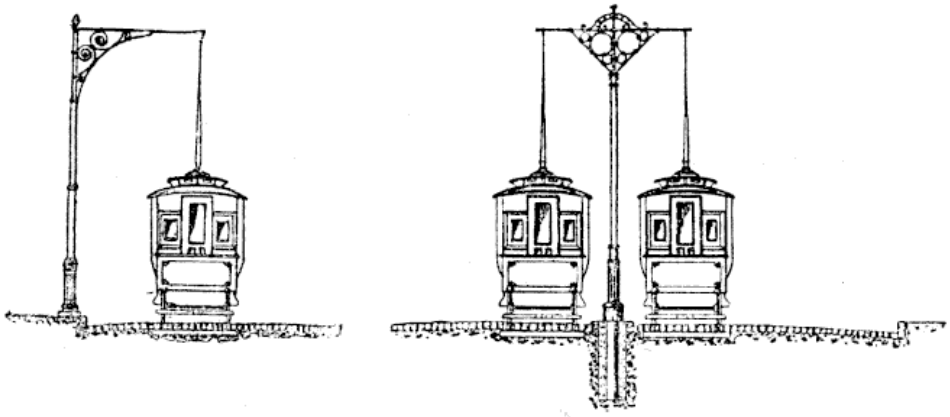


Fig. 195.

Conducteur aérien. Simple fil.

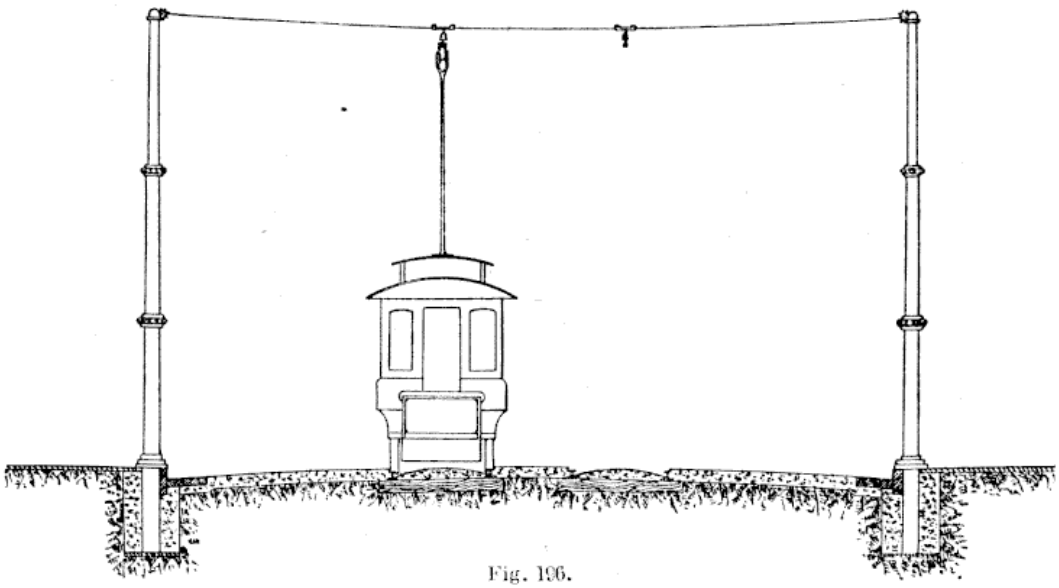


Fig. 196.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

latéralement, l'organe de prise de courant présente dans son aspect général des dispositions mécaniques diverses (fig. 197, 198 et 199). Le nom de *trolley* s'applique surtout à l'organe roulant ou poulie de contact.

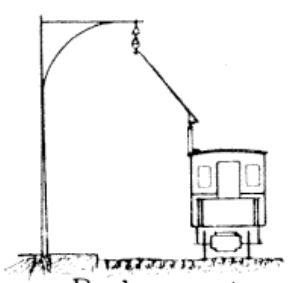


Fig. 197.

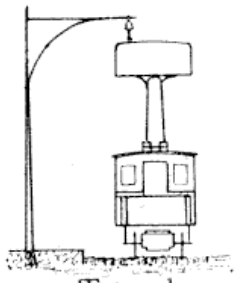


Fig. 198.

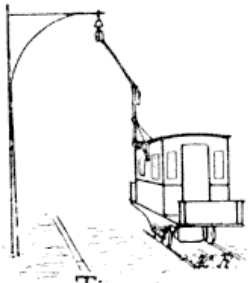


Fig. 199.

Câbles auxiliaires. — Il est rare que le fil aérien sur lequel s'opère le contact ou *fil de trolley*, suffise à conduire le courant dans toute son intensité d'un bout à l'autre de la ligne. Si elle dépasse une certaine longueur et se trouve desservie par plus de deux ou trois voitures, elle comporte généralement l'usage de câbles

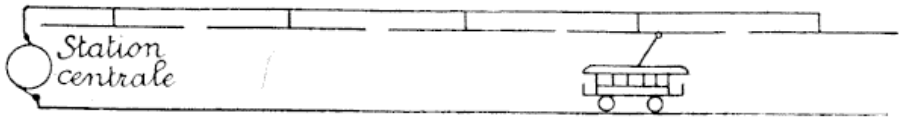


Fig. 200.

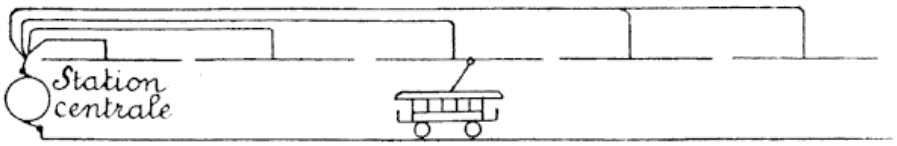


Fig. 201.

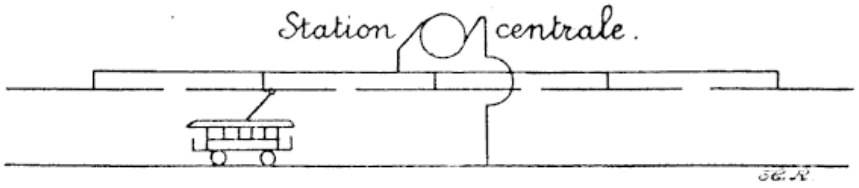


Fig. 202.

supplémentaires d'alimentation. Selon les circonstances locales, ces feeders se partagent différemment cette fonction entre l'usine et les sections du fil de trolley. Ces sections, isolées l'une de l'autre dans l'appareillage de suspension, varient entre 500 et 800 mètres, selon l'intensité du trafic, la configuration des rues et d'autres circonstances locales, ainsi que nous l'avons dit déjà à propos du rendement de la ligne, et comme nous en verrons des exemples dans la description des installations existantes (fig. 200, 201 et 202).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De même, la fermeture du circuit électrique d'aller et retour entre les roues et la dynamo génératrice, pour être assurée par les rails, nécessite des précautions dans les connexions aux joints, suppléant au défaut de conductibilité de l'éclissage et même parfois un câblage supplémentaire (fig. 203). Ces dispositifs seront décrits en détail et discutés sous le titre de *circuit de retour*, nom commode, quoique impropre, ce circuit se fermant parfois à la borne positive de la dynamo.

Fig. 203.

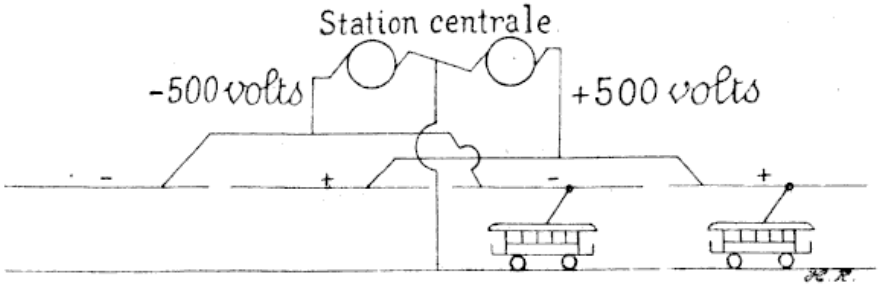


Fig. 204.

Au cas assez rare de l'alimentation par le système *à trois fils* (fig. 204), le circuit de retour est relié au point neutre entre les deux dynamos génératrices ; les différentes sections du fil de trolley dûment isolées l'une de l'autre sont alternativement reliées à la borne positive et à la négative du système, de telle sorte que le circuit puisse, autant que l'exploitation le permet, se fermer sur deux sections consécutives par l'intermédiaire de nombres pairs de voitures et de la voie, la différence de potentiel restant alternativement à + 500 volts et à — 500 volts entre chaque trolley et la terre.

b. — *Tracé en plan du fil de trolley.*

Systèmes. — Ce tracé se présente sous la forme d'un *polygone* dont il s'agit de déterminer les angles. Le nombre et la longueur des côtés diffèrent notablement selon que le fil est maintenu dans une position aussi voisine que possible du plan médian de la voie, *système axial*, ou qu'il est mené latéralement ou tangentiellement, *système latéral*.

Dans le système axial, les difficultés se rencontrent surtout dans les courbes et les jonctions.

En ligne droite, les points de suspension sont espacés de 30 à 45 mètres, selon diverses conditions que nous indiquerons plus loin. Dans les courbes, le polygone et les moyens d'en déterminer les angles se présentent sous divers aspects.

L'essentiel est d'en limiter le nombre de côtés, afin d'éviter la dépense d'établissement et l'usure spéciale des trolleys et des points d'attache aux angles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Méthodes. — z. — M. W. Dierman a proposé, à cet égard, un procédé graphique assez élégant, dans un mémoire publié en 1894 (1). Nous citons :

« On voit en figure 205 les deux positions extrêmes que peut prendre la roulette par suite du déplacement, projeté horizontalement, du bras autour de son centre. Ces deux positions, situées symétriquement de part et d'autre de l'axe de la voie, sont distantes d'une longueur D qui varie, suivant la gorge de la roulette, entre 1 mètre et 1m25. Si l'on dépasse ces positions, l'angle B devient supérieur à l'angle d'ouverture de l'hyperboloïde de la roulette, un grippement se produit et le trolley s'use inégalement ou saute du fil sous la poussée des ressorts.

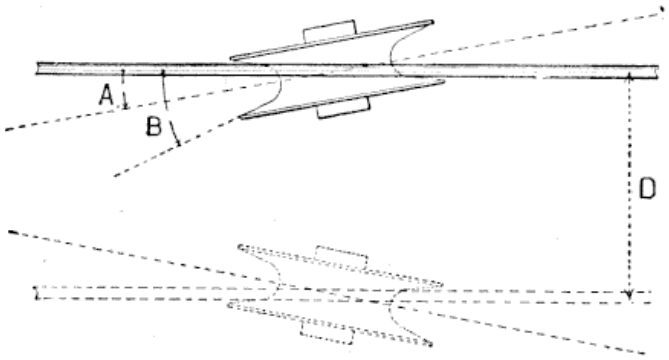


Fig. 205.

« Les trolleys du genre figuré ci-dessus imposent donc l'obligation de maintenir le fil de trolley dans une zone de contact variant avec le rayon des courbes.

« En courbe, le fil est monté suivant les côtés d'un polygone dont les longueurs varient avec ce rayon. On peut déterminer pratiquement ces dimensions en traçant DA et AB faisant entre eux l'angle z (fig. 206), égal à l'angle A de figure 205.

« Supposons que AD soit la projection horizontale du bras de trolley, la roulette étant en A, le centre en D. Le centre D faisant partie du centre de la voiture se trouve toujours dans l'axe de la voie. Si la roulette A se trouve en ce moment en un point du fil aérien qui soit précisément un des sommets du polygone constitué par ce fil, c'est en ce point que l'une des positions extrêmes représentées ne devra pas être dépassée : or, le sommet du polygone qui est inscrit dans la courbe axiale se trouve lui-même dans l'axe. Donc la projection AD du trolley est une corde de la courbe axiale de la voie. AB est la direction du côté du polygone, côté qui est inscrit dans la courbe axiale. Si la courbe est un arc de cercle, il suffit de faire passer par A et D une série de circonférences de rayon variable qui couperont AB en B_1, B_2, B_3, correspondant aux rayons AB_1, AB_2, AB_3.

---

(1) *Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Voici quelques résultats :

	ANGLES DE LA ROULETTE		RAYONS.
	1/5	1/6	
Portées	7^m00	5^m50	25 mètres.
	13^m10	11^m00	40 —
	27^m50	23^m00	75 —
	47^m50	39^m00	125 —

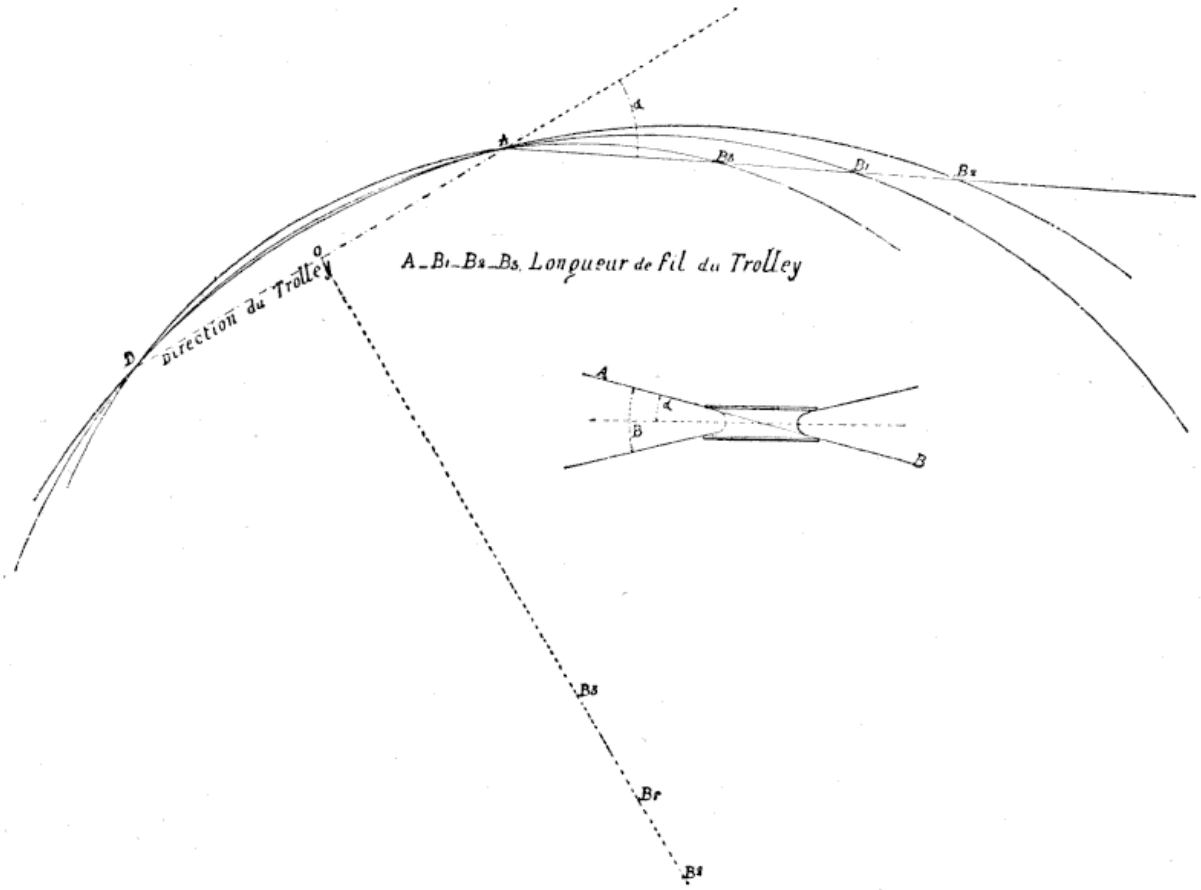


Fig. 206.

β. — Dans l'un des articles publiés au commencement de 1895 par la revue *Engineering*, M. Philipp Dawson donne à ce sujet une formule établie comme suit :

« Dans les figures 207 et 208, si T représente la projection de la tige du trolley « sur un plan parallèle à la voie, et α le plus grand angle que le fil de trolley « puisse faire avec la direction du trolley projeté sur le même plan, nous voyons « que d, la plus grande distance entre l'axe de la voie et le fil, ne peut excéder :

$$d = \sqrt{T^2 - (T \cos \alpha)^2}.$$

« Comme T est généralement égal à 3 mètres, la tige mesurant ordinaire-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« ment 3m60, et α approximativement 20°, nous trouvons pour *d* une distance de « 1m05 entre le fil et l'axe de la voie au delà de laquelle le trolley quitterait le fil. « En pratique, on n'atteint pas une telle distance et l'on ne dépasse guère 60 et « 72 centimètres, bien entendu dans le cas où le trolley est du genre américain à « base fixée au centre de la voiture. »

L'angle α n'est pas strictement choisi égal à la moitié de l'ouverture projetée de la roulette, mais diminué de $^1/_5$.

Partant donc de la distance limite à respecter, on déterminera aisément, en raison de la courbure de la voie, la portée du fil de trolley entre deux points d'attache consécutifs.

Fig. 207.

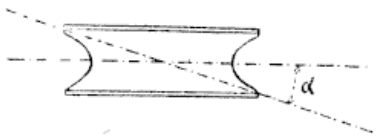


Fig. 208.

Jonctions de ligne. — Dans les jonctions de voies, le point du tracé assez délicat à déterminer, dans le système axial, est celui où se projette le sommet de l'angle des deux fils de trolley.

α. — Voici la règle énoncée dans l'ouvrage de MM. Crosby et Bell :

« Soit en RXZYS (fig. 209) la position de la voie ; O, le centre du triangle XYZ, « c'est-à-dire le point d'intersection des bissectrices des angles X, Y, Z. La « position de l'appareil de jonction sera exactement au-dessus du point O. « Cette position du point de rencontre a pour effet de rejeter un peu la ligne « principale et la ligne embranchée l'une et l'autre hors d'axe : c'est là le secret « d'un bon fonctionnement de la jonction. »

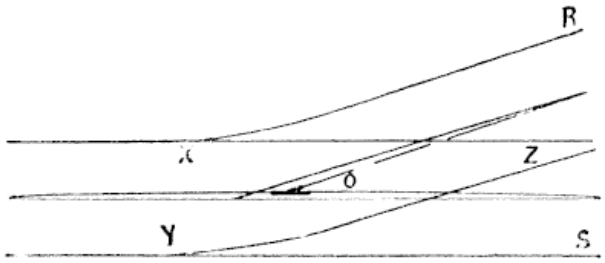


Fig. 209.

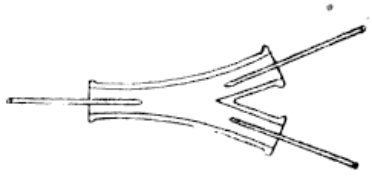


Fig. 210.

Il suffit dès lors que la poulie trouve sous la pièce métallique, réunissant les trois bouts de fil, de simples joues-guides pour qu'elle suive la bonne direction. La figure 210 est un schéma de cette pièce vue de dessous. On obtient généralement un bon résultat en suspendant son centre à 20 centimètres des pointes vers les talons des aiguilles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

β. — Il va de soi que les appareils de prise de courant du genre des tringles horizontales ou archets évitent la nécessité de recourir à cet artifice.

Pour certain système de fil latéral avec contact à poulie, il est fait usage d'un aiguillage spécial.

Tels sont les procédés généraux en usage pour déterminer en plan la position des angles du polygone formé par le fil de trolley. On en déduit, selon les circonstances locales, la position des poteaux, des fils de tension ou des fils transversaux; nous aurons l'occasion d'en donner des exemples dans les descriptions d'installations diverses de tramways.

c. — *Plan des fils tendeurs.*

Tout en saisissant le fil de trolley en autant de points d'attache que le système

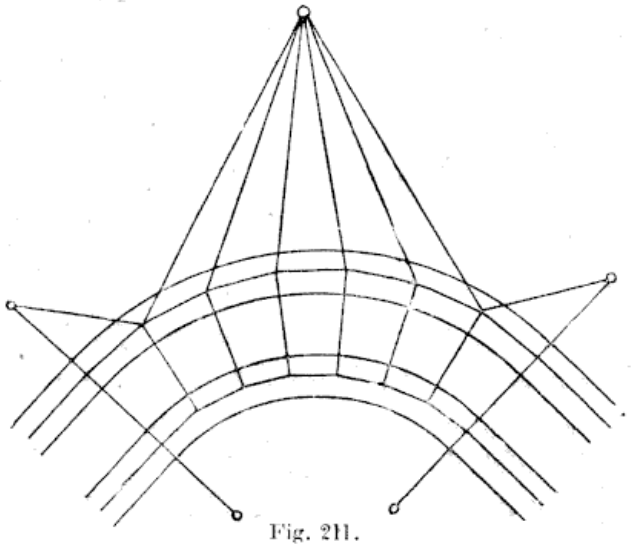


Fig. 211.

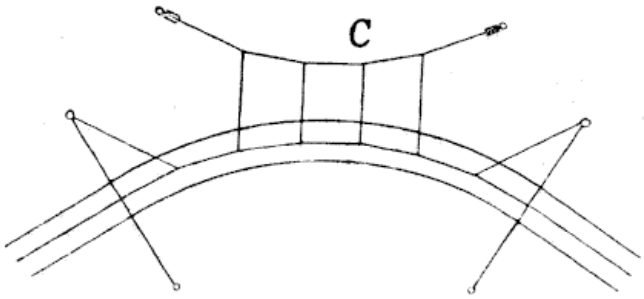


Fig. 212.

de prise de courant exige d'inflexions, on peut avoir intérêt à diminuer le nombre de points de suspension fixes, tels que poteaux ou rosaces. Ainsi l'on peut concentrer les fils tendeurs en des centres de suspension (fig. 211) ou bien, suivant le procédé Short, rassembler sur un câble C (fig. 212), isolé à ses extrémités, les bouts des fils fixant l'emplacement des sommets angulaires du polygone, système dont le défaut est de *subordonner la suspension à la solidité du câble C.*

D'autres variétés d'emplacements des fils tendeurs se trouvent dans les descriptions d'installations effectuées en Belgique (Voir C-2.)

2. — Métal, dimensions, tension des fils aériens.

a. — *Métal et diamètre.*

Le fil de trolley est généralement en cuivre dur ou en bronze phosphoreux ou siliceux fourni en rouleaux d'un développement de 500 mètres au moins. Son

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diamètre varie entre 7 et 9 millimètres. Cependant, pour le cuivre dur de haute conductibilité, 96 à 97 p. c. de celle du cuivre pur, on s'en tient au n° 0 de la jauge américaine, lequel coïncide à très peu près avec le n° 0 de la jauge anglaise, soit 8.23 millimètres. Il pèse 470 kilogrammes par kilomètre.

Exceptionnellement, on emploie un fil de trolley en acier de 6 millimètres de diamètre suivi de près par le feeder porté sur les mêmes poteaux.

Au diamètre de 8.23 millimètres, le fil de cuivre dur présente une résistance à la rupture de 2,250 kilogrammes. Son usure en ligne droite a été évaluée par M. W. Mansfield à 2 $^1/_2$ centièmes de millimètre après 104,000 passages de trolley, ce qui correspond à un service de six en six minutes pendant 18 heures durant un an. A ce compte, il durerait vingt ans, s'il ne survenait d'autres causes de détérioration, telles qu'une cristallisation s'ajoutant à l'usure pour en affaiblir la résistance. Il est clair que, dans les courbes et aux liaisons, on ne peut compter sur une telle durée du fil qui doit y être maintenu en due observation.

Au cas où l'appareil de contact glisse au lieu de rouler, l'usure est évidemment plus rapide en général, mais, en revanche, elle est uniforme en courbe et aux liaisons comme en ligne droite.

Les fils de contact en bronze siliceux et phosphoreux présentent à la rupture une résistance de 39 kilogrammes par millimètre carré avec 97 p. c. de conductibilité et 40 kilogrammes avec 96 p. c.

Les fils transversaux (*span wires*) sont en acier galvanisé de diamètre variable avec la portée de 7.3 à 4 millimètres de diamètre, soit unis, soit formés de 3 à 7 brins de fils fins tordus. Des fils de même diamètre et de même matière sont employés comme tendeurs aux courbes et aux ancrages.

M. W. Mansfield préfère le fil de bronze phosphoreux ou siliceux, quoiqu'un peu plus coûteux, mais moins oxydable.

b. — *Flèches et tensions.*

Tableaux. — Concernant les flèches résultant des portées, soit du fil de trolley, soit des fils de support, voici, d'après M. Hedge et M. Dawson, des tables dressées conformément à des essais dynamométriques, par M. F.-A. Merryl, de New York, pour les usages de la traction électrique. Elles donnent en même temps la tension exercée par les fils sur les poteaux.

Pour le fil de trolley, le point de départ était un effort de tension maximum de 900 kilogrammes, lorsque la température était à un minimum initial choisi.

Cette tension initiale donne évidemment la même flèche pour une même portée. Mais l'influence de la température $t°$ dépend de la température initiale t' à laquelle on a donné au fil la tension maximum par le plus grand froid.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau des flèches et des tensions du fil de trolley pour une tension initiale de 900 kilog. et une même portée à différentes températures t°, pour trois températures initiales t'.

VARIATIONS DE TEMPÉRATURE DE LA CONTRÉE.	Tensions du fil de trolley.	Flèche pour une portée moyenne de 38 mètres.
a) t' = — 23° C.	900 kilogrammes.	11 centimètres.
$t°$ = — 18° C.	351 —	29 —
$t°$ = 0° C.	188 —	46 —
$t°$ = 10° C.	154 —	56 —
$t°$ = 21° C.	136 —	63 —
$t°$ = 32° C.	121 —	71 —
b) t' = — 12° C.	900 —	11 —
$t°$ = 0° C.	242 —	36 —
$t°$ = 10° C.	188 —	46 —
$t°$ = 21° C.	154 —	56 —
$t°$ = 32° C.	136 —	63 —
c) t' = 0° C.	900 —	11 —
$t°$ = 10° C.	282 —	30 —
$t°$ = 21° C.	200 —	43 —
$t°$ = 32° C.	154 —	56 —

Flèches, tensions et portées correspondantes pour les fils transversaux portant **un** *fil de trolley.*

PORTÉES EN MÈTRES.	FLÈCHES EN CENTIMÈTRES DU FIL TRANSVERSAL CORRESPONDANTES A UNE TENSION DE CE FIL DE :						
	226 kg.	362 kg.	453 kg.	679 kg.	906 kg.	1,132 kg.	1,359 kg.
9 mètres	20	12	10	7	5	...	..
12 —	27	17	13	9	7	...	...
15 —	35	22	17	11	9	7	...
18 —	42	26	21	14	11	8	7
21 —	51	31	25	17	12	10	8
24 —	59	37	29	20	14	12	10
27 —	68	42	34	23	17	13	11
30 —	77	48	39	26	19	15	13
33 —	86	54	43	29	22	17	14
36 —	96	60	48	32	24	19	16

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Flèches, tensions et portées correspondantes pour les fils transversaux portant **deux** *fils de trolley distants de 3 mètres.*

PORTÉES EN MÈTRES.	FLÈCHES EN CENTIMÈTRES DU FIL TRANSVERSAL CORRESPONDANTES A UNE TENSION DE CE FIL DE :							
	226 kg.	362 kg.	453 kg.	679 kg.	906 kg.	1,132 kg.	1,359 kg.	1,585 kg.
12 mètres . . .	39	24	20	13	10	8	...	...
15 — . . .	53	33	26	18	13	11	...	...
18 — . . .	67	42	33	22	17	13	11	...
21 — . . .	81	51	40	27	20	16	13	...
24 — . . .	95	60	48	32	24	19	16	14
27 — . . .	110	69	55	37	28	22	19	16
30 — . . .	126	78	63	42	31	25	21	18
33 — . . .	141	88	71	47	35	28	24	20
36 — . . .	157	98	78	52	39	31	26	22

Formules. — De ces tables ont été tirées les formules suivantes calquées sur l'équation de la chaînette (1) :

F = la flèche en centimètres.
L = la portée en mètres.
P = l'effort exercé sur les poteaux par les fils transversaux en kilogrammes.

On a pour les fils transversaux portant *un seul* fil de trolley :

$$F_1 = 6 \frac{L}{P} (77 + L).$$

(1) Les formules américaines données par M. Dawson sont les suivantes :

D = la flèche en pouces.
l = la portée en pieds.
S = la tension supportée par les poteaux en livres.
t = la *différence* de température en degrés Fahrenheit et celle où l'effort de tension atteint 2,000 livres.

Pour les fils transversaux portant un fil de trolley :

$$D = \frac{l}{S} \left(120 + \frac{l}{2}\right).$$

Pour les fils transversaux portant deux fils de trolley :

$$D = \frac{l}{S} (160 + l).$$

Formules du fil de trolley :

$$T = \frac{7477}{D} \qquad D = \sqrt{8.1\ t + 14}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour *deux* fils de trolley :

$$F_2 = 12 \frac{L}{P} (51 + L).$$

dans les limites des essais.

En appelant T la tension en kilogrammes à laquelle est soumis le fil de trolley pour une flèche F^3 en centimètres, on a *grosso modo* pour le fil de trolley :

$$T = \frac{8600}{F_3}.$$

Enfin, cette flèche en centimètres est donnée en fonction de la *différence* t entre la température actuelle t^o et celle t' pour laquelle la tension sur le fil de trolley est supposée 900 kilogrammes, par la formule :

$$F_3 = 9.68 \sqrt{t + 1.28} \qquad t = t^o - t'.$$

Pratique. — En fait, on s'arrange de façon à éviter que le fil de trolley ne s'affaisse pas de plus de 35 ou 45 centimètres au temps le plus chaud, prenant ainsi une flèche maximum de 46 à 56 centimètres, pour une flèche initiale de 11 centimètres au temps le plus froid, et l'on en espace en conséquence les supports en ligne droite et les ancrages. Aux poteaux *extrêmes* de la ligne, on tend le fil exceptionnellement à 500 ou 600 kilogrammes à la moyenne température, pour tenir compte à la fois de la tension donnant la flèche normale, et des efforts anormaux. Quant aux fils transversaux, on en abaisse le coefficient de tension autant que leur propre portée le permet sans en exagérer la flèche, c'est-à-dire entre 125 et 275 kilogrammes, et l'on tâche de maintenir la flèche entre 25 et 30 centimètres. On les tend au moyen d'un rochet ou d'une vis faisant partie de l'attache au poteau, ou parfois, si les poteaux sont en bois, en réservant aux boulons porte-œillets une partie filetée qui les traverse, assez longue pour opérer le rappel, ou enfin la double vis sur bride à filets contraires. En courbe, on diminue la forte tension exercée sur le fil tendeur et sur le fil de trolley, en inclinant le fil tendeur au $^1/_{30}$ environ, moyennant un surélèvement du support, et au moyen d'ancrages voisins.

3. — Suspension du réseau aérien.

a. — *Poteaux, potences, rosaces.*

Description. — Lorsqu'après avoir tracé en plan le polygone suivi par le fil de trolley, on est fixé par les règles précédentes sur l'emplacement de tous ses points d'attache ; il reste encore le choix des modes de suspension les mieux appropriés aux circonstances locales : le poteau à simple ou à double potence, à potence pour deux lignes, le fil transversal tendu entre deux poteaux, ou en partie fixé aux façades des maisons par des rosaces.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Écartement. — On vient de voir comment, partant de la hauteur minimum imposée du fil de contact, 6 mètres au-dessus du sol, par exemple, on détermine celle des points de suspension en tenant compte des flèches que prendront les fils sous l'influence de la température et de la tension exercée dans la pose.

Ces conditions déterminent l'espacement des supports en alignement droit ou dans les courbes de très grand rayon, puisqu'aux courbures plus roides il est fixé par des règles données.

L'écartement des poteaux qui en ligne droite, ou à peu près, varie ainsi ordinairement entre 30 et 45 mètres, et atteint 50 mètres exceptionnellement, se modifie encore sur certains points selon d'autres circonstances : les ancrages, la présence dans le sol de canaux ou d'ouvrages souterrains à éviter, ou bien la longueur et le poids des potences à deux fils, si l'on préfère, par exemple, des poteaux moins forts, un peu plus nombreux et semblables à ceux qui portent les potences à un fil.

Hauteur. — Voici quelques généralités au sujet des conditions d'établissement et de résistance de ces appareils.

On est assez généralement d'accord pour adopter la hauteur de 6 mètres pour le point le plus bas occupé par le fil de trolley. On compte 1^{m}60 à 2 mètres d'enfoncement dans le sol, et parfois 2^{m}20 à 2^{m}40. La longueur supplémentaire dépend soit de la forme des consoles, soit, s'il s'agit de poteaux maintenant des fils transversaux ou des tendeurs en courbe, de la portée de ces derniers. On voit qu'on arrive à une longueur totale de 9 mètres à 9^{m}40.

Aspect et pose. — Les poteaux en bois sont employés bruts ou équarris ou taillés en section octogonale et préparés à l'instar des poteaux télégraphiques. La nature du sol sert d'indication à la manière de les y planter, et en courbe des arcs-boutants ou des haubans en fil d'acier galvanisé aident souvent à les maintenir. Enfoncés de 1^{m}80 dans le sol avec ou sans garniture de pierraille, ils sont souvent contrebuttés par un madrier de 10 sur 20 centimètres et 1 mètre de longueur, dissimulé un peu au-dessous de la surface du chemin.

Concernant les poteaux en fer, on ne peut établir de procédé de fixation qu'en raison de la forme adoptée. Ailleurs, par le fait que dans les systèmes de prise de courant qui permettent le *désaxement* du fil de trolley, les potences qui le portent en retrait sont partant moins lourdes, toute la construction est allégée.

Dans le système axial, les données américaines dominent.

Aux poteaux en treillis ou en fers profilés choisis parfois par économie, on préfère, en général, le poteau tubulaire formé de deux, trois ou quatre pièces emmanchées à chaud l'une dans l'autre, « telescoped », sur une longueur de 35 à 45 centimètres.

Ces poteaux sont plantés à une profondeur de 1^{m}60 à 2 mètres dans le sol, où ils reposent, avec ou sans plaque de base, sur une pelletée de pierrailles et entourés

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'un coulis de béton de 30 à 40 centimètres d'épaisseur, selon la nature du sol. Dans les courbes, l'enfoncement est de 2 mètres à 2m40. On profite parfois de la bordure du trottoir en guise de soutien supplémentaire. On a coutume, lors de la pose, de donner aux poteaux une inclinaison en sens inverse de la tension, laquelle tend à en ramener la partie supérieure dans une position verticale. D'après M. Crosby, cette inclinaison serait de 2 1/2 à 3 p. c. pour les poteaux en fer et le double au moins pour ceux en bois. Pour le cèdre, la *Waukesha Beach Electric Railway* (Wis., E. U.) va jusqu'à 7 p. c.

L'inclinaison de pose des poteaux en bois tendant des fils transversaux dépend également de la largeur de la route ; pour les poteaux en bois, 23 centimètres si la rue a 10 mètres; 35 centimètres si elle a 15 mètres avec une légère augmentation de 5 à 15 centimètres en courbes prononcées.

Résistance. — Conditions communes. — Tout en prenant, en vertu des usages ci-dessus rappelés, des dispositions quant au nombre de points d'attache qui limitent les efforts normalement supportés par les fils et partant par les poteaux, on tient évidemment compte des efforts anormaux résultant d'accidents, bris de fil, contractions excessives, surcharges de givre, etc., auxquelles le réseau peut être soumis.

On envisage donc à la fois une résistance répondant à une inflexion normale, et qui dépend de l'espacement requis, du porte-à-faux des potences, de la portée des fils transversaux, des variations climatériques, etc., et une résistance maximum à laquelle les poteaux puissent être soumis sans dépasser la limite d'élasticité.

L'exigence varie avec la destination des poteaux : moindre pour les potences à un fil de trolley; un peu plus forte pour les potences doubles ou portant deux fils de trolley; moyenne pour les courbes, les ancrages et les fils transversaux, et maximum pour les extrémités.

Spécifications. — Bois. — Aux États-Unis, les poteaux en bois créosotés ou injectés au sulfate de cuivre ou au chlorure de zinc sont en cèdre ou en pin de Georgie et mesurent, en longueur, de 8m50 à 9 mètres; au pied, 25.4 à 32.5 centimètres de diamètre; au sommet, 18 à 21 centimètres, et pèsent de 200 à 280 kilogrammes. Ceux de 35 à 40 centimètres d'équarrissage pèsent de 300 à 350 kilogrammes. Les moins forts s'emploient pour tendre les fils en ligne droite dans des rues n'excédant pas 10 mètres de largeur.

En Europe, un poteau en sapin de 28 à 34 centimètres à la base et 19 à 22 centimètres au sommet pèse de 250 à 275 kilogrammes.

Fer. — Pour le fer, on dresse une échelle de types portant différentes conditions *de poids, de résistance au sommet, de flèche temporaire* et *de déformation permanente.*

A ces conditions s'ajoutent d'autres exigences selon la nature des matériaux et la forme : tubes ou treillis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tubes. — α. — Ainsi, pour les poteaux métalliques tubulaires en plusieurs tronçons, on ne tolère sur les dimensions spécifiées que 6 millimètres en longueur, 2 millimètres en circonférence, une ovalisation de 3 millimètres au plus. En les laissant tomber debout verticalement d'une hauteur de 1m80 du côté du pied sur une enclume, trois fois, ils ne doivent pas présenter de signes de surenfoncement.

β. — Aux États-Unis, le type le plus répandu est le poteau tubulaire; il s'y fabrique sur une vaste échelle. Les poteaux les plus usuels présentent les dimensions et le poids ci-après :

TUBES.	Longueur totale.	Diamètre au pied en millimètres.	Diamètre au milieu en millimètres.	Diamètre au sommet en millimètres.	Poids en kilogrammes.	Effort au sommet sans flèche permanente supérieure à 12 millimètres.	Effort normal à supporter avec 150 mill. de flèche.
Tube à 3 sections . . .	8.5	152	127	101	215 à 340	450 à 680	150 à 200
— 3 — . . .	9	178	152	127	270 à 450	906 à 1,132	200 à 300
— 3 — . . .	9	203	178	152	370 à 590	1,350 à 1,800	400 à 500
— 2 — . . .	7.9	152	...	127	226	680	200

Le tube de 127 millimètres à la base est déconseillé.

De plus forts tubes placés aux terminus, ou concentrant en un seul point les efforts de plusieurs haubans en courbe, mesurent 240 millimètres à la base et supportent une tension de 650 kilogrammes avec 150 millimètres de flèche et capable d'en subir aux essais une de 1,200 kilogrammes sans une déformation permanente supérieure à 12 millimètres.

Les moins forts s'emploient en ligne droite pour tendre des haubans d'une longueur inférieure à 10 mètres, les autres en courbe ou pour tendre les longs haubans.

La longueur des tronçons est de 3m50 pour les deux premiers et 2m50 pour celui du sommet en moyenne avec une épaisseur de paroi atteignant 15 millimètres.

Des poteaux de ce type sont installés au tramway de Liége à Cointe (C-2).

γ. — A Bruxelles et en de nombreuses installations du type Thomson-Houston s'emploie le poteau à quatre tronçons emboités l'un dans l'autre. Deux bagues (fig. 213) ou doublures de 4 à 7 millimètres d'épaisseur sur 100 de hauteur sont glissées à chaud sur le bout inférieur de chaque tronçon, puis celui-ci est enfoncé dans le voisin à la presse hydraulique. Ce poteau se présente sous cinq types; dans les quatre premiers figurent deux hauteurs en raison des distances auxquelles ils se trouvent placés, ou des dépressions du sol au point d'enfoncement, afin de maintenir au fil tendeur l'inclinaison voulue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 213.

TYPE.	DIMENSIONS DES TRONÇONS EN MILLIMÈTRES.												Enfoncement dans le sol.	Longueur totale.	Poids arrondi.	Effort normal au sommet.
	a			b			c			d						
	Longueur.	DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE intérieur.	Longueur.	DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE intérieur.	Longueur.	DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE intérieur.	Longueur.	DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE intérieur.				
A 1°	4,500	172	156	1,900	146	130	1,700	121	107	1,300	95	85	1,600	9,400	290	230 à 260
A 2°	4,400	172	156	1,800	146	130	1,700	121	107	1,300	95	85	1,600	9,000	280	
B 1°	4,600	172	154	1,900	146	130	1,700	121	107	1,300	95	83	1,700	9 500	320	280 à 300
B 2°	4,500	172	154	1,800	146	130	1,500	121	107	1,300	95	83	1,700	9,100	300	
C 1°	4,700	203	178	1,900	166	146	1,700	133	115	1,300	101	90	1,800	9,600	400	350 à 400
C 2°	4,600	203	178	1,800	166	146	1,500	133	115	1,300	101	90	1 800	9,200	370	
D 1°	4,800	203	176	1,900	166	144	1,700	133	113	1,300	101	87	1,800	9,700	450	450 à 500
D 2°	4,700	203	176	1,800	166	144	1,500	133	113	1,300	101	87	1,800	9,300	420	
Terminus	4,700	243	217	1,900	203	174	1,700	137	159	1,300	121	100	2,000	9,600	650	650

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La déviation de la verticale à la pose est de 300 millimètres du sommet à la base. Il existe dans cette série un numéro plus léger encore présentant une résistance de 200 kilogrammes au sommet, fait de tronçons de même longueur et mêmes dimensions extérieures que le type A, décroissant en épaisseurs de 7, 6, 5, 4 millimètres de la base au sommet, et résistant à une tension de 200 kilogrammes, mais il est peu employé. La main-d'œuvre des poteaux forts se répartit sur un poids de fer plus élevé qui en abaisse le prix unitaire rapporté à l'effort horizontal soutenu à 6m50 du sol.

δ. — Aux tramways du *South Staffordshire* est employé un poteau de deux pièces, dont le galbe se voit sur les figures de la description de cette installation, § C. Ils sont formés d'une partie cylindrique qui va se river à une plaque de fondation, noyée dans le sol à une profondeur de 1m83, et d'une partie conique encastrée dans la première. Ces deux tubes sont en acier doux de fabrication anglaise.

TYPE DE POTEAU.	Hauteur totale en mètres.	PARTIE CYLINDRIQUE.			PARTIE CONIQUE.				
		Hauteur en mètres.	Diamètre extérieur en millim.	Diamètre intérieur en millim.	Hauteur en mètres.	DIAMÈTRE EN MILLIMÈTRES.			
						Gros bout		Petit bout	
						extérieur.	intérieur.	extérieur.	intérieur.
I.	8.692	3.202	152	140	5.490	140	127	70	57
II.	8.844	3.202	178	165	5.642	165	152	95	82
Terminus . .	8.844	3.202	305	279	5.642	279	254	127	102

La partie cylindrique émerge de 1m525 hors du sol. Le poids des poteaux, types I et II, est respectivement 204 et 255 kilogrammes, y compris la plaque de fondation et les moulures.

Dans sa simplicité, ce poteau est d'un bon aspect. Il ne faut pas perdre de vue qu'étant fait pour soutenir des potences courtes et légères, il peut conséquemment présenter une échelle restreinte de résistances. Voici, du reste, des résultats d'essais exécutés sur un poteau, type I, encastré de telle façon que la partie cylindrique sorte de 1m525; la partie conique reçoit la charge au sommet à 305 millimètres de l'extrémité.

Efforts et flexions du poteau type I à 6m71 de l'encastrement :

Effort en kilog.	Flexion en millim.
102	133 sans déformation permanente.
153	197 — —
204	267 — —
230	305 avec 25 millim. de déformation permanente.
255	343 avec 25.4 — — —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ε. — Un type de poteau tubulaire *d'une seule pièce* à sections décroissantes est fabriqué par les *Mannesmannröhren Werke* de Dusseldorf. Cette forme semble déterminer un allégement eu égard à la résistance à la flexion.

Poteaux Mannesmann d'une pièce à sections décroissantes.

TYPE.		HAUTEUR ET DIAMÈTRE DES TRONÇONS EN MILLIMÈTRES.						Poids.	Effort horizontal.	Flèche calculée.
		1		2		3				
		Hauteur.	Diam.	Hauteur.	Diam.	Hauteur.	Diam.			
A	I	3,850	163	2,100	110	1,050	70	191	175	145
	II	3,850	188	2,100	130	1,050	80	222	250	144
	III	3,850	206	2,100	140	1,050	85	283	350	130
	IV	3,850	217	2,100	165	1,050	100	335	500	126
B	I	3,850	163	1,900	110	1,250	70	191	175	145
	II	3,850	188	1,900	130	1,250	80	222	250	144
	III	3,850	206	1,900	140	1,250	85	283	350	130
	IV	3,850	217	1,900	165	1,250	100	335	500	126
C	I	3,400	163	2,000	110	1,600	70	178	175	150
	II	3,400	188	2,000	130	1,600	80	217	250	150
	III	3,400	206	2,000	140	1,600	85	262	350	140
	IV	3,400	217	2,000	165	1,600	100	311	500	135

Il existe d'autres séries de tubes parmi lesquels certains numéros extra forts sont en deux pièces, les deux tronçons supérieurs, ne formant qu'une pièce, étant emboîtés dans l'inférieur. Pour un effort de 650 kilogrammes, ils pèsent 390 kilogrammes avec une flèche calculée de 134 millimètres, flèche qu'il ne faut pas confondre avec la déviation de la verticale à la pose. Ces tubes sont en acier d'une épaisseur de paroi de 7 à 8 millimètres.

Poteaux en treillis. — α. — Ce genre de poteaux, employés d'abord dans quelques villes d'Allemagne, tendent à se répandre à cause de leur prix plus avantageux, sur le continent, que celui des poteaux tubulaires. L'enfoncement dans le sol en est moins profond parce qu'ils sont rivés à une base plus large ; la fixation des consoles y est facile et solide.

La figure 214 montre des types employés dans le principe, c'est-à-dire vers

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1891, dans certaines villes d'Allemagne. Les spécimens *a* et *b* sont destinés à tendre les fils transversaux ou tendeurs au moyen de roues à rochets *r*, dont la queue à bout fileté passe dans une tubulure traversant le chapeau en cloche monté sur bloc en bois paraffiné encastré au sommet du poteau. Le type *b* peut tendre deux fils. En *c* et *d* se trouvent la tête et le pied de deux variantes de ces spécimens un peu plus fortes. Des tôles ondulées, placées transversalement dans le sol, s'opposent en même temps que la base au déversement.

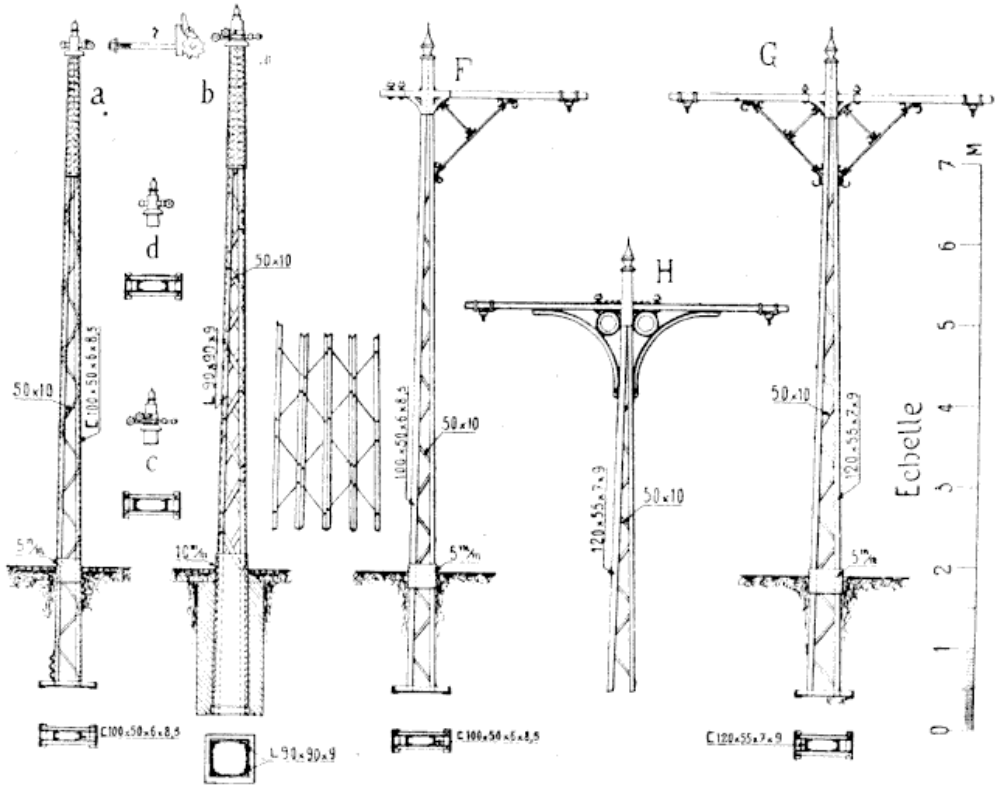


Fig. 214.

β. — Sur la figure 215 se voient une série de poteaux A, B, C de fabrication courante plus récemment étudiés, répondant aux poids et tensions ci-dessous :

	Poids.	Effort au sommet.
Type A	325 kilogrammes.	300
— B	380 —	470
— C	620 —	580

Les poteaux à potences I, II, III de la même figure pèsent respectivement 300, 310 et 310 kilogrammes, potences comprises. On remarquera que comparativement aux deux séries de la figure 214, la différence, au point de vue de la stabilité, porte principalement sur ces points, que les poteaux destinés à résister aux tensions des fils transversaux sont renforcés, tandis que ceux qui portent les potences comportent moins de fer, ce qui est conforme aux enseignements de la pratique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

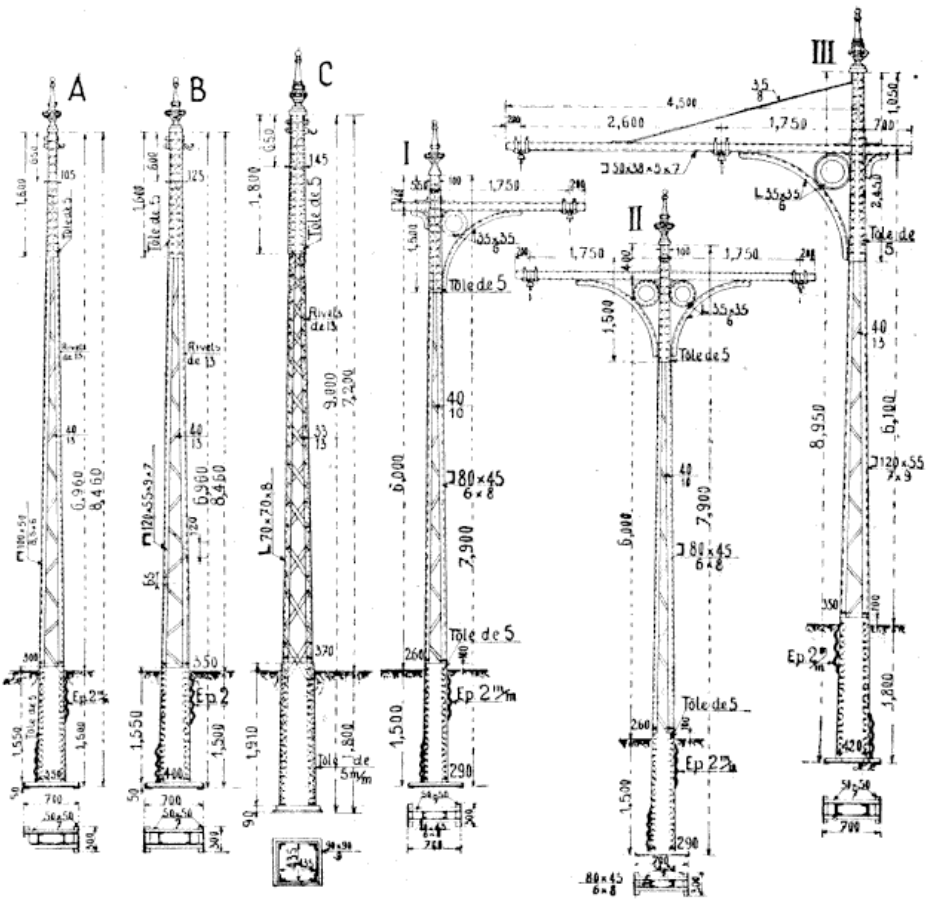


Fig. 215.

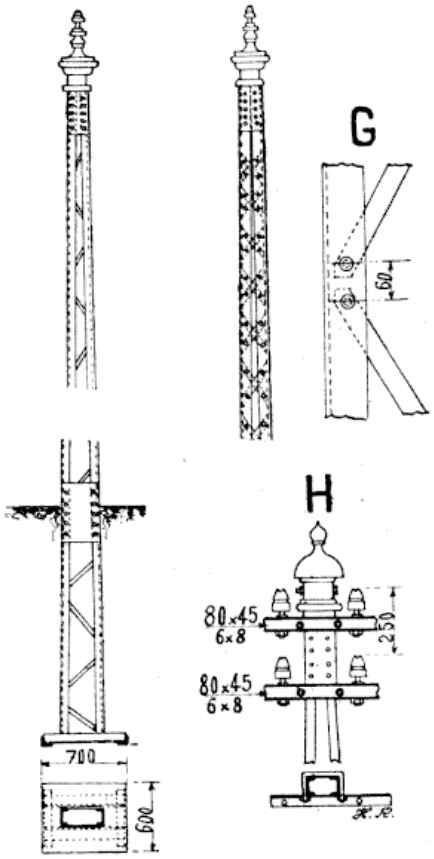


Fig. 216.

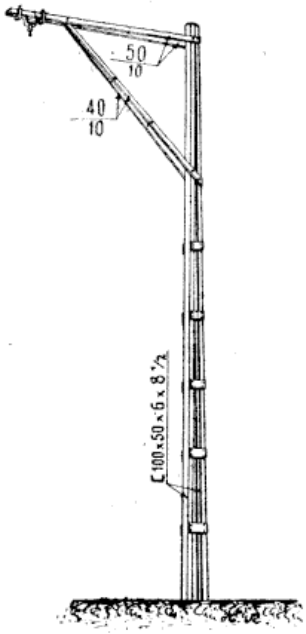


Fig. 217.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

γ. — La figure 216 montre une variante du pied et de la tête qui allège un peu l'ensemble sans déforcement, indique en G l'assemblage du treillis aux fers en équerre, en H celui des traverses portant des feeders.

δ. — Un type de poteaux en fers profilés d'une construction rudimentaire pour lignes suburbaines est représenté figure 217. Il est employé dans la banlieue d'Aix-la-Chapelle.

Rosaces. — Les rosaces auxquelles se fixent des fils tendeurs comportent souvent une partie isolante : une plaque fixée contre le mur par des écrous vissés sur des boulons à queue d'aronde scellés au plâtre ou au ciment porte, venues de fonte, deux pattes entre lesquelles se loge un manchon isolant traversé par un axe en fer et entouré d'un anneau à crochet. Le manchon isolant est en deux pièces à bourrelet débordant.

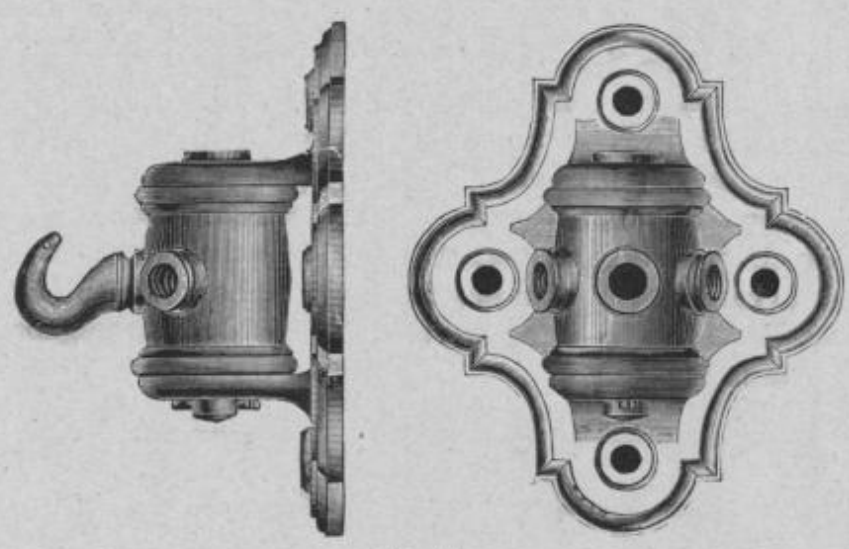


Fig. 218.

La figure 218 en est un modèle complet employé par la maison Siemens et Halske. Un autre type figure dans la description des tramways électriques de Bruxelles, § C-2.

Parfois la rosace est réduite à une plaque et un fort boulon, l'isolation se trouvant en un point du fil tendeur.

b. — *Attaches et isolation des fils aériens.*

Isolateurs et pinces de fil de contact. — Types américains. — En partant du fil de trolley, on trouve d'abord une série de pièces qui servent à le cramponner, l'isoler, le suspendre à son *support immédiat*, qui est un fil transversal, ou un fil tendeur simple ou double, ou un bras de potence.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La figure 219 représente, sous des formes très répandues, un ensemble de ces organes.

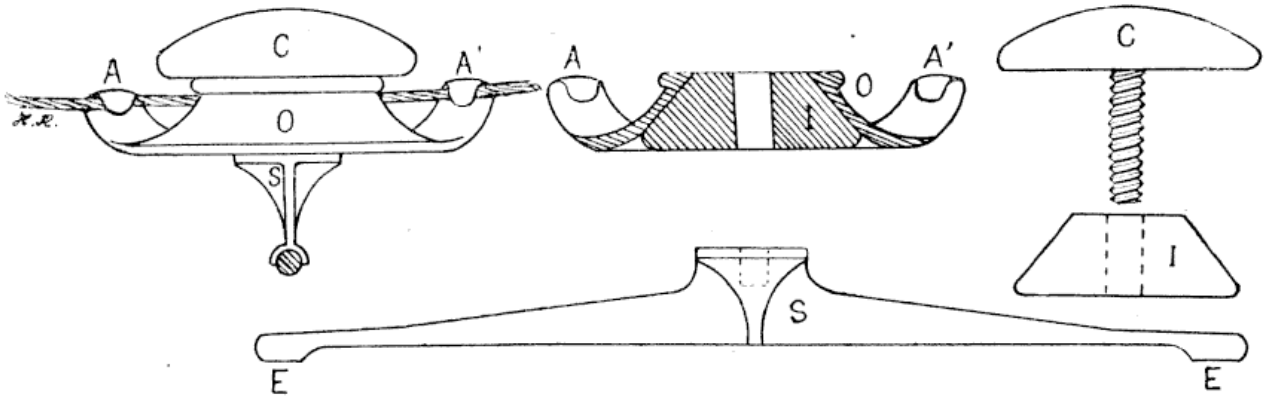


Fig. 219.

La pince ou « oreille » S, ayant 25 à 30 centimètres de longueur, reçoit inférieurement le fil dans une canelure, où il est généralement soudé sur toute la longueur. Les extrémités E portent de légers prolongements qui se rabattent sur le fil. Ces extrémités sont assez amincies pour épouser dans les courbes l'incurvation normale ou, ailleurs, suivre en se pliant sans se dessouder les inflexions éventuelles du fil dans le plan vertical, près du support, sous l'influence des efforts combinés résultant de la tension et du poids. La figure montre clairement comment l'oreille est fixée au support par la vis du champignon isolant C, à travers le cône isolant I.

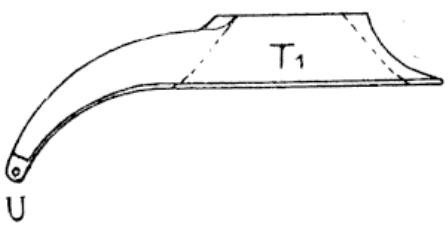


Fig. 220.

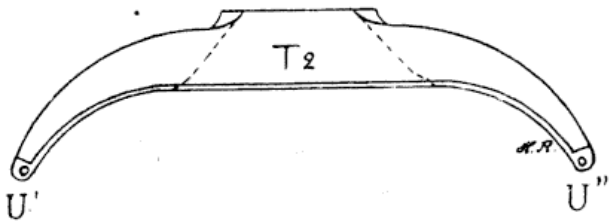


Fig. 221.

Pour accrocher le collier O en fonte malléable au fil transversal, on le contourne entre la périphérie et les appendices A et A'. Ce collier O est remplacé, par l'une des pièces T_1 ou T_2 (fig. 220 et 221), lorsque le point de suspension du fil est déterminé par l'extrémité d'un fil tendeur ou celles de deux fils tendeurs. On voit que la position des œillets U, U', U'' est abaissée en vue d'amener l'axe du ou des fils supports dans un plan passant par l'axe du fil de trolley.

La matière isolante du champignon C est un composé à base de résines ou de gommes et de poudres, telles que le mica, le talc. Le cône I est de même matière ou en porcelaine. Le collier O est en fonte malléable et l'oreille S est en alliage à base de cuivre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces types sont très usités dans les installations du genre Thomson-Houston.

Lorsque le fil de trolley est suspendu à un bras de potence, on peut fixer directement le collier D au manchon M glissant sur ce bras (fig. 222). Mais ce système manque d'élasticité, et l'on préfère employer un fil intermédiaire F (fig. 223) fixé lui-même à des bobines isolantes I que maintiennent des charnières boulonnées

Fig. 222.

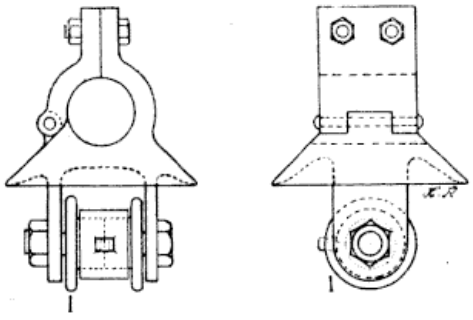


Fig. 224.

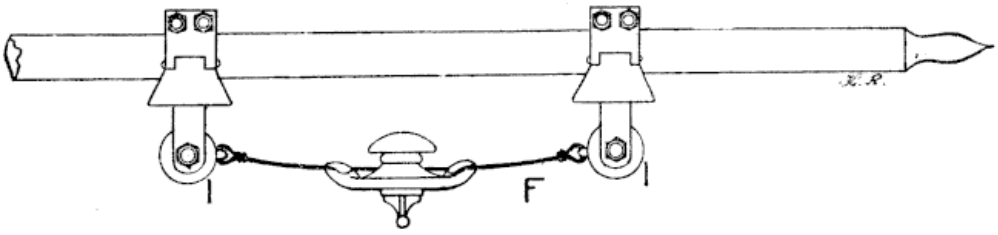


Fig. 223.

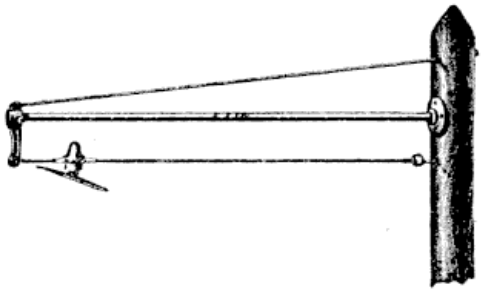


Fig. 225.

sur le bras et détaillées figure 224. Ce dispositif, adopté par les Tramways bruxellois, réalise en même temps une double isolation. La figure 225 montre un mode de fixation analogue pour poteaux en bois système de la Compagnie Creaghead, de Cincinnati.

Il existe de nombreuses variantes de ces différentes pièces (fig. 226, 227, 228, 229, 230, 231). La figure 232 montre comment au « West End », de Boston, on double l'isolation au moyen de la bague E interposée entre le support et le bras de la potence, avec articulation de la cloche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 226.

Fig. 227.

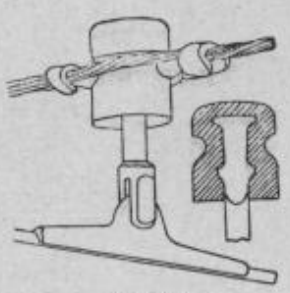


Fig. 228.

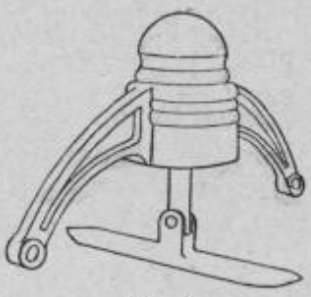


Fig. 230.

Fig. 229.

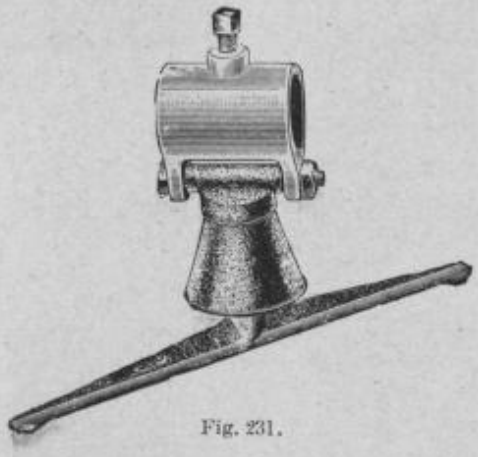


Fig. 231.

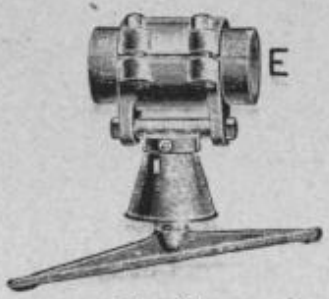


Fig. 232.

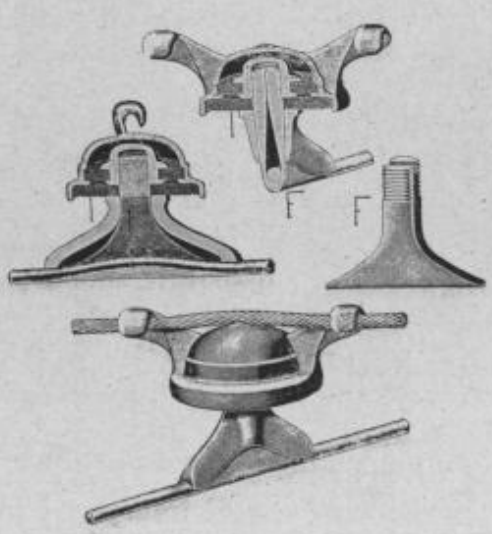


Fig. 234.

Fig. 233.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la fixation même du fil de trolley à l'oreille, on rencontre une infinité de procédés destinés à remplacer la soudure, en vue soit de rendre la pose plus rapide ou plus économique, soit de faciliter le déplacement du point d'attache. En voici quelques types. La figure 233 représente le support Creaghead à deux

Fig. 235.

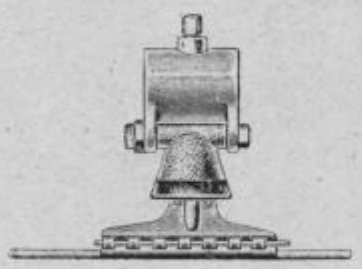


Fig. 236.

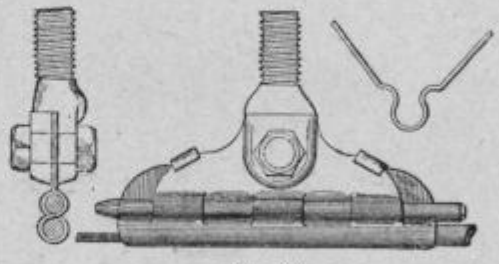


Fig. 237.

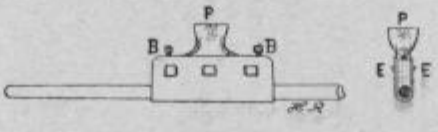


Fig. 238.

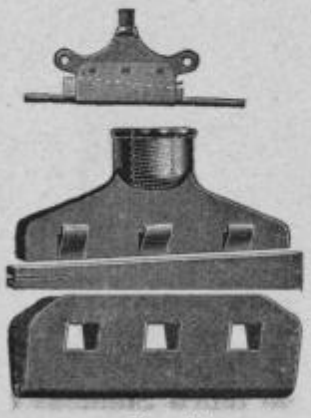


Fig. 239.

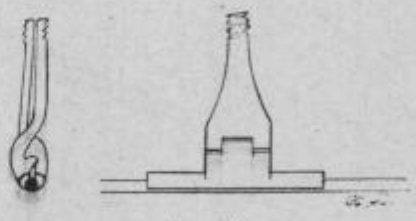


Fig. 240.

Fig. 241.

flasques vissées. La figure 234, rappelant une idée première due à M. Short, montre comment l'étrier fileté F soutient le fil en le courbant légèrement; c'est le support « Michigan ».

Le support (fig. 235), employé à Columbus, s'explique de lui-même, ainsi que la charnière (fig. 236) et celle (fig. 237), du type Mac Tighe, où l'on voit une plaque de cuivre dure repliée autour du fil pour former étrier. Une plaque de l'espèce,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans le type Anderson (fig. 238), est suspendue aux ergots E venus de fonte sur la pièce filetée P. Les petits boulons P serrent et maintiennent le tout. En substituant au serrage par écrou une clavette longitudinale, on obtient le support mécanique (fig. 239) fabriqué par les « New York Electrical Works ». La pince (fig. 240) paraît faciliter une pose rapide; de même, les plaques rivées (fig. 241).

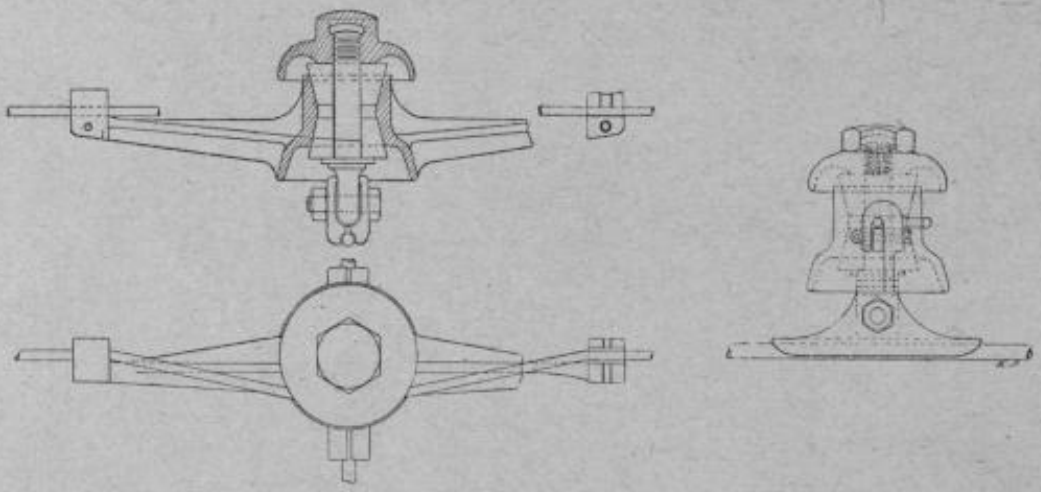


Fig. 242.

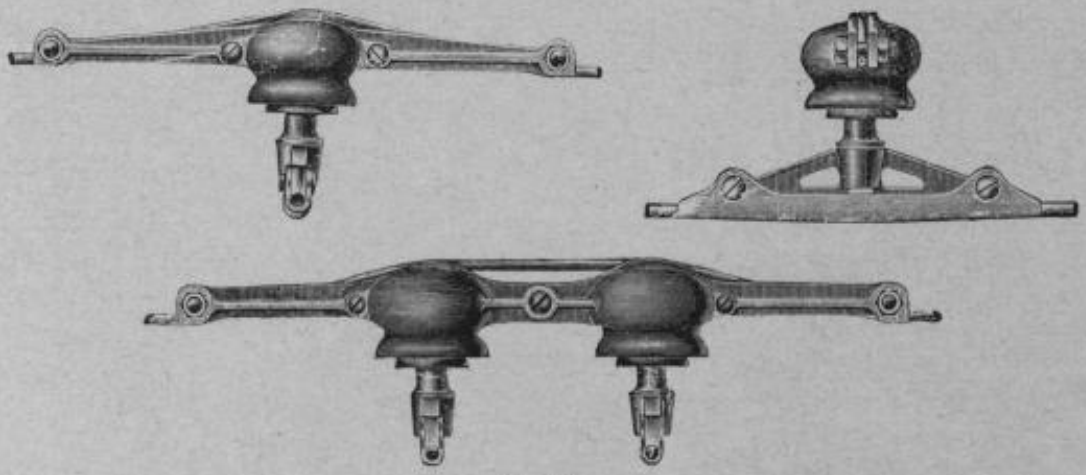


Fig. 243.

Types européens. — L'isolateur et le système de pince Siemens et Halske, étudiés au point de vue de la prise de courant par archet, sont représentés par la figure 242, ainsi que par l'ensemble (fig. 243) pour les alignements droits, et (fig. 244) pour les courbes.

En ce dernier cas, il est pris, pour maintenir l'équilibre, certaines précautions visées au § C-2.

On voit (fig. 245) un isolateur au mica suspendant une oreille articulée en cuivre qui se resserre au moyen d'une pince, par refoulement du métal, sur le fil de trolley; elle a été employée à Florence.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

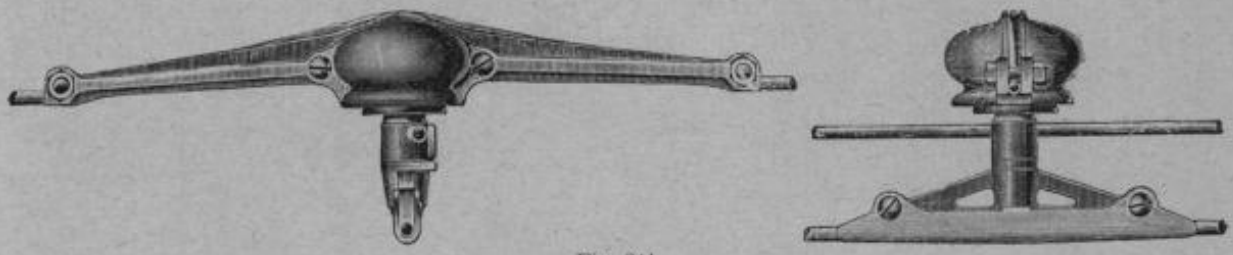


Fig. 244.

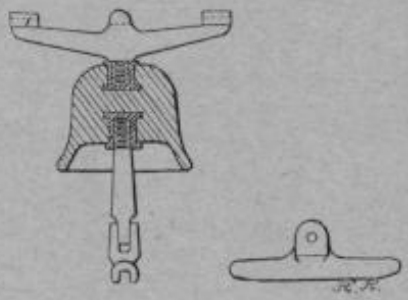


Fig. 245.

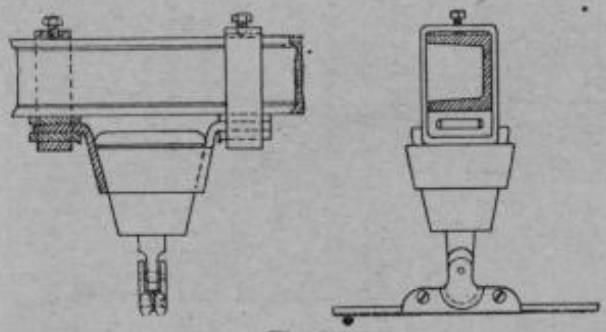


Fig. 246

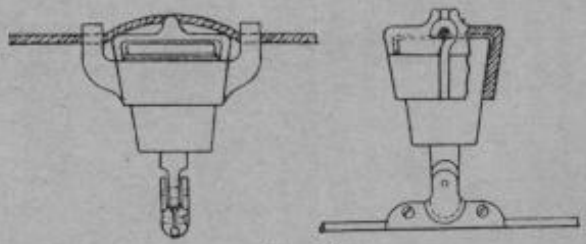


Fig. 247.

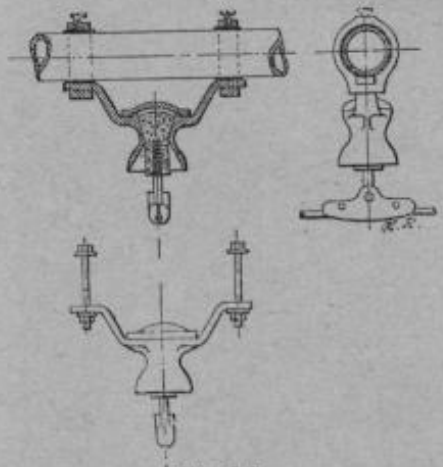


Fig. 248.

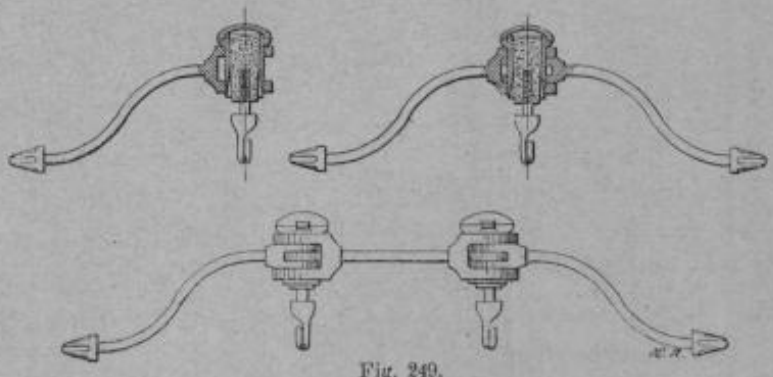


Fig. 249.

On a essayé l'usage, notamment à Kiew, de simples cônes en porcelaine, tant pour bras de potence (fig. 246) que pour fil tendeur (fig. 247). Mais l'*Allgemeine*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Elektricitäts Gesellschaft n'en a pas étendu l'essai; elle préfère l'usage du jeu de pièces (fig. 248 et 249).

La figure 250 montre la pince à deux flasques rivées l'une fixe, l'autre amovible, du système Dickinson, employée au tramway anglais du « South Staffordshire ». Quant à l'isolateur, on remarquera dans ce modèle, comme dans le type « Michigan » (fig. 234), que la pièce filetée, après avoir traversé l'isolant I, est maintenue

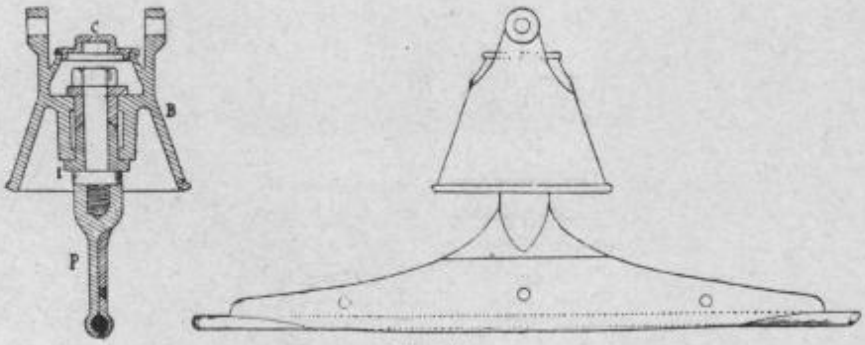


Fig. 250.

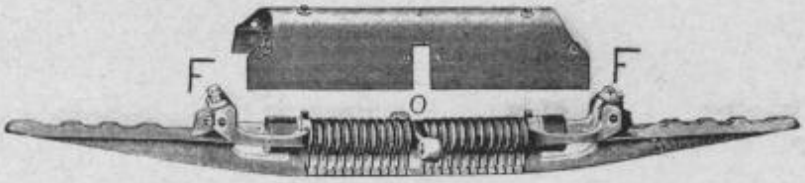


Fig. 251.

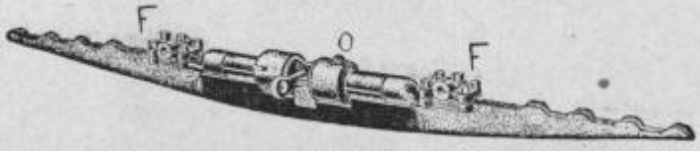


Fig. 252.

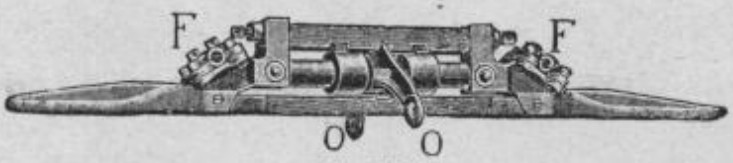


Fig. 253.

par un écrou isolé et abrité dans une *chambre d'air* hermétiquement close. Ces modèles d'isolateurs sont trop coûteux pour être communément employés. Ils se justifieraient mieux en cas de tensions plus élevées que celles des courants de tramways en usage.

Isolateurs de sections. — On voit, figure 251, le type Thomson-Houston, dans lequel la permanence de l'étincelle est combattue par la subdivision de la pièce de roulement en fractions formées de lames de mica alternant avec des plaquettes de bronze. Ce système coûteux peut être remplacé par le type « Aetna »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(fig. 252) ou par le nouveau type du « West End » de Boston (fig. 253), dont la partie inférieure en bois dur se remplace facilement et qui présente, en outre, l'avantage de réunir les fils suivant une ligne droite.

Dans ces trois types, la suspension s'opère par fils attachés aux œillets O, et le fil de trolley est soudé. Les extrémités des câbles reliés aux feeders se fixent en F. Les figures 254 et 255 montrent d'autres types suspendus par vis, et où les extrémités du fil de trolley sont également fixées par boulons.

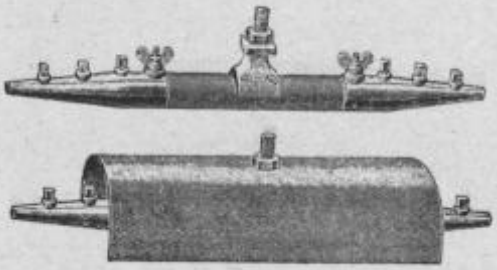


Fig. 254.

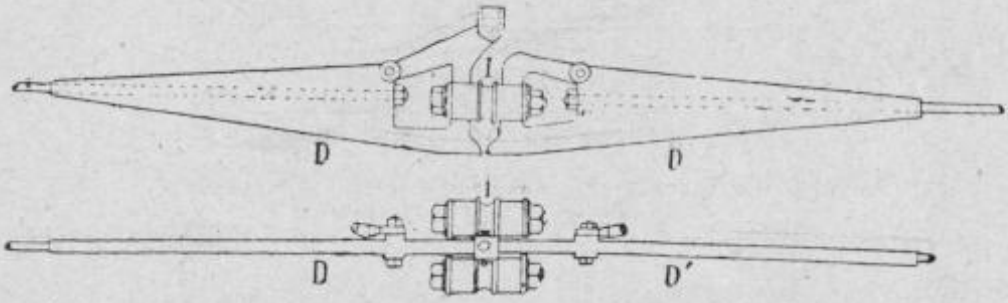


Fig. 255.

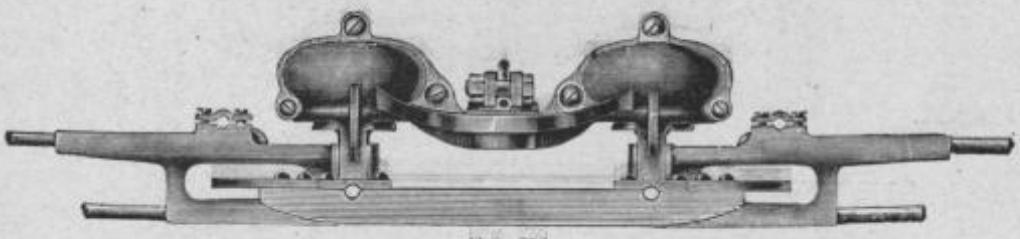


Fig. 256

L'isolateur de sections Siemens et Halske (fig. 256) est une combinaison de deux isolateurs simples.

Ces appareils ont une longueur de 60 à 70 centimètres.

Joints. — Il arrive que les bouts d'un fil de trolley ne coïncident pas avec un appareil d'isolement de sections ou de jonctions de voie. Dans ce cas, ou quand il se brise, on préfère, à l'épissure ordinaire avec soudure, l'emploi d'un appareil spécial tel que celui de la figure 257 qui porte, en outre, un trou fileté permettant de le suspendre.

En vue de soulager le joint, M. Mc Cay préconisait, en 1892, le dispositif

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

représenté figure 258. M est le manchon, B un tirant boulonné sur deux pièces soudées au fil de trolley. Au moyen d'un appareil plus récent, le connecteur Kisinger (fig. 259), M. Wilkinson, lors de son voyage aux États-Unis, a vu réparer des bris de fil en cinq minutes. Un appareil, représenté figure 260, sert à rapprocher les deux bouts du fil pendant ces opérations.

Le tendeur à petite section (fig. 261), employé par la maison Siemens et Halske, est formé de deux parties soudées aux bouts du fil et réunies par une vis. Il évite l'emploi d'un appareil de rappel provisoire.

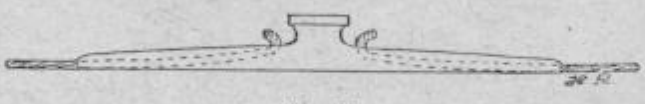


Fig. 257.

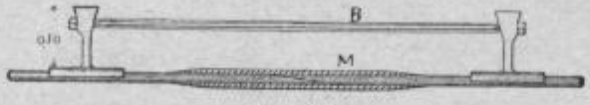


Fig. 258.

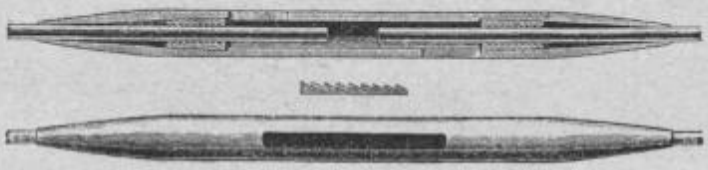


Fig. 259.

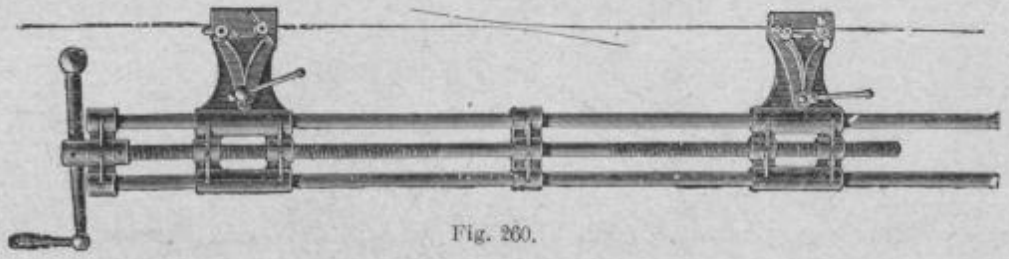


Fig. 260.

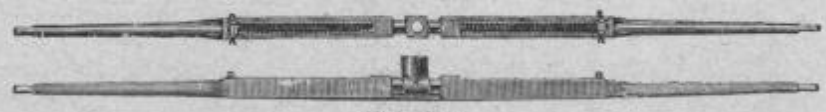


Fig. 261.

Liaisons et croisements de lignes. — Dans les liaisons et croisements, les fils sont soudés par-dessus (fig. 262), ou bien, procédé récemment adopté à Boston, les fils sont glissés dans des pertuis inclinés où le retiennent des boulons (fig. 263).

La figure 264 montre une liaison des fils de trolley en usage dans certaines villes de l'Europe centrale, *g* sont les guides des fils reliés, *f* les écrous. Les isolateurs I sont en bois de buis paraffiné, ainsi que la plupart des pièces analogues de la suspension. Selon le sens de la bifurcation, la fourche est à droite *c* ou à gauche *c'*, les bouts en sont soudés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on a des motifs d'isoler l'un de l'autre deux fils qui se croisent, on emploie le dispositif analogue à celui de la figure 265.

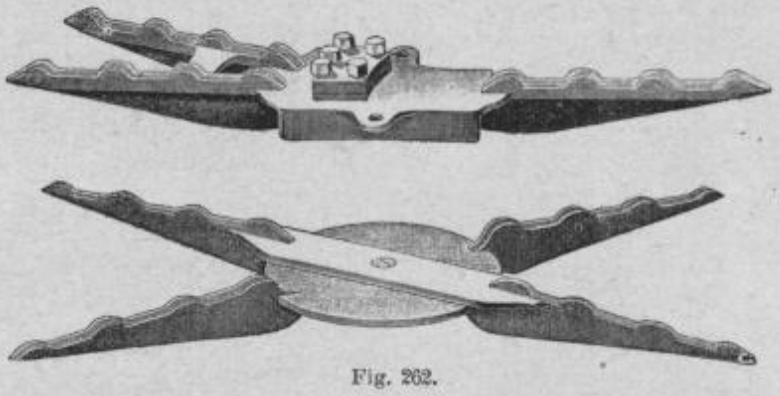


Fig. 262.

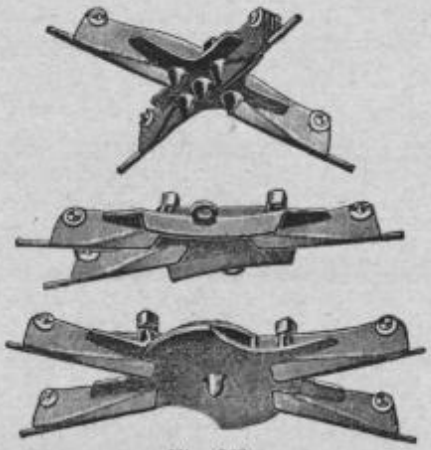


Fig. 263.

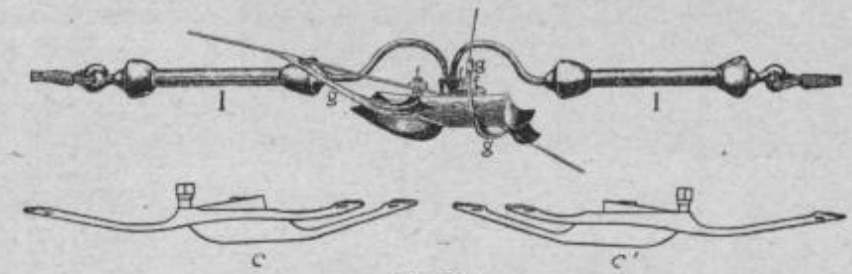


Fig. 264.

Fig. 265.

Ancrages. — En certains endroits, le fil de trolley est ancré à un certain nombre de poteaux dans les deux sens, comme on le voit figures 266 et 267 pour les lignes à simple et à double voie, à suspension transversale, et figure 268 à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suspension par potence. L'organe isolateur, suspendant le fil de trolley au support, porte des œillets O où s'accrochent les fils tendeurs; il comporte une oreille soudée plus longue, suspendue par un isolateur plus fort ou bien dédoublé. Parfois cinq poteaux sont intéressés dans l'ancrage.

On rapproche les ancrages des endroits où se présente une courbe, afin d'alléger, du même coup, la tension qui s'y exerce sur les fils et organes de suspension.

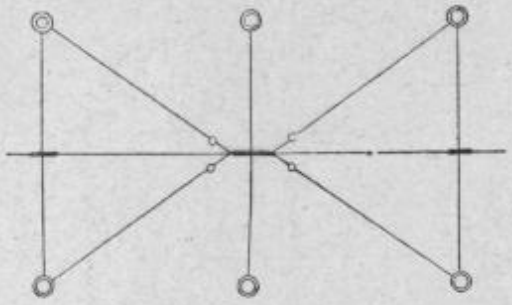


Fig. 266.

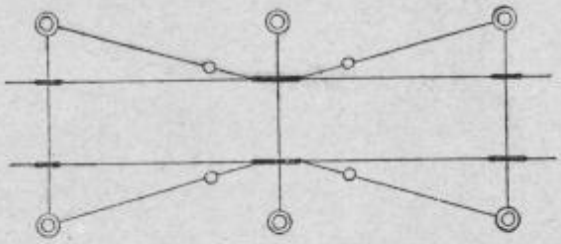


Fig. 267.

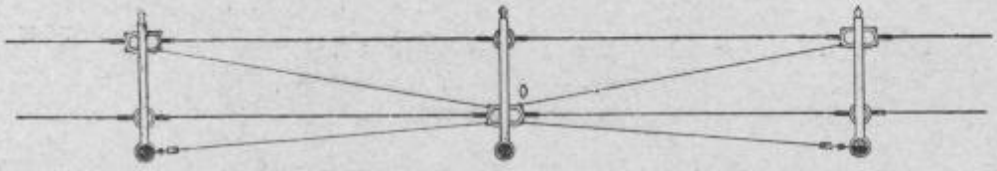


Fig. 268.

Isolateurs pour fils tendeurs. — Soit que tendus entre deux poteaux ils suspendent le fil de trolley, soit qu'ils fassent partie d'un ancrage, les fils tendeurs sont à leur tour isolés en un point de leur longueur, au moyen d'organes semblables au type « Aetna » (fig. 269), ou du type (fig. 270) dans la confection duquel des feuilles de mica séparent les parties métalliques à portées planes avant la coulée de l'isolant.

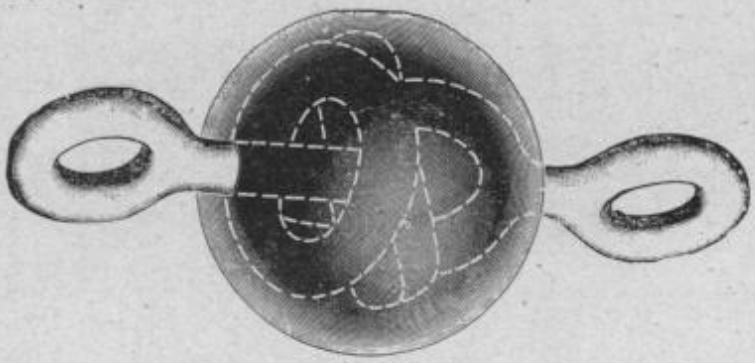


Fig. 269.

L'isolateur pour fil tendeur Siemens et Halske (fig. 271) est de forme analogue à celui du fil de contact.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On emploie parfois des isolateurs en porcelaine (fig. 272), mais les ferrures en sont plus compliquées.

Isolateurs à vis. — Les isolateurs des fils tendeurs peuvent être combinés avec une vis de rappel ; la figure 273 représente le système « King » qui se monte avec un carcan approprié. L'isolateur-tendeur « Brooklyn » (fig. 274) s'adapte à tout crochet (fig. 275) ou s'interpose en un point du fil : il en est de même des isolateurs à vis Siemens et Halske pour fil tendeur et pour fil de contact (fig. 276 et 277).

Fig. 270.

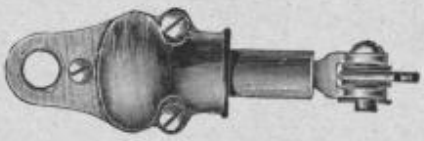


Fig. 271.

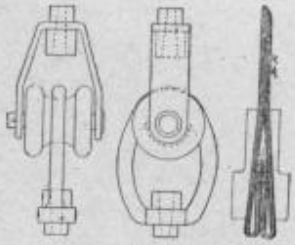


Fig. 272

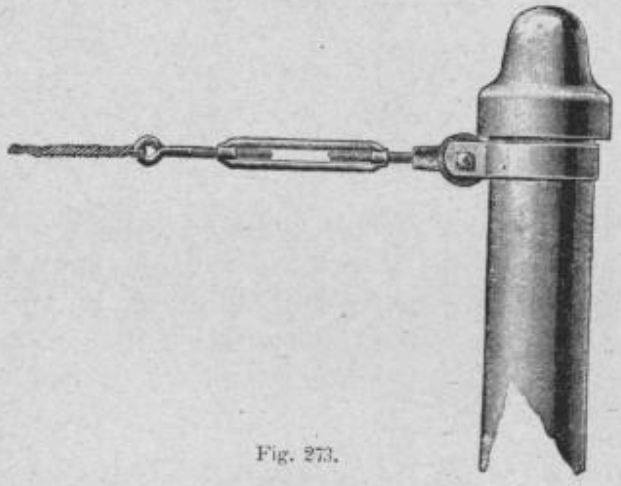


Fig. 273.

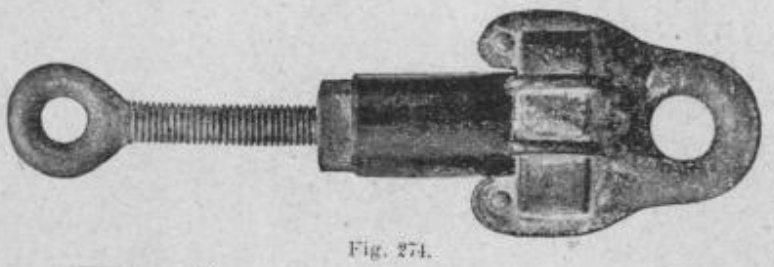


Fig. 274.

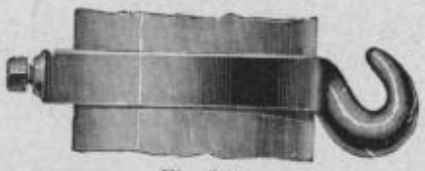


Fig. 275.

Fig. 276.

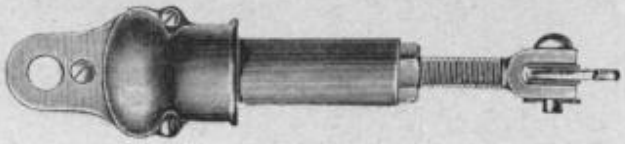


Fig. 277

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans une installation rudimentaire, la vis de rappel est filetée sur le crochet qui traverse le poteau en bois (fig. 278).

L'isolateur en porcelaine avec vis de rappel (fig. 279) existe en une ou deux installations : l'ajustage en est compliqué.

Fig. 278.

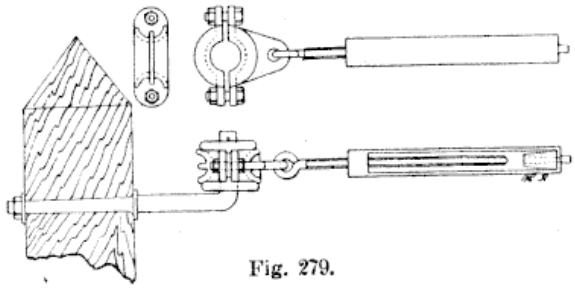


Fig. 279.

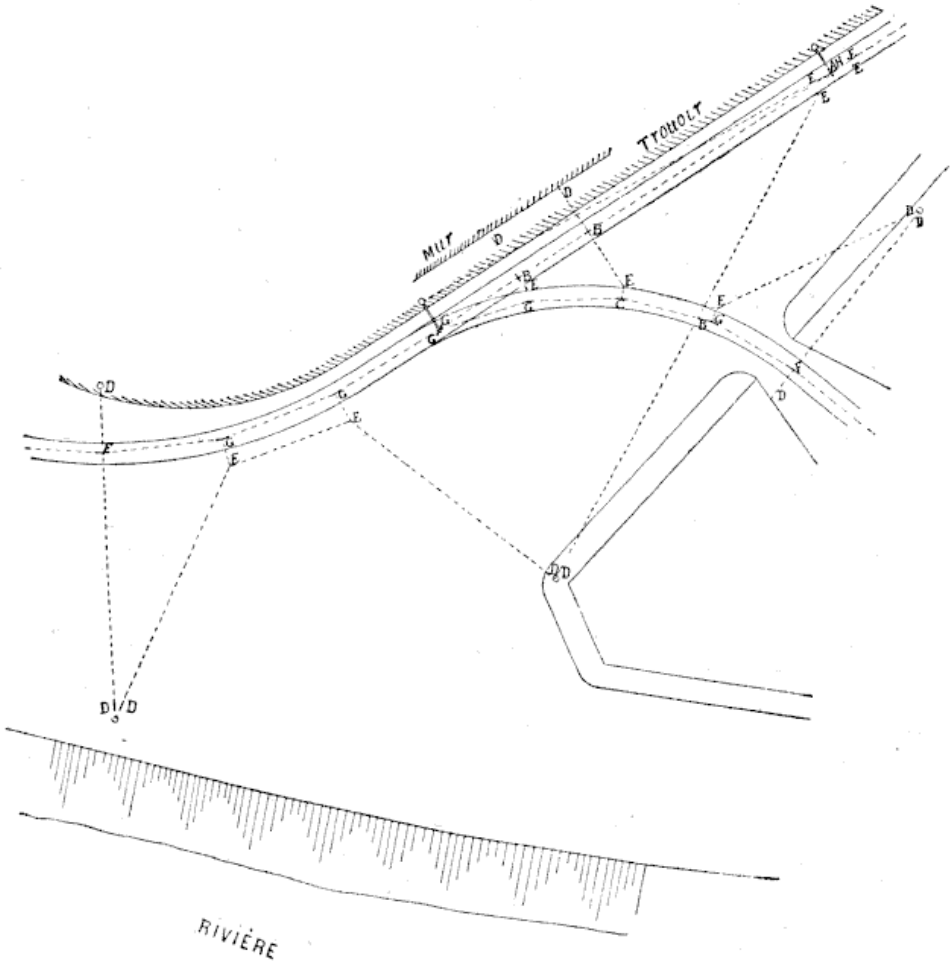


Fig. 280.

La figure 280 est un exemple de concentration des différents organes suspenseurs-isolateurs, où l'on trouve en D des poteaux ou des rosaces portant des isolateurs-tendeurs, en E des œillets simples ou des œillets doubles sur isolateur sphérique ou cylindrique, en G des oreilles à crochets isolés, en F des oreilles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour fils tendeurs à deux œillets avec isolateur médian à cloche, ou deux sphères isolantes, en H un isolateur d'ancrage, et en *c* un croisement.

4. — Protection contre les chutes d'autres fils.

On doit, sur certains points, compléter l'appareillage de la ligne par une installation destinée à empêcher le contact, avec le fil de trolley ou les feeders nus, de câbles à lumière, de fils télégraphiques ou téléphoniques. Généralement le système protecteur est installé à proximité et le long des fils conducteurs du tramway ou adapté directement dessus.

Il est rare que ce soit un dispositif parachute proprement dit; cependant, en Allemagne, on voit parfois un filet à larges mailles tendu sous le faisceau de fils téléphoniques.

Les systèmes qui appartiennent de plus près à l'appareillage de la ligne sont de deux espèces, les fils de garde et les tringles.

Fils de garde. — Les fils de garde, *guard wires,* qui ont la préférence aux États-Unis, sont tendus longitudinalement à une distance d'environ 45 centimètres du fil de trolley.

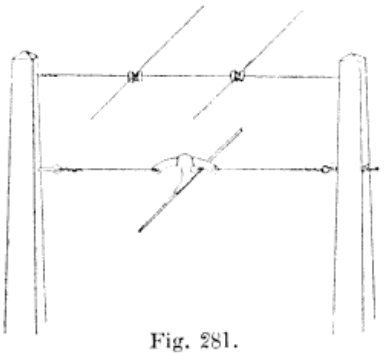


Fig. 281.

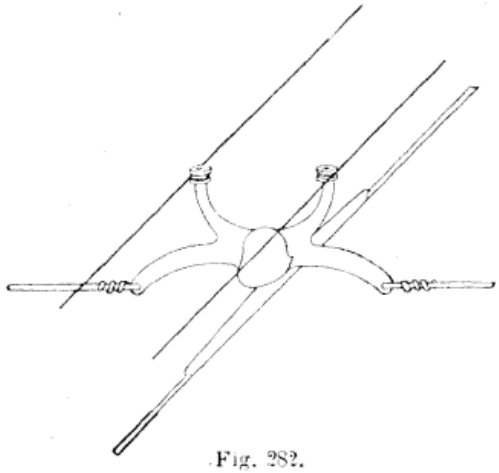


Fig. 282.

On en emploie deux, rarement trois, au-dessus d'un fil de contact unique, et presque toujours trois au-dessus des lignes à double voie. Après avoir adopté, dans le principe, des dimensions un peu faibles, on avait généralement adopté le diamètre de 3.25 millimètres. Aujourd'hui, à Boston notamment, on y substitue le diamètre de 4.5 millimètres.

La suspension (fig. 281, 282 et 283) s'en opère selon différentes méthodes : au moyen de fils transversaux du même diamètre que les autres fils analogues de l'installation, ou moyennant des appareils de support communs au fil de trolley et au fil de garde. La tension exercée par leurs fils transversaux en voie courante sur les poteaux est d'environ 50 kilogrammes; ils sont en tout cas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soigneusement isolés au moyen d'organes divers. Ils sont également ancrés à leurs extrémités lorsqu'ils ne règnent que sur un parcours limité du fil de trolley.

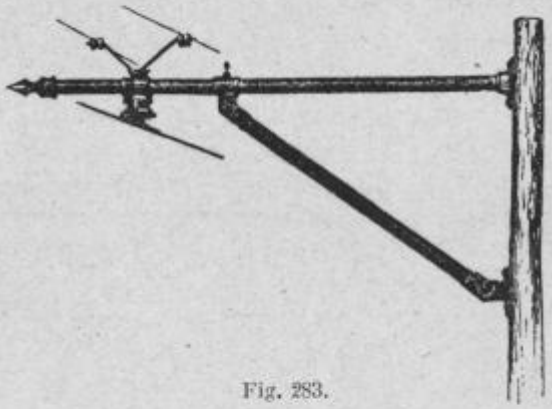


Fig. 283.

Les fils de garde et leurs attaches sont encombrants surtout en courbe, et sont souvent les victimes du déraillement du trolley. Leur efficacité devient problématique quand un fil téléphonique très oblique vient à tomber longitudinalement. On a donc essayé d'autres méthodes de protection.

Tringles. — La firme Thomson-Houston, après avoir employé des tringles en bois asphalté en forme de chapeau portées par des griffes fixées au fil de trolley, a adopté des réglettes maintenues à 1 centimètre du fil de trolley par des griffes en bronze qui pincent ce dernier.

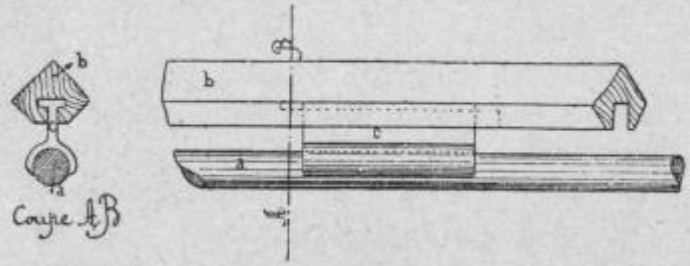


Fig. 284.

Voici comment M. Boulvin détaille et apprécie ce système (1) :

« Une baguette en bois carrée *b* (fig. 284) est fixée au-dessus du conducteur *a*, « par des petits supports en laiton *c*, espacés de 40 centimètres et fixés sur le fil « de contact. On réunit les baguettes bout à bout au moyen d'un manchon en fer- « blanc pincé sur le bois de façon à l'empêcher de se déplacer. A l'extrémité de

(1) Note sur *les Perturbations causées dans le réseau téléphonique de Bruxelles par suite de l'installation de la traction électrique*, par R. Boulvin, ingénieur des télégraphes belges. (*Bulletin de la Société belge des électriciens*, décembre 1894.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« la protection en bois, on met un crochet fixé au moyen d'un manchon en fer-
« blanc *l*. Ce crochet a pour but d'empêcher que le fil téléphonique vienne
« à glisser de la baguette (fig. 285).

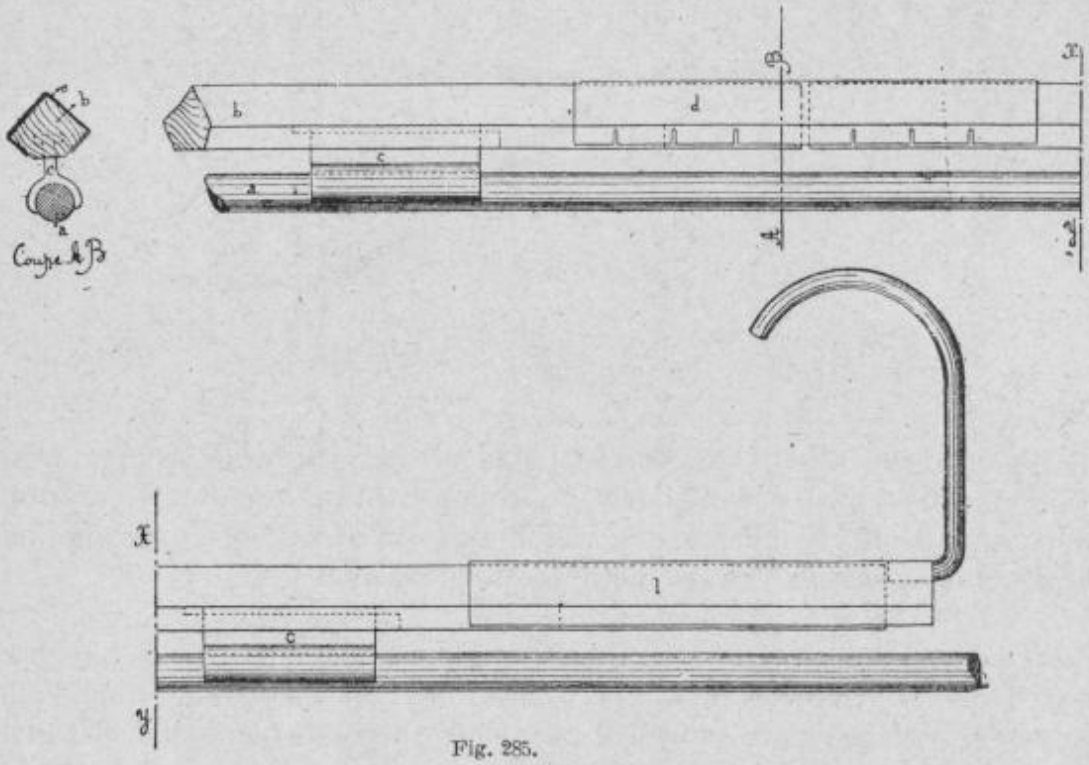


Fig. 285.

« Aux isolateurs, la latte en bois doit naturellement être interrompue; deux
« cas se présentent : 1° l'isolateur est suspendu à un fil transversal attaché aux
« maisons (fig. 286) ou bien les isolateurs sont suspendus à des potences (fig. 287).
« Dans le premier cas, les deux lattes sont réunies par un double pont en fil de
« fer galvanisé *f*, fixé aux lattes par des manchons en fer-blanc verni *g*.

« Dans le deuxième cas, on ne peut pas réunir les deux baguettes, et, pour
« empêcher que les fils viennent à glisser contre la partie non isolée du fil de
« contact, on les termine par les crochets *e*. Dans ce dernier cas, la protection
« n'est pas absolument complète, il reste toujours une solution de continuité *m*,
« par laquelle les fils peuvent s'introduire.

« Bien que les baguettes de protection soient asphaltées, on peut leur reprocher
« d'être sensibles aux alternatives de sécheresse et d'humidité et de se déformer
« facilement; il peut arriver alors que des manchons d'éclissage se trouvent en
« contact avec le fil de contact; dans ce cas, la protection en bois constitue une
« fausse sécurité.

« Un des reproches les plus sérieux que l'on puisse faire au système est, à mon
« avis, qu'un examen extérieur ne permet pas de se rendre compte des défauts
« d'isolation que peuvent présenter les pièces métalliques *d*, *e*, *f*, par rapport
« aux supports *c* ou au fil *a*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

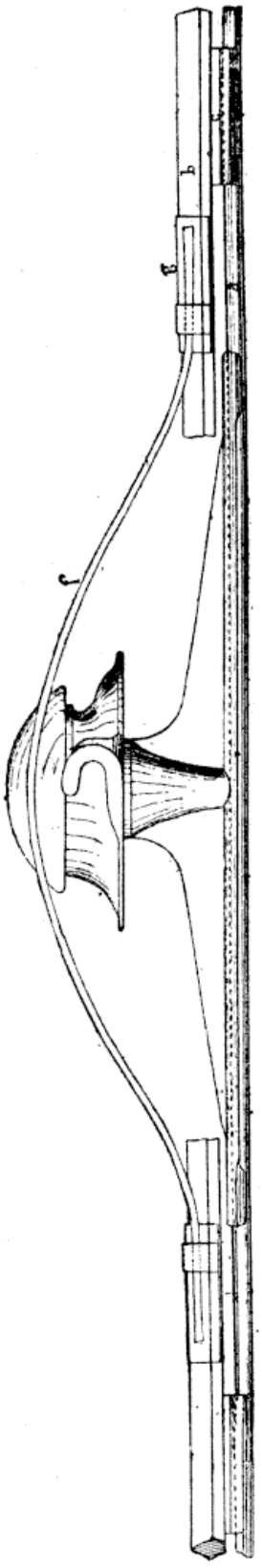


Fig. 286.

Bras de potence.

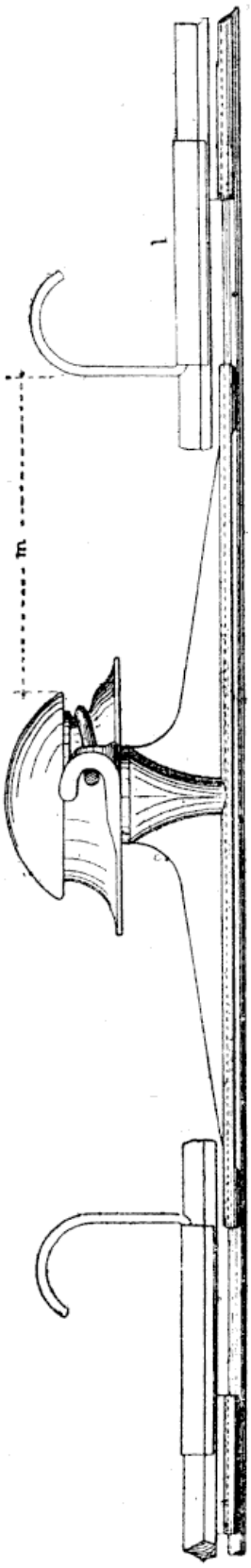


Fig. 287

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Les mêmes reproches ne peuvent pas être adressés aux fils de garde. « On pourrait même mesurer l'isolement de ceux-ci chaque fois que l'on doit « faire un travail au-dessus de la voie du tramway électrique. Il suffirait pour « cela d'intercaler une boussole quelconque entre les fils de garde et la terre. »

L'auteur indique ensuite des moyens propres aux fils de *courants faibles* de se prémunir eux-mêmes contre les effets du contact des *courants forts* : fils fusibles, coupe-circuits automatiques, etc., considérations qui sortent des limites du présent paragraphe. (Voir § B.)

Nous avons constaté qu'on peut faire adhérer à un fil de cuivre ou de fer, une lame de caoutchouc de 2 millimètres d'épaisseur enduite d'une solution de même substance, assez fortement pour permettre l'utilisation de ce moyen de protection du fil de trolley, soit seul, soit concurremment avec un autre.

Un type de *chariot-échelle* de montage est représenté (fig. 288) dans ses proportions exactes.

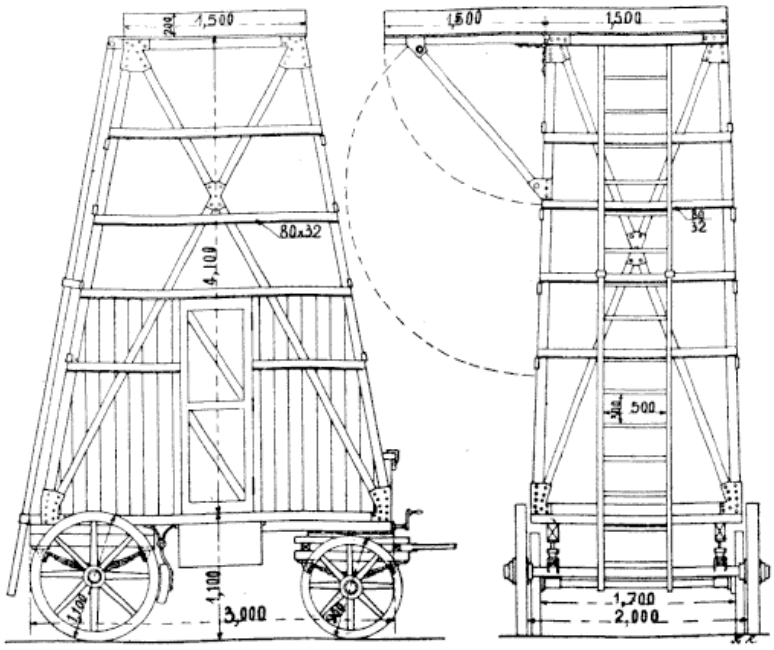


Fig. 288.

5. — Prix unitaires.

a. — *Prix des poteaux, potences, rosaces.*

Prix des poteaux en bois. — Aux États-Unis, les poteaux en bois ronds ordinaires, d'un diamètre moyen de 30 centimètres à la base, ne coûtent que 12 fr.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

50 c.; équarris, 17 fr. 50 c. Les plus forts, d'une épaisseur de base de 35 à 40 centimètres, coûtent en moyenne 20 francs.

En Europe, le poteau en sapin, au diamètre moyen à la base de 30 centimètres, se paye sur le pied de 55 à 65 francs le mètre cube, ce qui donne environ 30 francs par pièce.

Prix des poteaux en fer. — Des usines américaines, grandement montées pour la fabrication des poteaux tubulaires, les fournissent rendus en Europe à des prix qui, jusqu'ici, pouvaient soutenir la concurrence sur le marché européen (1). Cette spécialité commence toutefois à s'établir dans les centres sidérurgiques continentaux, tant pour l'étirage des mâts tubulaires que pour la construction des treillis.

De nombreux renseignements que nous avons recueillis en 1896, nous pensons pouvoir déduire les prix unitaires ci-après, applicables au genre de poteaux dont nous venons de donner les dimensions, poids et résistances aux efforts horizontaux.

α. — Prix rapporté au kilogramme de poids.

	PRIX EN FRANCS		
	minimum.		maximum.
Poteaux tubulaires :			
Poteaux pour tension, d'un poids de 250 à 350 kilogrammes . . fr.	0 60	à	0 76
— — — 400 à 650 — . . .	0 50	à	0 71
— d'une seule pièce	0 61	à	0 63
— munis de potences, y compris la potence simple	0 56		
— — — — double	0 54		
Poteaux en treillis :			
Poteaux pour tension, d'un poids de 300 à 320 kilogrammes . . fr.	0 42		
— — — 325 à 620 — . . .	0 27	à	0 36
— munis de potences, y compris la potence simple	0 31		
— — — — double	0 34		

Nous avons aussi cherché à déterminer le prix des poteaux en raison de la résistance à la flexion pour laquelle ils sont fabriqués, et nous en avons rapporté le coût au kilogramme de résistance.

β. — Prix rapporté au kilogramme d'effort horizontal au sommet.

	PRIX EN FRANCS		
	minimum.		maximum.
Poteaux tubulaires :			
Poteaux pour une tension de 180 à 400 kilogrammes . . . . . fr.	0 60	à	0 90
— — 450 à 650 —	0 48	à	0 68
— d'une pièce, pour une tension de 175 à 250 kilogrammes . .	0 58	à	0 61
— — — 350 à 500 — . .	0 42	à	0 45
Poteaux en treillis :			
Moyenne par kilogramme de résistance au sommet . . . . . fr.	0 35		

(1) On fournit les tubes ordinaires à 18 dollars.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Potences. — Ajoutons qu'une potence simple en tube coûte 40 à 45 francs; une double, de 65 à 110 francs, selon les ornements. Une potence en fer profilé simple coûte 30 à 40 francs; double, 60 à 100 francs.

Ornements. — Quant au côté ornemental des poteaux, variant avec les goûts, on en trouvera quelques exemples parmi les descriptions d'installations du § C.

Rosaces :

Rosace simple à un boulon sans manche		fr.	5 00
— ordinaire avec manchon isolant	de fr.	12 50 à	18 75
— ornementée — —		fr.	25 00

b. — *Fils.*

Fils de contact, par mètre courant	de fr.	0 90 à	1 12
— — par kilogramme		1 95 à	2 10
Fil de suspension de 5 millimètres, par mètre		0 09 à	0 10
— tension de 6 millimètres, par mètre		0 12 à	0 125
— suspension ou tension, par 100 kilogrammes		fr.	47 50
Corde en fil d'acier de 6 millimètres, par mètre			0 375
Pince de joint pour fil de contact			2 00

c. — *Organes isolants.*

Isolateur et pince de fil de contact pour console :			
ordinaire	de fr.	10 00 à	11 50
fixé par fil à deux anneaux isolés, complet		fr.	18 50
Isolateur et pince d'attache du fil de contact à un fil transversal :			
pour alignement droit	de fr.	6 10 à	10 00
pour courbe à un œillet		6 35 à	10 00
— a deux œillets		6 80 à	11 00
Isolateur double ou à double pince pour ancrages		11 30 à	16 50
— simple de fil tendeur à boule		3 50 à	5 00
— tendeur à vis		6 00 à	9 50
Tendeur à vis pour terminus		fr.	24 00
Carcan avec tendeur isolé			10 00
Isolateurs de sections	de fr.	34 00 à	48 00

d. — *Divers.*

Liaisons et croisements	de fr.	18 00 à	25 00
Carcan simple avec anneau ou boulon :			
pour un effort de 150 à 300 kilogrammes		fr.	2 75
— — de 400 à 650 —			3 75
Carcan à crochet et vis de fixation :			
pour effort inférieur à 400 kilogrammes		fr.	5 50
— — supérieur à 400 —			7 00

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Anneau de raccord entre fils tendeurs						fr.	0 40
Coupe-circuit							48 00
Parafoudre selon le type				de fr.	35 00	à	80 00
Protection téléphonique en tringles de bois, par mètre courant.					1 00	à	1 56

e. — *Pose.*

La pose d'un poteau en fer comprenant la fouille, le béton, le repavage, se compte en moyenne entre 36 et 40 francs, en le supposant à pied-d'œuvre.

Le montage des fils transversaux et tendeurs, des isolateurs, etc., revient à 600 ou 700 francs; le montage du fil de contact à 600 francs par kilomètre.

B. — Retour du courant.

---

1. — Historique.

a. — *Première période.*

α. — La question de savoir si le retour du courant doit s'opérer en empruntant le sous-sol, ou bien exclusivement par les rails dûment connectés, aidés ou non d'un conducteur longitudinal supplémentaire, est aujourd'hui résolue.

Il est bon néanmoins de rappeler les phases par lesquelles la technique a passé avant d'en arriver aux pratiques actuelles.

En montrant les fautes qui ont engendré les dommages auxquels des remèdes ont dû être apportés, on se rendra mieux compte des limites dans lesquelles il convient de renfermer certaines règles de construction, certaines prescriptions administratives, pour ne pas tomber dans l'exagération.

β. — On citait encore, en 1892, l'opinion suivante émise par un homme spécialement compétent, M. W. Mansfield, après avoir compulsé les réponses à un questionnaire reçues de 137 compagnies : « Je recommande fortement de placer « autant de plaques de terre que possible non seulement à la station, mais aussi « le long de la voie. Les ruisseaux, les terres marécageuses, les tuyaux d'alimen- « tation d'eau, tout peut être utilisé à ce circuit de terre. Les plaques peuvent « être faites de tôles de cuivre ou de fer, de préférence de ce dernier métal, et « présenteront une surface de plusieurs centaines de pieds carrés. Le fil qui les « reliera à la voie sera de dimension suffisante et solidement attaché à la plaque « et aux rails. Le fil supplémentaire continu sera en tout cas employé et les rails « reliés au moins une fois. En aucun cas, je ne juge nécessaire ou même sage de « placer les fils de retour en l'air. » A cette époque, cette préoccupation d'assurer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un contact intime avec le sol visait uniquement la conductibilité du circuit. « Le « défaut de rendement des générateurs et des moteurs, disait M. Beckley, résulte « de la tendance à vouloir faire passer une quantité de courant trop grande par « une quantité de cuivre trop faible. » Cet ingénieur, ainsi que MM. Field et Colgate, préconisaient vivement dans ce but le circuit métallique complet, moyennant soit des connexions convenables entre rails, soit, en outre, au cas où les rails présenteraient une faible section, un fil supplémentaire nu ou deux fils de moindre diamètre reliés aux connexions.

On espérait aussi, par ce moyen, remédier jusqu'à un certain point aux troubles apportés, dans les correspondances téléphoniques, par les courants dérivés.

γ. — En Europe, sur les quelques lignes existant alors à conducteurs centraux au niveau du sol ou aériens, et à retour par les rails, on avait dûment connecté ces derniers sans penser à compter sur l'absorption du courant par la terre. Ces lignes, la plupart de minime longueur et situées hors centre, n'avaient donné lieu à aucune suspicion inquiétante concernant les effets des dérivations.

b. — *Deuxième période.*

α. — Il fallut les importantes installations américaines dans des villes populeuses remplies de réseaux souterrains de tout genre, conduites d'eau, de gaz, conduites électriques diverses, pour révéler un effet nuisible imprévu des dérivations du courant des tramways : *l'électrolyse des conduites métalliques.*

Lorsque cette cause de corrosion commença à être soupçonnée, on en contesta vivement la réalité ou tout au moins l'importance.

« Parfois, dit M. Trevert, dans son traité publié au commencement de 1892, « on élève des objections contre la fermeture du circuit par la terre ou les rails. « Ces objections sont ordinairement sentimentales ou imaginaires (*sentimental « or imaginary*) (1). »

Cet auteur ne reconnaît qu'une influence nuisible due à cette origine, l'induction sur les lignes téléphoniques, et conseille de la combattre par le double fil téléphonique.

Il est bien vrai que pendant l'été de 1891, à Boston, des conduites téléphoniques souterraines recouvertes de plomb se montrèrent corrodées profondément : on l'attribua à l'acide acétique contenu dans le caniveau de bois où elles étaient logées.

β. — Quant à l'électrolyse, on n'en établit sérieusement les effets que vers la fin de 1892.

M. C.-H. Morse, intendant en chef des services de télégraphe et d'incendie de

(1) Trevert, *Electric railway engineering.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cambridge (Massachusetts), avait remarqué l'effet sur les conduites d'eau et de gaz des courants de la *West End Railway Company*. On y remédia en ajoutant, en guise de conducteurs de retour, des fils aériens sur les principales lignes. Un peu plus tard, des conduites d'eau voisines de la station centrale présentèrent des fuites qui furent reconnues provenir d'une action électrolytique. Aucun métal n'y échappa : fer, fer galvanisé, laiton, plomb, tout fut en vain essayé. On dut protéger les tuyaux de métal au moyen de tuyaux de drainage et de ciment. M. Morse découvrit des différences de potentiel de 40 volts entre les conduites d'eau de l'est et de l'ouest de la ville et des variations de 5 à 10 volts entre les conduites d'eau et de gaz d'un même parage. Les poseurs de ces conduites virent éclater des étincelles entre les joints et l'étoupe des bourrages s'enflammer.

7. — Depuis lors, des constatations de même genre eurent lieu dans toutes les grandes villes des États-Unis.

On en trouve de nombreux exemples cités dans le compte rendu du meeting tenu, à Washington, en mars 1894, de la *National Electric Light Association* et celui de la séance du 18 avril 1894 de l'Institut américain des ingénieurs électriciens. Parfois la rapidité de la corrosion est remarquable : un tuyau de 15 centimètres voisin des rails est détruit en trois ou quatre mois; on le remplace par un plus fort qui est troué au bout d'un mois. Généralement, le mal se localise de façon à déterminer une zone dangereuse sur laquelle doit se porter le remède; c'est le plus souvent au voisinage des stations génératrices; parfois c'est en un endroit opposé, par exemple, en une région traversée par une maîtresse conduite garnie de nombreux embranchements et offrant un chemin facile à une importante dérivation du courant.

Mais il est des cités où le mal s'étend à toute la surface. Ainsi, à Brooklyn, d'après le rapport de la commission spéciale des conducteurs électriques, pour 1894, sur 640 kilomètres de câbles téléphoniques garnis de plomb rendus impropres au service, 480 kilomètres l'étaient par suite de l'attaque de l'enveloppe de plomb due presque exclusivement aux décharges électriques.

2. — Recherches méthodiques concernant le retour du courant.

Les remèdes essayés ou proposés ont varié avec la nature et l'emplacement du mal, l'importance des installations, la difficulté de suspendre un service existant intense, ou de multiplier de nouveaux conducteurs souterrains ou aériens. Efficaces ou inefficaces, ils ont contribué, avec l'expérimentation directe, à fixer les idées sur des questions importantes :

a) La polarité du sol en différents points;

b) La résistance relative des circuits empruntés par le courant, rails, connexions, sol, conduites souterraines;

c) La nature du terrain et les causes adjuvantes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si certaines recherches ont un caractère local, il en est dont les résultats élucident ces questions de façon à conduire à des conclusions générales plus ou moins formelles.

a. — *Polarité du sol en différents points.*

α. — Mettre la borne positive de la génératrice à la terre au lieu de la négative, semblait rationnel à quelques compagnies. On disait que l'étincelle jaillissant dans le sens du courant, à chaque saut du trolley sous le fil, porterait le métal du premier sur le second, ce qui renforcerait le fil plutôt que de l'user aux points saillants; que l'action chimique du pôle + mis à la terre par les rails épargnerait les tuyaux et autres conduites enfouis dans le sol : c'était admettre l'hypothèse d'une dérivation uniforme très faible sur tout le réseau ferré, dérivation allant du rail vers des points à zéro en passant par les conduites.

Mais les choses ne se passent pas ainsi, comme l'ont démontré les expériences faites aux Etats-Unis et en Europe.

β. — A Boston, un réseau de câbles téléphoniques sous plomb s'étant montré endommagé, donna lieu à des essais nombreux, conduits par M. Farnham, sur leur polarité relative. Négatifs par rapport à la terre au potentiel de 0 à 2 volts dans une zone restreinte voisine des stations centrales, ils étaient positifs sur toute l'étendue de la ville la plus fréquentée avec des voltages variant de 0 à 12 volts. Or, cette situation créait à Boston un grand danger de corrosion, à cause de l'intensité énorme du courant des tramways : elle atteignait, pour les trois stations du « West End » (1), qui alimentent près de 600 voitures en service, une moyenne de 18,000 ampères, dont 12,000 pour la plus importante seule.

γ. — On comprend qu'à propos d'une ligne électrique comme celle de Marseille, M. Dubs ait pu déclarer, dans une lettre adressée le 6 avril 1894 à *The Electrician*, que la connexion du pôle positif aux rails, établie alors depuis deux ans, n'avait révélé aucun désagrément résultant de l'électrolyse, bien que le courant produit variât entre 350 et 400 ampères. Tout tuyau d'alimentation, dit M. Dubs, sert inévitablement de conducteur (fig. 289) et se trouve atteint par le courant au voisinage de la station en C, pour l'éconduire selon les flèches sur tout le parcours B′E′ en le ramenant plus ou moins directement aux rails.

Toutefois, M. Dubs s'empresse d'ajouter : « Cependant, le danger de ce dispo-
« sitif réside dans le fait que certaines conditions spéciales, sol humide, embran-
« chements de tuyaux très voisins de la voie, etc., peuvent favoriser la concen-
« tration du courant sortant sur des points où ils ne peuvent se révéler que par
« l'accident même qui en résulterait et où il serait conséquemment difficile de

(1) La compagnie du « West End » possède actuellement cinq stations, y compris une installation récente séparée du réseau principal. (Voir C-1.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« porter un remède préventif. Avec le pôle *négatif* à la terre, au contraire « (fig. 290), le danger étant toujours concentré au point C, on peut aisément « réaliser une protection de ce point au moyen d'une bonne connexion métallique « sûre et *bien isolée* avec le pôle négatif de la génératrice. Une telle connexion, « avec un indicateur de courant en circuit et moyennant application des « règles du « Board of Trade », sur les prises de terre, se montrera très avanta- « geuse, puisqu'elle permettra un contrôle efficace du circuit de retour et des « dangers d'électrolyse.

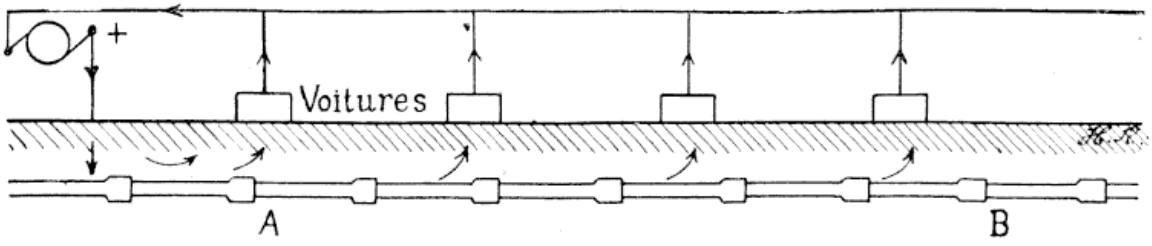


Fig. 289.

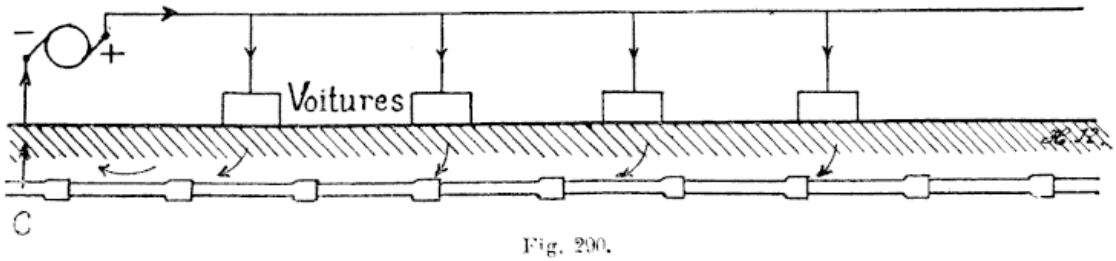


Fig. 290.

δ. — Lorsqu'à Boston, en décembre 1892, ce dernier dispositif fut établi, la situation fut transformée.

Dans la plus grande partie de la surface urbaine où les câbles téléphoniques sous plomb s'étaient montrés positifs par rapport à la terre, ils se montrèrent négatifs, tandis que dans des zones restreintes avoisinant les stations génératrices, ils étaient positifs au potentiel de 1 à 9 volts.

M. Pearson, ingénieur du « West End Railway », fit ensuite adopter la proposition de poser de gros conducteurs en cuivre de 25 millimètres de diamètre formés de fils de 1 millimètre allant de la borne négative des génératrices jusqu'au sein des zones dangereuses et s'y ramifiant en liaisons nombreuses avec les câbles menacés d'électrolyse ; le plus long de ces conducteurs de retour étant de 1,300 mètres.

Sur ce circuit, à l'usine, on trouva un énorme courant de 500 ampères. Les câbles sous plomb du réseau téléphonique de la région, auparavant la plupart positifs par rapport à la terre, devinrent négatifs, la chute de potentiel en certains points passant de + 9 à — 7.5 au maximum.

L'ensemble est schématiquement représenté figure 291, où S est le câble de secours et le point O indique la zone neutre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ε. — A Milwaukee et dans beaucoup d'autres endroits, les mêmes effets destructeurs furent combattus avec succès par le même moyen Il n'est malheureusement pas d'application générale, notamment, et c'est le cas pour une grande partie de Brooklyn, quand le sol est déjà rempli de conducteurs et de tuyaux de toute espèce. Le renouvellement des connexions enraierait sérieusement un trafic d'une intensité extrême.

Dans de telles circonstances, le professeur Elihu Thomson proposait de modifier le potentiel de la région dangereuse en y créant sur place des courants de sens convenable au moyen de *moteurs générateurs*. Cet élégant procédé, schématiquement représenté (fig. 292), n'a pas été essayé.

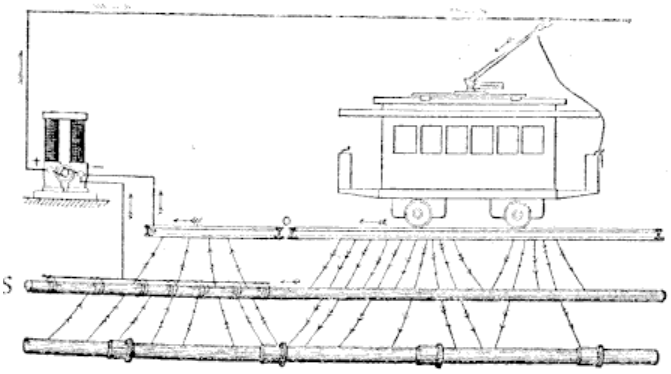


Fig. 291.

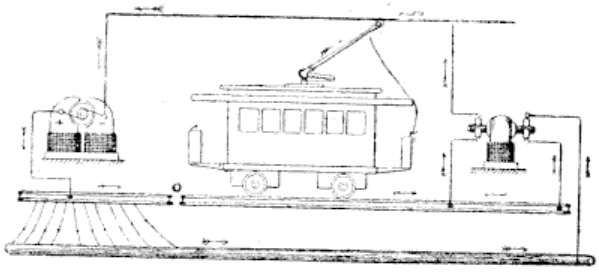


Fig. 292.

ζ. — Sur la ligne électrique des boulevards circulaires de Bruxelles, dont les rails sont connectés à la borne négative de la station, M. Boulvin, ingénieur des télégraphes, a constaté que les rails ne sont négatifs, par rapport aux conduites d'eau voisines, que sur une zone de 400 mètres environ à partir de la station centrale, avec une différence de potentiel de 0.80 volt, et positifs sur le reste de la ligne avec des chutes de potentiel de 0 à 0.23 seulement. Toutefois, en utilisant les fils téléphoniques en leurs terres, on a constaté des différences de potentiel allant jusque 3 volts (et même 4 volts) entre les points voisins du tramway électrique et un centre éloigné non influencé. Ces différences sont négatives dans la zone la plus rapprochée de la station centrale et positives dans l'autre.

b. — *Résistance des circuits empruntés.*

α. — *The Electrical Engineer*, de New-York, du 9 novembre 1892, rapportait les premières expériences de M. R. L. Warner sur la résistance des rails, des connexions, du fil supplémentaire et l'influence de l'état d'humidité du sol. M. Mac Tighe et, plus tard, M. Vail, ont traité le même sujet par le calcul.

Abstraction faite de la valeur absolue des chiffres, il existe dans l'ensemble des résultats de ces recherches une concordance qui les rend réellement concluants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VOIE.	CONNEXIONS ENTRE RAILS.	Fils supplémentaires sur toute la longueur.	Résistance pour la double voie. — Totale ohms par kilomètre.	Temps écoulé depuis la mise en service.	État superficiel du sol.	*Observations.*
A. Rails de 30 kilog. éclissés p' équerres.	Aucune.	Aucun.	0.4797	...	...	Essai de M. Warner.
B. Rails plats de 30 kilogrammes.	Un fil de fer de 5.8 millimètres, soudé à des rivets et raccords transversaux entre rails tous les 60 mètres.	Aucun.	*a*) 0.0498 *b*) 0.0448	Deux mois. Deux mois.	Sec. Humide.	Id. Id.
C. Rails en T de 20 kilogrammes.	Un fil en cuivre de 5.8 millimètres rivé. Raccords transversaux entre rails tous les 60 mètres.	Deux fils continus en cuivre de 5.8 millimètres, soudés aux connexions dans chaque voie.	0.0130	Deux ans.	Humide.	Id.
D. Rails à ornière, de 30 kilogrammes.	Un fil de cuivre de 5.8 millimètres. Raccords entre rails tous les 18 mètres et entre voies tous les 27 mètres.	Deux fils continus en cuivre de 5.8 millimètres, soudés aux connexions dans chaque voie.	0.0158	Un an environ.	Sec.	Id.
E. Rails en T de 22.4 kilogrammes.	Deux fils de fer galvanisés de 5.2 millimètres, soudés à des rivets. Raccords entre rails tous les 18 mètres.	Aucun.	0.0360	Un an environ	Sec.	Id.
F. Rails de 35 kilog.	Raccords en cuivre de 5.2 millimètres entre le fil supplémentaire et les extrémités des rails.	Un fil en cuivre de 8.3 millimètres dans chaque voie.	0.0366	Le tout supposé neuf.	Le sol s pposé entièrement sec et non conducteur.	Calcul de M. Mac Thighe.
G. Rails de 35 kilog.	Un fil en cuivre de 8.3 millimètres et 30 centimètres de long.	Aucun.	0 0081	Id.	Id.	Id.
H. Rails de 45 kilog.	Raccords en cuivre de 5.2 millimètres entre les fils supplémentaires et les extrémités des rails.	Deux fils continus de 8.3 millimètres dans chaque voie.	0 0191	Id.	Id.	Id.
I. Rails de 45 kilog	Deux fils en cuivre de 11.7 millimètres et 30 centimètres de long.	Aucun.	0.0048	Id.	Id.	Id.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour faire ressortir l'excès de résistance des connexions et fils supplémentaires par rapport à celle qu'offre la section des rails, il suffit d'observer qu'un rail de 35 kilogrammes au mètre courant, par exemple, présente une section de 45 centimètres carrés, soit 180 centimètres carrés pour les quatre rails de la double voie, et qu'en admettant une conductibilité de six à huit fois moindre que celle du cuivre commercial, cela représenterait encore une section de 30 à 22 centimètres carrés de cuivre.

Calculant la résistance des connexions et fils continus dans le cas D du tableau précédent, à raison de 0.90 mètre de longueur pour les connexions, M. Warner trouve qu'il reste 0.0013 ohm par kilomètre de double voie, chiffre impliquant la part des rails et celle du sol en contact avec les éléments métalliques du circuit.

La résistance calculée que présentent quatre rails de 30 kilogrammes supposés continus est 0.006 ohm par kilomètre. Ainsi, dans le cas D, la part de conductibilité du sol abaissait la résistance de 0.00487 ohm; différence entre 0.006 et 0.00113.

Quant à l'humidité de la *surface* du sol, d'après M. Warner, elle ne diminue que de 10 p. c. en moyenne la résistance totale.

La résistance des connexions et des fils supplémentaires est donc relativement grande, et ces derniers sont loin de la diminuer en raison de ce qu'ils coûtent.

En prenant, par exemple, le cas D ci-dessus, si aux deux fils continus on substituait un second fil de connexion de même diamètre entre rails, on réaliserait deux avantages : la résistance de 0.0158 tomberait à 0.0094 ohms par kilomètre, d'après M. Warner, et la dépense en cuivre de 1,735 francs tomberait à 388 francs par kilomètre de double voie.

Pareillement, M. Mac Tighe, comparant les cas F et G, établit que le dispositif G, présentant une résistance quatre fois moindre que F, demande cinq fois moins de cuivre. Il fait aussi ressortir la supériorité des connexions du littéra I sur tous les autres systèmes, et notamment sur le type H, largement employé au « West End », de Boston, et à Brooklyn; de telle sorte que, soulager la résistance de ce dernier par l'établissement de feeders de retour de 25 millimètres de diamètre, c'est, selon lui, élever la dépense totale en cuivre à un chiffre dix fois plus élevé que celle qu'exige le type I.

Enfin, M. Mac Tighe évalue le coût de l'énergie électrique perdue dans le circuit de retour pour établir qu'elle serait compensée par un remaniement rationnel des connexions défectueuses.

β. — A Bruxelles, sur la ligne des hauts boulevards, longue de 4.7 kilomètres, avant la transformation de la voie, les rails en U renversé type Michelet pesaient 30 kilogrammes par mètre. Les connexions étaient faites entre rails au moyen de deux fils de cuivre étamé de 8.25 millimètres et de 90 centimètres de long. On a trouvé, pour la voie double, une résistance de 0.0084 ohm entre points extrêmes, ce qui représenterait moins de 0.002 ohm par kilomètre. Mais cela tient à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

configuration de la ligne, qui représente un arc de cercle achevé par un autre tramway et dont la corde commune est également un tramway à double voie. M. Boulvin constate que toutes ces voies ferrées participent au circuit de retour; il évalue d'ailleurs la résistance individuelle de la ligne électrique à 0.008 ohm par kilomètre, soit en tout 0.044, du Nord au dépôt.

« A la station centrale, on a raccordé le revêtement métallique d'un puits « artésien au pôle négatif du tableau; un ampèremètre, intercalé dans le conduc- « teur de raccordement, accuse le passage d'un courant égal à 1 $^1/_2$ à 2 p. c. du « courant total fourni par la station, ce qui prouverait que les dérivations des « rails au sol sont peu importantes. Ce fait est la conséquence de la faible résis- « tance que nous avons trouvée dans le circuit de retour. »

Nous avons donné plus haut les résultats d'essais de polarité relative et de différence de potentiel entre la ligne et différents points du sol plus ou moins lointains (*a-c*).

Quelque temps après ces essais, la voie des boulevards fut complètement renouvelée et les rails remplacés par des rails à ornière d'une pièce, pesant 45 kilogrammes au mètre et posés sur ballast dans un lit de sable et garnis de briques sur les flancs, les connexions réduites à 75 centimètres.

Les essais de résistance furent repris par M. Boulvin, qui trouva une résistance de 0.0053 ohm par kilomètre de double voie et de 0.042 ohm de résistance totale, résultat différant fortement des précédents. Pour expliquer comment la résistance, qui était de 0.0084, est devenue 0.042 ohm, il faut admettre que la nouvelle pose de la voie tend à l'isoler du sol par le ballast, le sable et les briques latérales, tandis que les anciennes voies étaient en relation intime avec la terre.

Des différences de potentiel de 9 à 14 volts y ont été constatées entre le terminus de la gare du Nord et la station génératrice dans le retour.

Signalons ici un essai de différences de potentiel trouvées dans une autre installation de traction électrique de Bruxelles, la ligne de la Petite-Espinette, entre différents points de cette voie et l'usine. On a trouvé les chiffres ci-après, qui tiennent compte du raccordement à la station génératrice :

A 3 kilomètres,	pour	100	ampères	. . . . .	2.95 volts.
A 5.8 —	—	100	—	. . . . .	7.2 —
A 7.2 —	—	100	—	. . . . .	11.71 —

En tenant compte de l'intensité de 200 ampères du débit, indépendamment des surcharges momentanées, on arrive à une différence de potentiel de 2.5 volts.

La description de cette ligne (§ C) donne des renseignements sur la nature de la voie et des connexions au moment des essais.

Un phénomène assez curieux a été constaté sur les rails de cette voie, à l'endroit où ils reposent sur des traverses en chêne hors ville : ils ont une tendance à s'y corroder qui ne se remarque pas ailleurs. Elle est attribuée à ce fait que la traverse tient le rail quelque peu distant du sol, sauf au passage du train,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et son point d'appui sur la traverse devient le passage principal du courant qui, grâce à l'acide gallique et aux autres substances salines, s'électrolyse légèrement. Là où le rail est en contact plus intime avec le sol, le phénomène ne se produit pas. Le remède se trouverait ainsi indiqué, car l'interposition au joint de substances telles que le carton bitumé augmenterait par trop la résistance.

En nous étendant quelque peu sur les questions de polarité, de potentiel et de résistance de la voie et du milieu où elle gît, nous avons voulu consigner en même temps certaines données utilisables au calcul de la ligne considérée comme conducteur, point traité dans un autre chapitre (I-C.).

c. — *Nature du terrain et causes adjuvantes.*

Les courants artificiels perdus dans le sol, les courants *vagabonds* comme on les appelle, ne sont pas seuls coupables de la corrosion des tuyaux et des conducteurs à surface métallique; ils ont des complices, les sels plus ou moins solubles et les acides libres, les sels ammoniacaux surtout, les nitrates, les chlorures, les carbonates, les sulfates, les phosphates alcalins, l'acide carbonique, etc.

α. — MM. Farnham et J.-C. Lee, de Boston, ainsi que le professeur Jackson, de l'Université de Wisconsin, se sont livrés à des séries d'expériences pour contrôler les observations directes concernant les conditions de différence de potentiel et le mode d'attaque constatés.

On avait observé des corrosions profondes sous des différences de *un demi* et *un quart* de volt. Des essais de laboratoire établirent péremptoirement qu'elles pouvaient se produire sous une D. P. de $^1/_{100}$ de volt, très lentement à la vérité (1). Ce n'est pas l'oxygène de l'eau, mais le radical acide du sel alcalin contenu dans la terre qui attaque le fer ou le plomb et forme avec ce métal un sel qui, transporté ailleurs, dépose sa base et cède son acide, qui est de nouveau propre à renouveler la série des phénomènes. Analyser ces derniers, ce serait reproduire une théorie électro-chimique complète.

β. — D'ailleurs, des cas de corrosion rapide se sont produits à des distances de tout câble électrique qui permettait de rejeter la responsabilité sur d'autres agents de destruction; M. C. G. Armstrong a pris soin de le faire remarquer au meeting des ingénieurs électriciens américains, tenu à New-York en 1894, et *The Electrician*, de Londres, du 22 juin 1894, signalait un cas de destruction complète d'une conduite d'eau que l'on ne pouvait soupçonner d'être produite sous l'influence d'une dérivation de courant artificiel. Les tuyaux attaqués étaient placés depuis douze ans et recouverts de cendres.

---

(1) Le *Génie civil*, du 24 novembre 1894, reproduit en détail les expériences de M. Jackson. On se demandera peut-être, comme nous, si une aussi basse tension est nécessairement la *cause* et non l'*effet* de l'action chimique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7. — D'autre part, la rapidité avec laquelle des tuyaux ont été troués au voisinage de rails de tramways électriques et les cas spéciaux que nous avons relatés dans les pages précédentes n'ont laissé aucun doute sur l'origine électrolytique de l'attaque. A ce point de vue, un phénomène caractéristique est celui de tuyaux dont les joints, mauvais conducteurs, semblaient devoir s'opposer au passage du courant : on les trouva corrodés près des collets (fig. 293), ce qui s'explique par un cheminement du courant empruntant le sol autour des collets, comme l'indique la figure 294.

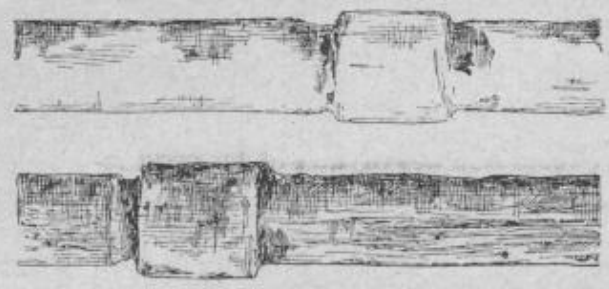


Fig. 293.

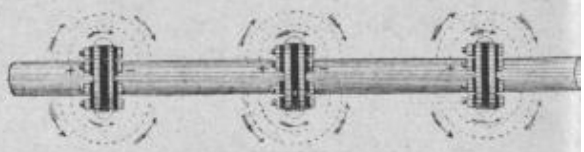


Fig. 294.

Quoi qu'il en soit, les expérimentateurs sont d'accord pour admettre qu'une différence minime de potentiel peut favoriser l'attaque en des milieux salins et humides. Il semble qu'à partir de $^1/_4$ de volt le danger, bien que minime, doive attirer l'attention si le courant est positif du tuyau vers le rail.

8. — Quant aux matériaux mêmes de la voie et des connexions, ils sont loin d'être à l'abri de la corrosion. Les fils de cuivre nus disparaissent après peu de temps sous l'influence des sels ammoniacaux là où le rail est positif par rapport à la terre. L'emploi du fer galvanisé se justifiait à ce point de vue comme résistant mieux aux agents du sol.

Mais sa conductibilité étant faible, on lui préfère sous un moindre volume le cuivre étamé et vernissé.

3. — Règles proposées contre l'électrolyse.

a. — *Déductions générales des expériences.*

9. — De l'ensemble des observations et expériences exposées dans les pages qui précèdent se dégagent certaines conclusions positives, mais qu'il serait mauvais de pousser à l'extrême. Il est certain que l'électrolyse se produit à des différences de potentiel minime, dans des conditions données de composition du sol, ces deux éléments de décomposition chimique se prêtant leur concours.

Toutefois, on ne peut aisément décider, en tout cas, ni la part que prend, à des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

corrosions constatées, le courant issu du tramway, ni l'extension que prendra, sur un réseau de conduits souterrains, un phénomène de l'espèce constaté sur l'un de ses points (1).

Aucun chiffre de différence de potentiel, entre deux points du circuit de retour, ne peut donc être assigné, soit comme une garantie pour un tramway de ne produire aucun effet d'électrolyse, soit, si cette limite est dépassée, pour attribuer au courant de traction un danger certain.

Ce serait cependant se montrer imprévoyant que de ne pas au moins établir entre les rails une continuité électrique qui est d'ailleurs requise par la nécessité d'abaisser autant que possible la résistance du circuit d'aller et retour. Certaines compagnies américaines, nous l'avons vu, n'ont eu à combattre des dérivations nuisibles dans le sol que pour s'être contentées de connexions de 3 à 5 millimètres de diamètre, alors que des fils plus forts les eussent évitées.

β. — *Les prescriptions suivantes semblent donc en tout cas couramment applicables :*

1° Raccorder la borne négative des génératrices aux rails, afin de concentrer les causes d'électrolyse vers l'usine et de les y combattre, *le cas échéant*, dans une zone plus restreinte ;

2° Assurer la continuité métallique du circuit de retour par des connexions entre rails, en y ajoutant un fil continu, de préférence isolé, si la section du rail est trop faible. Ces connexions seront aussi courtes et d'aussi forte section que possible, présentant au minimum 100 millimètres carrés de cuivre ou l'équivalent en fer par file de rail, posées avec les précautions voulues, préservées de l'oxydation ; des liaisons transversales espacées de 100 mètres servent à compenser les lacunes des longitudinales ;

3° Au cas où l'on constaterait des corrosions de conduites souterraines, ou des différences de potentiel exagérées entre le rail et ces conduites, une surveillance active et des essais répétés permettraient de déterminer la zone attaquée ou dangereuse. Alors on égaliserait le potentiel moyennant la jonction métallique des rails et des tuyaux entre eux, ou l'on réduirait la différence de potentiel par l'établissement de conducteurs spéciaux reliant cette zone à l'usine, câbles isolés ou vieux rails connectés entre eux.

---

(1) Un exemple récent (1896) confirme cette assertion : A Omaha (États-Unis) (réseau de 122 kilomètres, 123 voitures motrices), la Compagnie des eaux avait entamé un procès contre celle des tramways, à raison de corrosions constatées en un certain endroit. Il s'agissait du renouvellement d'un réseau de conduites valant, placement compris, 1,250,000 francs. Mais des nécessités d'extensions ayant amené la Compagnie des eaux à mettre à nu de nombreuses parties du réseau, lui donnèrent l'occasion de vérifier l'état des tuyaux, qui furent trouvés sains presque partout. Elle renonça au procès.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

b. — *Règlements spéciaux.*

α. — A ces déductions, l'on pourrait ajouter ou opposer, comme des modèles de précision ou de sévérité plus grande, certaines *spécifications* ou certains *règlements* qui limitent la différence de potentiel entre deux points du sol formellement désignés, et la perte à la terre soit pendant les heures de service, soit en dehors de ces heures.

Citons le plus remarquable de ces réglements, celui du « Board of Trade » anglais, de 1894, en ses articles les plus formels sous ce rapport :

« Art. 5. — Une clause de cet article exige que tous les conducteurs de retour « non isolés soient connectés à la borne négative du générateur ; que celle-ci soit, « en outre, reliée à deux connexions avec le sol, distantes de 18^{m}50 entre elles, et « entre lesquelles la résistance du sol ne dépasse pas 2 ohms (2 ampères pour « 4 volts).

« Ces connexions avec le sol peuvent être remplacées par des conduites d'eau « d'un diamètre intérieur de 155 millimètres, avec l'assentiment du propriétaire « et de l'exploitant de la distribution d'eau.

« Aucune connexion avec le sol ne peut exister à moins de 1^{m}83 d'un tuyau « quelconque, à moins d'être métalliquement reliée à une conduite principale de « 155 millimètres au moins de diamètre.

« Art. 6, § *i*. — Le courant passant par les plaques de terre ne dépassera « jamais, pendant les heures de service, 1.25 ampère par kilomètre de voie « simple, ni 5 p. c. du courant produit par la station génératrice.

« Art. 7. — La différence de potentiel maximum sur le conducteur de retour « entre le point le plus éloigné de la dynamo génératrice et le point le plus rap- « proché ne dépassera pas 7 volts.

« Art. 10. — La ligne en charge, sans voiture, la perte ne dépassera pas nor- « malement 0.006 ampère par kilomètre. Si elle atteint 0.3 ampère par kilo- « mètre, le défaut sera localisé, et la réparation effectuée dans les vingt-quatre « heures, sous peine de suspension du service.

« Art. 11. — La résistance à l'isolement des conducteurs à isolation continue, « qu'ils servent de lignes de retours isolés, de feeders ou à d'autres destinations, « sera équivalente à 6.3 megohms par kilomètre, et fera l'objet d'un essai « mensuel. »

β. — La commission composée d'hommes éminents qui a élaboré ce règlement, après s'être entourée des renseignements et avis des spécialistes les plus compétents, n'ignorait pas la portée de ces mesures; elle ne se dissimulait pas que, malgré leur précision, elles ne constituaient pas des moyens préventifs infaillibles contre l'électrolyse, et nous avons vu que les agents chimiques ne demandaient à l'électricité qu'un bien faible stimulant pour devenir destructeurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sans être absolument persuadée de l'absolue nécessité des installations prescrites par ces clauses, la commission du « Board of Trade » les a édictées en quelque sorte à titre d'essai, comme un moyen terme qui ménagerait les craintes des propriétaires de conduites d'eau et de gaz et les intérêts des compagnies de tramways.

Enfin, à l'époque où se compulsaient les éléments formant la base de ses décisions, en 1893-94, cette commission ne disposait, comme elle l'eût fait deux ou trois ans plus tard, de ce que l'on pourrait appeler l'*expérience européenne* du système de transmission du courant aux tramways par fil aérien unique.

Or, il suffit d'ouvrir une statistique de ces entreprises pour constater la rapidité avec laquelle elles se sont développées dans ce laps de temps, aussi bien dans les parties rurales que dans les villes de tous les pays, principalement dans l'Europe centrale. Un fait important ressort de leur description, c'est l'absence presque complète sur le continent des précautions prévues par le règlement qui nous occupe. Cependant, jusqu'ici, l'on n'a guère signalé, à notre connaissance, d'importants dégâts causés par l'électrolyse.

γ. — Sans vouloir nous égarer dans une discussion détaillée, et moins encore dans une critique du règlement du « Board of Trade », qu'il nous soit permis, précisément à cause de la modération éclairée qui recommande habituellement les opinions de cette autorité, de distinguer les cas où l'on pourrait s'inspirer de ses prescriptions, de ceux où elles ne seraient pas applicables.

Il est probable que, dans une agglomération populeuse desservie par des distributions d'eau et de gaz, et peut-être de conducteurs télégraphiques ou téléphoniques souterrains sous plomb, tandis que s'augmentent ainsi les chances de dommages qu'ils pourraient causer, les tramways électriques auraient à établir des lignes relativement courtes, formant un réseau compact, alimenté par de forts courants, mais par contre présentant un tracé dont la plupart des points soient peu éloignés de l'usine et se soudant en beaucoup d'endroits aux autres tramways de la ville.

Dans de telles conditions, les différences de potentiel définies par les clauses telles que la clause 7 dudit règlement, ne seront pas difficiles à réaliser; les installations seront suffisamment importantes pour être soignées et présenter les limites de pertes et les isolements prévus; le trafic sera assez intense pour compenser la dépense supplémentaire occasionnée.

Au contraire, pour une ligne suburbaine allongée, le plus souvent le dommage à causer du chef d'électrolyse sera au moins problématique, et l'astreindre à se prémunir d'avance contre des effets à produire en des éventualités lointaines semblera certainement sévère et onéreux pour la compagnie. Et même s'il se trouvait en certains points quelque installation souterraine exposée à des détériorations qui, en fait, ne sont pas inévitables, n'est-ce pas le cas de laisser cette compagnie, et à ses risques et périls, courir la chance de n'avoir pas à réparer de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

préjudice, les remèdes indiqués plus haut pouvant toujours être promptement et efficacement apportés.

c. — *Conclusions.*

Nous ne perdons pas de vue que le règlement du « Board of Trade » ainsi que la plupart des arrêtés gouvernementaux de l'espèce englobent dans leurs prescriptions aussi bien les précautions à prendre contre l'électrolyse que la protection des circuits téléphoniques. Nous traiterons plus loin spécialement ce dernier point (§ 5).

Néanmoins, nous estimons que des lois ou règlements généraux peuvent difficilement définir, en quelques mesures invariables, les moyens préventifs susceptibles de renfermer à coup sûr les courants vagabonds dans des limites qui les empêchent de nuire *quelles que soient les circonstances*, dispositions des lignes, importance du trafic, nature du terrain; et en même temps ne pas imposer, pour la plupart des cas, à l'industrie des transports des *charges excessivement et inutilement onéreuses*.

Par contre, les déductions de l'expérience que nous avons ci-dessus énoncées (§ *a*-5) n'ont rien qui sorte de la pratique adoptée par les constructeurs et les exploitants en tous pays. Les modifications ou plutôt les additions qu'elles auraient à subir seraient dictées par les conditions locales.

Elles comportent comme un minimum d'exigence que l'on établisse la continuité métallique du circuit au moyen de connexions convenables entre rails.

Nous allons décrire les divers systèmes de connexions employés à cette fin.

4. — Types de connexions entre rails.

a. — *Connexions par fils.*

Au point de vue des dimensions, le choix d'un système de connexions entre rails dépend de la section du rail, de la longueur et de la forme de l'éclisse, de l'intensité du courant à transporter, de l'importance du réseau et aussi du prix qu'on y veut allouer comparativement aux autres facteurs de la dépense, au facteur combustible, par exemple.

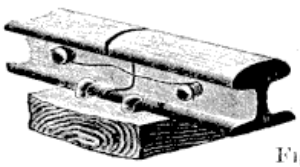


Fig. 295.

Fig. 296.

La tendance doit être de reporter sur le diamètre ce qu'on peut reprendre de la longueur. Mais surgissent alors deux petites difficultés : l'efficacité et la durée de l'encastrement ou de la soudure, la facilité de la pose et le coût de la main-d'œuvre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La solution varie encore s'il s'agit d'une modification de voie ou d'une construction nouvelle. Ces diverses circonstances fixeront le choix du type.

Parmi les connexions primitives des lignes américaines se trouve le fil enroulé et soudé sur rivets (fig. 295). D'autres connexions rivées offrent un contact plus intime avec le rail : le type « Brooklyn » (fig. 296) et les attaches à têtes façonnées (fig. 297) et surtout (fig 298) le type *Vail*, dont la tête, enfermant deux ou trois bouts de câble, est appliquée contre une portion de l'âme du rail passée à l'émeri (1). L'attache au patin est employée à Christiania (fig. 299).

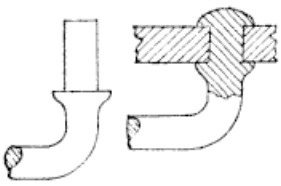


Fig. 297.

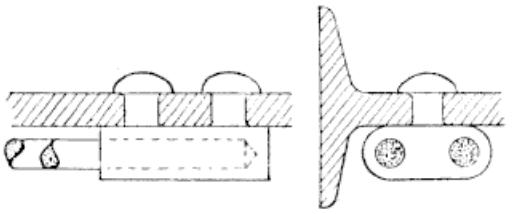


Fig. 298.

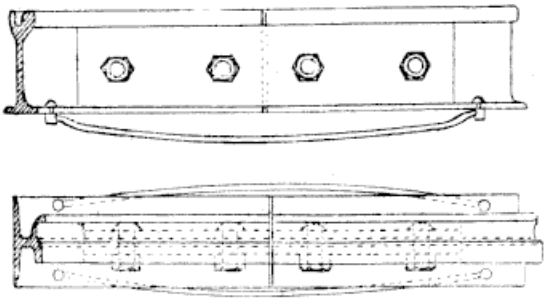


Fig. 299.

Les attaches vissées (fig. 300 et 301) réalisent, moyennant beaucoup de main-d'œuvre, une augmentation de la surface de contact du fil. Ce résultat s'obtient plus facilement par le dispositif figure 302 en enfonçant un coin C en fer cuivré, évidé selon la forme du fil, dans un trou d'un diamètre beaucoup plus fort. La Compagnie Thomson-Houston l'a souvent employé en Europe On objecte que des vides, susceptibles de s'agrandir par la rouille, restent entre le coin et la paroi du trou, ce qui expliquerait une certaine préférence pour le coin (fig. 303) ou pour la nouvelle connexion du « West End » de Boston (fig. 304), fabriquée par M. Anderson, de cette ville : un fil de 9.3 millimètres est relié aux rails par deux petits manchons étamés préalablement enfilés; un troisième manchon en cuivre étamé ferme la boucle. On met deux boucles de l'espèce à chaque joint.

Ces quatre derniers types présentent l'avantage de n'exiger point de façonnage préalable du fil. Il n'en est pas de même du « Chicago Rail Bond » (fig. 305), qui rappelle d'ailleurs le système employé par Hobroydt Smith, à Blackpool,

(1) Dans un pays où, comme en Belgique, on trouve fréquemment des câbles de mines hors d'usage, on pourrait faire sur ce modèle une bonne connexion, moyennant étamage de l'ensemble.
E. G.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

depuis 1884, au tramway électrique à chenal central, où des bouchons B (fig. 306) serrent des tubes de cuivre contre la paroi de trous forés dans les rails.

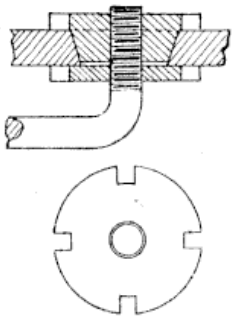


Fig. 300.

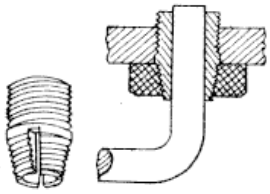


Fig. 301.

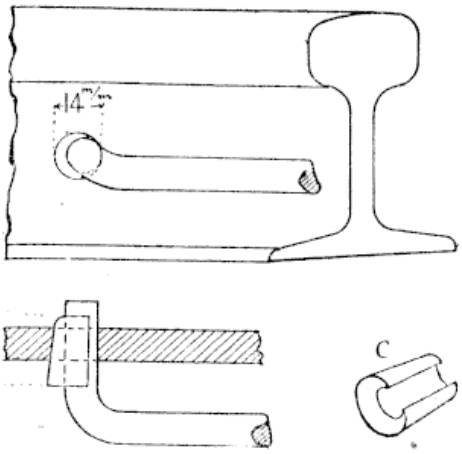


Fig. 302.

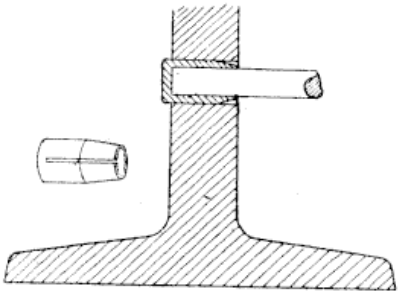


Fig. 303.

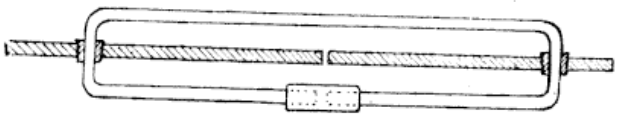


Fig. 304.

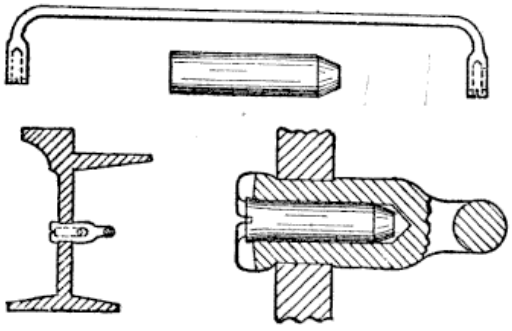


Fig. 305.

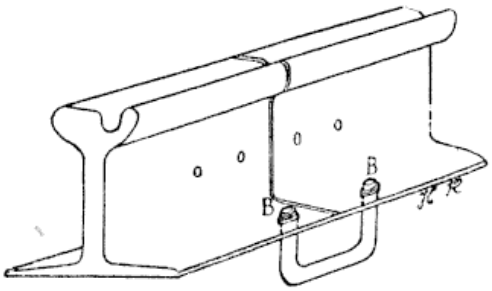


Fig. 306.

La plupart des connexions en fil de cuivre de 8 à 9 millimètres de diamètre reviennent au prix de 1 fr. 10 c. à 1 fr. 20 c , soit, en moyenne, 2 fr. 30 c. par joint comportant une double connexion, prix croissant avec le diamètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pose d'une de ces connexions, y compris le pavage, revient à 50 ou 60 centimes, mais sans compter le forage des trous dans l'âme ou le patin des rails.

Quant aux liaisons transversales, elles coûtent, selon la largeur de la voie, de 1 fr. 15 c. à 2 francs; aux croisements pour la jonction des quatre rails, 4 à 5 francs.

b. — *Connexions par masses interposées.*

La tendance à poursuivre est la diminution de longueur et l'augmentation de section des connexions. C'est le but que se propose *M. New Berry* dans l'essai du dispositif (fig. 307). Reste à savoir si les boudins ne prendront pas du jeu en se cisaillant.

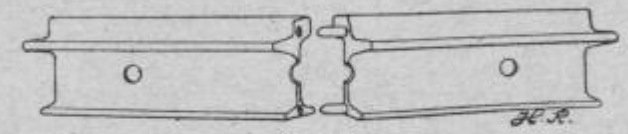


Fig. 307.

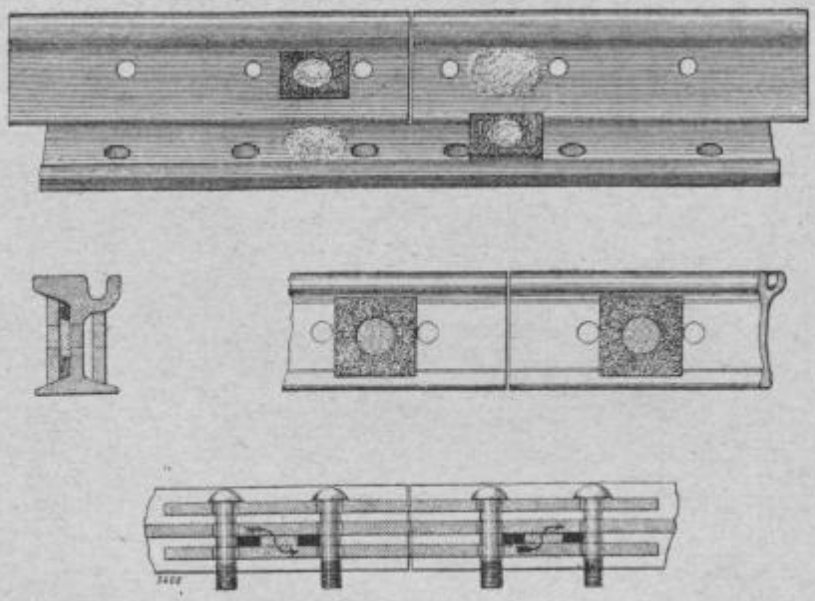


Fig. 308.

M. Edison paraît, d'après M. Harold Brown, avoir été plus heureux dans la conception d'une *connexion élastique* basée sur l'obtention d'un certain alliage plastique. Il prépare sur chaque rail une surface fraîche moyennant un composé qui, après avoir enlevé la rouille, laisse une sorte d'amalgame de fer, composé que l'on considérait comme irréalisable. Ce serait là le secret du parfait contact.

Sur chacune de ces places ainsi préparées s'adapte un petit cadre élastique (fig. 308) préalablement chauffé du côté du rail, de façon à devenir visqueux et à y adhérer : dans l'ouverture de ce cadre légèrement incliné pour maintenir la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partie fluide du métal plastique, s'introduit une portion de ce dernier, puis l'éclisse également décapée et amalgamée à l'endroit voulu est serrée en place. Le serrage réduit de moitié en épaisseur le métal plastique maintenu par le jeu du ressort. Quand on lâche les écrous, il regagne jusqu'à 6 millimètres de l'épaisseur perdue. Aux essais de laboratoire, la résistance de cette connexion s'est montrée excessivement faible. L'expérience pratique se prononcera sur la durabilité.

c. — *Autres moyens d'établir la continuité électrique des rails.*

Soudure électrique des rails — Dans son numéro du 4 avril 1895, le *Street Railway Journal*, décrivant en détail les installations de Boston, s'exprime comme suit à propos de la soudure des rails :

« En juin 1893, la Compagnie du West End se décida à essayer la soudure des « joints et l'appliqua sur 6,400 mètres de rails, type poutrelle Providence « (fig. 309), qui étaient alors installés, et 4,800 mètres de rails poutrelles de « 115 millimètres de hauteur (fig. 310). Ce rail, à cette époque, était fortement « usé, et ces 4,800 mètres ne tardèrent pas à se présenter comme un insuccès. « Les 6,400 mètres de rail Providence demeurèrent en l'état jusqu'au suivant « hiver, où ils se divisèrent par arrachement en quatre-vingts places. Ces places « étaient la plupart distantes de 10 à 20 centimètres de la soudure, et quelques- « unes au milieu du rail. Des améliorations furent alors apportées dans les pro- « cédés de soudure ; on scia les cassures pour leur donner une forme nette, et « après avoir intercalé des tasseaux pour combler les vides, on refit les soudures. « La voie se maintint convenablement durant l'été de 1894, mais durant l'hiver « de 1894-95 se brisa de nouveau en trente places. Le roulement est très aisé à « l'endroit de ce travail qui, sauf aux points de rupture, donne toute satisfac- « tion. On a observé que les concavités nombreuses présentées auparavant par « les rails avaient disparu, et depuis qu'ils sont soudés, ils sont parfaitement uni- « formes. La Compagnie placera des joints à poutrelle (fig. 311) aux cassures pour « exploiter la ligne en été.

« Un fait intéressant à propos de ces ruptures, c'est qu'elles ne se produisaient « pas à des intervalles réguliers comme on l'aurait cru, mais se rencontraient « par trois ou quatre sur un espace de 18 à 27 mètres pour laisser ensuite une « longueur de 800 mètres sans rupture.

« En somme, la Compagnie se trouve bien du joint soudé, et croit qu'une large « part des désagréments éprouvés tiennent à la légèreté de construction peu con- « venable de la section en expérience. »

Au cours de l'année 1894, la soudure électrique a été appliquée à 11 kilomètres de voie à Saint-Louis, et, d'après M. R. Blackwell, il était question, fin de la même année, de l'essayer sur « plus de 100 milles à Brooklyn, ce qui permettrait de se « rendre compte, après un an ou deux, de la valeur du procédé ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le procédé en question consiste à souder au joint, et successivement, deux paires de petits blocs opposés sur les faces. Dès que la température voulue est atteinte, le courant est suspendu et deux mâchoires, portées sur les petits bras de deux forts leviers articulés sous la forme d'une énorme tenaille, viennent comprimer le tout en une masse homogène. Le système employé par la Compagnie Johnston montée à cette fin, pour obtenir l'énorme courant nécessaire, consiste à emprunter l'énergie à 500 volts au fil de trolley, pour alimenter une réceptrice génératrice qui produit un courant alternatif de 300 volts, lequel est à son tour transformé en un courant de 1 à 2 volts avec l'intensité nécessaire. La soudure d'un joint prend environ quinze minutes et coûte 20 francs.

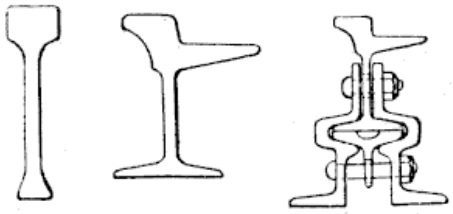


Fig. 309. Fig. 310. Fig. 311.

Joint en fonte. — Fondre sur place, au moyen d'une petite fonderie portative, un manchon qui enveloppe le patin et l'âme du rail, tel est le système pour lequel s'est équipée la *Falk Manufacturing Company*, de Milwaukee. Elle emploie dans ce but un moule garni d'un enduit spécial. A volonté, le joint peut être rendu absolument inébranlable comme s'il y avait soudure, ou bien, grâce à un enduit protégeant le rail, peut permettre un jeu longitudinal pour la dilatation. Chaque joint revient à 15 francs.

Ces procédés, qui suppriment les joints des rails, supposent démontrée cette thèse soutenue par M. A.-J. Moxham, directeur de la Compagnie Johnston, que le pavé des rues s'oppose aux effets de la dilatation, tout au moins en ce qui concerne les déplacements verticaux et latéraux. M. Moxham la soutenait après avoir expérimenté sur 900 mètres de voie qui avait très bien supporté, sans déplacement ni rupture, une différence de température de 15°. On a vu que les ruptures constatées à Boston infirment la thèse; mais la moyenne des distances qui les séparent permet de déduire que des longueurs de 200 mètres se maintiendraient sans accident, de sorte qu'à notre sens, il suffirait d'établir à de tels intervalles un joint à dilatation muni d'une forte connexion électrique.

5. — Perturbations téléphoniques.

a. — *Question générale du fil double et du fil simple.*

Nous ne reviendrons pas sur les moyens mécaniques d'éviter le contact par chute des fils téléphoniques avec le fil de trolley, filet d'acier sous-tendu ou couverture isolante superposée aux fils aériens du tramway (voir § A-4).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les perturbations dont il va être question ne résultent pas d'un passage direct du courant fort dans le circuit destiné au courant faible, mais bien d'une dérivation de ce courant par le sol ou d'un effet d'induction.

Tout circuit téléphonique formant une boucle complète, moyennant deux fils adjacents n'ayant point de contact avec le sol, est à l'abri d'influences perturbatrices de la part de courants continus d'une force électro-motrice de 500 à 750 volts en usage dans l'industrie des transports.

S'il est vrai :

Que les réseaux téléphoniques à fil simple sont à leur propre égard de véritables et *d'inévitables* perturbateurs;

Que la téléphonie interurbaine n'a pu s'établir sans double fil, et que pour suivre à simple fil les mêmes chemins que le télégraphe, les conditions de cette coexistence seraient aussi onéreuses que le double fil et d'un fonctionnement médiocre;

Que la téléphonie locale ne jouira avec pleine satisfaction des avantages des communications à longue distance, que si ses réseaux doublent les circuits des abonnés;

Il semble naturel, au point de vue technique pur, de ne chercher d'autre remède aux perturbations téléphoniques causées par les courants vagabonds ou les effets d'induction provenant des courants industriels, que dans le doublement des fils téléphoniques.

Ajoutons même que si, dans cet ordre d'idées, une exploitation téléphonique à fils simples est amenée à les doubler, en présence des troubles qu'un tramway électrique vient ou est présumé devoir apporter dans son fonctionnement, il doit être tenu compte *des exigences de même nature de la technique téléphonique, à courte échéance*, si l'on veut équitablement répartir les frais de cette transformation entre les deux intéressés.

Ce sont donc, en général, des installations téléphoniques théoriquement incomplètes, les réseaux à fils uniques raccordés à la terre, qu'atteignent les perturbations que nous allons examiner de plus près, les réseaux à doubles fils n'étant influencés que par des courants triphasés non isolés, cas tout à fait exceptionnel.

C'est donc à cause du retour commun de l'un et l'autre circuit par la terre que la question est traitée dans le présent chapitre.

b. — *Rapport du Dr Wietlisbach au Congrès de Genève.*

La question des perturbations téléphoniques a fait l'objet d'une étude approfondie, produite au Congrès des électriciens tenu en août 1896 à Genève, de la part du Dr Wietlisbach, directeur du service technique des télégraphes de la Suisse, à Berne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ne pouvant reproduire ce savant rapport *in extenso*, nous allons tâcher d'en résumer les passages saillants.

Écartant la question juridique pour s'en tenir aux faits, l'auteur observe d'abord que les deux adversaires, ceux qui emploient les courants faibles et ceux qui transportent des courants forts, si ce sont des compagnies privées, préfèrent un *modus vivendi* à des procès ruineux, et si l'un des deux est un gouvernement, et c'est souvent le cas du côté des téléphones, il impose à l'autre des prescriptions ayant force de loi.

La question technique se pose donc en ces termes :

Quelles sont les mesures qui, sans s'opposer au développement des industries utilisant des courants forts, permettent d'en atténuer les effets nuisibles sur les courants faibles, de façon à rendre exploitables les réseaux téléphoniques?

La technique des courants faibles est impuissante à les protéger, de leur seul côté, contre des courants industriels 1 million de fois plus forts et qui peuvent le devenir 100, 1,000 millions de fois. Ces derniers, dans certaines conditions, nuisent aux premiers de trois manières :

1° Par contact direct;
2° Au moyen de dérivations par leurs supports et par le sol;
3° Par induction.

1° Concernant les effets du contact direct, M. Wietlissbach, aux moyens mécaniques ci-dessus décrits (A-4), préfère les fils fusibles intercalés sur les fils téléphoniques à l'endroit où ils pénètrent dans un bâtiment. Il est bon que ces fusibles, en fonctionnant, envoient le courant fort à la terre.

Suffisant pour les forces électro-motrices de 500 à 700 volts, ce remède est pratiquement inapplicable à 1,000 volts, parce que l'arc voltaïque de rupture ne s'éteint plus assez vivement, à moins de recourir à des moyens coûteux. Dans ce cas, un filet protecteur mis à la terre devient nécessaire;

2° Les dérangements de la deuxième classe, le bourdonnement dans le téléphone dû aux courants variables pénétrant dans les conducteurs de courants de faible tension, peuvent être prévenus par une isolation des fils téléphoniques, aussi parfaite que possible, de la terre et de tous les corps se trouvant en contact avec le conducteur de haute tension. Ces dérivations n'ont qu'une faible influence si le courant est continu et une influence très marquée si le courant est alternatif ou à champ tournant. Dans ce cas, l'isolation parfaite des conducteurs du courant industriel est indispensable;

3° C'est surtout sur les perturbations de la troisième catégorie qu'appuie M. Wietlissbach, celles qui résultent de l'induction électro-magnétique.

Il expose d'abord les difficultés que l'on rencontre à combattre les effets des courants ondulatoires, tels que les courants alternatifs dans leur action inductive. Il ne suffit même pas dans ce cas de doubler le fil téléphonique, il faut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

encore que les conducteurs des courants de haute tension soient bien isolés l'un de l'autre et très rapprochés, sinon les effets de l'induction se font sentir; il n'est pas nécessaire pour cela que les deux circuits soient voisins et à peu près parallèles sur une grande partie de leur parcours : s'ils le sont sur quelques centaines de mètres et que la ligne téléphonique, eût-elle 500 kilomètres de longueur, touche, par un des deux fils, une branche d'arbre, le bourdonnement résultant du courant alternatif mal installé se fera entendre. Le téléphone peut sans doute recourir à des moyens spéciaux, tels que placement des fils en hélice, emploi de translateurs, lesquels diminuent toutefois l'intensité des communications; mais les courants alternatifs qui sont des millions de fois plus forts doivent, dans leur propre pose, être disposés de façon à combattre leurs effets inducteurs. Il ne faut pas perdre de vue que ces effets se répercutent d'une ligne téléphonique à l'autre sur des parcours parallèles.

Les courants des tramways, bien que limités à une tension de 500 volts et quoique continus, deviennent ondulatoires à cause de leur emploi dans des moteurs. Leur action inductrice, qui serait négligeable sur un double circuit téléphonique bien isolé, est très sensible sur le fil simple empruntant la terre au retour, surtout lorsque la boucle formée par le fil de trolley et le retour par les rails est placée dans certaines conditions. L'action inductrice s'ajoute aux pulsations provenant des courants vagabonds, et cet ensemble est d'autant plus nuisible que les variations du courant sont plus fréquentes et plus fortes.

Sur l'origine de ces variations, des opinions diverses ont été émises; on a cité comme causes intervenant dans l'induction : *a*) le contact variable entre les roues et les rails; *b*) le contact entre l'appareil de prise de courant et le fil conducteur; *c*) le moteur.

Après avoir cité les expériences de M. West sur l'action produite dans le téléphone par le roulement des voitures, et celles de M. du Riche-Preller tendant à établir que l'élasticité de la prise de courant et de la suspension du fil modifie l'intensité du courant d'une façon perceptible au téléphone, M. Wietlissbach conclut que le roulement ne produit que de temps à autre un bruit sec n'ayant aucun rapport avec le bourdonnement qu'il s'agit de combattre, et que l'influence des variations du contact entre le capteur du courant et le fil n'a qu'une importance secondaire dont il n'y aura lieu de s'occuper qu'après la suppression de la perturbation principale due au moteur.

A l'initiative du Dr Behn, d'Eschenbourg, le rapporteur a procédé sur divers tramways suisses à des expériences ayant pour objet de déterminer l'origine du bruit en question et l'a observé au téléphone, dans les conditions définies ci-après (1) :

A. La voiture marche normalement avec courant dans le moteur. On observe le même bruit que l'on remarque dans les postes téléphoniques (fig. 312);

(1) Au lieu de se porter à un poste téléphonique déterminé par l'emplacement d'un fil corres-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. Un courant de même intensité que le courant de travail passe non par le moteur, mais par une résistance placée sur la voiture. Le moteur est hors circuit et la voiture descend une pente. On n'entend aucun bruit ou tout au plus un bruit très faible, bien que le trolley et le contact des rails se trouvent sous la charge normale;

C. La voiture est soulevée des rails au moyen de chevalets et le moteur marche librement dans l'air. Il se produit un fort bruit, semblable à celui de l'expérience A, bien que le trolley et le contact avec les rails soient en repos.

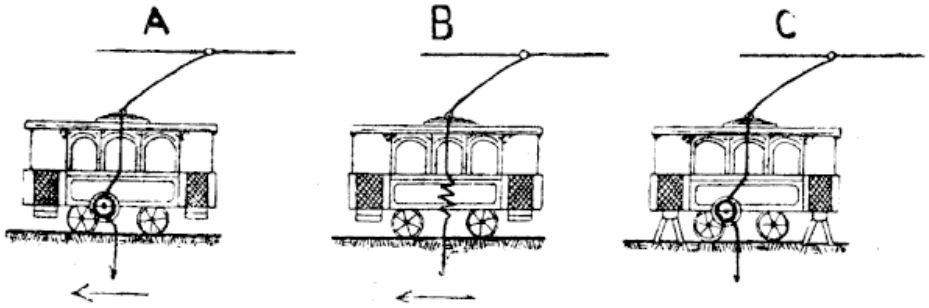


Fig. 312.

Pendant l'expérience *B*, s'il y a d'autres voitures sur la ligne, on observe le bruit de leurs moteurs et dans certains cas celui de la dynamo génératrice.

Quant aux causes du bruit provenant du moteur, elles peuvent résider ou dans les courts-circuits des segments du collecteur, ou dans les contacts des balais qui, par suite des trépidations de la voiture en marche, doivent agir comme des contacts de microphones, cette seconde cause paraissant la plus influente.

En général, mieux le circuit d'aller et retour du tramway est isolé, moins forts sont les bruits observés dans les lignes téléphoniques; dans le cas contraire, on emploie avec succès des câbles de retour isolés.

M. Wietlissbach constate ensuite que dans leur trajet, de longues lignes téléphoniques interurbaines peuvent rencontrer plusieurs installations industrielles, dont les effets perturbateurs seraient à combattre successivement et sous différentes formes. On doit donc prévoir que c'est en eux-mêmes, autant que possible, que les circuits téléphoniques devraient porter leur moyen de lutte efficace.

Avant de reproduire les conclusions tirées par le Congrès de Genève de ce rapport et de la discussion qui en a suivi la lecture, nous donnerons quelques renseignements complémentaires.

---

pondant, l'expérimentateur a rendu l'observation plus facile et plus directe au moyen d'un transformateur. Il intercale le courant primaire de ce transformateur soit entre deux bouts du fil de trolley, soit sur une connexion au feeder, et place le téléphone sur le circuit secondaire. Ou bien, moyen plus commode encore, il place le transformateur sur la voiture même en l'intercalant dans le courant de ligne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c. — *Doublement partiel des fils téléphoniques.*

Signalons d'abord un succédané du doublement des fils téléphoniques de tous les abonnés, l'emploi d'un fil de retour commun à plusieurs abonnés. M. Piérard, ingénieur des télégraphes belges, a rendu ce système possible au moyen d'un commutateur dont dispose l'abonné pour user à son gré du fil commun qui l'abrite des bruissements gênants, quitte à risquer l'indiscrétion ou l'interférence des autres lignes, ou bien de faire, comme auparavant, usage du retour par le sol. Ce procédé, bien qu'ayant réussi en tant que fonctionnement, n'est pas sans inconvénient pratique.

Il est un inconvénient que les doublements partiels des circuits téléphoniques ne font pas disparaître, c'est le déclenchement subit des annonciateurs du bureau central sous l'influence de brusques variations du courant du tramway, fait assez rare dans une exploitation bien réglée.

d. — *Rapport de M. Van Vloten au Congrès de Stockholm.*

α. — Un document très complet concernant les troubles que produisent les tramways électriques par trolley à fil simple, soit dans l'exploitation des téléphones, soit par électrolyse, a paru récemment sous la signature de M. l'ingénieur Paul Van Vloten, de Bruxelles, chargé d'un rapport à l'assemblée de 1896, à Stockholm, de l'Union permanente des tramways.

Outre les renseignements fournis dans les pages précédentes, ainsi que dans le rapport de M. Wietlissbach que nous venons de résumer, nous y trouvons des considérations et des faits très intéressants.

β. — M. Van Vloten, d'accord d'ailleurs avec M. Wietlissbach en ce qui concerne le peu de confiance que l'on peut accorder à l'emploi de lattes protectrices en bois contre les chutes de fils téléphoniques, tout en étant un peu plus optimiste quant à l'efficacité des filets sous-tendus, préconise également l'emploi de fusibles convenables et cite à l'appui de cette manière de voir des renseignements statistiques que nous reproduisons ci-après :

Exemples d'accidents qui auraient pu être évités par l'emploi des fils fusibles.

A Barmen, 700 appareils détruits, le local incendié.

A Dortmund, accident analogue, mais de moindre importance.

Au Havre, plusieurs fils téléphoniques fondus.

A Remscheid, incendie du bureau téléphonique, etc., etc.

La statistique des accidents par suite de contacts est assez intéressante; pour ne prendre que l'Allemagne, il s'est produit, de 1891 à 1896, 76 accidents de l'espèce, 70 de ceux-ci ont affecté des lignes téléphoniques aériennes. Dans 61 cas, le courant provenait d'une installation de tramway (le voltage était généralement de 500 à 550 volts, dans un cas 600 volts et dans un autre 330 volts seulement).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8 accidents se sont produits alors qu'il n'existait pas de fils de garde au-dessus du trolley.

11 accidents se sont produits malgré les fils de garde.

40 accidents se sont produits malgré les protections en bois.

Le contact a été causé le plus souvent par la rupture du fil téléphonique, rarement par la rupture du conducteur de tramway ou le bris d'un isolateur supportant un conducteur à fort courant.

Quant aux dégâts aux appareils, ils se sont élevés en moyenne à 14 marcs par accident.

Dans 27 cas, ils ont occasionné des dépenses de moins de 3 marcs.

Dans 21 cas, les dépenses ont été de 3 à 10 marcs.

Dans 25 cas, les dépenses ont été de 10 jusque 115 marcs.

Les dégâts causés par les incendies sont cependant assez importants (à Barmen, 31,000 marcs, à Dortmund, 5,400, etc.). La conclusion est qu'il faut éviter avant tout les causes d'incendie.

7. — Le Dr Wietlissbach ayant remarqué qu'une voie depuis quelque temps en service donne lieu à des bourdonnements plus intenses, attribue ce changement à des défectuosités naissantes de l'isolation, à un contact plus intime du rail avec la masse du sol par l'altération du ballast.

M. Van Vloten indique logiquement, comme cause de cette aggravation, le jeu que prend une voie qui a cessé d'être fraîchement établie, agissant sur les trépidations des balais et, partant, augmentant leur influence sur le bourdonnement par induction.

Il nous reste à reproduire les conclusions du Congrès de Genève.

e. — *Conclusions du Congrès des électriciens tenu à Genève en août 1896, concernant les perturbations téléphoniques causées par les courants industriels.*

Les réseaux téléphoniques peuvent être efficacement protégés contre les perturbations dues aux courants industriels par la suppression du retour par la terre et l'emploi d'une double ligne.

Partout où une partie du circuit industriel à courant continu est à la terre, comme, par exemple, dans les chemins de fer électriques, on doit, dans la mesure du possible, recourir à des mesures spéciales pour réduire les perturbations téléphoniques et notamment :

a) Bon isolement de la ligne de prise de courant et toutes les parties électriquement en contact avec elle;

b) Câbles de retour isolés depuis les points du réseau les plus chargés, éventuellement reliés à des survolteurs;

c) Éclissages soignés, liaisons transversales entre les rails, fil spécial de retour;

d) Chercher à éviter dans la construction du moteur toute disposition tendant à entraîner une ondulation du courant;

e) Dans le cas de croisement aérien des lignes téléphoniques et de circuits

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

industriels, l'adaptation de fusibles dans les lignes téléphoniques suffit lorsque la tension des courants industriels est inférieure à 750 volts; dans le cas de tensions supérieures, l'emploi de dispositifs de garde d'une efficacité absolue et reliés à la terre est indispensable.

C. — Installations et exploitations diverses.

Après avoir exposé les règles observées dans l'établissement du fil aérien, nous compléterons les renseignements techniques caractéristiques et consignerons les informations financières utiles, concernant les applications de ce système.

C'est aux États-Unis qu'il faut en chercher les premiers progrès et le développement successif le plus rapide.

Cependant, depuis qu'il se répand en Europe, nous nous trouvons en présence, non seulement des perfectionnements importés d'Amérique, mais aussi des procédés originaux anglais et continentaux, sur lesquels nous aurons à nous étendre, en même temps que sur les renseignements commerciaux spéciaux aux installations et aux exploitations européennes.

1. — États-Unis.

a. — *Modes successifs de prise de courant.*

Essais primitifs. — Au point de vue technique, il ne nous reste guère à signaler, en fait de procédés propres aux États-Unis, que les phases par lesquelles a passé, dans ce pays, le mode de prise de courant pour fil unique.

Les installations faites de 1885 à 1888 témoignent de l'hésitation dans le choix entre *la poulie par-dessus* tirée par un câble et *la poulie inférieure* montée sur tige.

α. — Après avoir établi à l'Exposition industrielle de Toronto, en 1885, une petite ligne de 600 mètres où le courant se recueillait par un trolley porté sur levier en bois (fig. 313), Van Depoele employa la même année à South Bend, Indiana, la poulie supérieure glissant sur un fil de cuivre de 6 $^1/_3$ millimètres suspendu par des crochets isolés (fig. 314).

Le support pour deux voies (fig. 315) et la prise de courant (fig. 316) furent essayés concurremment avec un système de conduite souterraine par la Compagnie Bentley Knight. Un protecteur isolant surmontait les poulies pour éviter le contact avec le fil supérieur.

β. — C'est pendant les années 1887-1888, après les succès obtenus à Richmond par M. Sprague, que le trolley à tige supplanta tous les autres systèmes et la figure 317 est un souvenir de l'un des nombreux dispositifs mis alors en œuvre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

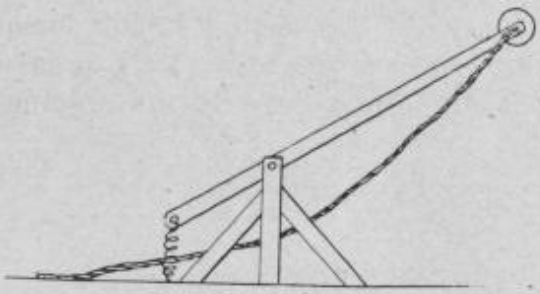


Fig. 313.

Fig. 314.

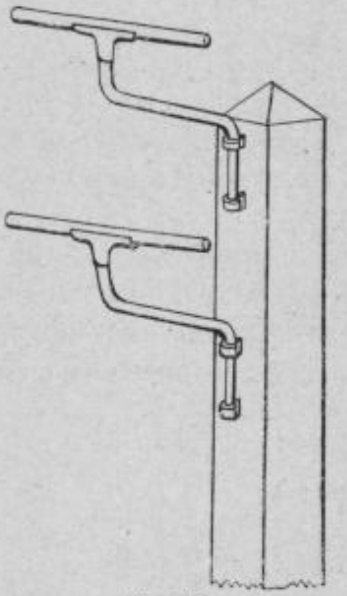


Fig. 315.

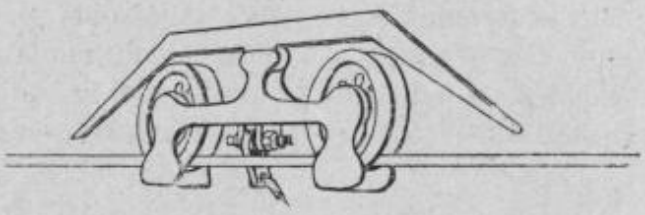


Fig. 316.

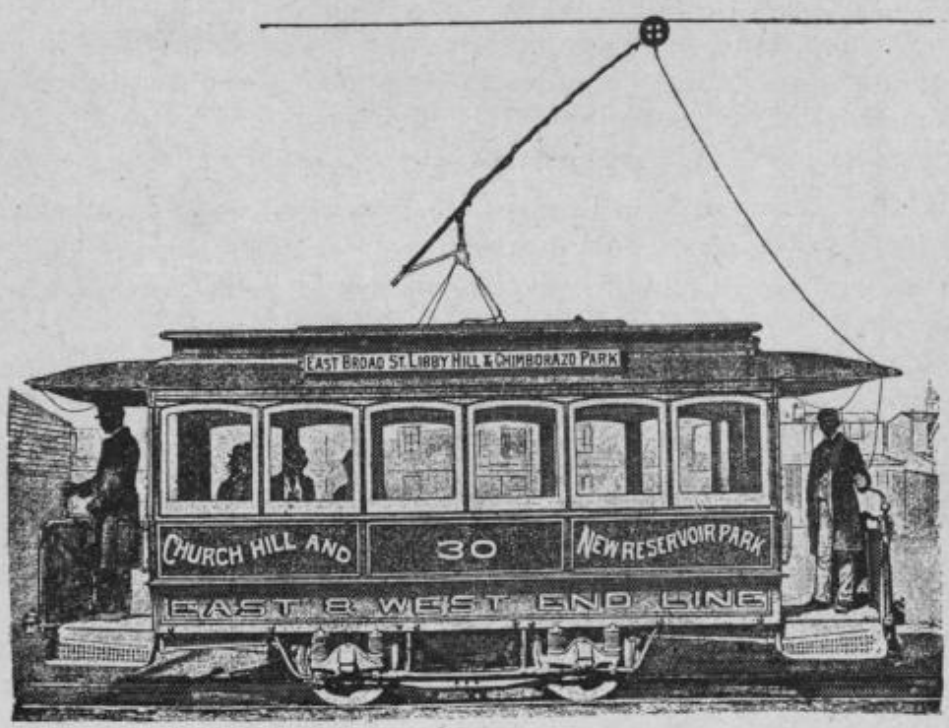


Fig. 317.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

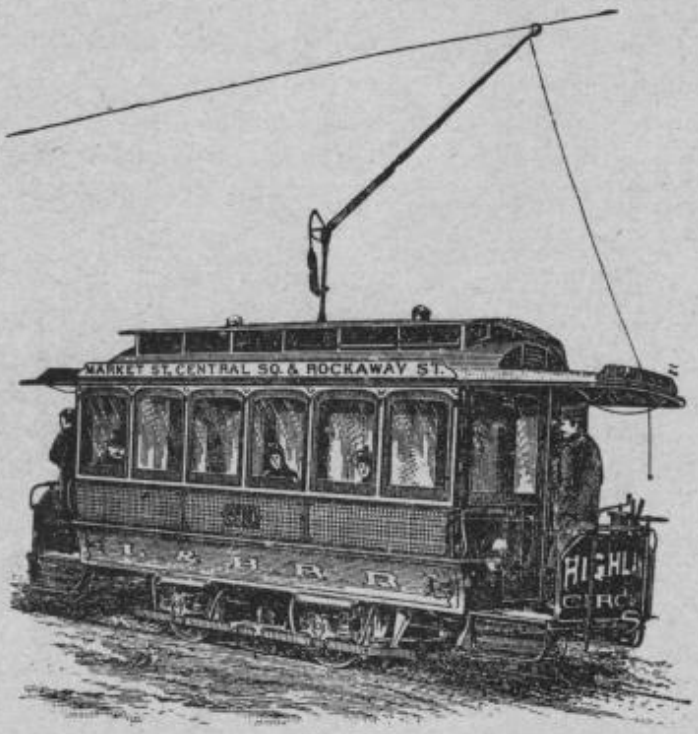


Fig. 318.

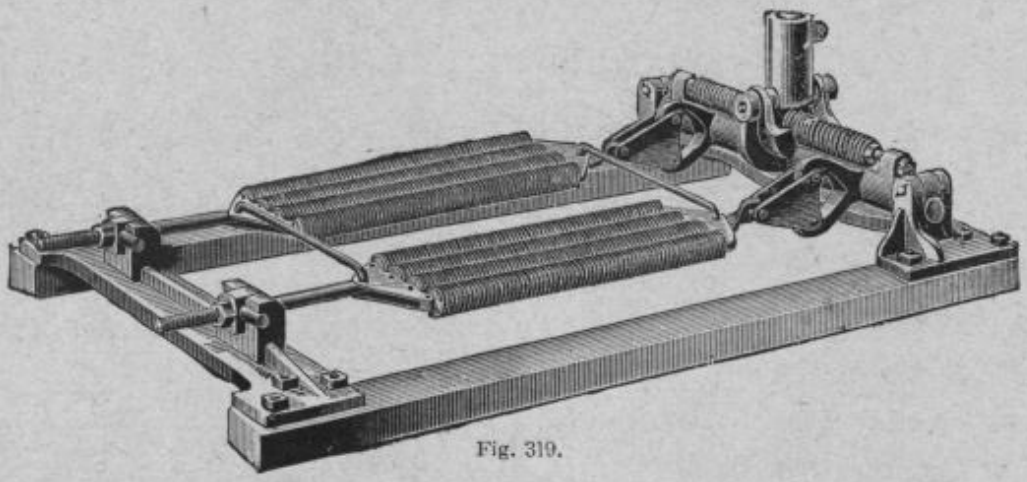


Fig. 319.

Support de trolley pour simple fil

Type primitif de base.

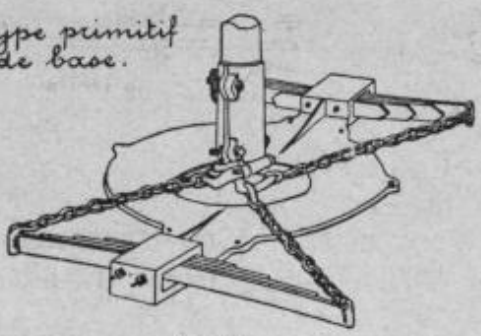


Fig. 320.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La figure 318 montre un des premiers perfectionnements introduits par la Compagnie Thomson-Houston, d'après les dessins de Van Depoele, en 1888, sur le tramway de la Compagnie Lynn et Boston : le ressort tire une lame se développant sur une came en spirale réalisant une pression uniforme du trolley sous les différentes inclinaisons de la tige. Mais le pied en était un peu délicat. A Boston même, cette Compagnie installa primitivement la base de trolley (fig. 319) sur laquelle la tige peut basculer dans les deux sens et se permettre un certain jeu latéral, qualité qu'on retrouve dans le type (fig. 320) à chaîne et ressorts à lames de la même époque.

Dispositifs actuels. — Bases. — On préfère aujourd'hui les bases rotatives. C'est ainsi que le type de Boston est devenu celui de la figure 321, construit par la

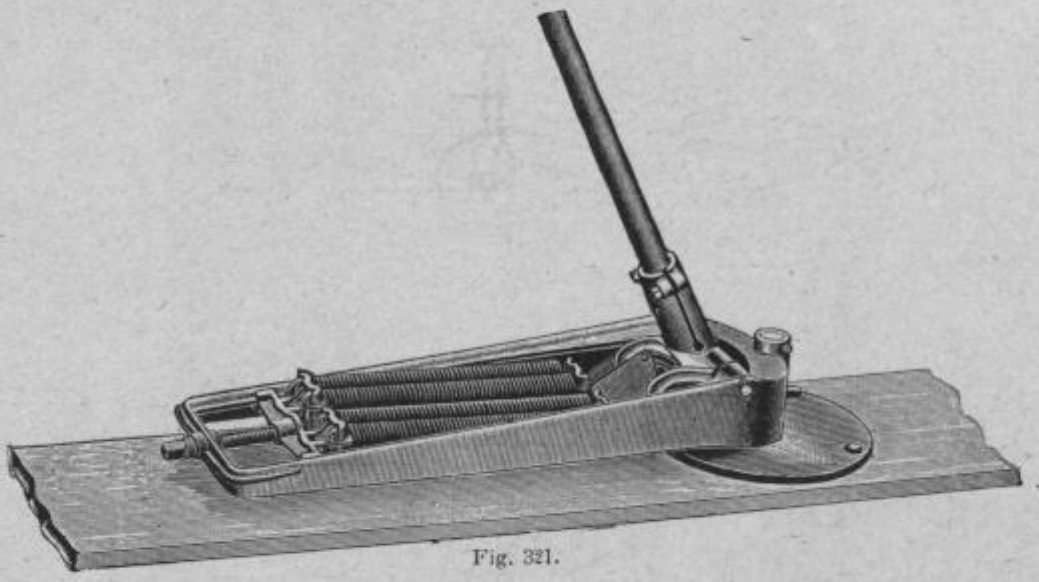


Fig. 321.

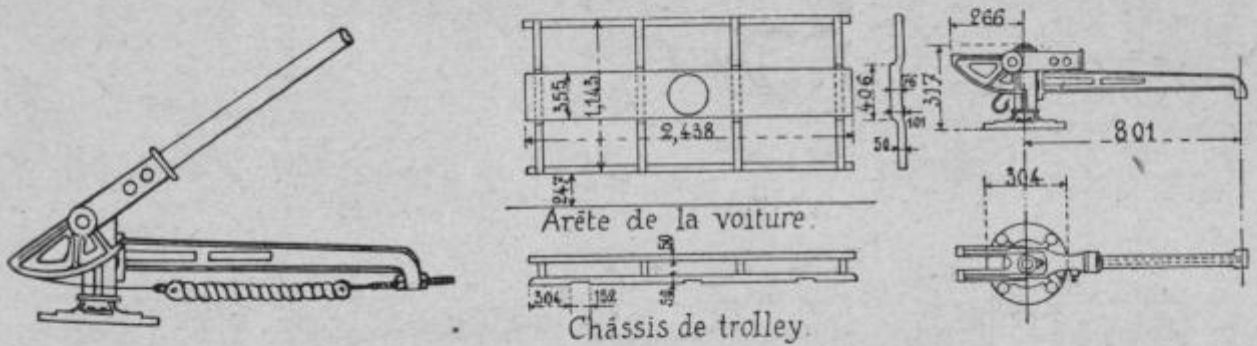


Fig. 322.

maison Anderson, en concurrence avec celui de la « General Electric Company » (fig. 322) et qui reproduit en disposition horizontale le trait distinctif du pied vertical, à came spirale, égalisant la pression, de la figure 318. Il ne manque pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'autres bases rotatives parmi les types américains : le « Philadelphia » (fig. 323), le « Nuttael » (fig. 324) s'expliquent d'eux-mêmes.

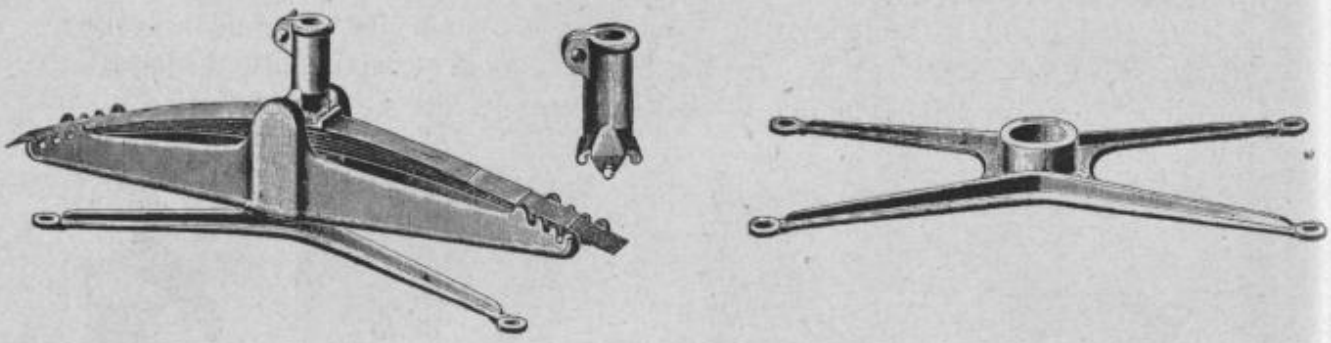


Fig. 323.

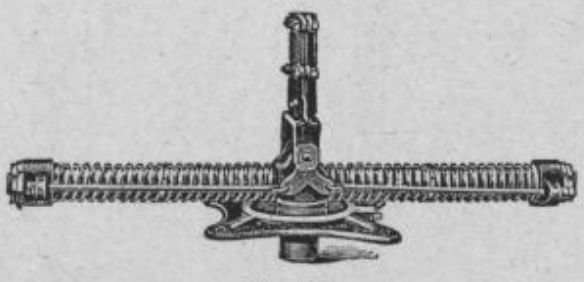


Fig. 324.

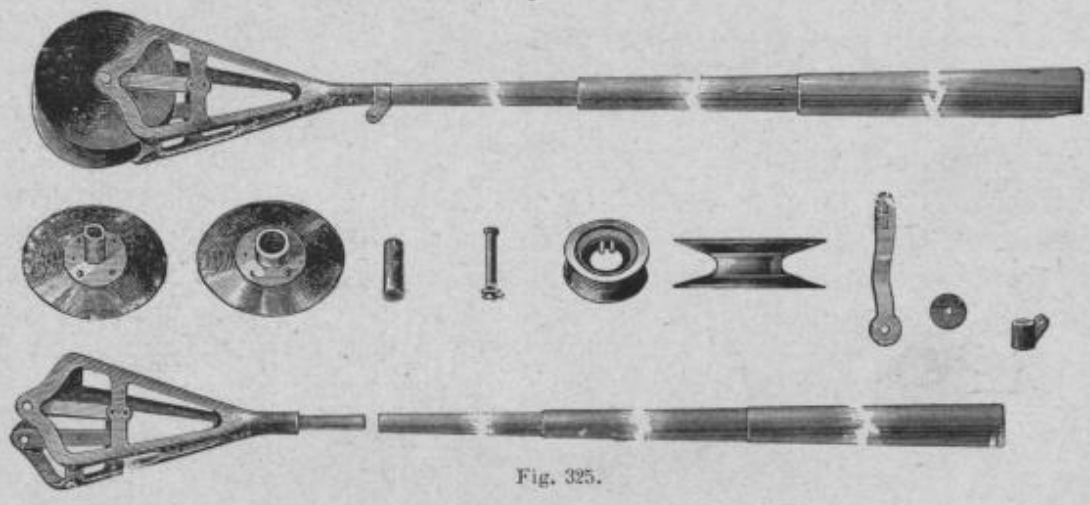


Fig. 325.

Poulie. — La poulie elle-même et son support, appelé aussi *tyre*, ont passé aux États-Unis par cent formes. Ainsi, on croyait avoir réalisé un perfectionnement à rendre la poulie décomposable (fig. 325), de façon à pouvoir remplacer le fond de la gorge sans les flancs; en pratique, cet expédient coûteux de fabrication et d'ajustage le cède à la robustesse de la simple roue en bronze (fig. 326). Le moyeu, tout en métal, demande trop de graissage et partant une pochette à l'huile et ses inconvénients. On y a substitué le graphite soit sur toute la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

surface, soit par zones, ou bien le cuir non tanné. La conductibilité est assurée au moyen de lames latérales s'appuyant sur les bouts du moyeu, comme le montre la lyre (fig. 327).

A Milwaukee, la Compagnie des tramways se trouve bien de la tête de trolley (fig. 328) à pivots d'acier portés par des leviers montés sur articulations et pressés contre le centre de la roue par l'action d'un ressort les tenant écartés à l'autre extrémité.

Fig. 326.

Fig. 327.

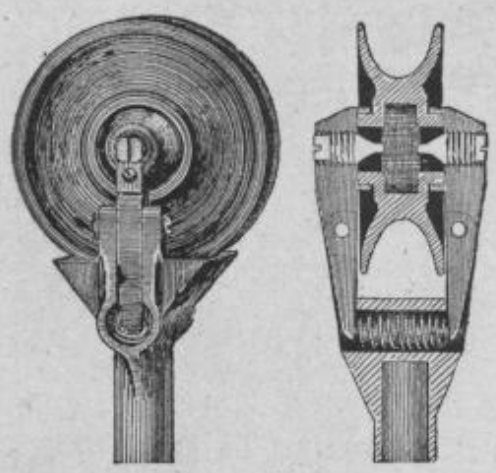


Fig. 328.

Fig. 329.

La tête de trolley pour fil axial ne doit pas présenter, dans la lyre, de partie extérieure saillante ou assez écartée de la poulie pour pincer le fil dans les cas de déraillements pratiquement inévitables. Le type Hubley (fig. 329) est étudié à ce point de vue.

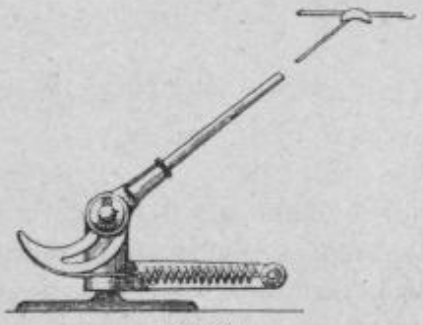


Fig. 330.

Contacts divers. — 2. — M. Short avait, vers 1891, essayé de substituer à la poulie la cuiller glissante (fig. 330). On retrouve, en effet, dans la poulie un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

frottement de glissement en courbe sur l'un de ses flancs. Un sabot glissant, plus léger qu'une tête de trolley, semble donc d'autant moins irrationnel qu'il permet d'alléger la base à ressort. L'emploi en est toutefois relativement rare aux États-Unis; nous le retrouverons perfectionné dans quelques installations européennes, notamment en Suisse.

β. — A la poulie sous le fil, devenue, de par autorité de justice aux États-Unis, un monopole de la « General Electric Company », possesseur des brevets Van Depoele, certaines firmes ont cherché à substituer un autre élément rotatif.

γ. — La Compagnie Westinghouse a essayé un contact latéral au fil en forme d'entonnoir renversé touchant le fil par le petit diamètre.

δ. — La Compagnie Walker substituerait à la poulie un cylindre allongé, formé d'un tube d'aluminium porté aux extrémités sur pivots à billes.

Mais déjà des arrangements intervenus entre les concurrents et l'ayant droit ont écarté, en Amérique, ces succédanés du trolley.

ε. — Sur le pont de Brooklyn, des essais de traction électrique par fil aérien ont conduit la « General Electric Company » à substituer à la perche à trolley un frotteur transversal monté sur genouillère à ressort pouvant fonctionner dans les deux sens de la marche. Ce support, en forme de parallélogramme articulé, lui avait déjà réussi comme porte-trolley sur les petites locomotives de mines.

Nous réservons pour le paragraphe relatif aux applications européennes du conducteur aérien simple la description des modes de prise de courant qui y ont vu le jour.

N. B. — Le mode de prise de courant par poulie demande un réglage assez précis de la tension exercée par les ressorts à la base de la tige de trolley. On a trouvé que le degré de tension donnant le fonctionnement le plus sûr répond à un effort vertical de 6 kilogrammes à la poulie.

b. — *Exploitations de tramways urbains américains.*

Il ne nous paraît guère utile de reproduire, quelque complets qu'ils paraissent, des extraits *anonymes* de comptabilité, lesquels permettent difficilement de se rendre compte au besoin de l'influence que le profil et le développement des voies, ainsi que d'autres circonstances locales, ont exercée sur le coefficient d'exploitation. Si l'on donne au contraire toutes les circonstances utiles à un jugement précis, ne pas citer la ligne, c'est laisser soupçonner des omissions qui rendent précaires les renseignements publiés : mieux vaut, en ce cas, les taire absolument.

On préférera trouver des comptes d'exploitation se rapportant à des lignes bien déterminées, alors même qu'ils ne seraient pas tous de fraiche date.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les postes qu'affecte principalement la dépense en *main-d'œuvre* y sont ordinairement très élevés, parce qu'elle s'y paye deux ou trois fois plus cher qu'en Europe.

Cincinnati Inclined Plane Company. — Reproduisons, en les complétant, des renseignements recueillis en 1891 et que nous avons publiés dans notre rapport au Congrès des chemins de fer en 1892, concernant une des premières lignes à fil aérien ayant conservé une certaine renommée : *The Inclined Plane Railway*, de Cincinnati :

Description.

Chaudières à tubes d'eau.
Charbon à 10 francs la tonne ; consommation, 1.89 kilogramme par voiture-kilomètre.
Machines à vapeur : 1 Corliss 250 chevaux (lente).
— 1 Ball 150 — (rapide).
— 1 Brown 150 — (lente).
Dynamos : 4, Edison chevaux (2 de 100 chevaux).
— — (2 — 80 —).
Voie : Rail américain (*girder rail*).
Longueur des voies : 13.7 kilomètres.
— des rues : 8.0 —
Rampes : Une très forte de 30 mètres de longueur et 13.2 p. c., une de 6 p. c. sur 300 mètres, une de 4 p. c. sur 800 mètres.
Voitures : En remise, 36 de 4m30 à 5 mètres de longueur, pesant de 3 à 4 tonnes.
— En service, 20 en moyenne par jour.
— Pas de trail-cars.
Chaque voiture est munie de deux moteurs Sprague.

Dépenses d'exploitation.	*Par voit.-kilomètre.* (Centimes.)	
Entretien de la voie et du pavement	...	3.120
— de la ligne électrique	...	0.210
Entretien de l'usine.		
Réparations aux machines	0.19	
— diverses	0.005	
	0.195	0.195
Prix de la force motrice (à l'usine).		
Charbon	2.06	
Salaires chauffeurs et mécaniciens	1.83	
Huile, etc.	0.22	
Eau	0.28	
Divers	0.03	
	4.42	4.420
A reporter.	...	7.945

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

		Par voit.-kilomètre. (Centimes.)
Reports. . .	...	7 945
Entretien du matériel roulant.		
Réparations aux électro-moteurs.	2.85	
— aux engrenages et trolleys.	0.70	
— aux voitures, roues, etc.	1.55	
— diverses	0 62	
	5.72	5.720
Mouvement.		
Salaires conducteurs	7.20	
— receveurs	7.20	
— personnel de la voie	0.96	
Enlèvement des neiges	0.43	
Accidents	0.08	
Nettoyage et visite des voitures	0.92	
Huile, etc.	0.10	
Divers, fournitures de receveurs	0.83	
	17.72	17.720
Frais généraux.		
Appointements, assurances, etc.	4.75	
Frais de bureau	0.12	
Annonces et impressions	0.16	
Contentieux	0.01	
Divers	0.06	
	3.10	5.400
Total par voiture-kilomètre. . .		36.785

Remarque : On paye les conducteurs et receveurs 75 centimes l'heure; les mécaniciens à l'usine, 500 à 450 francs par mois.

Les parcours annuels sont : 967,500 voiture-kilomètres; chaque voiture fait journellement 133.8 kilomètres.

On observera que les motrices assez légères circulent seules.

Bangor. — La « Bangor Street Railway Company » possède une ligne à simple voie, longue de 13.6 kilomètres, sinueuse et accidentée; on y trouve une courbe de 11 mètres de rayon en rampe de 7 p. c.; une portion de voie de 1,200 mètres comporte cinq courbes en rampe moyenne de 5 p. c.

Le matériel se composait en 1891 de 10 voitures motrices; aujourd'hui, il y en a 22 et seulement 3 trailers. Les motrices sont munies de 2 moteurs de 12 chevaux.

Dépenses d'exploitation en 1891.

		P^r voit.-kilomètre.
Taxes . . . . . fr.	1,768 15	0.00418
Appointements, frais de bureau et divers	13,295 30	0.03146
Assurances.	2,256 90	0.00534
Réparations à la voie	6,794 50	0.01608
A reporter. . fr.	24,114 85	0.05706

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Reports . fr.	24,114 85	0.05706
Enlèvement des neiges	1,958 10	0.00463
Réparations et nettoyage du matériel roulant	12,226 45	0.02893
Charbon, huile, salaires à l'usine (force motrice)	24,305 00	0.05752
Huile, etc. (matériel roulant)	1,466 55	0.00347
Paveurs	750 00	0.00177
Salaires conducteurs	18,189 88	0.04305
— receveurs	18,189 87	0.04305
Fr.	101,200 70	0.23948

pour 422,500 voiture-kilomètres parcourus à l'aide de 8 voitures faisant 145 kilomètres par jour.

	1892	1893
Recettes brutes. . fr.	225,190	237,835
Dépenses d'exploitation	166,290	191,695
Recette nette. . fr.	58,900	46,140
Intérêts sur obligations	58,350	57,900
Profits et pertes. . fr.	+ 550	— 11,760

Pittsbourg-Pa. — Federal Street and Pleasant Valley Railway Company. — Développement des lignes, 45 kilomètres; 75 voitures motrices. Dépenses d'exploitation pour 1891 :

	Par voiture-kilomètre.
Gardes et conducteurs	21.2 centimes.
Réparations aux moteurs et autres appareils électriques	5.0 —
— mécaniques	3.5 —
Puissance motrice	4.8 —
Entretien du système overhead	1.4 —
— de la voie	3.4 —
Dépenses générales	2.7 —
Étables (neige)	1.4 —
Traitements et salaires	2.6 —
Intérêts	8.4 —
Droits	0.8 —
Dépenses générales	7.6 —
Total.	62.8 centimes.
Nombre de voyageurs en six mois	3,370,531
— de voitures en service	31
— de kilomètres (*Total daily mileage*)	5.357
Recettes brutes pour six mois	842,625 fr.
Recette par voiture-kilomètre	86 centimes.
Coefficient d'exploitation	73.78 p c.

Pittsburg Citizen's Traction Company. — Cette compagnie exploite un réseau de 48 kilomètres, dont 19.2 par l'électricité sur des voies à l'écartement de $1^{m}576$, et emploie 20 voitures motrices.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ci-aprés les résultats d'exploitation pour 1894 :

Électricité seule.

Nombre de passagers	2,365,968
Kilomètres parcourus	942,913
Recettes totales	449,860 francs.
— par kilomètre	48 centimes.
Dépenses totales	332,335 francs.
— par kilomètre	35 centimes.
Coefficient d'exploitation	73.87 p. c.

Dépenses d'exploitation par voiture-kilomètre.

	Centimes.	
Équipes des voitures	14.34	
Nettoyage des voitures	0.46	
Signaleurs et aiguilleurs	0.37	
Veilleurs (ou gardiens)	0.34	
Contremaître, commis et expéditionnaires	2.15	
Éclairage et chauffage des voitures	0.15	
Réparations aux machines fixes et dynamos	0·46	
— aux voitures	1.34	
— aux autres équipements	0.18	
Force motrice	3.59	
Réparation et entretien des moteurs	2.21	
— — des lignes aériennes	0.28	
— aux bâtiments	0.59	
— à la voie	2.96	
Éclairage et chauffage des bâtiments	0.40	
Neige et glace	0.06	
Chevaux	0.28	
Salaires	1.28	
Frais de bureau	0.15	
Droits	2.12	
Autres dépenses	1.37	
	———	35.08

Dépense journalière à l'usine génératrice.

Puissance en chevaux de l'installation	275	
Heures de service	24	
	Francs.	
Huile, graisse et déchets de coton	4 10	
Combustible	61 70	
Eau	16 90	
Main-d'œuvre	45 00	
	———	127 70
Coût par jour et par cheval-vapeur	...	0.46
— par cheval-heure	...	0.019

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Coût de la force motrice par voiture-kilomètre.

	Centimes.	
Coût du charbon	2.12	
Huile, déchets et eau	0.68	
Main-d'œuvre	1.46	
Réparation de l'usine	0.46	
Éclairage et chauffage de l'usine	0.40	
		5.12
Charbon consommé en kilogrammes	5.41	

Boston. — Vaste champ d'expériences pour la traction électrique des tramways par fil aérien, le réseau de la « West End Company » de Boston est le plus important du monde.

Ayant débuté le 1er janvier 1889 par une installation du fil aérien système Sprague et vingt voitures, l'établissement des lignes des stations centrales et des moteurs fut ensuite confié à la Compagnie Thomson-Houston, fusionnée aujourd'hui dans la « General Electric Company ».

La Compagnie Westinghouse a équipé une partie du matériel.

La « West End » comprend 416 kilomètres de voies dont 300 électriques. Les rails plus légers ont été successivement remplacés par des barres de 35 et 45 kilogrammes au mètre courant. Dans les généralités sur les lignes aériennes, nous avons eu l'occasion de citer les dispositifs adoptés à Boston dans leur construction, ainsi que les moyens employés pour remédier aux inconvénients présentés par les circuits de retour. (Voir les §§ A et B de ce chapitre.)

Voici, par ordre d'importance, quelques données sur les cinq stations centrales dont les quatre premières sont communes à un même réseau, tandis que la dernière, celle d' « East Boston », dessert un groupe de lignes indépendantes :

		MACHINES A VAPEUR.				DYNAMOS.		CAPACITÉ MAXIMA DE LA STATION EN AMPÈRES.
		NOMBRE.	TYPE.	PUISSANCE moyenne.	PUISSANCE maxima.	NOMBRE.	PUISSANCE.	
Usine génératrice	centrale.	6	Triple expansion : 73 tours contre arbre.	100 H. P.	2,000 H. P.	18	500 H. P.	13,500 ampères.
	centrale (auxiliaire).	10	Double expansion contre arbre.	...	300 H. P.	40	100 ampères.	4,000 —
	East Cambridge	3	Triple expansion : 73 tours contre arbre.	1,000 H. P.	2,000 H. P.	7	500 H. P.	5,500 —
	Allston	4	Grande vitesse.	...	...	12	80 K. W.	1,630 —
	East Boston	3	Compound tandem : 120 tours.	250 H. P.	400 H. P.	3	200 K. W.	2,000 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'usine génératrice « auxiliaire », portion primitive de la station centrale, fonctionne quand le trafic est extraordinairement intense. Une mesure spéciale de prévoyance a été prise dans la nouvelle usine génératrice : le tableau de distribution a été étudié en prévision d'un changement d'accouplement des dynamos, permettant éventuellement l'essai de la distribution à trois fils; ainsi, au lieu d'une barre d'équilibre, il y en a deux actuellement connectées.

Toutes les dispositions mécaniques intéressantes, bien qu'en certains points défectueuses, réalisées dans ces colossales installations, ne peuvent être ici décrites. Ce serait sortir du domaine de la traction pour envahir celui de la construction des machines. Au surplus, les grandes machines à courroies avec arbre de transmission intermédiaire sont, paraît-il, destinées à faire place dans un avenir peu éloigné à des machines attaquant directement les dynamos génératrices, de 500, 800 et 1,500 kilowatts. On en trouvera plus loin les principales proportions.

La Compagnie possède 1,705 cars équipés pour la traction électrique dont 841 ouverts et 864 fermés, et, de plus, 606 cars à chevaux.

Les voitures fermées sont de toutes dimensions, depuis $4^{m}86$ jusque $8^{m}51$, quelques-unes de ces dernières étant constituées au moyen de deux anciens cars de 16 pieds réunis.

Un trait particulier du service de traction consiste dans l'emploi de deux moteurs par voiture en hiver et d'un seul en été, c'est-à-dire que dès l'époque où les cars ouverts peuvent sortir, on y monte l'un des deux moteurs retiré des cars fermés, les voitures fermées restant disponibles pour les soirées froides.

Pour les voitures à quatre roues, un type unique de truck a été définitivement adopté.

Nous en retrouverons les traits essentiels dans le truck adopté sur les lignes électriques des Tramways bruxellois, dont nous donnons le dessin plus loin (§ 2-*c*).

La plupart des moteurs appartiennent aux types construits par la « General Electric Company » et 25 p. c. ont été fournis par la Compagnie Westinghouse. La marche en est réglée par le controller type « K », exclusivement adopté par le « West End ». Nous avons décrit ces moteurs et cet appareil modérateur de la marche au chapitre I-A.

Concernant l'exploitation, voici quelques chiffres remarquables :

L'importance de l'énergie produite par les usines ressort assez étonnamment du fait que le 10 décembre 1894, il a été débité, entre 5 et 6 heures du soir, une moyenne de 22,860 ampères et un maximum de 26,540 ampères au moment où roulaient 720 voitures.

Au milieu de la ville, où convergent un grand nombre de lignes qui s'embranchent sur des tronçons centraux, le trafic est d'une intensité extrême et semble pour ainsi dire desservi par un train continu : ainsi, en certains points, passent jusque 197 voitures *par heure* dans une même direction à certains

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moments, et 2,227 par jour, ce chiffre s'élève à 2,600 sur les 400 mètres de ligne en face de l'église de Park Street pour la direction nord.

Le personnel employé sur ce réseau est en moyenne de 4,000 hommes, nombre variable avec l'intensité du trafic.

Il a été dépensé, en frais de *premier établissement* pour la traction électrique, 38,040,345 francs. L'usine centrale à elle seule a coûté 2,443,410 francs.

La partie électrique de l'installation des lignes avait coûté, en moyenne, 26,895 francs par kilomètre, non compris les additions ultérieures au circuit de retour.

Une voiture coûtant 3,785 francs pour la caisse, le châssis et les roues, demande une dépense de 15,000 francs pour l'équipement électrique.

Voici les frais d'exploitation de cet important réseau pour divers exercices; on y remarque l'extinction successive de la traction animale :

	1889	1890	1891	1892	1893	1894
Kilomètres de voies	373	376	390	416	429	437
— équipés électriquement	373	105	105	237	292	340
Nombre de voitures à chevaux	1,794	1,694	1,662	1,226	826	606
— — électriques	47	337	469	1,028	1,346	1,705
Capital dépensé pour l'équipement électrique	2,063,000	7,551,605	...	28,763,470	38,040,345	...
Voyages aller et retour	2,205,359	2,344,570	2,328,274	2,259,858	2,303,462	2,319,377
Parcours utile, voitures à chevaux	25,677,554	22,965,787	20,599,082	14,381,403	7,118,339	3,912,840
— voitures électriques	840,585	5,598,788	7,341,033	13,616,453	22,753,355	26,871,937
— total	26,518,129	28,264,575	27,940,115	27,997,856	29,871,694	30,784,777
Voyageurs transportés	104,243,150	114,853,081	119,264,401	126,210,781	133,863,618	137,028,449
	Recettes des voyageurs.					
Recettes, voitures à chevaux	...	...	...	14,535,485	6,506,705	3,310,625
— voitures électriques	...	...	...	16,652,745	26,576,330	30,360,930
— totales	25,859,875	28,391,950	24,445,90	31,188,230	33,083,035	33,671,555
Recette moyenne par voyageur	0.25	0.25	0.25	0.25	0 25	0.25
Recette p' voit.-kilomètre (chevaux)	0.25	0.25	0.25	1.01	0.91	0.85
— — (électricité)	0 25	0.25	0.25	1.22	1.17	1.13
Recette p' voit.-kilomètre (moyenne générale)	0.97	1 01	1.05	1.11	1.10	1.09

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Frais d'exploitation.

	1889	1890	1891	1892	1893	1894
	Centimes.	Centimes.	Centimes.	Centimes.	Centimes.	Centimes.
Frais généraux	7.6	8.4	5.9	6 5	6 7	6.8
Entretien de la voie	4 6	4.4	3.6	4.2 (1)	4.7	4.2 (1)
— des bâtiments	1.2	0 8	1.2	0.9	1 1	0 7
Entretien des voitures et autres véhicules	4.0	3.5	3.6	3 9	5.0	6.6
Equipement des chevaux	... 5.8	... 5 6	... 6.5	... 7.4	... 3.6	... 16.6
— électrique	... ...	... ...	... 9.3	... 9 4	... 7.5	... 6.6
Routes et neiges	...	1.4	2 4	2.4	3.3	2 6
Mouvement	52.9	51.6	52.9	49.7	45.0	40.8
Dommages	...	...	2 6	3.7	3 7	3.9
Moyenne générale électricité et chevaux	77.3	74.9	79.6	80.0	75.2	77.1
Coefficient d'exploitation (moyenne générale)	79 69	74.9	75.71	72.07	68.36	70.73
Coefficient d'exploitation électricité.	...	...	...	72 07	70.00	66.23

(1) On a dépensé pour l'amélioration de la voie, en 1892, 3.21 centimes et, en 1894, 1.31 centime qui ont été portés au compte de premier établissement.

Les dépenses de traction proprement dites se détaillent comme suit :

	Par voit-kilom. (Centimes.)	
Production de la force motrice.		
Surveillance à l'usine et dépenses générales	0.03	
Combustible	2.72	
Main-d'œuvre pour production d'énergie	2.25	
Fourniture et divers — —	0.40	
Entretien pour la production d'énergie	...	
Machines à vapeur et chaudières	0.62	
Dynamo et accessoires	0.44	
Total.	——	6.46
Distribution de la force motrice.		
Entretien des feeders	0.06	
— des lignes aériennes pour trolleys :		
Poteaux	0.30	
Fils de trolley et supports	1.00	
Entretien des connexions de la voie	0.19	
Total.	——	1.55
A reporter.	...	8.01

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Par voit.-kilom. (Centimes.)	
Report. . .	...	8.01
Voitures (Entretien de l'équipement électrique.)		
Moteurs . . . . Armatures et inducteurs	1 07	
Moteurs . . . . Transmissions mécaniques	0.50	
Moteurs . . . . Divers	1.62	
Appareil de changement et de modération de la marche	1.62	
Trolley	0.19	
		5.00
Éclairage (fournitures)		0.03
Total. . .		13 04

Ce relevé est extrait des comptes du mois d'avril 1894, à une époque où déjà la plupart des voitures ne sont plus munies que d'un moteur.

L'installation de grandes dynamos à attaque directe au « West End », de Boston, aura pour résultat une sérieuse économie de combustible.

M. Dawson cite pour celle de 1,500 kilowatts le chiffre extrêmement réduit de 1.8 livre, soit 817 grammes de charbon par cheval électrique.

De même, les principales proportions de ces générateurs, dont le type moyen à 10 pôles 500 à 800 kilowatts est représenté figure 331, se trouvent au tableau ci-après.

Leur régime normal est réglé à 550 volts, le régime forcé à 600 volts. La densité de courant dans l'armature à pleine charge est de 2.4 ampères sur les inducteurs, 1.1 ampère dans le fil en série et 1 ampère dans le shunt. Quant au rendement, on compte sur un débit de 560 watts aux bornes de la dynamo par cheval indiqué à la machine à vapeur. Le rendement *in lividuel* de la dynamo est de 92 p. c. à pleine charge, 89 p. c. aux $^2/_3$ de charge et 85 p. c. à $^1/_2$ charge.

Lowel. — Courants polyphasés. — Nous avons dit un mot de cette installation au chapitre I-C. Les courants triphasés y servent uniquement d'intermédiaires entre une station centrale génératrice située dans cette ville et des stations secondaires transformatrices desservant deux petites localités, Eayer's Mills et Nashua, situées respectivement à 10 et à 25 kilomètres.

L'énergie électrique est produite à Lowel sous forme de courants triphasés à 360 volts portés à 5,500 volts, pour être transmis aux stations secondaires. Là, après nouvelle réduction, ils sont reçus dans des réceptrices génératrices qui les transforment en courants continus à 550 volts distribués comme à l'ordinaire aux lignes de tramway.

c. — *Lignes interurbaines.*

Il ne manque pas aux États-Unis de lignes interurbaines appareillées électriquement dans le système du fil aérien unique, les unes par route, d'autres sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plate-forme spéciale, d'autres sur railway à vapeur, mais dans ce dernier cas, jusqu'ici, sur des branches peu importantes.

Type. . . .	MP MP	MP	MP.
Pôles. . . .	6	10	12
Kilowatts. .	200 kilowatts	500 kilowatts . . .	1,500 kilowatts.
UMDR. . .	120 150	75 90 100	75 tours.
Form. . . .	*a* ε.	*a* *a* *a*	B
Volt	550	550 550 550	550
A m. m. . .	2,756	4,000 550 550	4,839
B — . . .	2,946	4,369 550 550	5,232
C — . . .	25	25 550 550	25
D — . . .	76	102 550 550	140
E — . . .	76	102 550 550	76
F — . . .	406	610 550 550	762
G — . . .	559	787 550 550	883
H — . . .	1,549	2,273 550 550	2 692
I — . . .	45	51 550 550	51
J — . . .	1,079	1,346 550 550	1,651
K — . . .	978	1,219 550 550	1,549
L — . . .	1,505	2,438 550 550	3,200
M — . . .	229-292	406-457 550 550	610
N — . . .	1,210-1,197	1,367 550 550	1,840
O — . . .	714	762 550 550	867
P — . . .	810	965 550 550	1,368
R — . . .	445-363	610 550 550	914
S — . . .	511-505	498 550 550	613
T — . . .	460-454	498 550 550	613
U — . . .	737	1,016 550 550	1,372
V — . . .	800	1,092 550 550	1,422
Poids de l'armature . . .	6,523 kilogrammes . .	17,078 15,900 15,900	37,273 kilog.
Poids total.	6,025 — . .	43,488 40,000 37,961	84,761 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

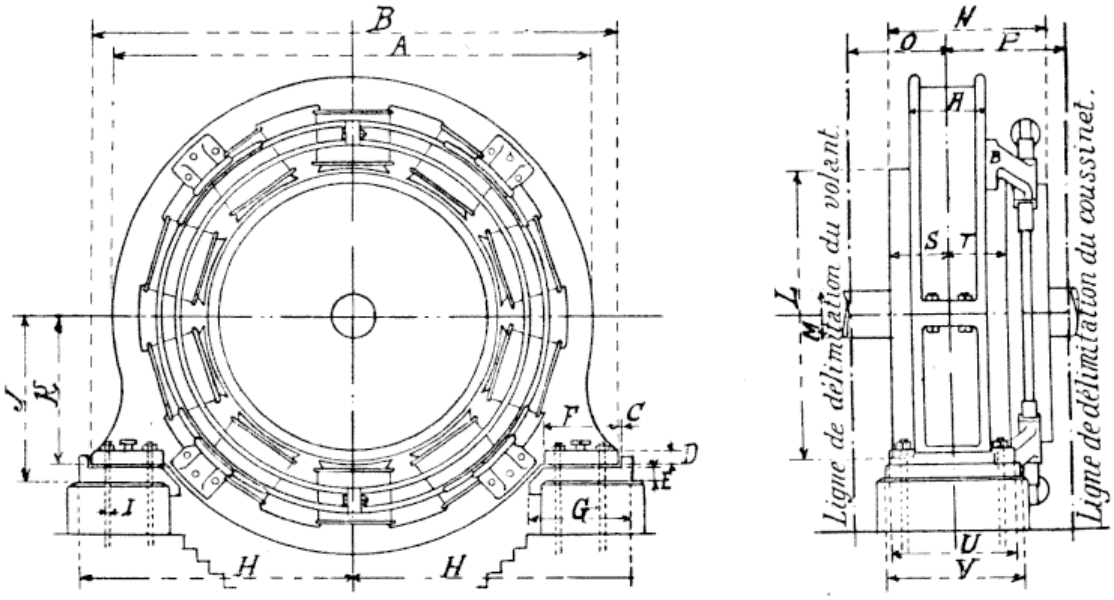


Fig. 331.

Tramways. — Parmi les lignes sur routes les plus importantes, citons celle de Baltimore à Washington, dont une partie sera cependant sur siège spécial; elle aura une longueur totale de 68 kilomètres à double voie en rails poutrelles de 45 kilogrammes dans les cités et rails en T de 39 kilogrammes hors ville. La construction se fera en deux sections desservies chacune par une station centrale; la première qui sera livrée à l'exploitation sera celle de Washington à Lowel, mesurant 22.4 kilomètres. Chaque station sera équipée par la Compagnie Westinghouse au moyen de 8 dynamos de 700 kilowatts; on y aura recours au *booster system* pour maintenir le voltage. Dix chaudières de 300 H. P. alimenteront des machines Mac Intosh et Seymour. Les voitures très longues, montées sur truck, seront de deux types; les motrices combinées pour voyageurs et bagages, les remorquées contiendront 48 personnes. Les moteurs seront étudiés pour imprimer à ces trains une vitesse de 48 kilomètres à l'heure, vitesse que l'on espère dépasser eu égard au profil peu accidenté de la ligne.

Railway sur siège spécial. — Louisville, New Albany. — Une exploitation mixte à vapeur et à l'électricité existe depuis 1893 sur la ligne traversant le pont de l'Ohio entre Louisville et New Albany.

Sur ce raccordement de 66 kilomètres circulent par jour en moyenne 270 trains, dont 141 électriques et 129 à vapeur (trains ou locomotives).

L'appareillage électrique de la ligne est celui des tramways, fils de trolley de 8.25 millimètres de diamètre suspendus à des fils d'acier transversaux soutenus par des poteaux en cédre espacés de 38 mètres avec feeders en câbles de 107 millimètres carrés.

Les voitures de 8m40 de long sur truck propulsées par deux moteurs de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

50 H. P. à engrenages marchent à une vitesse commerciale de 23 kilomètres en atteignant au maximum 30 kilomètres.

Nantasket Electric Railroad. — Le « New York, New Haven and Hartford Railroad » a également substitué l'électricité à la vapeur sur l'un de ses embranchements, pour la traction de trains ordinaires à la vitesse normale. Cet embranchement est celui de « Nantasket Beach », d'une longueur de 11.7 kilomètres, desservant de nombreuses stations estivales, ligne sinueuse longeant la mer, mais ne présentant qu'une seule inclinaison de 8 millimètres par mètre. La voie est à écartement normal, en rails de 35 kilogrammes sur ballast de pierrailles. Devant servir de conducteurs de retour, ils sont connectés entre eux par quatre fils de 8.25 millimètres de diamètre et de 18 centimètres de longueur rivés aux patins.

Le fil de trolley a une forme spéciale en 8 (fig. 332), étudiée pour en faciliter la suspension et augmenter le contact avec la poulie (1); sa section est de 165 millimètres carrés; il est porté, en général, par des potences fixées à des poteaux en bois équarris de 30 à 35 centimètres d'épaisseur plantés chacun dans un petit massif en béton coulé dans un coffre en bois, logés dans l'entre-voie et espacés de 18 à 21 mètres; l'entre-voie est plus large que d'ordinaire. Les feeders qui, selon la distance, varient en nombre de 6 à 1, sont portés par un chapeau en fonte à rainures fixé au sommet de chaque poteau; la saillie en forme de visière que forme ce chapeau garantit très bien l'isolement. Ces feeders sont des câbles d'une section totale de 250 millimètres carrés. Aux jonctions et croisements des lignes aériennes, ils sont soutenus par de légères poutres en treillis transversales reposant sur poteaux.

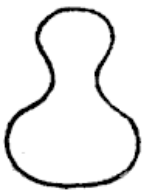


Fig. 332.

L'usine génératrice qui est à l'origine de la ligne comporte, pour le service du railway, deux dynamos de 500 kilowatts à attaque directe par machine à vapeur de 820 chevaux.

Nous avons vu, chapitre II-B-2, en quoi consiste le matériel roulant. Les voitures motrices portent à la fois la prise de courant par trolley et des patins, afin de pouvoir circuler sur les deux sections électriques appareillées différemment.

Les trains y marchent, en pleine voie, à une vitesse de 54 kilomètres à l'heure, mais, à cause des arrêts fréquents, commercialement réduite à 26 kilomètres. Il existe douze points d'arrêt intermédiaires sur les 11.7 kilomètres de Nantasket à Pemberton. Pour des trains de deux voitures, on peut compter une minute perdue par arrêt, pour ralentissement, stationnement et mise en allure normale, et le temps total accordé est de 26 minutes dont il faut également déduire la durée d'un lancer à une extrémité et d'un ralentissement à l'autre.

---

(1) Un conducteur aérien de forme analogue, mais symétrique, est placé en Belgique au tramway de l'avenue de Bruxelles à Tervueren pour suppléer en même temps à l'alimentation. Sa hauteur est de 16.5 millimètres; la largeur aux panses, 11 millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'été, l'horaire comporte des trains locaux toutes les demi-heures sans compter les directs venant d'autres lignes.

L'hiver, une seule locomotive à vapeur suffit à desservir la Nantasket Beach Branch, et l'usine génératrice électrique est fermée.

En somme, le fonctionnement du trolley est satisfaisant, bien qu'un déraillement de la poulie à une vitesse supérieure à 50 kilomètres présente des inconvénients autrement graves qu'à l'allure d'un tramway urbain.

Toutefois, le motif allégué pour donner, sur le prolongement vers East Weymouth, la préférence au troisième rail (voir chap. II-B), c'est surtout la forte dépense résultant de la nécessité d'élargir l'entre-voie pour y loger les poteaux portant les fils aériens, dépense excessivement élevée sur les ponts.

d. — *Coût de l'armement et de l'exploitation d'une ligne urbaine américaine.*

Premier établissement. — L'appareillage et l'équipement d'une ligne urbaine aux États-Unis se basent sur les prix suivants relevés dans le nord-est : Poteaux ordinaires en bois rond, depuis 12 fr. 50 c.; équarris, 17 fr. 50 c.; les plus forts en pin de Georgie, 20 francs. Leur placement sans béton, 10 francs à 12 fr. 50 c. On compte pour 1 kilomètre, à raison de 50 poteaux en bois avec une potence, 1,900 à 2,000 francs, en supposant deux rangées de poteaux.

Pour les poteaux tubulaires en fer, de 90 à 135 francs ; en moyenne, 110 francs. A raison de deux files de poteaux, soit environ 50 par kilomètre, et ajoutant le placement, y compris le béton, on arrive à 8,300 francs par kilomètre.

Nous avons donné, au chapitre des généralités, les prix des autres parties de l'appareillage : fils, isolateurs, etc., lesquels sont également applicables aux États-Unis et à l'Europe.

En comptant largement, on arrive aux moyennes suivantes, d'après M. Field, pour l'appareillage par kilomètre :

Ligne aérienne complète, bornage, poteaux *en bois*, suspension et câble unique, non compris la voie simple . .	6,000 à 7,500	francs.
—	—	avec poteaux équarris et peints	7,500 à 9,000	—
—	—	avec poteaux *en fer*, suspensions, assises en béton et câbles pour double voie . . .	19,500 à 22,500	—
—	—	avec poteaux dans l'entre-voie.	13,500 à 16,500	—

Ces prix sont aujourd'hui environ 15 p. c. moins élevés.

Pour les voitures, M. Crosby donne les chiffres suivants : la caisse des voitures de 5 mètres, de 3,750 à 5,000 francs; les plus longues, de 6,250 à 10,000; les trucks, 3,000 francs; l'équipement électrique, deux moteurs de 15 H. P. et accessoires montés, de 9,000 à 12,500 francs, soit 10,700 francs par voiture en moyenne.

Quant à la station génératrice, on ne peut guère donner d'évaluation, vu les énormes différences qui résultent de la puissance totale, des limites de consommation d'eau et de charbon qu'on s'est assigné à raison des prix unitaires locaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ces matières. M. Crosby estime qu'une station de 500 chevaux coûterait : pour les chaudières, machines à vapeur et tuyauterie, de 250 à 300 francs, selon qu'il s'agit de machines rapides ou de machines lentes, pour les génératrices électriques et accessoires, 200 francs, soit donc de 450 à 500 francs par cheval pour cet ensemble. Selon la nature et le trafic de la ligne, on compte de 10 à 20 chevaux par voiture; on arrive donc à une *moyenne* de 6,750 francs par voiture, pour la machinerie fixe.

Exploitation. — Les frais d'exploitation sont essentiellement variables avec le trafic et le profil des lignes, comme le montrent les exemples qui précèdent. Mais si l'on ne demande qu'une moyenne générale trouvée dans les villes américaines, on peut se baser sur l'évaluation établie, en 1895, par M. Maurice Barnett, dans l'examen comparatif du coût de la traction par trolley et par accumulateurs applicable à New-York :

	Par voiture-kilomètre.
Entretien et réparation de la voie et des rails	1.70 centime.
— — de la ligne aérienne	0.56 —
— — de la station génératrice . . .	1.15 —
— — du matériel roulant.	5.63 centimes.
Coût de la force motrice.	6.10 —
Personnel des trains.	15.56 —
Dépenses générales	3.93 —
Intérêt sur le coût de premier établissement	12.03 —
Total. . .	46.66 centimes.

2. — Europe.

a. — *Débuts.*

Le fil unique fit, en 1890, une courte apparition à l'exposition d'Édimbourg, sur une voie de 1,200 mètres de longueur. Le fil, en bronze phosphoreux, était suspendu par isolateurs à des fils de fer transversaux tendus entre des poteaux rangés des deux côtés de la rue. Un appareil de contact glissant *c*, formé d'un frotteur hémi-cylindrique, était porté à l'une des extrémités d'un levier oscillant autour d'un axe monté sur un montant vertical *a* qui pivotait lui-même dans un tube (fig. 333) (1).

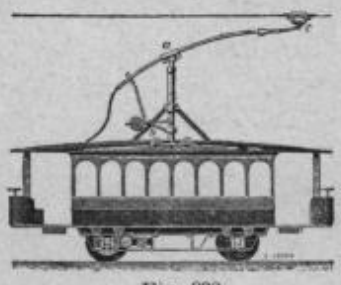


Fig. 333.

Particularité originale : à l'extrémité inférieure, le levier était sollicité par un ressort fixé à un contrepoids; à bout de course, ce dernier était reçu par une fourche *b*.

(1) Cette figure est empruntée à la *Lumière électrique* du 25 octobre 1890.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La même année, tandis qu'elle négociait la construction du tramway électrique de Leeds, la Compagnie américaine Thomson-Houston exposait à Brême un spécimen de ligne aérienne à trolley, qui se transforma ultérieurement en un réseau urbain. Toutefois, la première ligne électrique de l'espèce, commercialement exploitée, fut celle de Florence à Fiesole, du système Sprague; nous allons en dire quelques mots.

b. — *Installations du type Sprague.*

Florence à Fiesole. — Construit à l'initiative de M. Fenzi, d'après le système Sprague, ce tramway fut inauguré en septembre 1890. Malheureusement, l'exploitation subit longtemps le contre-coup de l'accident très grave (déraillement suivi de mort d'hommes) survenu peu de jours après l'ouverture sur la pente raide descendant de Fiesole. Après de nombreuses vicissitudes, elle passa aux mains de la Société des tramways de la province de Florence qui, à partir du 1er novembre 1892, lui imprima une marche régulière. Aujourd'hui, elle relève de la Société des chemins de fer économiques de Bruxelles.

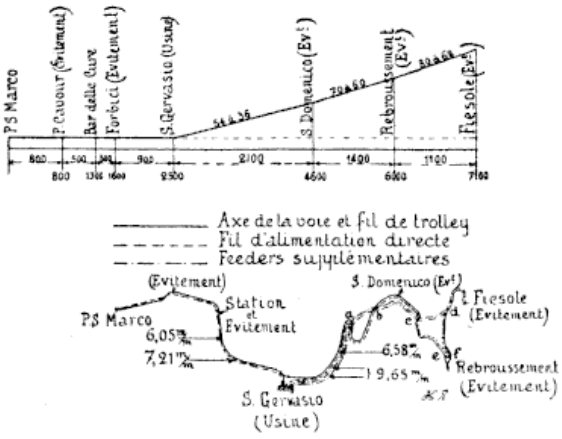


Fig. 334.

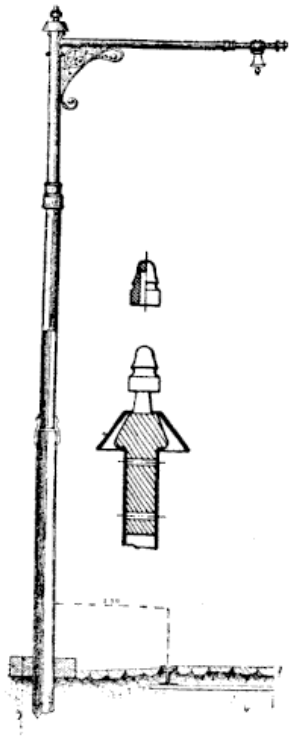


Fig. 335.

Voie (1). — Longueur de la voie, 7,100 mètres à simple voie, avec cinq évitements intermédiaires. Écartement des rails, 1m445. Voir figure 334, le profil en

(1) Description partiellement tirée de la brochure de M. T. Manaira, *La Tramvia Elletrica da Firenze a Fiesole*. Rome, 1891.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

long et le plan : 2,500 mètres pratiquement de niveau; 2,100 mètres en rampe de 36 à 54 millimètres par mètre; 2,500 mètres en rampe de 60 à 80 millimètres.

Les courbes sont nombreuses; celles de moindre rayon se trouvent dans la partie la plus inclinée, aux approches de Fiesole est un point de rebroussement.

Le fil aérien en bronze siliceux, de 6.05 millimètres de diamètre, est suspendu en ville à des potences de longueur variable, portées par poteaux tubulaires en fer en trois sections raccordées par emboîtement et ornés de manchons moulurés en fonte, sur lesquels les potences sont fixées moyennant une selle boulonnée (fig. 335) et hors ville à des fils de fer transversaux tendus entre des poteaux en bois. La hauteur de suspension est de 6 mètres.

Les feeders sont aériens et portés sur isolateurs fixés au sommet des poteaux. Entre la station centrale, située à S. Gervasio, et l'extrémité de la ligne en ville, sur une longueur de 2,500 mètres, un seul feeder, formé d'un câble de cuivre de 7.21 millimètres de diamètre, suit le fil de trolley auquel il est relié à des points distants de 120 à 140 mètres. Entre l'usine et Fiesole, un premier câble de 6.58 millimètres suit le fil de trolley, et deux câbles de 9.65 millimètres, également aériens, portent plus directement le courant vers l'extrémité en suivant un chemin raccourci et sont réunis au fil d'alimentation en quatre points.

Le circuit de retour était primitivement complété entre rails, moyennant deux fils de fer étamé de 5 millimètres de diamètre, et une connexion de cinq en cinq barres, d'une file de rails à l'autre. On a depuis substitué au fil de fer du fil de cuivre de 6 millimètres.

La force électro-motrice moyenne est de 500 volts.

Usine génératrice. — L'usine comporte trois chaudières timbrées à 10 atmosphères, trois machines à vapeur compound type pilon des ateliers de construction d'Œrlikon, chacune d'une puissance de 98 chevaux, faisant 240 tours. Le volant, d'un diamètre de $1^{m}80$, attaque par courroie la poulie de la dynamo correspondante, qui mesure 52 centimètres de diamètre.

Les trois dynamos provenant des anciennes usines Edison, de Shenectady, peuvent fournir 55 kilowatts chacune. Leur vitesse normale est de 800 révolutions à la minute.

Les deux électro-aimants verticaux à excitation compound ont chacun un noyau de 385 millimètres de diamètre. Une feuille de zinc sépare les masses polaires du socle en fonte.

Le champ magnétique a une tendance à soulever l'induit, allégeant ainsi les coussinets de son poids dans une certaine mesure.

La figure 336 montre une génératrice, la figure 337, le tableau de distribution.

Les fils dénommés d (fig. 336), d_1, d_2, d_3 (fig. 337), sont les fils inducteurs en dérivation branchés sur les rhéostats R_1, R_2, R_3.

$+1$, $+2$, $+3$, fils positifs venant des dynamos;

-1, -2, -3, — négatifs — — ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c_1, c_2, c_3, fils qui raccordent entre elles les bornes auxquelles aboutissent respectivement les spires inductrices en série de chaque dynamo;

S, S_1, S_2, barres de cuivre;

a_1, a_2, a_3, ampèremètres de chaque dynamo;

A, ampèremètre total;

C, voltmètre;

t_1, t_2, t_3, touches qui intercalent le voltmètre dans le circuit de chaque dynamo;

v_1, v_2, v_3, appareils à fils fusibles : ils comportent chacun deux trous de broche auxquels correspondent deux fils fusibles; une seule broche met en circuit un seul d'entre eux, de telle sorte que, lors de sa mise hors service, il suffit de déplacer la broche pour rétablir immédiatement le courant;

P, P, parafoudre à pointes;

$f_1, f'_1, f_2, f'_2, f_3, f'_3$, coupe-circuits à manette.

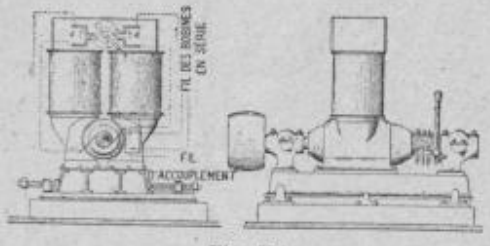
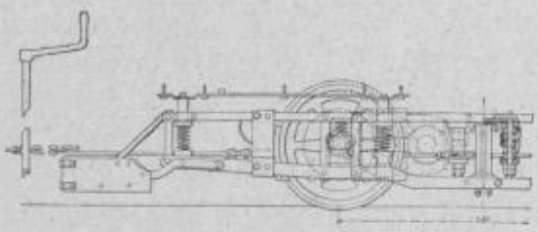


Fig. 336.



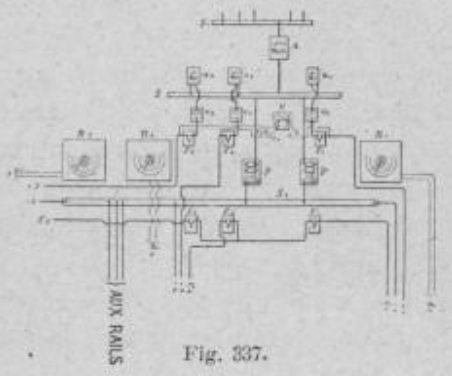


Fig. 337.

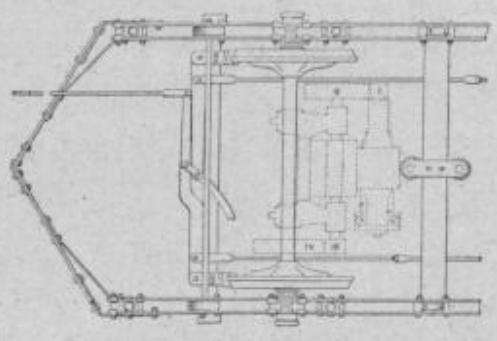


Fig. 338.

La différence de potentiel reste constante, alors que le courant est coupé sur le circuit principal et que le courant inducteur dérivé existe seul.

Voici en deux mots la manœuvre : Pour mettre en service, par exemple, la dynamo 1, tous les coupe-circuits f sont ouverts; on gradue la résistance R_1 de façon qu'en touchant la touche t_1 on lise environ 500 volts au voltmètre; alors on met la broche sur l'un des fils fusibles de v_1; on ferme le circuit en f_1, ce qui envoie le courant sur tout le circuit extérieur. Pour associer deux dynamos entre elles, on ferme les coupe-circuits f' après avoir constaté que la différence de potentiel aux bornes est presque la même pour les deux dynamos.

Voitures. — La figure 333 représente le truck primitif des voitures munies de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux moteurs Sprague à double réduction, pesant chacun 900 kilogrammes. Ils sont décrits, ainsi que le régulateur de marche, au chapitre I-A.

Ces voitures pesaient 5,000 kilogrammes à vide et 7,200 kilogrammes en charge et portaient 28 voyageurs.

Le nouveau matériel est muni de moteurs à simple réduction.

Le parc du matériel comporte actuellement 16 voitures : 12 motrices à moteurs Sprague, 2 motrices nouvelles dont les moteurs sont à simple réduction et 2 voitures à remorquer.

Coût d'établissement. — En 1893 :

Immeubles	101,632 francs.
Chaudières et moteurs	87,212 —
Dynamos fixes	47,985 —
Ligne électrique	70,842 —
Moteurs électriques pour 12 voitures	129,053 —
Voitures et accessoires	72,614 —

La voie proprement dite a été évaluée à 140,000 francs en chiffre rond.

Exploitation. — La vitesse normale de 12 kilomètres à l'heure descend à 6 kilomètres sur les plus fortes rampes. Le nombre de voitures en service varie entre 8 et 13. Depuis peu, fin de 1894 et 1895, on attelle de temps à autre une voiture ordinaire à la motrice, sur la section de S. Marco à S. Domenico.

Le parcours annuel a varié jusqu'ici entre 135,000 et 162,000 kilomètres-voitures. Ce chiffre relativement faible, le prix du combustible et l'inclinaison forte et continue de la ligne expliquent le coût élevé de la traction par voiture-kilomètre.

	1893	1894	1895 (1er trimestre).
	Centimes.	Centimes.	Centimes.
Production de la force motrice. Personnel	0 1044	0.1222	0 1002
Production de la force motrice. Combustible	0.1426	0.2040	0.1466
Production de la force motrice. Graissage et divers	0 0156	0.0163	0.0176
Entretien de la voie, des câbles électriques et supports	0 0778	0.0991	0.0733
Entretien du matériel roulant. Personnel	0.0437	0.0462	0.0688 (*)
Entretien du matériel roulant. Matériaux	0 0778	0 0801	
Part des frais généraux (surveillance, loyer, assurances, etc.)	0.0415	0.0653	0.0465
	0.5034	0 6332	0.4530 (*)

(*) Ce chiffre, pour le premier trimestre de 1895, ne comporte pas les réparations.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le salaire des conducteurs payés à raison de 3 francs à 3 fr. 50 c. par jour revient à peu près à 5 centimes par voiture-kilomètre. Charbon, de 30 à 37 francs la tonne.

Halle. — La ville de Halle-sur-Saale suivit de quelques mois l'exemple de Florence. La Société *Allgemeine Electricitäts Gesellschaft*, de Berlin, y ouvrit à l'exploitation, en mai 1891, un petit réseau de 7.7 kilomètres.

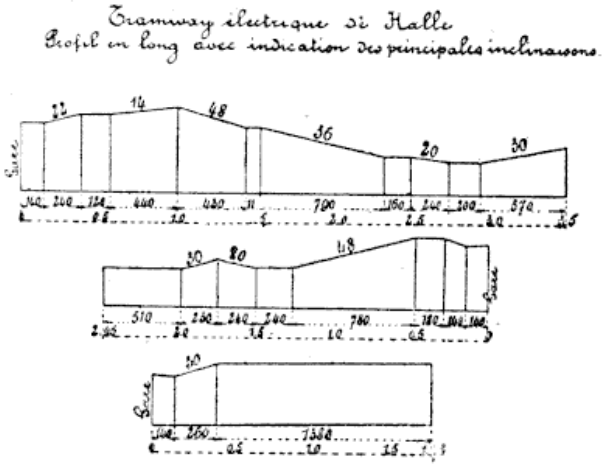


Fig. 339.

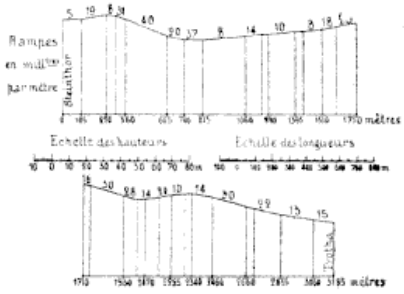


Fig. 340

Voie. — Écartement, 1 mètre. Voie unique avec évitements. La figure 339 indique, en millimètres par mètre, les rampes du premier réseau. Le complément est d'ailleurs de même allure (fig. 340). L'ensemble comporte actuellement :

10,495 mètres de lignes;
12,316 — de voies exploitées;
16,146 — de voies posées.

La ligne aérienne est formée d'un fil en bronze siliceux de 6 millimètres de diamètre suspendu à une hauteur variant entre 5.5 et 6.5 mètres, soit à des poteaux munis de potences, soit à des câbles formés de sept fils fins d'acier de 1.7 millimètre de diamètre attachés à des poteaux ou à des rosaces fixées aux immeubles. Le fil de bronze siliceux présente une résistance à la rupture de 45 kilogrammes par millimètre carré, alors que celle du cuivre rouge ordinaire est au plus de 15 kilogrammes. Conductibilité, 97 p. c.

Pour assurer l'isolation des fils d'acier transversaux, leur point d'attache au poteau est pris sur un sommet isolé par un bloc en bois paraffiné fixé au soufre dans la tête du poteau (fig. 341); la tension en est réglée, soit par la rotation d'un axe à rochet, soit par vis.

On voit sur cette figure un spécimen de consoles en fonte fixées sur poteaux en treillis pour porter les feeders.

Ces feeders sont en partie aériens, en partie souterrains, ceux-ci sous plomb

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

armés d'un ruban d'acier; leur section est comprise entre 50 et 95 millimètres carrés de cuivre. Pour le retour du courant, les rails sont réunis aux joints par des fils de cuivre de 6 millimètres soudés et reliés à leur tour à un câble central sur certains parcours.

Usine. — Elle comprend trois chaudières de 152 mètres carrés de surface de chauffe système Steinmuller à circulation d'eau dans un faisceau de tubes timbrées à 10 atmosphères; deux machines compound de 200 chevaux marchant à 180 tours conduisant chacune par courroie deux dynamos tournant à 520 tours et fournissant chacune 120 ampères à la tension de 500 volts.

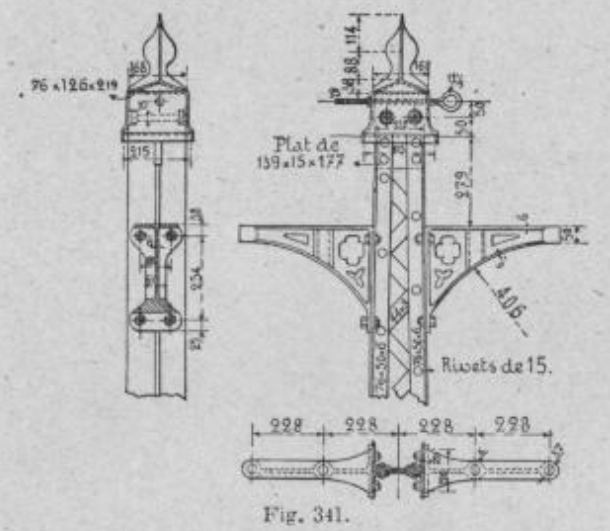


Fig. 341.

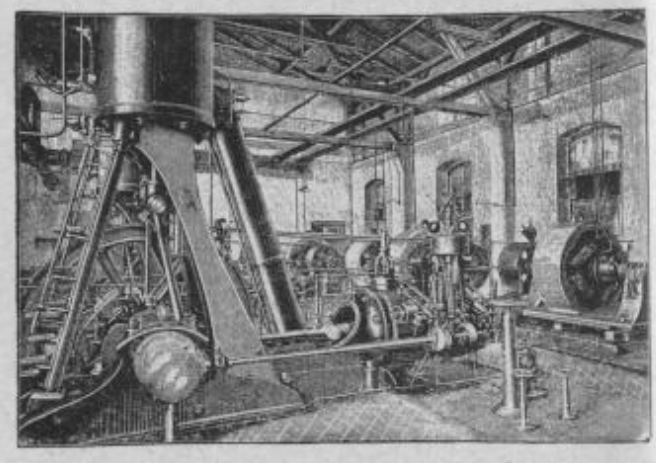


Fig. 342.

Un type assez original de machine compound a été adopté par l' « Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft » dans ses installations de traction électrique : le cylindre à haute pression est horizontal, l'autre vertical surplombant l'arbre coudé (fig. 342). Leur distribution est commandée, pour le premier, par une détente automatique Colmann; pour le second, par une détente à main du genre Meyer. Les machines de Halle sortent de la « Görlitzer Maschinen Bau-Anstalt ». Diamètre des cylindres, 340 et 510 millimètres; course commune, 550.

Les dynamos sont à quatre pôles issus de quatre inducteurs montés à l'intérieur d'un anneau en fonte.

Voitures. — Les moteurs furent primitivement du type Sprague à double réduction analogues à ceux de Florence à Fiesole et montés sur un truck de l'époque. Aujourd'hui, le type de truck adopté par l' « Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft », après avoir passé par diverses transformations, se présente sous la forme de la figure 343 avec la variante du truck (fig. 344), à l'endroit de la traverse supportant les moteurs.

Ces moteurs sont à simple réduction et ont fait l'objet d'une description spéciale en même temps que l'appareil régulateur de la marche (chap. I-A).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une particularité intéressante introduite sur ces voitures est le mode d'attache de la corde de manœuvre du trolley : prolongée par une chaîne passant dans un tube T fixé au toit, elle est de la sorte reliée à la courroie des timbres d'appel mis à la disposition des voyageurs; lorsque le trolley quitte le fil, un appel d'arrêt retentit et avertit le conducteur.

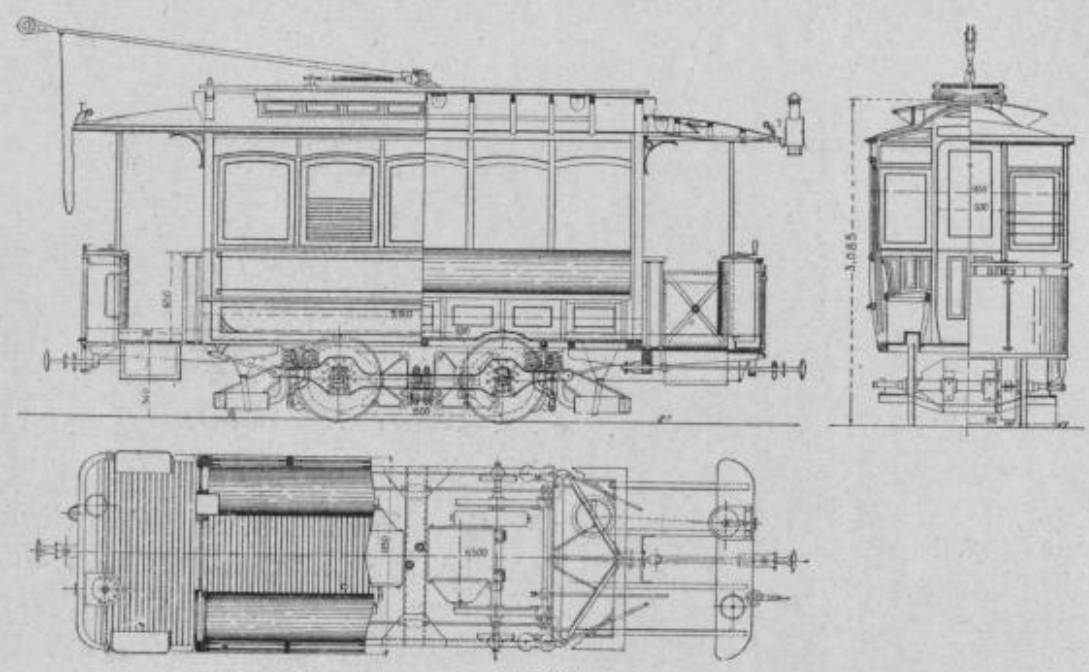


Fig. 343.

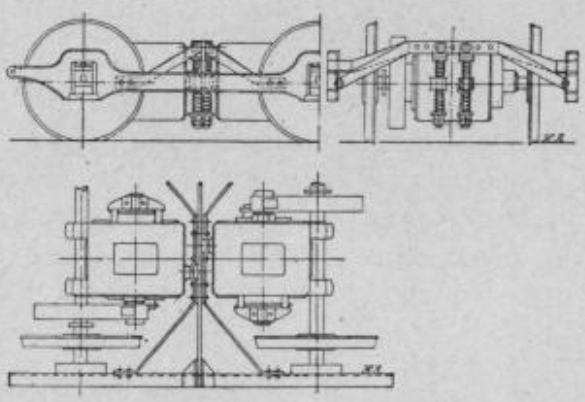


Fig. 344.

Le parc de matériel comporte actuellement 36 voitures motrices et 13 voitures à remorquer. Les motrices sont munies chacune de deux moteurs, les uns d'une puissance de 12 kilowatts, les autres de 18.5 kilowatts. Elles portent 28 voyageurs, 16 assis, 12 debout.

Exploitation. — Les dépenses de premier établissement n'ont pas été fournies

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par les intéressés à raison des circonstances dans lesquelles ont été opérées la transformation du réseau en lignes électriques et celle du matériel.

La marche des voitures se ressent de ce que les évitements sont distants de 450 mètres (entre aiguilles) et se trouve réduite à une vitesse moyenne de 9 kilomètres à l'heure.

Voici les résultats de l'exploitation.

La première année de l'exploitation électrique, c'est-à-dire l'exercice 1891-92, a donné les résultats suivants :

Nombre de voitures-kilomètres	787,000
Dépense d'exploitation par voiture-kilomètre	19.1875 centimes,

se répartissant comme suit :

Salaires et assurance du personnel	10.4875 centimes.
Frais généraux, y compris le bail de la ville	2.8375 —
Entretien de la voie	0.4875 —
— des immeubles	0.0250 —
— des chaudières et machines	3.6750 —
— des voitures	1.6750 —
Ensemble	19.1875 centimes.

Pendant l'exercice 1892-93, le nombre de voitures-kilomètres s'est élevé à 1,112,013, tandis que la dépense d'exploitation par voiture-kilomètre a été de 18 centimes en 1871.

Le tableau ci-après donne la répartition de cette dépense :

	Centimes.	
Frais généraux :		
Direction et bureaux	1.1625	
Imprimés, payages et divers	2.3125	
Assurance du personnel	0.2621	
		3.7371
Voitures :		
Conducteurs, contrôleurs et uniformes	5.3750	
Réparations aux voitures, salaires de l'atelier, matériaux, balais, éclairage de l'atelier de réparation, etc.	2.6500	
		8.0250
Station centrale :		
Machiniste et chauffeurs	1.7563	
Entretien des bâtiments	0.0375	
— des machines et chaudières. Réparations	0.0625	
Consommation de charbon	2.6812	
Eau et nettoyage des chaudières	0.2500	
Graissage	0.3000	
Cendres, transport	0.0500	
Balais en charbon	0.0250	
		5.1625
A reporter	...	16.9246

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Centimes.	
Report. . .	...	16.9246
Service de la voie et conduction du courant :		
Entretien du corps de la voie	0.7500	
Rails.	0.0250	
Sel et sable.	0.2000	
Connexion électrique des rails.	0.2375	
Divers	0.0500	
		1.2625
Total (exercice 1892-93). . .		18.1871

La rubrique « conducteurs, contrôleurs et uniformes » du tableau précédent, comporte le motorman et le contrôle de la recette; en effet, on pratique sur cette ligne le système dit « Fahrkasten », qui consiste à faire déposer par le voyageur dans une boîte *ad hoc* le prix de la place à occuper.

Il est assez intéressant de constater l'accroissement des recettes sur la ligne électrique (1) :

Elle était, en 1892, de	210,467 francs
et, en 1893, elle a atteint.	314,715 —
soit une augmentation de.	104,248 francs

Gera. — Installations communes à la traction et à l'éclairage à trois fils, avec accumulateurs fixes. — Une autre installation entreprise par l' « Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft », celle de la petite ville de Gera, mérite une description sommaire à raison de ses dispositions spéciales communes à la traction des tramways et à l'éclairage de la ville.

Voie. — Longueur de lignes, 9.7 kilomètres; de voies, 10.7 kilomètres; écartement des rails, 1 mètre; inclinaisons faibles en général, à part, sur un parcours de 500 mètres, quelques rampes assez fortes mais courtes. Voir le profil figure 345.

Fil de trolley de 6 millimètres de diamètre en bronze siliceux; feeders souterrains en ville, aériens, de 50 millimètres carrés, hors ville. Poteaux en treillis (voir Halle).

Usine. — C'est ici que se trouve la caractéristique de l'installation.

Elle comprend trois machines compound à condensation de 180 H. P. semi-

(1) La recette du tramway à chevaux « Hallesche Strassenbahn » a subi, au contraire, une dépression :

Elle était, en 1892, de	206,392 francs
et, en 1893, de	171,681 —

Le coût de la traction par chevaux s'élevait, en 1890, à 27.1 centimes, contre 19.1875 par l'électricité en 1891-92.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

verticales et semi-horizontales, comme à Halle, alimentées par trois chaudières tubulaires Steinmuller de 152 mètres carrés de surface de chauffe, timbrées à 10 atmosphères. Les cylindres des machines ont des diamètres respectifs de 380 à 570 millimètres, avec une course commune de 500 millimètres. Deux mécanismes distincts règlent la détente des deux cylindres; celui de la haute pression est automatique, l'autre est une variété de la détente Meyer. Chaque machine à vapeur conduit par courroies deux dynamos capables de débiter chacune 200 ampères à 275 volts.

La traction électrique exige 550 volts au tableau de distribution; l'éclairage, selon la coutume, s'établit à 110 volts aux bornes des lampes.

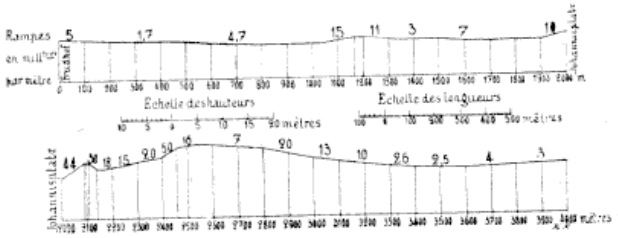


Fig. 345.

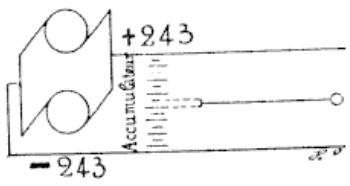


Fig. 346.

Or, on désirait employer indifféremment le courant issu des trois dynamos sur les circuits de traction et d'éclairage. On a donc admis pour ce dernier le système à *trois fils*, avec une perte moyenne de 11.5 volts, dont 10 volts dans les conduites principales, de sorte que l'on ait une différence de potentiel de $2 \times 121.5 = 243$ volts à l'origine du réseau d'éclairage. Dès lors, on fait travailler en série deux dynamos qui donneront 550 volts et sont ainsi branchées sur le circuit de traction; deux autres dynamos accouplées en parallèle travaillent sur le circuit d'éclairage, sous condition de réduire de 275 à 243 volts la force électro-motrice, l'intensité pouvant atteindre 400 ampères. La troisième couple de dynamos peut secourir indifféremment la première ou la seconde; on les couple, selon le cas, en série ou en parallèle.

En outre, le circuit d'éclairage alimente, en dérivation, une batterie d'accumulateurs réglable à 243 volts, formée de deux séries de 66 accumulateurs, au centre desquelles aboutit le fil neutre (fig. 346). La capacité de cette batterie est de 1,065 ampères-heures au débit de 260 ampères. Enfin, le courant d'excitation des inducteurs de toutes les dynamos est emprunté aux accumulateurs; il absorbe à peu près 19 p. c. de leur propre débit.

Le rendement des dynamos est de 600 watts par cheval, soit 82 p. c.

Voici la répartition normale des prestations des appareils fixes. Aux heures de jour, pendant lesquelles la consommation pour l'éclairage est faible, la canalisation est alimentée par les dynamos et l'excédent de courant charge les accumulateurs. Le soir, aux heures du maximum de consommation, les accumulateurs fournissent la portion de courant dépassant le débit des deux dynamos, qui sont normalement couplées en parallèle. Après 10 heures du soir, c'est-à-dire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

après cessation du service des tramways, les accumulateurs seuls fournissent le courant nécessaire. Ils remplissent donc une triple fonction : ils emmagasinent l'excédent de travail fourni; ils assurent la fixité de la lumière; ils servent, la nuit, de réservoir d'énergie, réduisant la durée du service de production du courant.

Matériel roulant. — La Compagnie ne se contente pas de combiner l'éclairage et la traction électriques, elle assure encore un double service de voyageurs et de marchandises (1) et au surplus fournit l'énergie électrique à des moteurs chez des particuliers.

Les voitures motrices à voyageurs sont équipées électriquement comme celles de Halle.

Elles sont au nombre de 18, équipées de deux moteurs de 16 chevaux, et tiennent 30 places. En outre, 16 voitures sans moteur à 42 places sont également affectées à la remorque par les motrices.

Coût d'établissement — Il n'est pas possible de répartir exactement les frais de premier établissement des installations de l'usine entre les deux services. Voici des données pour la ligne et le matériel roulant électriques en 1893 :

Installation de la conduction du courant pour le tramway.	138,566 francs.
Matériel roulant électrique	251,074 —

Les installations électriques et mécaniques communes aux deux services se chiffrent ainsi en 1894 :

Usine, non compris l'immeuble.	273,430 francs.
Canalisation principale	133,898 —
Enfin, l'accumulateur a coûté	70,309 —

Exploitation. — Les chiffres qui suivent se rapportent principalement à la traction électrique, bien que quelques-uns, communs aux deux services, soient cités pour en indiquer le mode de répartition aux deux comptes (2).

---

(1) Pour le transport des marchandises, on fait usage de trois locomotives à vapeur munies de condensateurs à surface, l'un à trois essieux pesant 21 tonnes, les deux autres à deux essieux couplés pesant 14 tonnes. Au moyen de petits trucks à roues de 45 centimètres qui portent sur leurs plates-formes des rails à l'écartement normal, on parvient à remorquer des wagons de chemin de fer que l'on conduit aux usines raccordées au tramway. Il y a vingt trucks de l'espèce munis de freins à air Kœrting. Douze fabriques ainsi raccordées reçoivent environ 6,000 wagons par an. Enfin, six wagons déraillables munis de galets-guides, un à l'avant, un à l'arrière, entrant dans l'ornière de la voie, sont affectés à la remise des colis aux établissements non raccordés.

Quant à l'éclairage, l'énergie électrique à fournir en un même instant peut répondre à l'allumage de 3,000 lampes de 16 bougies et à l'installation de 5,000 lampes, attendu que l'expérience générale fournit le coefficient maximum d'allumage de 60 p. c. Il est de 49 p. c. à Halle.

(2) Nombre de lampes placées en 1894 : 3,726, rapportées à l'unité de 16 carcels.

Moteurs fixes : 8 raccordés à la canalisation d'éclairage, absorbant 15.5 H. P., et 8 raccordés à la ligne aérienne, absorbant 30 H. P.

L'hectowatt-heure lumière se vend 10 centimes ; l'hectowatt-heure-force motrice, 2.5 centimes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous regrettons même, voulant rester dans les strictes limites de notre sujet, de ne pas pouvoir montrer par les statistiques afférentes aux différents services et enregistrées dans les rapports annuels du directeur (1), comment une installation mixte de l'espèce permet d'utiliser habilement toute la puissance de l'usine, même en dépit des fluctuations de la situation industrielle de Gera qui réagissent naturellement sur les résultats de l'exploitation des tramways.

De mars 1891 au 31 décembre 1892, le tramway électrique de Gera a été parcouru par :

551,957 trains-kilomètres
et 606,937 voitures-kilomètres.

et la dépense s'est répartie comme suit :

	Dépenses totales. (Francs.)	*Dépense par train-kilom.* (Centimes.)	*Dépense par voiture-kilom.* (Centimes.)
A. Administration. Direction. Frais généraux. . .	24,221	4.4	4 0
B. Traction et entretien des wagons.	52,912	9 6	8.7
C. Service de la station et entretien de la station centrale	33,534	6.1	5.5
D. Service de la voie et entretien des conduites . .	6,647	1.2	1 1
	117,314	21.3	19.3

Le tableau ci-après indique le détail de ces dépenses par train-kilomètre :

	Dépenses totales. (Francs.)		*Dépenses par train-kilomètre.* (Centimes.)	
A. Administration. Direction. Frais généraux . . .	...	24,221	...	4.40
B. Traction et entretien des wagons :				
1° Traitements des conducteurs.	33,603		6.08	
2° Habillement des employés	5,000		0 96	
3° Entretien des wagons, etc.	6,701		1.21	
4° Matériaux pour l'exploitation	7,608		1.37	
		52,912		9.62
C. Service de la station et entretien de la station centrale :				
1° Traitement du chef d'exploitation, du chef machiniste, du garde, etc.	17,381		3.15	
2° Réparations des chaudières et machines . .	437		0.08	
3° Charbon	21,850		3.95	
4° Eau	1,170		0 20	
5° Graissage et nettoyage	4,250		0.80	
	45,088		8.18	
A reporter. . .	45,088	52,912	8.18	

(1) M. Waechter, conseiller ducal des constructions du duché d'Anhalt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Dépenses totales. (Francs.)		*Dépenses par train-kilomètre.* (Centimes.)	
Reports. . .	45,088	52,912	8.18	
De cette somme, un tiers incombe au compte de l'éclairage électrique	15,029		2.69	
Il reste donc pour la traction	30,059		5.49	
6° Salaires des nettoyeurs et graisseurs . . .	3,475		0.62	
		33,534		6.11
D. Service de la voie et entretien des conduites :				
1° Salaires des gardes-route.	5,235		0 94	
2° Sel et matériaux de la voie	475		0.09	
3° Entretien de la conduite (aérienne). . . .	937		0.17	
		6,647		1.20
Dépenses générales pour l'exploitation. . .	...	117,314	...	21.33

Les résultats de l'exploitation de cette ligne pour les deux exercices suivants sont renseignés au tableau ci-dessous :

	1893	1894
Trains-kilomètres	590,201	565,559
Voitures-kilomètres	610,972	576,909

	1893			1894		
	Dépenses totales.	Dépense par train-kilomètre.	Dépense par voiture-kilomètre.	Dépenses totales.	Dépense par train-kilomètre.	Dépense par voiture-kilomètre.
	Francs.	Centimes.	Centimes.	Francs.	Centimes.	Centimes.
Administration.	17,057	2.9	2.8	9,214	1.8	1.7
Service de l'exploitation . .	7,331	1.2	1.2	6,102	1.07	1.0
Traction	68,258	11.5	11.2	82,309	14 6	14.3
Entretien des wagons. . .	5,231	0.9	0.8	12,638	2.2	2.2
— de la ligne. . .	6,480	1.1	1.0	15,005	2.7	2.6
Assurances	7,033	1.2	1.2	4,708	0.82	0.81
	111,390	18.8	18.2	129,976	23.19	22 61
				Augmentations en 1894.		
				16 6p.c	23.3p.c.	24.2p.c.

L'augmentation de la dépense d'exploitation, en 1894, résulte :

1° De la diminution du trafic qui a été la conséquence d'un ralentissement dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les affaires industrielles, le parcours kilométrique ayant dû être réduit de 24,642 trains-kilomètres et de 34,063 voitures-kilomètres;

2° D'exigences spéciales des autorités publiques, en ce qui concerne l'entretien de la voie : centimes 2.7 contre 1.1.

On constate néanmoins que si l'accroissement des dépenses par voiture kilomètre a atteint 23.3 p. c., celui de la dépense en bloc n'a été que de 16.6 p. c., ce qui témoigne en faveur d'une bonne gestion.

Kiew. — Dans cette ville russe, bâtie sur plusieurs collines, la plupart des rues sont très accidentées. L'une d'elles, qui remonte du Dniéper vers le palais, et au pied de laquelle se trouve la station centrale des tramways, présente sur un parcours de plus de 500 mètres des inclinaisons variant entre 86 et 106 millimètres par mètre; cette dernière rampe est la plus raide que franchisse, en Europe, un tram électrique.

Voie. — Une partie de ces lignes ont été ouvertes à l'exploitation en mai 1892; d'autres en juin 1894. A cette époque, la longueur totale exploitée n'était que de 9.78 kilomètres de ligne comportant 14 kilomètres de voie à l'écartement russe de 1m512. En 1894, il a été transformé ou créé pour être desservi par la traction électrique un certain nombre de lignes qui, au 1er janvier 1895, s'élevait à 24.26 kilomètres de lignes électriques, dont 21.86 kilomètres en exploitation pendant l'exercice 1894. Les autres lignes sont exploitées par chevaux et par locomotives à vapeur.

La figure 347 donne les profils des deux lignes les plus inclinées de Kiew.

Les poteaux sont généralement en bois, sauf dans deux des principales rues où ils sont en fer à treillis.

Une partie des poteaux en bois porte une potence formée d'un fer U soutenu sur console (fig. 348).

Les isolateurs en porcelaine employés sur la première section construite figurent au § 3-*b* de ce chapitre.

A cause de la section relativement faible des rails et vu la difficulté d'y fixer deux fortes connexions, le retour du courant a dû être assuré au moyen d'un gros câble de 92 millimètres carrés de section en cuivre étamé courant entre les rails et relié de distance en distance par des fils de 6 millimètres de diamètre aux connexions entre rails. Ces connexions sont formées de deux fils de cuivre étamé de 6 millimètres soudés à des bornes rivées aux rails.

Usine. — L'installation primitive comportait deux machines à gaz menant deux dynamos de 30 kilowatts (1). Aujourd'hui, six dynamos de 60 kilowatts marchant

(1) L'*Électricien* du 28 juillet 1894 donne d'intéressants détails sur ces moteurs à gaz et leur régulation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 540 tours sont mues par trois machines à vapeur compound à condensation semi-verticales et semi-horizontales, du genre de celles de Halle, des cylindres de 340 et 530 millimètres de diamètre avec une course commune ayant 600 millimètres. Elles sont alimentées par trois chaudières tubulaires Babcock et Wilcox de 151 mètres carrés de surface de chauffe timbrées à 10 atmosphères. La condensation s'opère dans un condenseur central commun aux trois machines liquéfiant 5,400 kilogrammes de vapeur par heure. En cas de pénurie d'eau, une valve à deux voies détourne la vapeur d'échappement vers l'atmosphère.

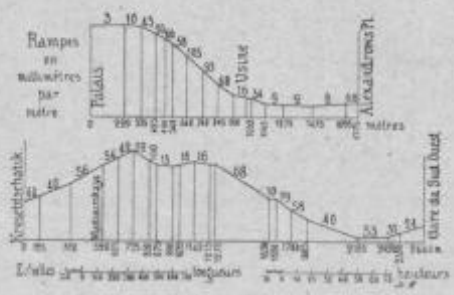


Fig. 347.

Fig. 349.

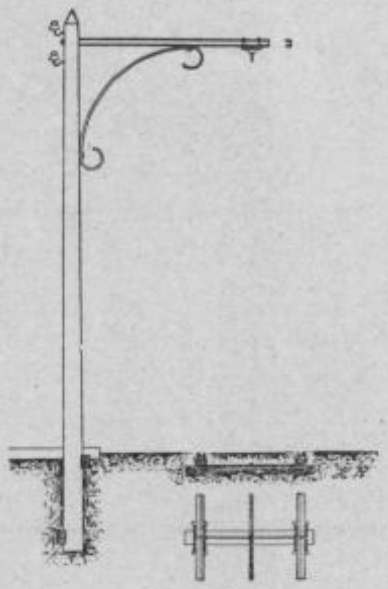


Fig. 348.

Voitures. — Il y a 46 voitures motrices munies chacune de deux moteurs à simple réduction à régulateur Sprague, type A. E. G.

Les six anciennes d'une contenance de 30 personnes, dont 20 assises, étaient munies de moteurs de 16 H. P. Les autres à 40 places, dont 22 assises, ont des moteurs de 25 H. P. Elles pèsent 5,100 kilogrammes sans moteurs et 7 tonnes moteurs compris.

En hiver, on est parfois obligé d'enlever la légère couche de glace qui recouvre le fil de trolley. A cette fin, une roulette ailée (fig. 349), imaginée par M. Pervenko et que nous reproduisons d'après l'*Électricien*, est emmanchée au haut d'une perche que maintient un homme monté sur l'impériale d'une voiture.

Les voitures qui parcourent la forte rampe de la rue Alexandre portent un frein à patin, indépendamment des autres

Des voitures à remorquer au nombre de 10 sont affectées sur certaines sections au service électrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exploitation. — Nous tirons du volumineux compte rendu des opérations de la *Société des chemins de fer urbains de Kiew* pour l'année 1894, les renseignements qui se rapportent à l'exploitation des lignes électriques.

Nous avons pris pour le rouble-argent la valeur industrielle adoptée dans la traduction des comptes rendus de tramways, soit 2 fr. 70 c.

Ce rapport fournit par le menu des tableaux donnant le détail du trafic de la recette et de la dépense pour les 31.1 kilomètres de lignes en exploitation ou en construction; dont, comme nous l'avons dit, 24.26 kilomètres électriques, soit 21.86 kilomètres en exploitation et 2.4 kilomètres en construction en 1894.

De ces 21.86 kilomètres de lignes, 9.78 kilomètres en partie à double voie se trouvaient déjà en exploitation au 1er janvier de ladite année et ce sont ces dernières qui étaient alimentées par des dynamos génératrices primitivement mues par des machines à gaz. Les extraits ci-après indiquent ces lignes.

LIGNES.	MODE DE TRACTION.	VOYAGEURS TRANSPORTÉS.	VOITURES-KILOMÈTRES.
Krestchatik-Vassilkoff	Électrique, machine fixe à vapeur.	1,640,081	603,635
Rampe Alexandre.	Électrique, machine fixe à vapeur et au gaz.	2,166,829	137,522
Krestchatik-Petchersk	Idem.	558,094	67,902
Krestchatik-gare	Électrique, machine fixe à vapeur.	640,097	93,507
Krestchatik-Lvoff	Idem.	499,277	183,889

Les diverses dépenses d'exploitation se répartissent comme il suit pour l'exercice 1894 :

Désignation des dépenses.		*Par voiture-kilomètre.* (Centimes.)	
1° Entretien du personnel :			
Service des stations		...	1.50
— du mouvement (contrôleurs)		1.52	
— — (conducteurs)		5.12	
— — (agents divers)		0.67	
			7.31
2° Dépenses des stations (location, chauffage, entretien et nettoyage, éclairage, téléphone, divers)		..	1.38
3° Assurance des bâtiments et machines.		..	0.44
4° Dépenses pour la voie :			
a) Surveillance et nettoyage (ouvriers, voitures, matériaux)		...	1.55
b) Entretien de la voie (ouvriers, voitures, matériaux).		...	4.66
c) — des casernes (location, chauffage, éclairage, divers) . .		...	0.62
	A reporter. . .	...	17.46

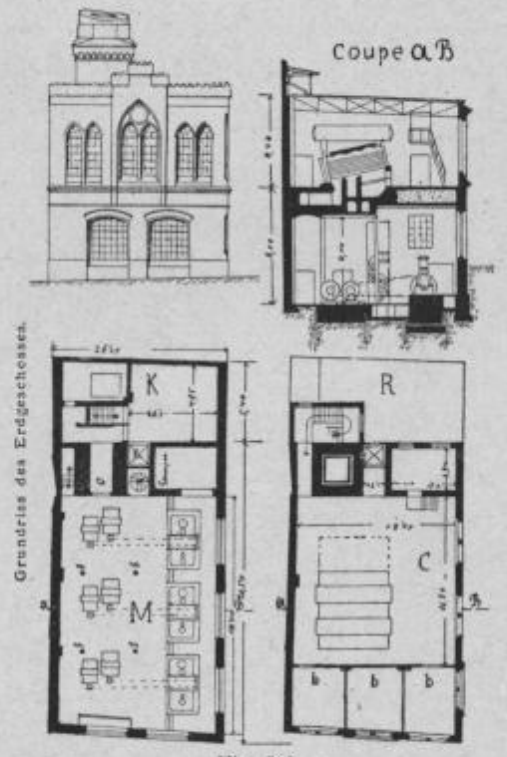
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Désignation des dépenses.		*Par voiture-kilomètre (Centimes.)*	
5° Traction :			
Entretien et personnel de la station centrale :	Report . . .	...	17.46
Machinistes et aides		1.06	
Chauffeurs et autres		0 27	
			1.33
Entretien et personnel des voitures :			
Conducteurs des voitures		2.56	
Ajusteurs		0 77	
			3.33
Renouvellement et entretien des machines :			
A vapeur : Combustible		4.63	
Eau		0.28	
Matières de graissage		0.25	
— de nettoyage		0.07	
Divers		0.02	
Renouvellement		0.37	
			5.62
A gaz : Gaz		16.87	
Eau		1.10	
Graissage		0.57	
Nettoyage		0.12	
Renouvellement		0.49	
			19.15
Dynamo : Matières de graissage		0.003	
— de nettoyage		0.001	
Divers		0.003	
Renouvellement		0.051	
			0.058
Assurance des machines		...	0.064
Matériel roulant. Wagons électriques :			
Renouvellement et entretien des moteurs électriques :			
Matières de graissage		0.28	
— diverses		0.15	
Renouvellement		1.42	
			1.85
Renouvellement et entretien des wagons sans moteur :			
Matières de graissage		0.23	
— de nettoyage		0.69	
— d'éclairage		0.08	
Renouvellement		1.94	
			2.94
6° Réseau des fils électriques des voies :			
Renouvellement et entretien :			
Renouvellement		...	0.20
7° Dépenses d'exploitation diverses :			
Surveillance des voies, masse d'habillement, assurances, divers		..	6.60
8° Dépenses d'administration générale		. .	4.53
	Totaux. .	. .	63.132

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on relève dans ce tableau les dépenses se rattachant aux diverses lignes selon que les dynamos fixes sont commandées par machine à vapeur ou par machine à gaz, conformément, d'ailleurs, au compte distinct fourni par le rapport pour chacune de ces lignes, on obtient en frais d'exploitation les chiffres suivants :

Krestchatik-Vassilkoff (machine fixe à vapeur)	37.67	centimes.
Rampe Alexandre (— — et au gaz) .	82.12	—
Krestchatik-Petchersk (— — —) .	76.09	—
Krestchatik-Gare (— —)	53.51	—
Krestchatik-Lvoff (— —)	41.54	—
Pour l'ensemble, moyenne . .	47.71	centimes.



LEGENDE.

M. Rez-de-chaussée. Machines et dynamos.
C. Étage. Chaudières.
K. Cave à charbon.
O. Cave à l'huile dans le soubassement de la cheminée.
R. Cour à l'étage.
B. Bureaux.
S. Colonnes.

Fig. 350.

Lübeck. — Usine à étages. — L'usine des tramways électriques de Lübeck, alimentant un réseau de 9.87 kilomètres de lignes et 13.63 de voies, présente une disposition relativement rare en Europe et adoptée à raison de l'exiguïté de l'emplacement dont on disposait dans Braunstrasse : les chaudières sont installées à l'étage, tandis que les machines à vapeur et les dynamos sont au rez-de-chaussée. Les croquis figure 350 montrent comment on a tiré parti de l'espace disponible.

Le charbon, approvisionné dans une cave sous la cour, est hissé à l'étage au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyen d'un monte-charge électrique. Actuellement, l'usine possède deux chaudières tubulaires de 123 mètres carrés, timbrées à 10 atmosphères. La place existe pour une troisième. Il y a trois machines compound à condensation, faisant 200 tours, d'une puissance nominale de 150 P. H., maxima de 180, conduisant chacune par courroie deux dynamos de 120 ampères à 500 volts. Diamètre des cylindres, 360 et 580 millimètres; course commune, 360 millimètres.

Le matériel roulant comporte 24 voitures motrices à 32 places, munies de deux moteurs de 16 H. P., 20 voitures à remorquer à 22 places et 1 wagon-moteur à sel.

Breslau. — Parmi les autres installations du système Sprague, établies par l'A. E. G., celle de Breslau est l'une des plus importantes.

Voies. — Longueur des lignes, 15,383 mètres, dont 12,724 mètres à double voie, soit 28 kilomètres de voies à l'écartement normal, sans compter 1,892 mètres dans les dépôts.

A l'intérieur de la ville, le fil de bronze siliceux de 7 millimètres est suspendu à des fils transversaux fixés par rosettes aux maisons ou à des poteaux tubulaires ornés de pièces en fonte; hors ville, à des mâts en treillis. Les poteaux tubulaires coniques sont fabriqués d'une pièce; la paroi a 10 millimètres d'épaisseur. Les feeders sont souterrains, câbles sous plomb armés de rubans d'acier. Le retour par les rails est assuré moyennant des liaisons aux joints et par trois câbles nus allant de la station centrale aux points avoisinants.

Les inclinaisons sont faibles; la plus forte rampe est de 25 millimètres par mètre, profil économique.

Matériel fixe. — Trois chaudières, trois machines conduisant chacune deux dynamos, le tout de même type et de même puissance qu'à Gera, constituent une usine d'une capacité totale de 600 H. P.

Matériel roulant. — Il comporte 40 voitures motrices à deux moteurs; 45 voitures à remorquer, dont 15 fermées, 30 ouvertes; 1 wagon-moteur chasse-neige, et 6 véhicules de service.

Coût d'établissement. — Les frais de premier établissement sont portés au bilan de 1894 comme suit :

Lignes (armées)	3,957,643 francs.

Exploitation. — En semaine, on met en marche 32 à 33 voitures motrices et 20 voitures remorquées; le dimanche, tout le matériel roule.

Les voitures font un service de 5 minutes partout pendant la journée, soir et matin même service sur les sections centrales, et de 10 minutes sur les autres, se partageant par moitié sur ces dernières. Sur certaines portions de lignes com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

munes à deux parcours, les voitures se suivent à 2 1/2 minutes d'intervalle. Elles sont desservies par un conducteur et un garde,

Le tarif est uniforme de 12 1/2 centimes (10 pfennigs). Aussi le mouvement, toujours considérable, a-t-il atteint un jour 60,000 voyageurs. Il se fait dans des conditions très favorables aux résultats financiers de l'exploitation, dont voici un aperçu :

Parcours : trains-kilomètres		1,789,488
— voitures remorquées		427,072
Ensemble.		2,216,560
Recettes dans les voitures motrices	fr.	689,604 50
— — remorquées		227,601 75
Total.	fr.	917,206 25
Dépenses :		
1° Frais généraux	fr.	6,672
2° Exploitation		95,249
3° Traitements et salaires		252,829
4° Primes d'assurances		10,315
5° Impôts et redevances.		51,952
6° Amortissement sur uniformes, etc.		13,405
7° Bénéfices		516,765
Total.	fr.	947,187
On prélève sur le bénéfice net	fr.	516,765
a) Pour le fonds de renouvellement.	fr. 93,750	
b) — — d'amortissement	50,000	
		143,750
Reste.	fr.	373,015

Les frais d'exploitation par train-kilomètre s'élèvent à 24.40 centimes et par voiture-kilomètre à 19.68 centimes, se divisant comme suit :

	Par train-kilomètre. (Centimes.)	*Par voiture-kilomètre.* (Centimes.)
A. Direction et bureaux	1.34	1.08
B. Frais d'entretien de la voie et dépendances	2.76	2.23
C. Receveurs, contrôleurs de la recette et divers	5.17	4.17
D. Traction et matériel	10.60	8.55
E. Divers (redevances, impôts, assurances, caisse de prévoyance, etc.)	4.53	3.65

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les frais de traction sont relativement peu élevés :

	Par train-kilomètre. (Centimes.)		Par voiture-kilomètre. (Centimes.)	
A. Matériel fixe :				
1° Frais d'entretien des câbles électriques et supports. .	...	0.22	...	0.18
2° Machines à vapeur et chaudières :				
Traitements et salaires	1.05		0.85	
Entretien	0.255		0.205	
Charbon et bois.	1.72		1.39	
Matières lubrifiantes (huile, graisse, suif). . . .	0.37		0.30	
Chiffons et bourres de laine	0.021		0.017	
Eau	0.15		0.12	
Gaz	0.024		0.019	
Divers	0.10		0.08	
		3.69		2.98
B. Matériel roulant :				
Entretien des voitures	...	3.19	...	2.57
C. Salaires des conducteurs	...	3.50	..	2.82
		10.60		8.55

La consommation moyenne de charbon est de 1.2 kilogramme par voiture-kilomètre et la consommation d'eau de 6.7 à 9.9 litres par voiture-kilomètre, selon la saison et le mouvement.

Il est employé 210 personnes au service de la Société.

Essen. — Le tramway électrique de Essen comprenait, fin de 1894, 18 kilomètres de lignes, 22 kilomètres de voies à l'écartement de 1 mètre moyennement peu inclinées; à part 900 mètres à 3 p. c. et 400 mètres à 4 p. c., le reste forme une série de paliers alternant avec des rampes de 10 à 20 millimètres par mètre.

Fil de trolley de 7 millimètres en bronze siliceux.

Deux chaudières tubulaires, au timbre de 10 atmosphères et de 152 mètres carrés, alimentent deux machines compound du même type que celles de Halle, reliées à un condenseur central. Elles conduisent par courroies chacune deux dynamos de 120 ampères à 500 volts.

Une batterie d'accumulateurs sert à l'éclairage des bureaux et du dépôt. Elle comporte 180 éléments d'une capacité de 45 ampères-heures au débit de 6.5 ampères. Pour la charge, ils sont tous groupés en série, et pour la décharge ils sont rangés en trois groupes de 60 éléments et alimentent des lampes à 110 volts.

Le réseau est desservi par 24 voitures motrices, dont 15 fermées à 16 places assises et 14 debout, les autres ouvertes à 32 places dont 20 assises.

Les moteurs, deux par voitures de 16 H. P., peuvent fonctionner en frein de secours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exploitation. — Commencée en octobre 1893, l'exploitation a donné les résultats suivants en 1894 :

Le service se fait, en général, de 12 en 12 minutes, à la vitesse moyenne de 12 kilomètres ; étant donné le profil favorable, on atteint souvent 16 kilomètres à l'heure.

La ligne électrique de Essen, qui a été ouverte à l'exploitation en octobre 1893, a donné les résultats suivants pour l'exercice 1894, en ce qui concerne les frais de traction :

Voitures-kilomètres. 965,185

	Dépenses totales. (Francs.)		*Par voiture-kilomètre.* (Centimes.)	
1° Part des frais généraux	...	41,250	...	4.27
2° Production de la force motrice :				
a) Salaires	22,500		2.33	
b) Consommation :				
Combustible.	17,500		1.81	
Eau	1,750		0.18	
Graissage, déchets de coton	2,750		0.28	
Balais.	625		0.06	
c) Entretien, réparations et renouvellements . .	11,250		1.16	
	———	56,375	———	5.82
3° Conduction du courant :				
Entretien, réparations et renouvellements de la ligne aérienne, des feeders et des connexions du circuit de retour	...	21,250	...	2.22
4° Entretien et réparation du matériel roulant :				
a) Moteurs et équipement électrique	40,000		4 14	
b) Caisses, châssis, roues	2,750		0.28	
	———	42,750	———	4.42
5° Outillage d'atelier et divers.	...	1,250	...	0.14
Totaux. . .		162,875		16.73

Christiania. — Le premier tramway électrique établi en Norvège mérite une mention. Nous empruntons à la savante revue norvégienne : *Norsk Teknisk Tidsskrift*, de juillet 1894, quelques données concernant ce réseau, ses installations et son exploitation.

Voies. — Longueur des lignes exploitées, 5,787 mètres, avec évitements distants de 600 mètres. (Voir profil fig. 351.) Il existe une courte rampe de 67 millimètres. L'inclinaison moyenne est 25 millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A l'écartement normal de 1.435, la voie est solidement établie en rails Vignoles de 33.5 kilogrammes en barres de 9 à 10 mètres. Dans les allées non pavées, la voie est posée dans un lit de cendrées de 20 centimètres fortement damée et cylindrée. Dans les rues pavées, elle repose sur une couche de béton de 5 à 10 centimètres (proportion 1 : 4). Entre les rails et les pavés voisins, du béton est également bourré à refus. Un coulis de mortier de ciment (1 : 2) remplit les interstices entre pavés. Primitivement, l'entretoisement des rails était fait de barres méplates pliées contre l'âme et boulonnées : elles ont été remplacées, pour défaut de résistance à l'écartement, par des tirants ronds de 22 millimètres.

La connexion électrique entre rails est assurée au moyen de deux fils de fer galvanisés fixés à des pièces rivées aux patins. (Voir § B-4.)

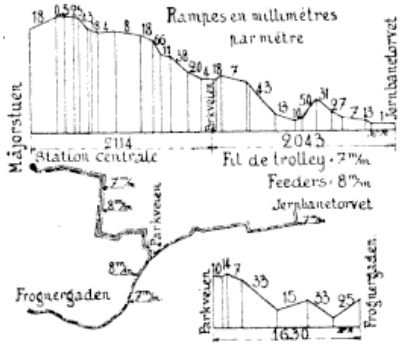


Fig. 351.

Le fil aérien en bronze siliceux de 7 millimètres de diamètre est suspendu à des câbles transversaux ou à des poteaux en treillis, comme dans les installations ci-dessus décrites du type A. E. G.

Les feeders au nombre de deux, ayant 50 millimètres carrés de section et fixés aux poteaux par des isolateurs en porcelaine, suivent la ligne de la station centrale à Parkvein et de là se partagent respectivement vers Ierbanetorvet et vers Skarpsno, ainsi qu'on le voit figure 351 (1).

La protection contre la chute des fils téléphoniques se fait au moyen de bambous fendus et fixés au fil par des pinces métalliques. On se propose d'y substituer le système des fils d'acier tendus longitudinalement.

Usine. — Située à l'extrémité de la ligne principale, dans Majorstuen, l'usine comporte :

Trois chaudières tubulaires Babcock-Wilcox de 90 mètres carrés de surface de chauffe vaporisant 14 à 15 kilogrammes par mètre carré à 10 atmosphères, alimentées par une pompe débitant 4,800 litres dont les deux cylindres à vapeur

(1) Une extension du nombre de voitures nécessitera probablement un renforcement des feeders.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mesurent 114 millimètres avec 102 de course, les pistons plongeurs de 76 millimètres de diamètre, et secourue au besoin par un injecteur de même force;

Trois machines compound sans condensation, faisant 200 tours à la minute à cylindres de 330 et 470 millimètres de diamètre et 350 millimètres de course et développant 100 H. P. à $^4/_{10}$ d'admission et 140 H. P. à $^6/_{10}$;

Trois dynamos tétrapolaires excitées en dérivation attaquées à 5m10 de distance par des courroies de 500 × 7 millimètres et développant 120 ampères à 500 volts en tournant à 540 tours.

Dans l'atelier, les machines-outils sont mues par un moteur électrique de 4 H. P.; l'éclairage de l'usine se fait également par l'électricité.

Voitures. — Elles sont au nombre de 15 motrices et 7 à remorquer contenant 16 personnes assises et 12 debout.

Les voitures motrices sont du type figure 343, munies de deux moteurs à simple réduction A. E. G. de 16 H. P. à régulation Sprague, ayant l'engrenage en fonte et le pignon en bronze dentés dans le rapport 5 : 1. Les roues de 780 millimètres font normalement 100 tours, ce qui répond à 14.7 kilomètres à l'heure.

Poids de la résistance motrice, 4.5 tonnes à vide; poids de la remorquée, 1.8 tonne.

En hiver, les voitures sont chauffées au moyen de poêles; le chauffage électrique coûterait quatre fois plus (15 ou 16 ores).

Les voitures sont éclairées électriquement par 5 lampes de 16 bougies; les disques portent des lampes au pétrole.

Coût d'établissement :

Installation électrique	557,415	francs.
Voies	232,815	—
Bâtiments	121,801	—
Terrains	34,288	—
Élargissement des rues	23,636	—
Administration	33,660	—
Dépôt à la commune	27,800	—
Concessions	62,550	—
Mise en exploitation	23,022	—
Divers	9,459	—
Total	1,126,446	francs.

Exploitation. — En moyenne, le service est de 16 en 16 minutes et s'effectue ordinairement à une seule voiture au moyen de 13 motrices. On n'emploie la remorque que très exceptionnellement, à l'occasion de certaines fêtes.

Voici les dépenses d'exploitation, du 3 mars au 31 décembre 1894.

Il est à noter que, pendant les huit premiers mois, le service était assuré par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le conducteur seul, tandis que, ultérieurement, les autorités locales ont exigé la présence d'un receveur sur chaque voiture.

		Dépenses totales.	Dépense par voiture-kilomètre.
Voitures-kilomètres			457,258
Charbon	fr.	23,447	0.0513
Huile		3,283	0.0072
Personnel des voitures		37,102	0.0812
— de la station		17,423	0.0381
Nettoyage des rues		14,420	0.0320
Entretien des voies		13,981	0.0306
— des voitures		9,549	0.0209
— des conduits		2,835	0.0062
— des machines		1,679	0.0037
— du mobilier		2,915	0.0063
Salaires des commis		11,224	0.0245
Dépenses de bureau		4,636	0.0101
Masse d'habillement		5,108	0.0112
Assurances		3,685	0.0081
Chauffage et éclairage		980	0.0021
Entretien des bâtiments		272	0.0006
Dépenses diverses		2,965	0 0065
Totaux	fr.	155,504	0.3406

c. — *Installations du type Thomson-Houston.*

En Europe, la Compagnie américaine *Thomson-Houston*, après avoir installé le tramway de Leeds, fonda des filiales de même nom en Angleterre, en France, en Italie, ainsi que l'*Union Elektricitäts Gesellschaft*, de Berlin (U. E. G.), pour l'Europe centrale. Mais ces branches dépendent en grande partie de la *General Electric Company*, de New-York, dont nous avons parlé à propos des États-Unis.

Les types de moteurs Thomson-Houston et leur mode de régulation ont été décrits au chapitre I[er].

Il nous reste à fournir des renseignements caractérisant les installations européennes.

Leeds. — La construction de cette ligne, commencée en juin 1891, a été terminée en octobre de la même année.

Marquée, au début, de l'impéritie du personnel européen, greffée sur les imperfections inhérentes aux installations de l'époque, cette entreprise a néanmoins donné dans la suite de bons résultats au point de vue du fonctionnement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voies. — Ce tramway va de Burmantofts au Roundhay Park, sur une longueur de 5 kilomètres, dont 3,280 mètres à double voie, posés sur traverses, et le reste à simple voie, en rails Vignoles sur béton, soit donc 8.2 kilomètres de voies à l'écartement normal. Il y a deux rampes de 50 millimètres sur environ 300 mètres chacune, une autre de 30 millimètres sur 610 mètres. Les autres inclinaisons sont sans importance.

Le fil de trolley en cuivre dur, *hard-drawn copper,* de 8.23 millimètres de diamètre, est suspendu à 6 mètres au-dessus du sol au moyen de fils transversaux en acier galvanisé de 5.38 millimètres fixés aux sommets isolés de poteaux tubulaires en acier doux. Ceux-ci sont formés de trois tronçons emboîtés l'un dans l'autre et dont l'inférieur a 152 millimètres et le supérieur 101 millimètres de diamètre. Ils pénètrent à une profondeur de 1m80 dans un bloc de béton.

Le fil de trolley est attaché à des isolateurs par oreilles soudées. (Voir § A-3-*b*.)

Deux feeders, formés chacun d'un câble isolé de 11.7 millimètres de diamètre, conduisent le courant jusqu'à Roundhay Road et de là le long de la voie sous un diamètre de 9.2 millimètres. Tous ces feeders sont *over-head.*

Usine. — Située à peu près à mi-chemin, elle comporte une chaudière tubulaire Babcock-Wilcox de 190 H. P. au timbre de 10 atmosphères, une machine à vapeur Mac Intosh et Seymour à un seul cylindre à grande vitesse de 457 millimètres de diamètre sur 460 de course, actionnant par courroies deux dynamos compound Thomson-Houston de 62 kilowatts à 900 tours. La tension aux bornes est de 300 volts.

Au tableau de distribution se trouvent les instruments de mesure et un coupe-circuit automatique Thomson avec souffleur d'arc magnétique.

Voitures. — Ce sont des cars américains construits à New-York, comportant à l'intérieur 22 places assises, plus un certain nombre sur les plates-formes. Il existe également deux trailers à sièges d'impériale, offrant 44 places.

Les motrices sont munies chacune de deux moteurs à simple réduction, modèle S. R. G. 30, type B. Les roues dentées en acier fraisé sont dans le rapport $1 : 4\ ^2/_3$ (14 : 67). Ces moteurs ont été décrits en détail au chapitre I-A.

Chaque moteur, sans l'engrenage d'essieu, pèse 939 kilogrammes. Les voitures pèsent, à vide, 6 tonnes. On a essayé une septième voiture d'un autre type.

Exploitation. — Elle se fait normalement, moyennant cinq voitures. La durée du service est de 18 heures en été, 16 $^1/_2$ en hiver. Chaque car fait environ 186 kilomètres par jour à la vitesse moyenne de 10.5 kilomètres à l'heure, en comprenant dans ce temps la durée des arrêts.

On tiendra compte, dans l'examen suivant des frais d'exploitation, de l'état un peu primitif de l'installation et des moteurs : machines non compound, sans condensation, et moteurs S. R. G,, réglés par rhéostats au lieu du système « series-parallel controller », plus économique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Du 1er avril 1893 au 31 mars 1894, avec un chiffre de 323,985 voitures-kilomètres, *l'entretien de la ligne aérienne* a coûté, par voiture-kilomètre, 0.157 centime;

L'entretien et les réparations à la station centrale, machines et chaudières, y compris le rebobinage d'une dynamo, 1.171 centime;

L'entretien et les réparations des voitures et des moteurs, y compris un jeu complet de roues à bandages d'acier coûtant 368 fr. 75 c. (soit pour l'effectif de 6 voitures, 2,212 fr. 50 c.), 3.857 centimes;

Le salaire des conducteurs, 50 à 55 centimes par heure, selon la durée de leur service. Ils travaillent normalement 10 ½ heures par jour, sept jours par semaine; les voitures font en moyenne 10.5 kilomètres par heure;

Le charbon a coûté 6.168 centimes par voiture-kilomètre;

La consommation de charbon a été de 1,495 tonnes, ayant coûté 19,986 francs, soit 0.060 centime par kilomètre. (Cette dépense est trop élevée, parce que la grève a augmenté le coût du charbon de 4,909 francs ou 0.014 centime par kilomètre de plus que d'ordinaire. C'est-à-dire que d'habitude le meilleur menu « slack », du Yorkshire, coûte 10 fr. 60 c. rendu à l'usine.)

Pour le premier semestre de 1894, avec un nombre de 165,588 voitures-kilomètres, les dépenses par voiture-kilomètre ont été les suivantes :

Entretien de la ligne aérienne	0.25	centime.
Entretien et réparation à la station centrale, machine, chaudières, etc	1.43	—
Entretien et réparation des voitures et des moteurs	2.44	—
Conducteurs des voitures	5.06	—
Consommation de charbon	5.04	—
Salaires de l'usine	4 66	—
Matériaux divers employés à la remise	0.45	—
— — — à l'usine	0.78	—
Salaires des receveurs, contrôleurs, nettoyeurs, etc.	6.99	—
Direction et traitements (bureau)	3.61	—
Fournitures de bureau et imprimés	0.23	—
Postes et télégraphes	0.03	—
Redevances sur la voie permanente	1.06	—
Redevances, impôts, taxes	2.31	—
Transports divers	0.11	—
Assurance	0.28	—
Uniformes, etc.	0.25	—
Charges de comptabilité	0.40	—
Divers	0.50	—
	35.93	centimes.

Nous avons reproduit ces renseignements pour mémoire. Un réseau complet de tramways électriques, entraînant une modification des installations que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous venons de décrire, a fait l'objet d'une adjudication publique au mois de juin 1896 (1).

Bruxelles. — Sur le continent, ainsi que nous l'avons dit, une ligne *overhead* du type Thomson-Houston avait été exhibée à Brême, en juin 1890. Installée à titre provisoire entre le centre de la ville et Burger Park, où se tenait l'exposition, elle fut remplacée, depuis, par le réseau définitif terminé au printemps de 1892.

Les installations continentales ultérieures, telles que celles de Remscheid, Bordeaux, Lyon, Bruxelles, etc., furent calquées, dans leur ensemble, sur un même patron, créé d'ailleurs par la *General Electric Company*, de New-York.

Nous en présenterons donc d'abord les traits communs, en décrivant l'une d'elles en détail, celle de Bruxelles; nous montrerons ensuite les caractères particuliers de quelques autres tramways de ce type, en fournissant les renseignements que nous possédons sur leur exploitation.

Nous avons, à Bruxelles, deux réseaux distincts de lignes électriques à trolley installées l'une et l'autre par la firme *Union Elektricitäts Gesellschaft* de Berlin, celle de la *Société des Tramways Bruxellois*, celle de la *Société Nationale des Chemins de fer vicinaux*, ouverte successivement à l'exploitation en juin 1894.

1. — *Tramways Bruxellois.* — Le réseau en exploitation depuis 1894 comprend deux lignes distinctes, plus un raccordement à l'usine (2) :

	LONGUEUR DES LIGNES.	EN DOUBLE VOIE.	LONGUEUR DE VOIE SIMPLE.
Boulevards circulaires de la gare du Nord à la gare du Midi	4,740 mètres.	4,740 mètres.	9,480 mètres.
Raccordement à l'usine	805 —	420 —	1,225 —
Ligne de la place Stéphanie à Uccle .	4,030 —	3,230 —	7,260 —
	9,575 mètres.	8,390 mètres.	17,965 mètres.

(1) Les résultats de cette adjudication sont intéressants par la variété des fournisseurs entreprenant des parties distinctes de l'installation électrique pour *11.2* kilomètres de voie :

Poteaux et potences	Jas. Russel and Sons	90,170 francs.
Conducteurs souterrains et leur logement.	Greenwood and Batley	113,830 —
Fil de trolley et organes de suspension. .	Crompton and Co.	84,250 —
Voitures motrices	Greenwood and Batley	350,000 —
Accumulateurs et commutateurs . . .	Chloride Electrical Storage Syndicate.	33,530 —
Machines à vapeur	Greenwood and Batley	87,680 —
Dynamos, etc.	— — —	80,000 —
Chaudières	Clayton and Co.	34,270 —
Bâtiment de l'usine	Mr. J. T. Wright	145,370 —
	Total. . .	1,019,100 francs.
A ajouter pour fournitures diverses		87,500 —
	Soit, en chiffres ronds, la somme totale de. . .	1,106,600 francs,

ce qui fait ressortir la dépense par kilomètre de double voie au chiffre de 98,800 francs, y compris le matériel roulant.

(2) D'autres lignes seront ouvertes à l'exploitation en 1897.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voie. — La voie primitive établie pour traction à chevaux du type à ornière en U renversé, voie Michelet, de 30 kilogrammes par mètre, a été remplacée au cours de l'exploitation électrique par une voie formée de rails à patin et ornière, voie Phénix, type Janssen, d'un poids moyen montée de 95 kilogrammes au mètre courant. Une coupe en est représentée (fig. 352) sous le n° I. Ces rails pèsent 45 kilogrammes au mètre courant, reposent sur un lit de 20 centimètres de ballast de pierraille recouvert de sable et sont maintenus contre les poussées latérales moyennant des briques qui en épousent la forme et s'appuient contre les pavés; l'entretoise est rivée sur double équerre.

Le profil de la ligne des boulevards se trouve figure 352 (II) et celui de la ligne d'Uccle, figure 353.

Le fil de trolley est en cuivre dur, de haute conductibilité, 97 p. c. (*hard drawn copper*) de 8.25 millimètres de diamètre, 53 millimètres carrés de section. C'est à la fois le n° 0 de la jauge américaine (B. A. S.) et de la jauge anglaise (S. W. G.). Son poids au mètre courant est d'environ $^1/_2$ kilogramme, sa résistance électrique 0.3 ohm par kilomètre. Il est soutenu en alignement droit à des distances variant entre 30 et 40 mètres et descendant jusqu'à 20 mètres en deçà et au delà de la traversée d'une large artère franchie d'un seul jet. En courbe, on suit les règles données au § A. On admet une tension longitudinale de 400 à 600 kilogrammes, selon la température, en établissant les calculs sur une moyenne de 500 kilogrammes.

Ce fil est soudé aux oreilles des isolateurs. L'isolation est double et assurée au moyen des pièces représentées au § A-3 par les figures 219 à 221, 223 et 224, selon destination. En courbe, l'angle maximum entre côtés du polygone est l'angle d'ouverture de la poulie diminué de $^1/_5$. Les fils de tension sont en acier d'un diamètre de 5 et de 6 millimètres, selon l'effort à supporter. La figure 352 donne pour la ligne du boulevard circulaire, le plan complet de l'emplacement des points de suspension et d'ancrage et des poteaux. Les figures 354, 355 et 356 donnent ces indications à plus grande échelle pour quelques passages intéressants.

Les poteaux en acier sont tubulaires de diamètre décroissant, en quatre portions cylindriques, emboîtées l'une dans l'autre à chaud et, au besoin, assemblées par des doublures annulaires compensant les différences de diamètres.

Ils ont le pied noyé dans un cylindre de béton de hauteur variable donnée dans un tableau du § A-3, et de 60 à 70 centimètres de diamètre.

On ajoute, pour l'effet décoratif, un piédestal en fonte et des bagues aux joints. Toutefois, celles du sommet servent de soutien et d'appui aux potences (fig. 352, III et IV) formées de branches tubulaires assemblées par une ferronnerie un peu compliquée. L'assemblage à vis de la bague supérieure (V) a dû, après coup, être renforcé par un goujon chassé dans le tube-tirant de la potence, quelques-uns de ces joints ayant cédé aux efforts statiques compliqués des oscillations de l'ensemble.

On trouvera, dans les généralités sur la matière (§ A-3), le tableau des dimen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

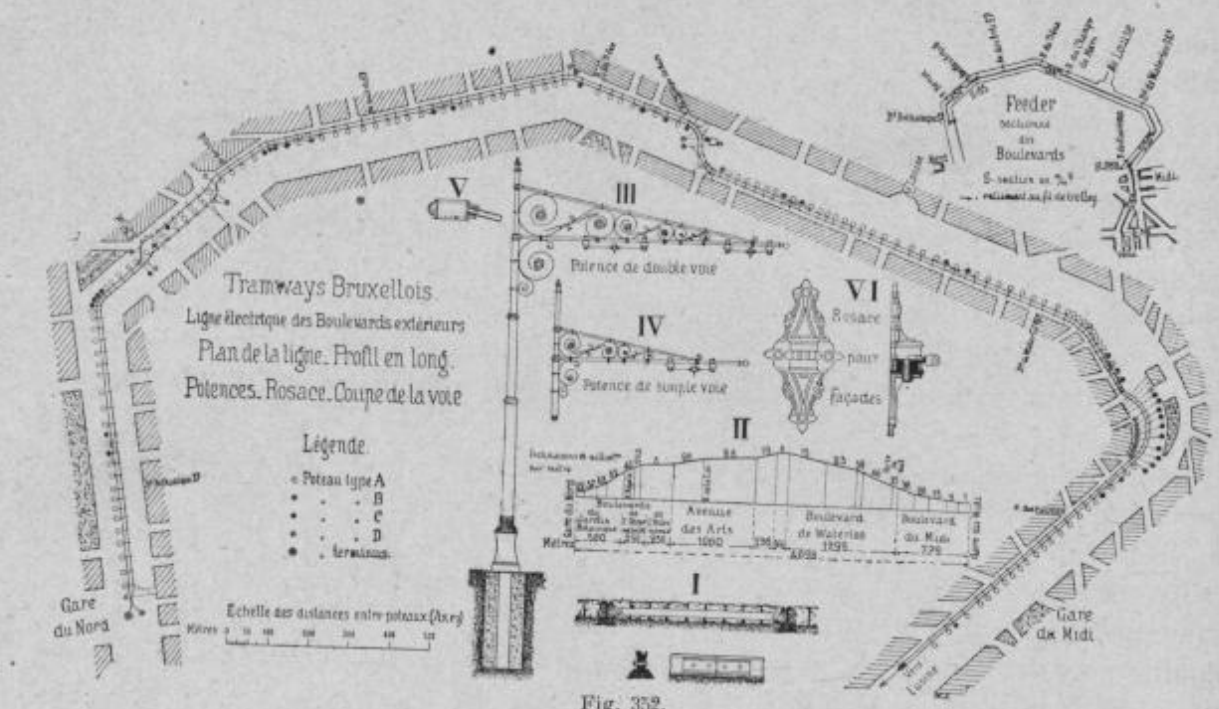


Fig. 352.

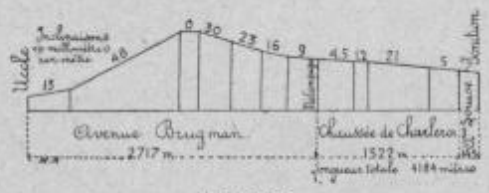


Fig. 353.

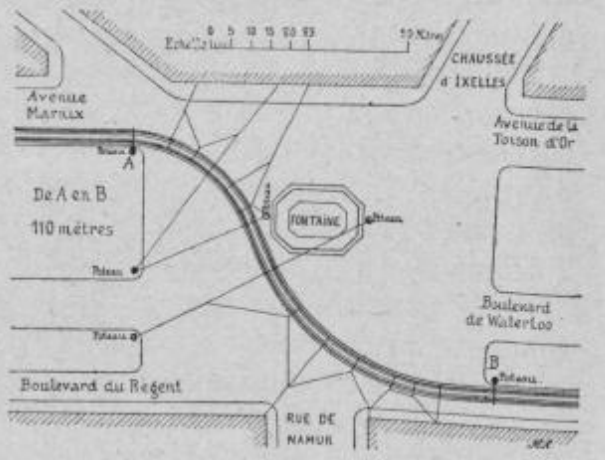


Fig. 355.

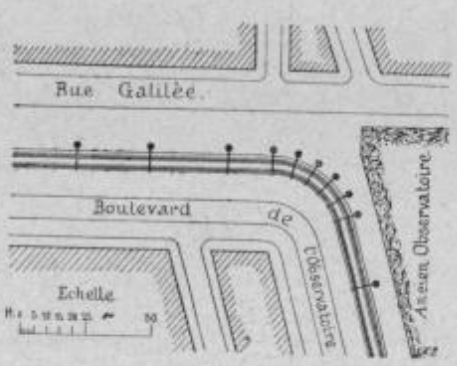


Fig. 354.

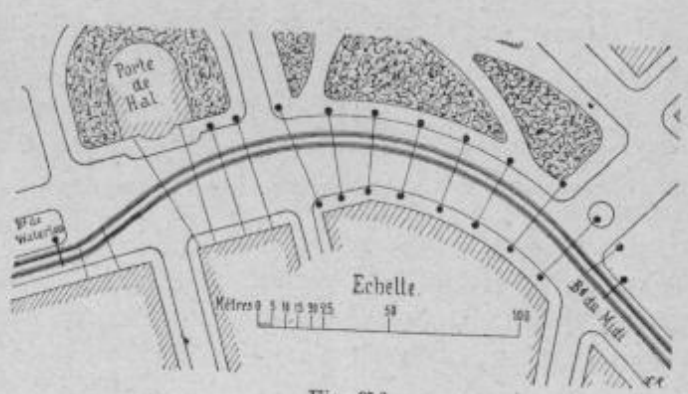


Fig. 356.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sions de ces poteaux, de leur poids approximatif et de l'effort horizontal applicable au sommet.

Des rosaces (fig. 352, VI), dont on voit la bague isolante en demi-coupe, écrouées sur boulons scellés dans les murs, servent en certaines places à fixer les fils transversaux et tendeurs.

Le retour du courant est assuré au moyen de connexions entre rails formées de deux fils de cuivre étamé de 8.25 millimètres de diamètre, maintenus par des coins en des trous forés dans l'âme des rails, procédé décrit au § B (fig. 302).

En outre, les files de rails d'une même voie et les quatre files en double voie sont réunies entre elles par des fils semblables, à des intervalles de 90 à 100 mètres environ.

La ligne aérienne est électriquement interrompue tous les 500 mètres en moyenne, la continuité mécanique se faisant sur des isolateurs au mica décrits au § A-3 (fig. 251).

En ces endroits, s'embranchent les reliements aux feeders. Ces conducteurs du système Siemens, formés d'une âme en cuivre sous double gaine de plomb et double ruban d'acier, sont enterrés à 60 centimètres, après avoir été déposés sur lit de sable et protégés contre la pioche, en cas de fouilles ultérieures, par une simple rangée de briques. Leurs sections en cuivre varient entre 316 et 55 millimètres carrés.

Celui du Boulevard, sous des sections décroissantes de 316 à 85 millimètres carrés de cuivre, est tracé à part sur la figure 352, avec la dimension de l'âme en cuivre en millimètres carrés et la longueur des sections correspondantes. Celui d'Uccle le suit jusqu'à l'avenue Louise, d'où il est conduit chaussée de Charleroi et avenue Brugmann, en deux sections : l'une de 175 millimètres carrés sur 2,625 mètres, l'autre de 55 millimètres carrés sur 1,550 mètres.

Un parafoudre, protégeant chaque section de fil, est établi au sommet du poteau commençant la section, ainsi que deux coupe-circuits à hauteur accessible.

Quant au moyen de protection contre la chute des fils téléphoniques, il consiste en tringles de bois fixées sur le fil de trolley. Nous en avons décrit le mode d'attache, les avantages et les inconvénients au § A-4.

Usine. — α. — La figure 357 donne une vue d'ensemble de la station centrale (1).

Elle comporte : trois chaudières tubulaires Balcock-Wilcox de 235 mètres carrés de surface de chauffe, timbrées à 8 atmosphères, raccordées par prudence

(1) Situation en 1896. — Pour desservir les lignes à conducteurs sous sol et les autres sections à fil aérien à inaugurer en 1897, il sera ajouté deux dynamos de 400 kilowatts, deux autres de 225 kilowatts, attaquées chacune directement par une machine à vapeur tournant à 100 tours, et alimentées par un supplément de deux chaudières de 235 mètres carrés. (Voir la description de ces grandes dynamos, en C-1, Boston.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à une double conduite de vapeur, et desservies par des wagonnets amenés sur des voies à l'écartement de 50 centimètres;

Cinq machines à vapeur Mac Intosh et Seymour, compound tandem sans condensation, dont les cylindres ont des diamètres respectifs de 330 et 483 millimètres, avec une course commune de 381 millimètres, tournant à 235 tours, de 180 H. P. indiqués et 150 effectifs, et envoyant leur vapeur à l'air libre à travers un réchauffeur;

Cinq dynamos tétrapolaires attaquées par courroie et débitant 100 kilowatts à 600 tours.

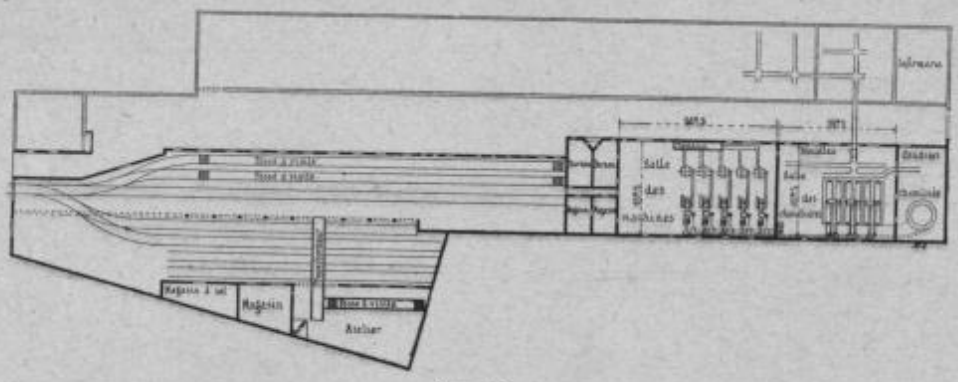


Fig. 357.

β. — Ayant éliminé de notre programme la description des machines à vapeur, nous nous bornerons à énoncer les traits qui distinguent le type *Mac Intosh et Seymour* fréquemment adopté dans les installations Thomson-Houston : les volants sont trapus et très lourds, 1,600 kilogrammes chacun; la détente du petit cylindre est variable et commandée par un régulateur spécial à force centrifuge et à ressort, dont l'originalité consiste en ce que toutes ses articulations, dont plusieurs sont fixées à l'un des volants, se meuvent dans des plans parallèles à celui de ce volant, l'un des poids déplaçant dans une coulisse que l'autre poids entraîne, la tête de bielle d'excentrique, modifiant ainsi l'excentricité et l'angle d'avance à l'admission; enfin, les tiroirs de distribution de l'un et l'autre cylindre sont tubulaires et équilibrés.

D'après les conditions de marche imposées, la vitesse ne peut varier que de 2 p. c. au plus, quand la puissance varie de 0 à 150 H. P., et de 5 p. c. pour la surcharge de 150 à 200 H. P.

Ces machines attaquent chacune une dynamo par courroie, à une distance entre axes des poulies de $5^{m}39$, la poulie volant mesurant $1^{m}80$ de diamètre, celle de la dynamo 69 centimètres, la courroie 35 centimètres de large sur 11 millimètres d'épaisseur.

γ. — Les dispositifs adoptés dans les *dynamos*, leurs *connexions* entre elles et avec la ligne, méritent une attention spéciale; ils se retrouvent avec de minimes variantes, et toutes proportions gardées, dans un grand nombre d'installations.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Considérons d'abord l'induit. C'est un tambour sur lequel se trouvent adaptées en génératrices deux couches de barres reliées entre elles d'une façon spéciale.

Pour définir l'enroulement, nous avons préparé le diagramme (fig. 358) en prenant naturellement un nombre très restreint de sections, répondant toutefois à la formule $4n + 1$, soit $2\ (4n + 1)$ barres, puisqu'il y en a deux couches. Nous avons pris par simplification $n = 3$, ce qui donne deux couches de 13 barres ou 26, les génératrices externes en traits forts, les internes en traits fins. Sur les bases du cylindre, deux jeux de connexions en forme d'ailes. La figure représente en traits forts les ailes qui sont réunies en leur angle à une touche du collecteur, en traits fins, celles de l'autre base. On voit qu'une aile 1', 1, 4'' réunit entre elles et au collecteur deux barres passant dans des régions polaires de noms contraires.

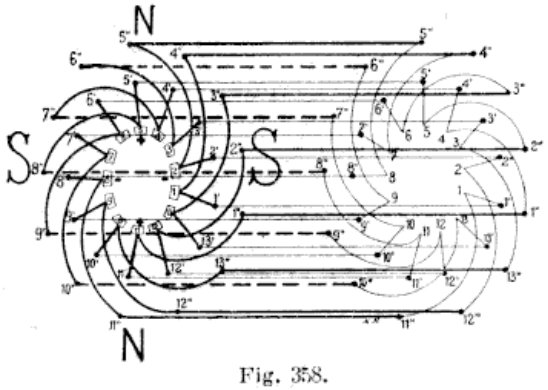


Fig. 358.

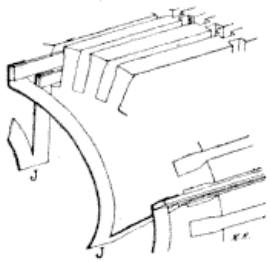


Fig. 359.

Dans un système tétrapolaire bien symétrique, la corrélation nécessaire entre le sens du courant et celui du flux magnétique s'obtiendrait difficilement moyennant le nombre restreint de sections que montre la figure 358, réduit naturellement pour la clarté du diagramme. En réalité, dans l'induit de la dynamo en question $n = 36$, il y a donc 145 fois deux barres, dont 145 de 63 centimètres de longueur et 145 de 53 centimètres, la section commune étant 10×3 millimètres.

Quant à la construction mécanique, elle est réalisée selon le procédé adopté pour les moteurs, c'est-à-dire un empilage de disques de tôle en fer homogène ou acier extra-doux, d'une épaisseur de $^4/_{10}$ millimètre environ, préalablement matricés de façon à présenter 145 encoches, qui constitueront autant de rainures radiales (fig. 359) à queue d'aronde et isolés l'un de l'autre au vernis. Six boulons maintiennent les parties de cette carcasse cylindrique, qui, en diamètre, mesure extérieurement 62 centimètres, intérieurement 30 centimètres et en largeur 42 centimètres.

La masse est aérée moyennant des cheminées c (fig. 359) ménagées par suppression d'un certain nombre de tôles remplacées par des entretoises et réparties suivant quatre cercles d'un centimètre de largeur également espacés. Il va de soi que les barres sont dûment isolées par des couches de papier et de mica qui,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

resserrées au sommet de la rainure, s'opposent à leur déplacement, office que dans d'autres dynamos remplit une baguette de bois.

La figure montre les barres nues; leur assemblage par soudure à l'aile est renforcé au moyen d'un petit cavalier qui pince les deux pièces. A l'angle, en J, se soude, sur un prolongement, le court barreau foré de deux trous, qui se visse à l'une des 145 touches du collecteur, lequel a 31 centimètres de diamètre. Chacun des quatre jeux de balais est formé de deux charbons de 55 × 15 millimètres maintenus dans les mortaises fixées à la couronne mobile et poussés par le doigt de la clichette à ressort en chien de fusil; ce doigt est revêtu d'un pli en cuivre rouge glissant à frottement doux dans la mortaise.

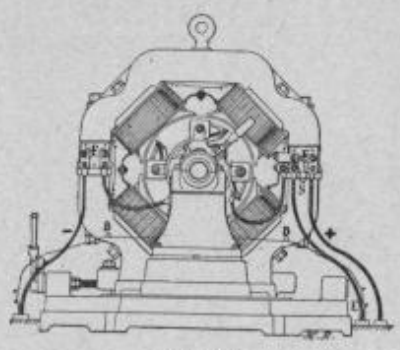


Fig. 360.

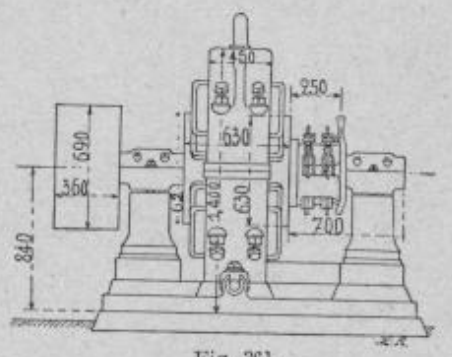


Fig. 361.

On voit sur les figures 360 et 361 que les pièces polaires sont boulonnées au bâti polygonal formé de deux parties assemblées par de longs tirants. Le graissage des paliers se fait par anneaux libres enfilés sur les fusées; un tube indicateur donne le niveau d'huile.

On voit de côté le levier du racagnac qui déplace l'une des vis réglant la distance entre la dynamo et l'arbre de la machine, 5m35 à 5m40, selon la tension de la courroie.

Poids des éléments :

Carcasse inférieure	1,550	kilogrammes.
— supérieure	1,110	—
Paliers et supports	325	—
Pièces polaires	690	—
Bobines des inducteurs	320	—
Induit	1,090	—
Poulie	140	—
Divers	160	—
Total.	5,385	kilogrammes.

L'excitation est dite hyper-compound ou étudiée pour compenser, selon débit, une perte de 10 p. c. sur la ligne avec un voltage variant entre 500 et 550 volts. Aux deux extrémités de l'excitation en série s'attache un shunt S (fig. 360) formé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'un simple ruban de maillechort recouvert d'un tissu isolant, et dont on règle la longueur de façon à donner à l'induction série une valeur relative déterminée, tout en corrigeant le défaut d'identité de fabrication des dynamos, en vue de leur travail en parallèle.

F, F sont des sections fusibles; B, B sont des bornes auxquelles s'attachent les extrémités du circuit d'excitation dérivé avant d'aller au rhéostat; E est le câble reliant le pôle + à la barre d'équilibre *avant* le circuit d'excitation série.

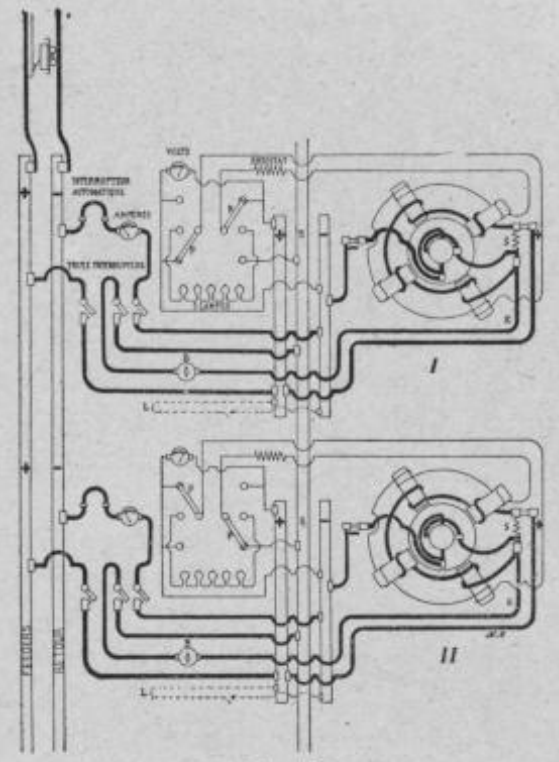


Fig. 362.

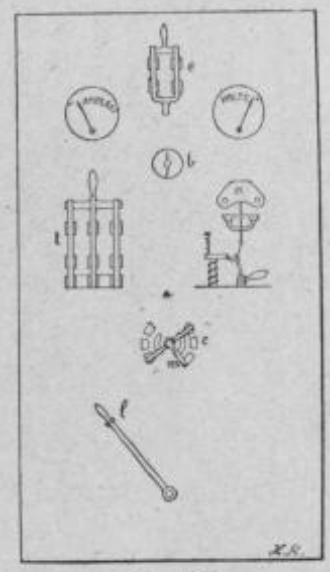


Fig. 363.

δ. — En passant au tableau de distribution, dont nous donnons le schéma dans la figure 362, on voit que les trois bouts des gros câbles commencent par s'attacher à trois barres polaires +, —, E, auxquelles se relieront tous les autres circuits; la barre E est celle d'équilibre.

On aura une idée de la fonction des appareils en suivant la marche des courants dans deux manœuvres distinctes des appareils.

Sur la figure 362, les connexions de la dynamo I sont disposées pour l'auto-excitation, les connexions de la dynamo II pour l'excitation par emprunt *momentané* de courant à la première, par l'intermédiaire de la barre d'équilibre.

A ces fins, on change la position de la manette *m* du commutateur d'excitation dont l'aspect extérieur apparaît au tableau (fig. 363) et sur la figure spéciale 364. Quant à la troisième position intermédiaire de cette manette, elle met en dérivation le circuit de cinq lampes (550 volts) agissant comme résistance temporaire destinée à modérer les effets des extra-courants. On voit sur la figure 364 que les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plots du commutateur d'excitation sont séparés par un intervalle plus petit que la largeur des ponts p mus par la manette.

Grâce à ces dispositions et manœuvres, on engendre, dans les dynamos successivement mises en ligne, des flux magnétiques de sens convenable; elles peuvent alors être raccordées par la fermeture des interrupteurs aux circuits extérieurs communs dénommés par les Américains *bus bars*.

Quant au circuit d'éclairage, il est relié directement aux barres polaires de chacune des dynamos par des branches L (fig. 362), B est une boussole de direction de courant.

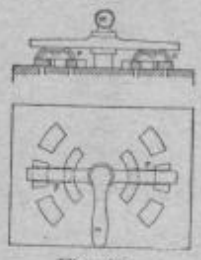


Fig. 364.

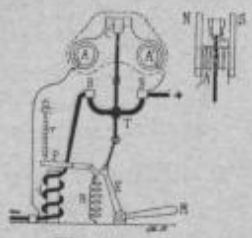


Fig. 365.

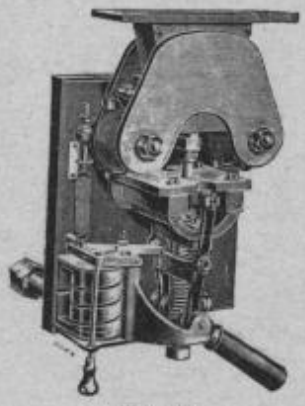


Fig. 366.

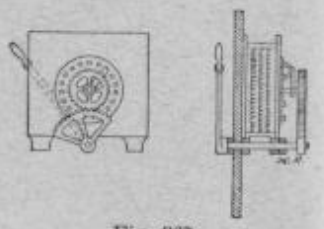


Fig. 367.

Dans l'interrupteur automatique est appliqué le principe de l'extinction de l'arc par l'aimant, suivant la méthode du professeur Elihu Thomson. Notre dessin schématique (fig. 365) et la vue (fig. 366) (1) montrent l'équipage de bielles qui porte le pont T, et mis en place au moyen de la poignée M; ce pont appuyé contre les bornes principales B, est maintenu dans cette position par la palette à talon P contre l'action du fort ressort R.

En même temps se soulève solidaire de cet équipage une tige portant le bloc C, glissant entre des contacts élastiques par où passe une dérivation du courant principal, laquelle excite les électro-aimants A, A' reliés entre eux par les épanouissements polaires N et S.

Ainsi, quand la palette attirée par l'électro I lâche l'équipage articulé, le pont quitte ses bornes avant que le bloc C ouvre le courant; un arc formé en ce moment entre les plots à ressort serait soufflé. Le ressort r règle la réaction de la palette P en raison des ampères voulus; un bouton à tige visible sur la figure 366 permet de la mettre en place.

La figure 367 donne une idée d'ensemble du rhéostat de la dérivation qui, sauf le levier de manœuvre, est situé entièrement derrière le tableau et attaqué par un secteur denté.

A chaque dynamo répond un tableau réunissant les divers appareils dont nous

(1) Cette vue est empruntée à un article de M. Dawson dans *Engineering* du 6 septembre 1895.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

venons d'indiquer la fonction. La figure 363 en montre l'aspect : *l*, levier du rhéostat; *c*, commutateur d'excitation manœuvré par la manette *m*; *t*, triple interrupteur; *a*, interrupteur automatique; *b*, boussole de direction; *e*, interrupteur du circuit d'éclairage.

ε. — Dans l'atelier de réparation se trouvent une forge, un tour, une foreuse, une raboteuse, une meule, le tout mû par un petit moteur électrique de $3^1/_2$ H. P., muni d'un interrupteur automatique très simple combiné par M. l'ingénieur Pedriali : la palette de l'électro-aimant, laquelle au moyen d'une languette ferme en même temps le courant peu intense exigé, n'est attirée que par le passage du circuit d'excitation du moteur dans cet électro-aimant d'interruption; elle tombe donc dès qu'on coupe l'excitation au rhéostat.

Puisque nous citons le chef du service électrique, signalons ses exigences toutes spéciales quant aux soins méticuleux réclamés du personnel de l'usine, dans la conduite et l'entretien de tous les engins, en vue de leur marche régulière et de l'économie dans les consommations diverses.

ζ. — Le personnel de l'usine comporte : pour la production de la force motrice, un chef machiniste, deux machinistes se partageant la durée du service des machines, deux chauffeurs, dont l'un de jour et l'autre de nuit, deux manœuvres; pour l'entretien et la visite, un chef d'atelier, un forgeron, un électricien bobineur, un aide, six ajusteurs-visiteurs à services échelonnés, dont l'un au terminus d'Uccle, un homme pour services divers.

Voitures. — Le matériel électrique roulant comprend 26 voitures motrices fermées, d'une contenance de 16 voyageurs assis et 16 debout, et une motrice ouverte à 50 places. Les voitures remorquées sont empruntées au parc général du matériel de la compagnie.

Chaque voiture-motrice est munie de deux moteurs Thomson-Houston. La plupart des moteurs sont du type W. P. 15 H. P. Sous trois voitures fermées et sous la voiture ouverte fonctionnent des moteurs G. E. 800 de 25 H. P.

Le réglage et la modération de la marche s'obtiennent au moyen de l'appareil de la *General Electric Company*, connu sous le nom de « Série K Controller ». Il est à gauche du conducteur.

Moteurs et *controller* ont été dûment décrits au chapitre I-§ A. Le parafoudre est du système Thomson-Houston à souffleur magnétique.

Les voitures sont éclairées par cinq lampes à incandescence. Les disques-signaux sont éclairés au pétrole.

Un croquis du trolley et de sa base figure au § C-1 (fig. 322).

Dans la transformation du matériel à chevaux en matériel électrique, on a gardé presque intactes la caisse et les plates-formes. Les trucks seuls sont entièrement nouveaux et construits en Belgique. Nous donnons dans la figure 368 une vue d'ensemble du truck en élévation et en plan; dans la figure 369, le détail du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

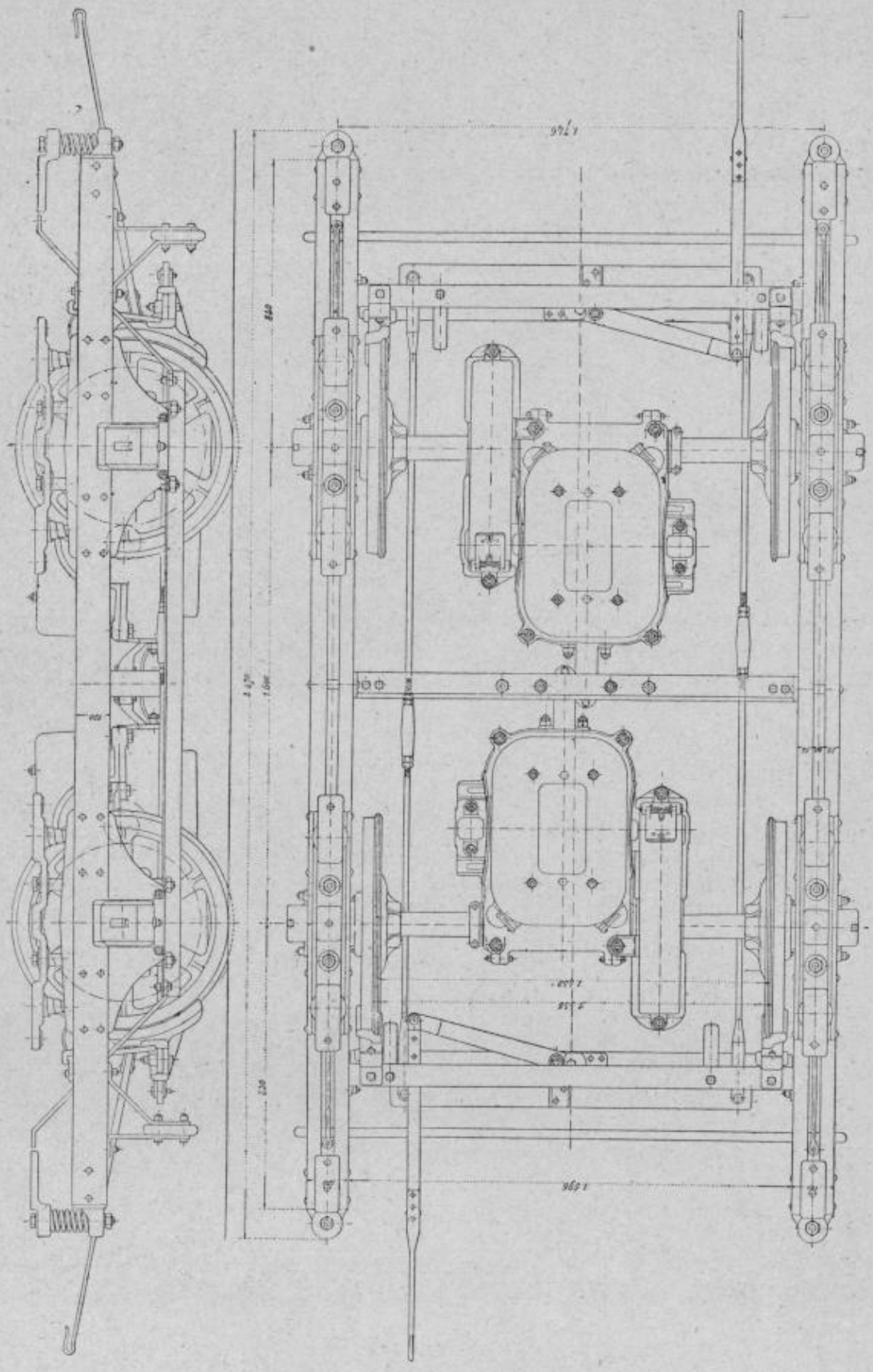


Fig. 363.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

longeron, des entretoises et de la traverse, et dans la figure 370, une coupe verticale, à l'échelle, par la boîte à graisse.

Afin de faciliter la manœuvre du frein à main, la manivelle qui est à droite du conducteur, au lieu d'être calée sur l'axe vertical de la poulie, y est adaptée par l'intermédiaire d'un mécanisme du genre racagnac. Une petite tige à manette à côté de la manivelle de frein agit au besoin sur les sablières. Enfin, une cloche à pédale est logée sous le plancher de la plate-forme.

Voici le poids d'une voiture motrice et celui d'une voiture remorquée :

Motrice, truck (y compris deux paires roues 300 × 2)	2,150	kilogrammes.
Moteurs et accessoires	1,900	—
Trolley, controllers et divers	300	—
Caisse renforcée par des sous-longerons	3,100	—
Total	7,450	kilogrammes.
Remorquée	2,000	—
Train vide	9,450	kilogrammes.
Voyageurs et personnel	4,400	—
Train complet	13,850	kilogrammes.

La voiture motrice ouverte à 50 places, de construction plus récente, est représentée en vue d'ensemble par la figure 371, son truck par le plan coté, figure 372.

Cette voiture, qui est mue par des électro-moteurs G. E. 800, est parfaitement réussie. Son roulement est d'une douceur remarquable, sans roulis ni tangage :

Poids : Caisse	3,100	kilogrammes.
— Truck et roues	2,200	—
— Moteurs et appareillage	2,000	—
Total à vide	7,300	kilogrammes.

Coût d'établissement. — *Équipement électrique. — Boulevards circulaires et Place Stéphanie-Uccle :*

Matériel de l'usine : chaudières, machines, dynamos, fondations	355,625	francs.
Lignes aériennes, supports, connexions entre rails, montage	243,750	—
Feeders et raccords	108,750	—
Trucks, moteurs et équipement électrique à 20,000 fr. par voiture pour 26 voitures	520,000	—
	1,228,125	francs.

A cette somme s'ajoutent divers frais pour le montage des lampes électriques sur les voitures remorquées, 250 francs par voiture, pour la surveillance pendant l'installation, pour quelques terrassements et certains imprévus.

En outre, la réfection des voies renforcées a été portée dans le bilan, au compte

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

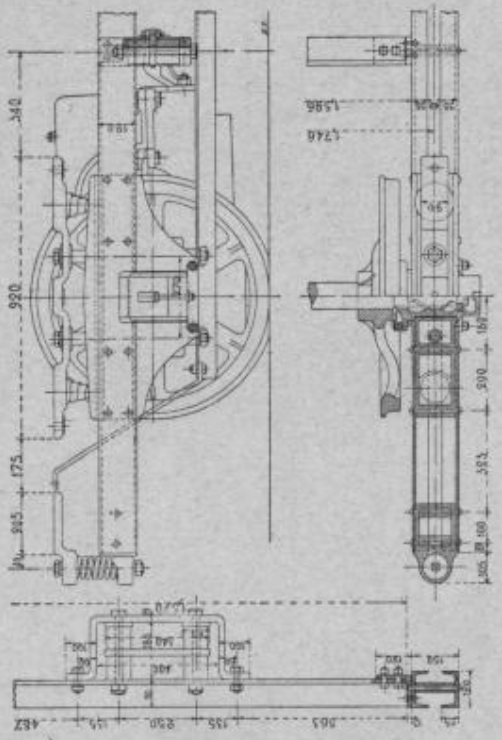


Fig. 369.

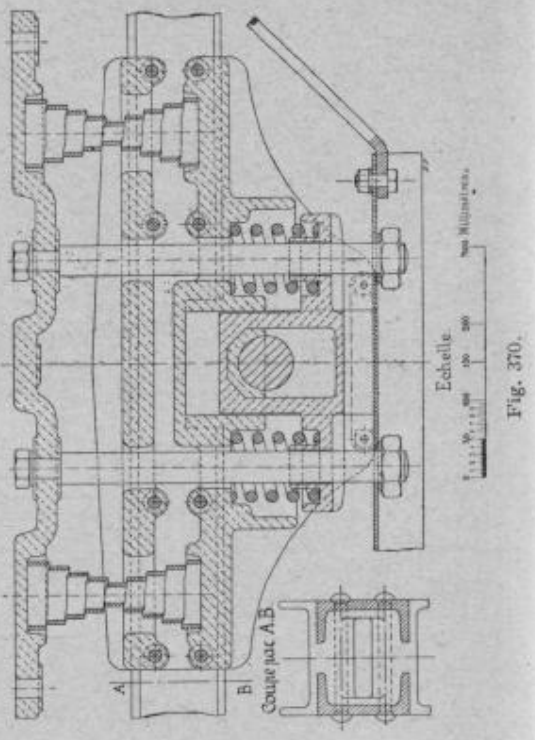


Fig. 370.

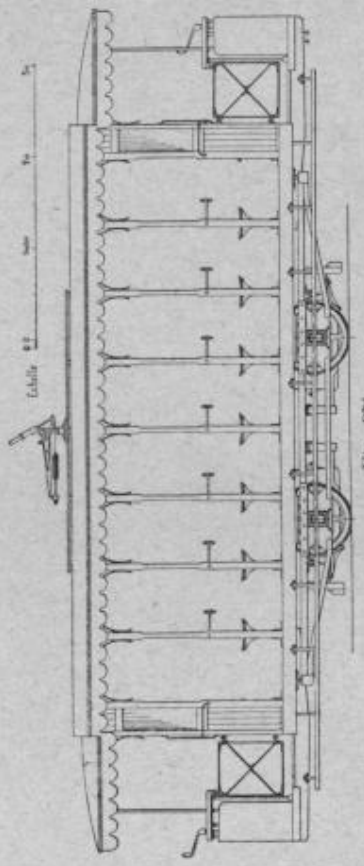


Fig. 371.

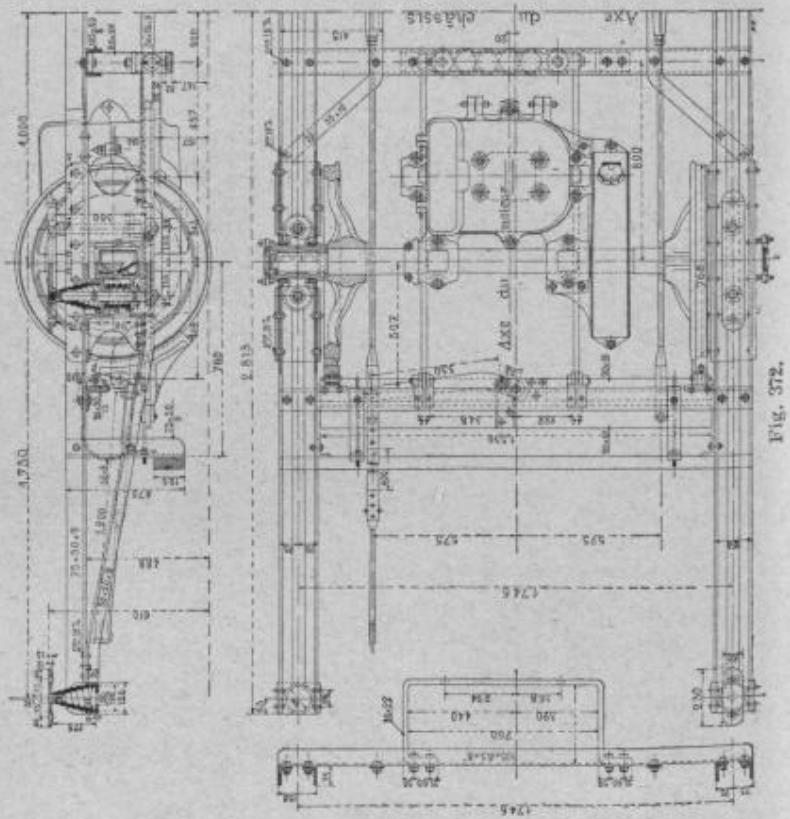


Fig. 372.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« voies électriques », pour une somme de 200,000 francs environ, déduction faite de la valeur des voies démolies.

Voici quelques données relatives aux prix unitaires de ces installations.

Le coût kilométrique de l'équipement électrique des lignes aériennes, y compris les supports et les connexions entre rails, mais abstraction faite des feeders, varie assez sensiblement selon la nature de l'installation. Ainsi il revient à 28,700 francs par kilomètre de ligne à double voie, soit 14,350 francs par kilomètre de voie simple, sur les boulevards circulaires, où les poteaux à potences dominent et où les courbes sont nombreuses. Sur la ligne d'Uccle, en alignement droit, où les fils sont appendus généralement à des fils transversaux fixés à des poteaux, il revient à 20,780 francs par kilomètre de ligne, dont les trois quarts en voie double, et à 11,530 francs par kilomètre de voie simple.

Dans ces chiffres, la part des *poteaux*, y compris potences et consoles avec attaches isolantes sur les bras des potences, compte, au boulevard, pour 14,700 francs par kilomètre de voie double, soit 7,350 francs par kilomètre de ligne, sans la pose; et ces prix tombent respectivement à 10,960 et 4,870 francs sur la ligne d'Uccle.

La part du fil de trolley est uniformément de 1,000 francs par kilomètre de voie simple. Il faut y ajouter les organes isolants de suspension, les ancrages, les tendeurs, etc.

Pour le montage des poteaux, des fils aériens et de ceux du retour, la part moyenne est de 2,570 francs par kilomètre de ligne. Le circuit de retour exige, en connections, 500 mètres de fil étamé, soit 530 francs, et 1,000 goujons en fonte malléable cuivrée, soit 106 francs, en tout 636 francs de fourniture, sans la main-d'œuvre de forage et d'ajustage, qui représente une somme égale au moins.

Exploitation. — Sauf la voiture à 50 places, les motrices en service remorquent généralement une voiture soit ouverte en été, soit fermée en hiver. Plusieurs parcours du matin et du soir se font sans remorquée en plein hiver.

On fait dans la journée un service de 4 $^1/_2$ minutes sur la ligne des boulevards circulaires et de 15 minutes sur celle d'Uccle. L'intensité des services diminue sur la fin de la soirée.

Le personnel employé sur un train de deux voitures comprend un conducteur et deux gardes sur tout le trajet, et, sur les fortes déclivités, un serre-frein.

C'est en partie en vue de réduire, en même temps que le poids mort total, le personnel d'exploitation, qu'a été étudiée la nouvelle voiture à 50 places.

Dépenses de traction. — Après neuf mois d'exploitation, la Société des Tramways bruxellois, édifiée sur les avantages du nouveau mode de traction, s'est rendue acquéreur des installations fixes et de l'équipement électrique des voitures. Préalablement elle avait affermé conditionnellement ce service à la Société constructeur, *Union Elektricitäts Gesellschaft*, suivant un tarif variable avec le parcours kilométrique total et comportant un chiffre applicable à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voiture-kilomètre motrice, un autre à la remorquée, un troisième aux droits de brevet. Ils s'échelonnaient entre 15 et 13.6 centimes pour les motrices, 3.75 et 3.4 pour les remorquées, selon l'importance du parcours, de 600,000 à 800,000 kilomètres.

Mais ces chiffres ne représentant que l'un des facteurs importants de la question financière compliquée de la durée relative des amortissements, ont perdu de leur intérêt depuis que nous possédons un prix de revient détaillé des frais de traction réels.

Le nombre de trains-kilomètres a été en 1895 :

Nombre de trains à deux voitures	816,017
— — à une voiture	57,285
Nombre total.	873,302

On ramène ce nombre à un chiffre fictif de trains-kilomètres à deux voitures, en admettant que les frais de traction d'une voiture motrice-kilomètre comportent les $^4/_5$ de ceux d'un train avec voiture remorquée, ou ce qui revient au même en réduisant dans cette proportion le nombre de trains à voiture unique. Le nombre de *trains-kilomètres réduits* est ainsi de 861,845, à deux voitures.

Dépenses de traction du 1er janvier au 31 décembre 1895.

	Moyenne par train-kilomètre à deux voitures. (Centimes.)	
Frais généraux.		
Traitement du gérant électricien, comptable et magasinier, assurances et divers.	...	1.204
Production de la force motrice.		
A. Salaires des contremaîtres, machinistes, chauffeurs et manœuvres.	1.592	
B. Consommations :		
Bois.	0.0015	
Charbon	3.81	
Eau de la ville	0.193	
Graissage, déchets de coton	0.788	
Épuration	0.039	
Pétrole.	0.02	
Éclairage (salle des machines et chaufferie).	0.031	
Divers	0.071	
C. Entretien, réparations et renouvellements des machines :		
Chaudières, machines, tuyauterie, pompes	0.326	
Dynamos. Tableau de distribution	0.048	
		6.9195
Entretien, réparations et renouvellements à la ligne.		
A. Salaires :		
Salaires des monteurs, chevaux et cochers	0.209	
A reporter.	0.209	8.1235

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Moyenne par train-kilomètre à deux voitures. (Centimes.)	
B. Consommations : Reports. . .	0.209	8.1235
Entretien du fil de trolley et des fils de supports	0.005	
— du matériel isolateur	0.031	
— des poteaux et rosaces	0.019	
— des feeders	0.014	
— des protections téléphoniques	0.090	
Divers	0.024	
	———	0.392
Entretien et réparations du matériel roulant.		
Traction proprement dite. — Moteurs, freins et appareils divers.		
A. Salaires pour l'entretien et la visite ordinaire des voitures :		
Visiteurs	1.43	
B. Consommations :		
Graissage, déchets de coton	0.236	
Pétrole	0.023	
Balais de moteurs	0.132	
Blocs de freins	0.315	
Lampes	0.05	
Divers	0.308	
Réparations et renouvellements pour le matériel roulant.		
Salaires du contremaître, des ajusteurs, mécaniciens et forgerons . . .	0.243	
C. Consommations :		
Essieux, roues et bandages	0.8	
Entretien des trucks, châssis, ressorts, mécanisme de freins, etc. (voiture motrice)	0.23	
Entretien des trucks, châssis, ressorts, mécanisme de freins, etc. (voiture remorquée)	0.024	
Entretien des moteurs : armature	0.58	
— — inducteur et carcasse	0.228	
— des transmissions	0.68	
— des appareils électriques de la voiture (câbles, régulateurs, coupe-circuit et éclairage)	0.133	
— des bras à roulettes	0.165	
	———	5.577
Atelier, outillage (entretien et renouvellement).		
A. Salaires	0.033	
B. Consommations :		
Pour l'outillage (station de force)	0.064	
— (ligne)	0.078	
— (matériel roulant)	0.15	
Éclairage (ateliers et remises)	0.01	
	———	0.235
Serre-freins	2.13	
Redevances. { Rosaces	0.002	
Redevances. { Brevets	2.62	
	———	4.752
		19.1795

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on sépare les dépenses de traction proprement dites, on trouve, par train-kilomètre à deux voitures :

Production de la force motrice	6.9195 centimes.
Entretien et réparations des moteurs, trucks, châssis, roues et freins	5.577 —
Entretien et renouvellement de l'outillage	0.235 —
	12.7315 centimes.

2. — *Ligne vicinale de la Petite-Espinette.* — Une ligne à vapeur, construite par la Société nationale des chemins de fer vicinaux, entre Bruxelles (place Rouppe) et le hameau du Vert-Chasseur, et précédemment exploitée par la traction à vapeur, a été étendue, lors de l'application de la traction électrique, jusqu'à la Petite-Espinette, lieu de promenade et de villégiature très fréquenté, surtout à la bonne saison.

Voie. — Elle est construite à l'écartement de 1 mètre sur rails Vignoles de 21.5 kilogrammes au mètre et posés sur traverses en bois. Des contre-rails, qui élèvent le poids de la voie à 30 kilogrammes, sont placés dans la portion intra-urbaine de la ligne. Le profil en long (fig. 373) présente des rampes continues assez raides.

Jusque fin 1895, la ligne est restée à simple voie, avec évitements, sur une grande partie du parcours; ce qui suit se rapporte donc à la construction et à la période d'exploitation correspondantes :

Longueur de la ligne	9,860 mètres.
Évitements et double voie	1,130 —
Raccordement à l'usine	1,150 —
Total actuel en voie simple. . .	12,140 mètres.

A cette ligne s'ajoute la longueur des voies du dépôt, en y comprenant un bout de ligne à deux fils, soit 460 mètres environ. Soit donc 11 kilomètres de ligne et 12.6 kilomètres de voie simple.

Après le doublement de toute la ligne, sauf celui du raccordement, il y aura 21 kilomètres de voie simple.

Tout ce qui est dit de la construction de la ligne aérienne et des connexions pour le retour du courant concernant les Tramways bruxellois, se reproduit presque textuellement à propos de la ligne vicinale de l'Espinette; à cette variante près que, hors ville, les poteaux sont en bois de sapin en partie munis de simples potences à consoles en fer T; ils mesurent 30 à 35 centimètres à la base, 20 à 25 centimètres au sommet et s'enfoncent de 1m70 dans la pierraille (1). La construction dominante est la suspension par fils transversaux

(1) Ces poteaux en bois seront remplacés par des tubes métalliques, lors de l'équipement de la double voie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en acier, aussi bien entre poteaux métalliques qu'entre poteaux de bois. Les potences simples ou doubles des poteaux en fer sont les mêmes que celles des Tramways bruxellois. (Voir fig. 352.)

Les feeders, aériens sur la plus longue partie du trajet, souterrains rue Théodore Verhaegen, suivent actuellement le chemin tracé sur la figure 374, et sont formés de trois, deux et un fil, chacun d'une section de 53 millimètres carrés de cuivre. Au-dessus de la voie unique entre l'usine et l'avenue du Midi, la ligne aérienne est doublée aux fins d'alimentation.

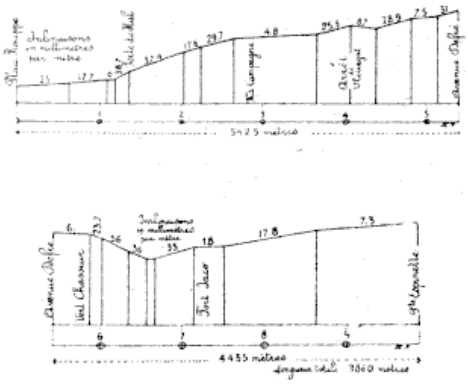


Fig. 373.

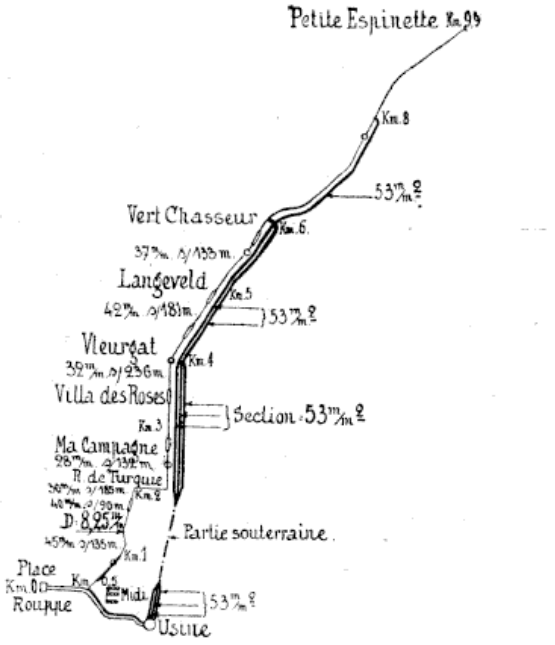


Fig. 374.

Usine. — Elle est distante de 1,100 mètres de la ligne. Comme espèce de matériel, nous y retrouvons les types de l'usine des Tramways bruxellois. Elle comprend actuellement : trois chaudières Babcock-Wilcox de 117 mètres carrés de surface de chauffe alimentées par des pompes à vapeur Duplex;

Trois machines à vapeur Mac Intosh et Seymour compound de 160 H. P. à condensation;

Trois dynamos de 100 kilowatts. Ces engins sont semblables à ceux des Tramways bruxellois, sauf la condensation, qui s'opère ici au moyen d'un condenseur à surface de 37 mètres carrés, formé d'une tuyauterie en cuivre rafraîchie par l'eau de Senne puisée à 220 mètres de distance.

Lorsque la voie sera doublée sur toute la ligne, le mouvement exigera l'installation d'une quatrième chaudière, d'une nouvelle machine de 250 H. P., attaquant directement une dynamo de 150 kilowatts. La machine sera du type Mac Intosh et Seymour, et la dynamo à 6 pôles; elles marcheront à 120 tours (1).

(1) Elles sont actuellement montées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les panneaux du tableau de distribution sont semblables à ceux des Tramways bruxellois.

Matériel roulant. — Dans la construction des voitures motrices, on s'est borné à approprier les voitures à voyageurs de la Société nationale en adaptant des caisses de 2e classe à un truck portant les moteurs. Cette transformation a passé par diverses phases. Les moteurs Thomson-Houston, primitivement du type W. P., ont été remplacés par des G. E. 800, au cours de l'exploitation.

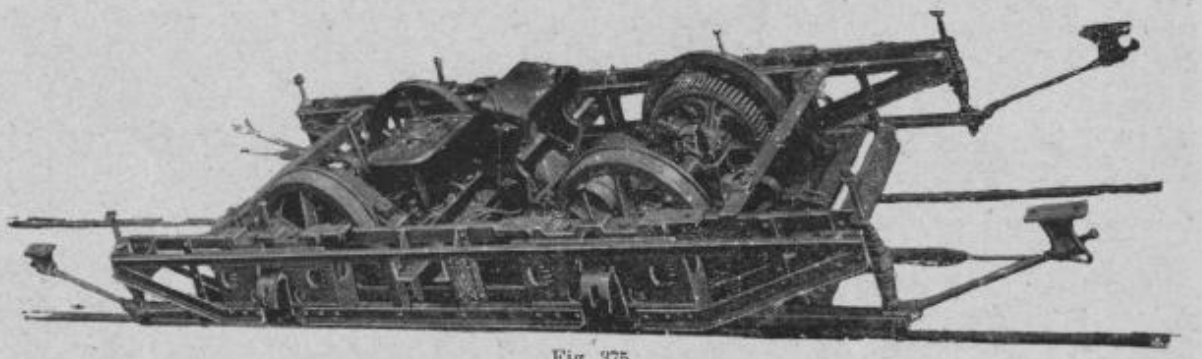


Fig. 375.

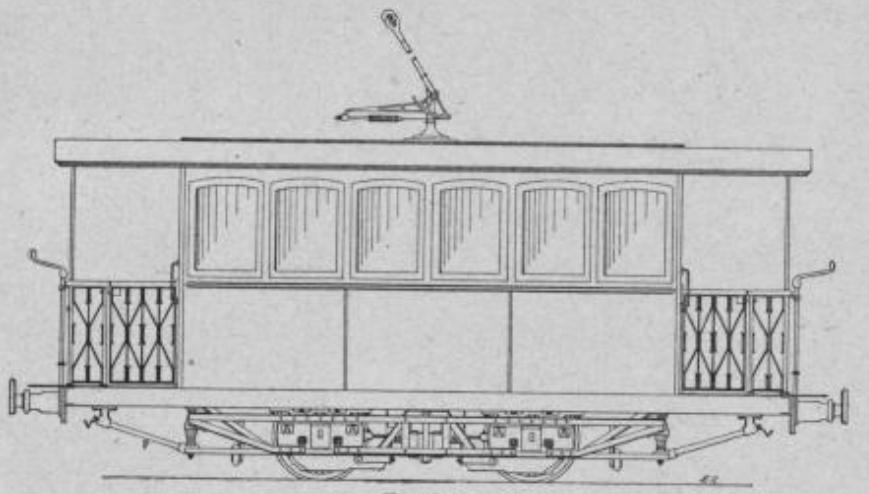


Fig. 376.

Dans les douze premières voitures, l'ensemble du truck a l'aspect représenté figure 375, que l'on retrouve dans la vue de face de la voiture (fig. 376). On voit qu'une première substructure fixée, en parties indépendantes, aux longerons en bois de la caisse, prend appui sur le truck à moteurs proprement dit, par l'intermédiaire de ressorts. Des vis V buttant contre les poussarts P combattent imparfaitement la tendance des longerons de caisse à fléchir. Ce défaut et d'autres points faibles nuisibles à la conservation de la rectitude du montage conduisirent à une autre disposition (fig. 377), dans laquelle les différentes pièces qui, de chaque côté, étaient fixées au longeron de caisse, se trouvent solidarisées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en un seul sous-longeron. Ce dernier est représenté à part, dans la figure 377 (entre l'élévation et la projection). Les deux sous-longerons entretoisés entre eux soutiennent, d'une part, les longerons de bois de la caisse en toute leur longueur, et de l'autre s'appuient, chacun par six jeux de ressorts, sur le truck à moteurs. Dans l'une et l'autre disposition, un dédoublement des ressorts extrêmes agit de haut en bas contre le tangage. Six voitures possédaient la nouvelle substructure en 1896.

Le fonctionnement de ces voitures motrices ne laisse rien à désirer, sauf la consommation d'énergie résultant de leur poids mort considérable. Le nombre des places offertes, non compris les trois agents, est, dans les motrices, de 24 assises, 11 debout, dont 4 seulement sur la plate-forme du motorman, soit 35, de 2e classe, et dans les remorquées, qui sont mixtes, 20 assises et 24 debout. Aux jours d'affluence, on tolère un surcroît notable de voyageurs.

Voici le poids d'un train :

	Kilogrammes.	
Motrice : Caisse	2,800	4,580
Sous-longerons, trucks à moteurs, freins	1,780	
Roues et essieux	820	
Moteurs et accessoires	1,900	
Trolley, controller, fils	300	
Motrice à vide	7,600	
Remorquée, tare	3,700	
Voyageurs et agents	5,800	
Total	17,100	

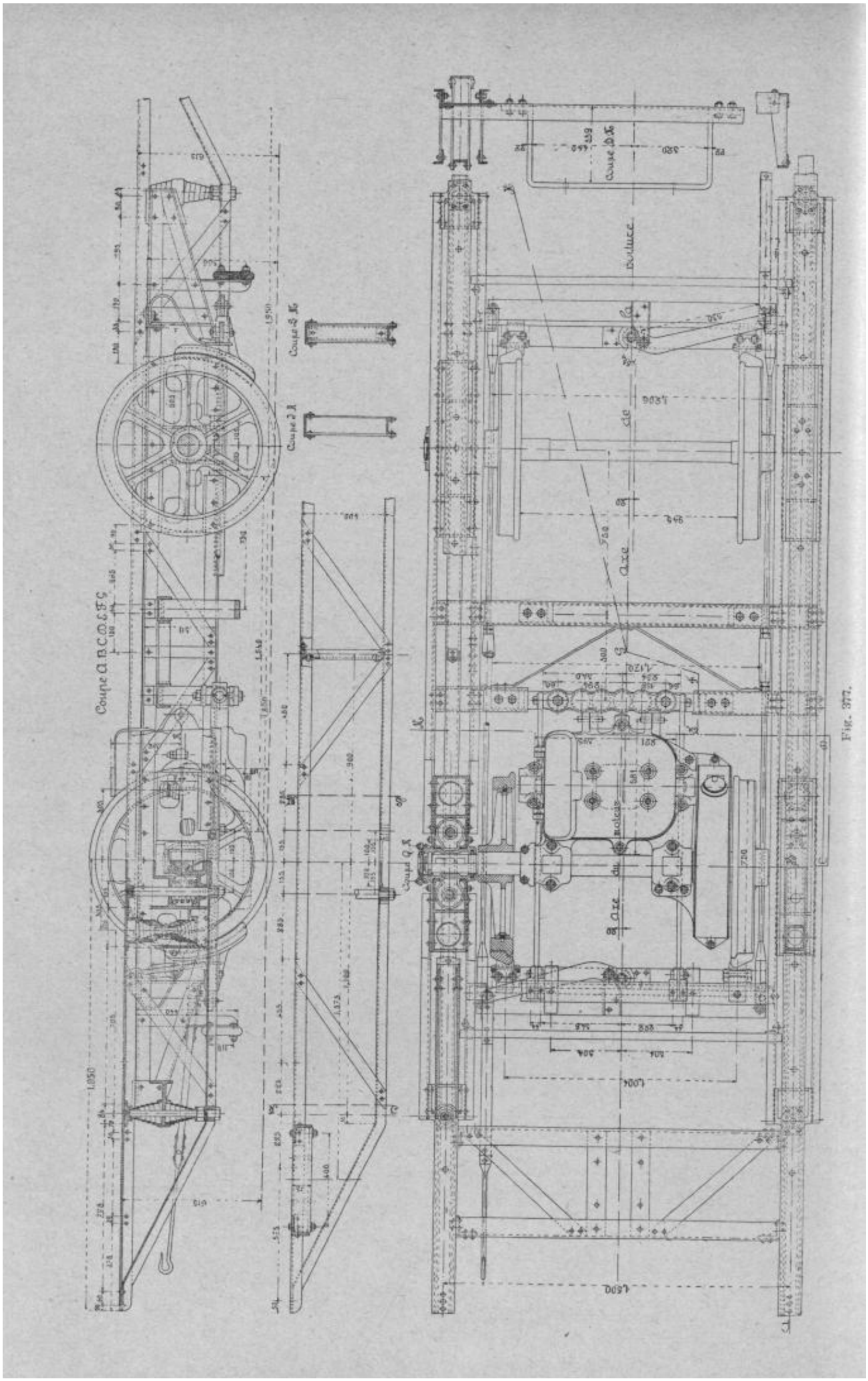
Ce qui montre combien la tare des deux voitures est relativement élevée, telle d'ailleurs que l'exigeaient, dans la remorque à vapeur, des trains d'une certaine longueur, sujets à des chocs plus ou moins violents, c'est cette autre répartition du poids à vide :

Motrice, caisse, double châssis et roues	5,400	kilogrammes.
— équipement électrique	2,200	—
Remorquée	3,700	—
Total à vide	11,300	kilogrammes.

L'éclairage est assuré dans chaque voiture par 5 lampes de 16 bougies.

Aux jours de grand froid, on chauffe électriquement au moyen de quatre chaufferettes par voiture, alimentées en série et placées de champ sous les banquettes : ce sont des espèces de rhéostats, fils de maillechort sur boudins de porcelaines, absorbant 3 ou 4 ampères par voiture. Sur l'efficacité de ce chauffage, les avis sont partagés. La voiture remorquée, à deux compartiments, conserve mieux la chaleur que l'autre, dont l'air chaud est plus facilement balayé. La durée de l'échauffement est assez longue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Coût d'établissement. — En présence des diverses phases par lesquelles a passé l'appropriation des voitures de la Société nationale, il est probable que le chiffre de 20,000 francs appliqué, aux termes du forfait, à la transformation (fig. 375 et 376) ne représente qu'approximativement le coût du truck actuel (fig. 377), les moteurs y compris, bien entendu. Les installations fixes ont été payées aux mêmes prix unitaires que celles des Tramways bruxellois, dont nous avons donné la valeur par postes généraux. Cependant, la présence de neuf évitements sur 10 kilomètres de voie fait ressortir le prix du kilomètre de *voie simple* de ligne aérienne à 13,600 francs, chiffre moyen entre celui du boulevard et celui de la ligne d'Uccle, relevés pour les Tramways bruxellois. Par contre, la condition de feeders aériens sur une grande partie du trajet affaisse notablement le montant du poste correspondant.

Voici les chiffres :

Ligne aérienne et retour.		170,375	francs.
Feeders	aériens	23,125	—
	souterrains	3,125	—
Usine		237,500	—

Le doublement de la ligne exigera, en outre, une chaudière, une machine, une dynamo de 150 kilowatts, le complément des feeders et les accessoires de ces installations. On se propose de mettre des feeders souterrains.

Exploitation. — Selon le principe observé par la Société nationale des chemins de fer vicinaux, l'exploitation est affermée à un entrepreneur pour une durée de quinze ans, dont dix ans restaient à courir lors de la mise en service du matériel électrique, qui est propriété de la Société nationale.

On effectue un service de 30 en 30 minutes de 6 heures à 9 h. 30 m. du matin, puis un service de 15 minutes jusque 9 heures du soir. Entre 9 heures du soir et 1 heure du matin (12 h. 50 m.), il n'y a que *trois* départs, et il ne reste que *cinq* retours, y compris ceux des trajets antérieurs. L'horaire est un peu plus serré le dimanche en été.

L'*Union Elektricitäts Gesellschaft* opère la traction, à la décharge du concessionnaire de l'exploitation, qui auparavant employait des locomotives à vapeur.

Le peu d'intensité du service aux heures extrêmes se greffe sur l'excès de tare des véhicules pour peser sur les frais de traction. L'avenir dira si le prix de 14 centimes par train-kilomètre, plus 2 centimes de redevance, soit 16 centimes, deviendra rémunérateur pour la compagnie exploitante, lorsque la voie sera doublée (1). Il est permis de le présumer, d'après le tableau ci-après qui montre l'influence énorme de l'augmentation du mouvement sur l'abaissement des dépenses par unité.

(1) Ce prix tombe à 9 + 2 ou 11 centimes, si le parcours annuel atteint un demi-million de kilomètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses de traction. Exercice 1895-96.

Parcours en trains-kilomètres 322,558

		Par train-kilomètre à deux voitures (17 tonnes). (Centimes.)
I. Frais généraux (traitement du gérant, assurances, éclairage, chauffage, fournitures de bureau et divers).	...	1.476
II. Production de l'énergie :		
A. Salaires (machinistes, chauffeurs)	2.78	
B. Consommations :		
a) Combustible (poids du charbon : 107,367 kilogrammes) . .	4.54	
b) Eau	0.12	
c) Graissage, déchets de coton, etc.	1 1	
	———	8.54
III. Entretien et visite ordinaire du matériel roulant :		
A. Salaires (nettoyage, graissage, etc.)	1.91	
B. Consommation (nettoyage, graissage, etc.)	0.27	
	———	2.18
IV. Entretien et réparation des machines :		
A. Salaires :		
a) Chaudières et machines à vapeur	0.66	
b) Dynamos et tableau de distribution	0.04	
B. Consommations :		
a) Chaudières et machines à vapeur	0.20	
b) Dynamos et tableau de distribution.	0.01	
C. Réparations faites hors de l'usine	0.03	
	———	0.94
V. Entretien et réparation du matériel roulant :		
A. Salaires	0.70	
B. Consommations	2.48	
C. Réparations faites hors de l'usine	0 29	
	———	3,47
VI. Entretien et réparation de la ligne :		
A. Salaires :		
a) Ligne aérienne	0.079	
b) Retour	0.002	
B. Consommations :		
a) Ligne aérienne	0.198	
b) Retour	0.018	
C. Traction des échelles roulantes.	0.026	
	———	0.323
VII. Entretien et réparation de l'outillage :		
A. Salaires	0.1	
B. Consommations	0.13	
C. Réparations faites hors de l'usine	0.05	
	———	0.28
Total. . .		17.203

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Réduits aux dépenses de traction proprement dites, ces chiffres deviennent :

Production de l'énergie :

Salaires et consommations pour la conduite des machines.	8.54	centimes.
Entretien et réparations des chaudières, machines et dynamos	0.94	—
Visite, graissage, entretien et réparation du matériel roulant (moteur, châssis, roues, freins)	5.65	—
Entretien et réparation de la ligne	0.323	—
Outillage	0.28	—
	15.733	centimes.

Lors de la période d'été, ces dépenses se réduisent à 14.4 centimes pour les mois où le mouvement est le plus actif, chiffre qu'il convient de rapprocher du poids de 17.1 tonnes. La consommation de combustible par train-kilomètre (charbon tout-venant ordinaire) de 3.837 kilogrammes, tombe en été à 2.974 kilogrammes; le nombre de kilowatts-heure par train-kilomètre moyennement de 1.055 descend, certains jours, à 0.868 par train de 17.1 tonnes.

Nous étant assez minutieusement étendu sur les installations bruxelloises du type « Thomson-Houston », nous nous croyons dispensé d'une description détaillée des autres tramways continentaux portant une marque de même origine. Au lieu donc de retomber à cet égard dans des redites fastidieuses, nous prendrons çà et là des lignes présentant quelque côté intéressant, soit dans l'aspect de l'installation aérienne ou le profil de la voie, soit à l'usine ou dans les voitures, soit dans les résultats d'exploitation.

Brême. — Nous avons dit que la compagnie américaine « Thomson-Houston » a débuté sur le continent, en 1890, par une ligne montée à l'occasion de l'exposition de Brême avant de créer la filiale *Union Elektricitäts Gesellschaft*, qui a entrepris l'installation des tramways électriques de la ville libre inaugurés en mai 1892.

Longueur de lignes, 11.7 kilomètres, dont 2.3 en voie double, soit 14 kilomètres de voie simple à l'écartement normal; ce sont, dans l'ensemble, des voies de niveau.

Un point diffère dans les installations aériennes de celles de Bruxelles : la protection contre la chute des fils téléphoniques est assurée en certains endroits au moyen du système des fils d'acier longitudinaux, trois fils en triangle, en d'autres endroits au moyen de baguettes en forme de chapeau au lieu de réglettes.

L'énergie est fournie par trois dynamos tétrapolaires de 100 kilowatts mues, au moyen de courroies, par trois machines Mac Intosh et Seymour de 180 H. P. indiqués et 150 H. P. effectifs. Il existait, au 1er janvier 1895, 28 voitures motrices à *un seul moteur* W. P. de 15 chevaux et 25 voitures à remorquer dont 10 ouvertes. Poids des motrices à vide, 4,200 kilogrammes dont 1,350 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes pour le châssis, 845 kilogrammes pour le moteur et 300 kilogrammes pour le reste de l'équipement; les motrices et les remorquées fermées offrent 16 places assises et 12 debout; les ouvertes, 40 places assises et 10 debout. Tare des remorquées ouvertes, 2,500 kilogrammes; des fermées, 2,300 kilogrammes.

Coût d'établissement. — Dans les bilans, la transformation des lignes à chevaux en lignes électriques, le renforcement des voies, l'équipement électrique du matériel, les extensions sont confondus. Voici des chiffres représentant les valeurs brutes primitives non amorties :

Valeur des installations.

Lignes et concessions	fr.	1,046,679 62
Chaudières et machines à vapeur		137,873 81
Machines électriques et appareils		322,577 26
Bâtiment pour l'usine de force		68,138 42
Appropriation des voies		257,615 70
Matériel de réserve		33,890 70
Voitures (sans équipement électrique)		150,134 00

Résultats d'exploitation.

	1893	1894
Trains-kilomètres	677,146	781,203
Voitures remorquées	59,948	77,013
Totaux	737,094	858,216

Frais d'exploitation.

	1893		1894	
	Dépenses totales. (Francs.)	*Par train-kilomètre.* (Centimes.)	*Dépenses totales.* (Francs.)	*Par train-kilomètre.* (Centimes.)
Entretien de la ligne	21,774	3.222	10,884	1.393
Nettoyage —	5,637	0.834	5,386	0.689
Entretien des immeubles	884	0.131	979	0.125
Salaires et appointements *A*	75,100	11.115	71,372	9.136
— — *B*	21,870	3.237	23,917	3.061
Frais généraux de traction	5,143	0.761	7,356	0.942
Charbon	25,790	3.817	30,232	3.870
Huile, etc.	4,913	0.727	4,579	0.586
Réparation de l'installation électrique	14,330	2.121	16,292	2.085
— des voitures	9,373	1.387	10,098	1.293
Écurie	11,790	1.745	5,362	0.686
Réparation des uniformes	613	0.091	636	0.081
Intérêts	34,126	5.050	47,061	6.024
Impôts	3,849	0.569	2,961	0.379
— sur billets	4,843	0.717	6,113	0.782
Assurance	4,121	0.610	4,353	0.557
	244,156	36.134	247,681	31 689

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il résulte de renseignements fournis par la Compagnie que la consommation moyenne de charbon par train-kilomètre a été de 1.71 kilogramme; ces trains, pour les $^{9}/_{10}$, ne comportent que la voiture motrice.

Les dépenses de traction électrique, y compris les frais de réparation, le traitement du chef de service technique, ainsi que les salaires du personnel des machines, se sont élevées à 9.35 centimes par kilomètre parcouru par la voiture motrice et à 2.50 centimes par kilomètre pour la voiture remorquée.

Remscheid. — Cette ligne fait le pendant à celle de Kiew pour la raideur des rampes. Il y a deux lignes d'une longueur totale de 7,630 mètres à simple voie avec évitement et dont les figures 378 et 379 donnent les profils en long.

La voie sur ballast à l'écartement de 1 mètre en rails Phœnix de 33.8 kilogrammes, pèse complète 74 kilogrammes au mètre courant.

Ici, le retour du courant est assuré par un fil central en cuivre étamé de 53 millimètres carrés de section relié aux rails de 10 en 10 mètres. Le fil aérien est généralement soutenu par des poteaux tubulaires en acier à trois tronçons ornementés de bagues et d'un socle en fonte et portant une potence à simple console. Il est surmonté de trois fils de garde en acier de 3.5 millimètres de diamètre sous les fils téléphoniques.

Pour la production de l'énergie, l'usine comporte quatre jeux complets d'unités, c'est-à-dire chaudières tubulaires Steinmuller de 121.2 mètres carrés de surface de chauffe à 8 atmosphères, machines Mac Intosh et Seymour, et dynamos de 100 kilowatts semblables à celles de Bruxelles.

Les voitures motrices au nombre de 13 sont munies de deux moteurs W. P. de 15 H. P., d'un frein ordinaire et d'un frein à patin. Elles pèsent 6 $^{1}/_{2}$ tonnes à vide, et chargées de 32 voyageurs, 8 tonnes.

Bilan au 31 décembre 1894.

Terrains	fr.	40,113 52
Immeubles		129,365 69
Machines		186,814 80
Voitures		234,991 74
Installation électrique de la ligne		146,149 97
Mobilier		3,848 19
Voies		321,762 50
Raccordement au chemin de fer		11,381 76
Eau et gaz		3,412 79
Ustensiles et outils		5,805 75
Approvisionnements		3,364 40
Installation d'éclairage		2,041 12
Divers		34,704 37
	Fr.	1,123,756 60

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exercice 1894.

Voitures-kilomètres.	357,354
Kilowatts-heures	282,629

Dépenses.	*Dépenses totales.* (Francs.)	*Par voiture kilomètre.* (Centimes.)
I. Direction.	10,582	2.9625
II. Exploitation.	23,926	6.6500
III. Traction. Frais courants de traction. Force motrice et conducteurs de voitures.	71,005	19.8650 (*)
IV. Entretien des voitures.	10,733	3 0000
V. — de la ligne	3,489	0.9750
VI. Nettoyage de la ligne	5,043	1.4000
VII. Entretien des bâtiments	191	0.0500
VIII. Éclairage et chauffage	1,988	0.5500
IX. Entretien du mobilier.	342	0.0875
X. Accidents et primes	1,215	0.3375
XI. Assurance contre l'incendie	453	0.1250
XII. Caisse de secours, etc.	2,254	0.6250
XIII. Divers	3,568	0.9875.
	134,789	37.6150

(*) Y compris le coût de la production de l'énergie dans l'usine électrique, coûtant 12.775

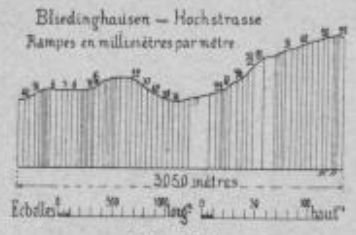


Fig. 378.

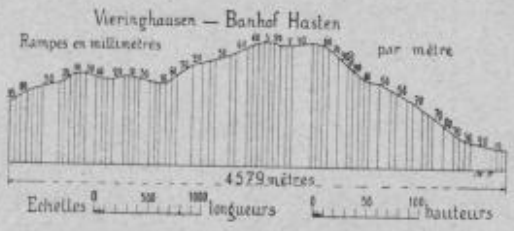


Fig. 379.

Hambourg. — Au point de vue de l'étendue du réseau et du nombre de voitures automotrices, les tramways électriques de Hambourg sont actuellement les plus importants de l'Europe.

Longueur exploitée.	83 kilomètres de ligne.
— à double voie	77 — —
Longueur exploitée. . .	160 kilomètres de voie simple.

De plus, 72 kilomètres de ligne sont en construction (1896).

Le réseau est relié par neuf systèmes d'artères, câbles sous plomb armés de rubans d'acier, à la station centrale d'éclairage de la ville. Cette usine a été montée par la maison Schuckert, de Nurenberg. Les courants de faible voltage sont transformés par des générateurs-moteurs à 500 volts; pour l'extension du réseau, des génératrices directes pour tramways seront installées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les lignes présentent peu d'inclinaisons notables. L'appareillage en est fait par la Société Thomson-Houston, U. E. G., de Berlin, et par la Société de Nurenberg, successeur de Schuckert, fournisseur des engins fixes de la station centrale.

Sur la fin de 1895, 120 voitures motrices étaient en service, munies d'un seul moteur de 20 chevaux, pesant 6,600 kilogrammes à vide et marchant à une vitesse variant entre 12 et 16 kilomètres, et contenant 20 voyageurs assis et 10 debout, plus 2 agents. Les remorquées sont à 28 places, dont 14 assises. Voici quelques résultats d'exploitation.

Le courant est fourni aux tramways à raison de 0.125 franc (10 pfennigs) par kilowatt-heure mesuré à l'usine; elles ont consommé en moyenne 450 kilowatts-heures par train-kilomètre. La composition de ces trains ressort des chiffres suivants :

Parcours pendant l'exercice 1894-95.

Voitures motrices	1,610,866 kilomètres.
— remorquées	150,486 —

Les frais de traction se sont chiffrés comme suit :

	Par train-kilomètre. (Centimes.)	*Par voiture motrice en comptant les remorquées pour un tiers.* (Centimes.)
Énergie électrique fournie.	5.86	5.68
Réparation et nettoyage des trucks et moteurs	1.89	1.83
Matières lubrifiantes pour moteurs	0.138	0.134
Inspection et entretien des lignes aériennes	0.62	0.60
Redevances à U. E. G.	1.25	1.21
	9.758	9.454

Ces installations s'accroissent rapidement; on cite, en 1896, le chiffre de 172 voitures motrices et 60 remorquées.

Bordeaux-Bouscat au Vigean. — Comme début, la filiale attitrée *Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston* a effectué, aux portes de Bordeaux, l'équipement d'une ligne construite à travers les communes de Bouscat-Bruges et Eysines, pour compte de la « Compagnie du tramway de Bordeaux-Bouscat au Vigean », et inaugurée le 17 décembre 1893.

La ligne, d'une longueur de 4,586 mètres avec 7 garages, 695 mètres, soit 5.3 kilomètres de voie simple, est à l'écartement d'un mètre, en rails Humbert au milieu de la chaussée, en rails Vignoles sur les accotements. C'est une voie de niveau ne présentant que quelques rampes de 15 millimètres et des courbes de grand rayon.

Les supports du fil de trolley sont partie en fils transversaux, partie en potences fixés à des poteaux généralement en bois, exceptionnellement en acier de forme tubulaire.

On trouve à l'usine *deux* jeux de chaudières Babcok-Wilcox, de machines

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mac Intosh et Seymour, de dynamos tétrapolaires de 100 kilowatts semblables à celles que nous avons décrites à propos des Tramways bruxellois, à quelques variantes près tenant à l'antériorité des installations de Bordeaux.

Ces moyens sont présentement trop puissants et permettront de desservir une extension projetée de la ligne.

Actuellement, il y a 8 voitures motrices munies chacune d'un moteur W. P. de 15 H. P. et pouvant contenir 40 personnes; il y a aussi 6 voitures d'attelage à 50 places.

Poids des automotrices :

Moteur et engrenages	950	kilogrammes.
Truck	1,500	—
Caisse fermée	2,000	—
Appareils et divers	600	—
	5,050	kilogrammes.

Diamètre des roues : 84 centimètres. Vitesse moyenne : 12 kilomètres.

Coût d'établissement. — Au 31 décembre 1894 :

Frais de constitution de la Société, étude, etc.		fr.	20,308 95
Voie — Matériel	fr. 90,127 25		
Voie — Construction	67,655 96		
			157,783 21
Ligne aérienne			29,697 90
Kiosques			476 95
Téléphone privé			2,842 80
Petit équipement			204 65
Bâtiments — Terrains			13,490 50
Bâtiments — Construction			75,498 35
Mobilier de bureau			976 35
Machines, chaudières et accessoires			109,350 05
Dynamos et accessoires			53,535 00
Huit voitures motrices :			
Caisses	52,668 96		
Trucks	15,314 50		
Moteurs et équipements	56,000 00		
			123,983 46
Six voitures d'attelage			21,742 30
Outillage			8,983 45
A ajouter :			
Matériel de rechange			13,535 35
Approvisionnement de matériel voie			7,935 55
— de fournitures			2,267 89
			642,612 71

Ce chiffre ne comprend pas le coût du prolongement en construction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exploitation. — Ordinairement, on fait un service de 10 minutes moyennant cinq voitures. Les dimanches, on accouple une partie des voitures d'attelage. Il s'ensuit que le chiffre de 248,833 trains-kilomètres, en 1894, représente au moins $^6/_7$ de parcours à une seule voiture, et le reste à deux voitures. Sur une ligne d'un profil aussi facile, la remorquée doit entrer pour une part assez faible en ligne de compte et les chiffres suivants, répartis par train-kilomètre, s'appliquent à très peu près au kilomètre-voiture motrice.

Dépenses.

	Dépenses totales. (Francs.)		*Par train-kilomètre.* (Centimes.)		
Administration.					
Frais généraux, fournitures de bureau, abonnement, droits, impôts sur obligations, contributions, intérêts	...	8,211 93	...	...	3.30
Exploitation.					
Entretien et réparation des immeubles, frais divers, nettoyage, ustensiles, assurances, droits de régie, téléphone, lampisterie, éclairage électrique, chauffage	...	15,057 41	...	...	6.05
Traction.					
Personnel (usine et wattmans)	23,163 90		9.31		
Charbon	16,647 37		6.69		
Huiles et chiffons	2,570 54		1.03		
			——	17.03	
Entretien et réparations.					
Matériel	6,939 08		2.79		
Voie ferrée	3,921 65		1.57		
Ligne aérienne	633 80		0.25		
	——	53,876 32	——	4.61	
				——	21.64
Perception.					
Personnel (receveurs et contrôle) et tickets .	...	21,899 85			8.80
		99,045 51			39.79
Intérêts des obligations	...	10,000 00			
		109,045 51			

Une autre ligne, *Bordeaux-Pessac*, doit s'ajouter incessamment au réseau électrique Bordeaux-Vigean. Elle aura 4.4 kilomètres et 6 voitures.

Lyon à Oullins. — Cette partie du réseau électrique de la *Compagnie des tramways et omnibus de Lyon* a été inaugurée le 17 avril 1894, presque à la même époque que la ligne des boulevards de Bruxelles et, en somme, construite sur le même patron, ce qui nous permet de renvoyer à la description de la seconde pour les détails des installations électriques.

La ligne de Lyon à Oullins, longue de 5.9 kilomètres, est à double voie, sauf sur 600 mètres, et présente donc un développement de 11.2 en voie simple. Elle est en quasi-palier sur 3,200 mètres, en rampe de 23 à 25 millimètres sur 2 kilomètres et présente un profil accidenté sur quelques centaines de mètres, avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des rampes courtes inclinées à 41 millimètres et 55 millimètres par mètre. Elle est du type Marsillon en rails de 16.4 kilogrammes et contre-rails de 12.2 kilogrammes sur traverses équarries de 0.20 × 0.09. A l'usine se trouvent :

Deux chaudières semi-tubulaires à bouilleurs, de 140 mètres carrés de surface de chauffe, timbrées à 8 kilogrammes;

Deux machines Pignet à condensation à un seul cylindre, 450 × 900, dont la puissance varie de 97 à 233 H. P. pour des variations d'admission de 6 à 25 p. c., la pression effective dans la boîte de vapeur étant 7.5 kilogrammes et la vitesse 100 tours, commandant, par courroie ;

2 dynamos tétrapolaires de 100 kilowatts à 625 tours.

Les voitures motrices, au nombre de 10, très grandes, 8m24 entre tampons, contiennent 42 personnes, dont 24 assises. Elles sont munies de deux moteurs G. E. 800 et du « controller » type K. Elles marchent à une vitesse moyenne de 15 kilomètres et remorquent parfois une voiture ordinaire de la Compagnie.

Exploitation. — La grande majorité des parcours se fait à une voiture : il n'y a, du reste, que cinq voitures d'attelage pour dix motrices. Le prix de revient ci joint s'applique donc à la voiture motrice-kilomètre :

PÉRIODE DU 1er MAI 1894 AU 30 AVRIL 1895.

Frais de traction.

Pour mémoire. *Par voit.-kilom.* Centimes.				Fr.	c.	Fr.	c.
		I. Part des frais généraux.					
8.64	...	II. Production de la force motrice :					
		A. Salaires.		44,322	75		
		B. Consommation :					
	3.93	*a*) Combustible . . .	20,150 95				
	0.195	*b*) Eau	1,000 00				
	1.55	*c*) Graissage, déchets de coton	7,962 60				
	...	*d*) Balais	...				
5.675				29,113	55		
1.65	...	*C.* Entretien, réparations et renouvellements.		8,439	05		
15.965		III. Conduction du courant :				81,875	35
		Entretien, réparations et renouvellements de la ligne aérienne, des feeders et des connexions du circuit de retour				7,721	80
		IV. Entretien et réparation du matériel roulant :					
	5.37	*a*) Moteurs et équipement électrique . . .		27,557	50		
	2.88	*b*) Caisses, châssis, roues		14,770	10		
8.25						42,327	60
1.22	...	V. Outillage d'atelier et divers				6,248	85
26,945						138,173	60

Kilomètres-voitures 512,813

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le Havre. — Au Havre, le réseau des lignes électriques, armé pour compte de la *Compagnie générale française de tramways*, comprend 14 kilomètres comportant 24 kilomètres de voie simple. Ce sont, pratiquement, des voies de niveau, sauf sur la ligne vers Saint-Adresse, où les inclinaisons atteignent 43 millimètres.

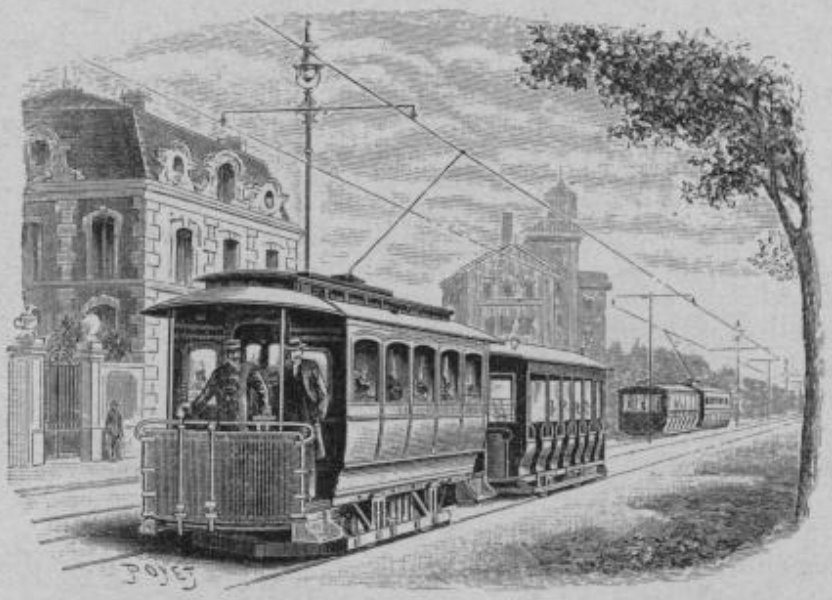


Fig. 380.

La vignette ci-dessus montre la disposition des supports du fil de trolley à double potence, au boulevard de Strasbourg, un poteau sur deux portant une lampe à arc. Cette combinaison du service de traction avec celui de l'éclairage public débute du reste à l'usine du dernier qui est aux mains de la *Société l'Énergie électrique*. On y a ajouté 3 dynamos Thomson-Houston de 200 kilowatts, chacune tournant à 425 tours et mues, au moyen de cordes en chanvre, par des machines Farcot, genre Corliss, tournant à 65 tours, du même type que celles qui desservent les alternateurs alimentant l'éclairage.

Les dynamos de traction de 200 kilowatts sont tétrapolaires et de même type que celles de 100 kilowatts décrites à l'endroit des Tramways bruxellois. Toutefois, elles occupent en surface $3^{m}36 \times 1^{m}80$, en hauteur $1^{m}97$ et pèsent 9 tonnes.

Le matériel roulant comprend 31 voitures à 1 moteur et 9 voitures à 2 moteurs, tous du type G. E. 800 avec « controller » type K.

Ce réseau est, paraît-il, destiné à recevoir une prochaine extension.

Telles sont, parmi les lignes installées par la *Société française Thomson-Houston*, celles qui nous ont paru présenter quelques particularités intéressantes, en donnant une idée exacte du coût et des frais d'exploitation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Bristol. — Fil latéral. — Signalons certains traits distinctifs de l'installation entreprise à Bristol par la *British Thomson Houston Company*, avec la collaboration de MM. Robert Blackwell et Philipp Dawson.

Il y a 6 kilomètres de ligne à double voie à l'écartement normal, construite en rails à ornière de 35 kilogrammes par mètre, présentant sur un tiers du trajet des inclinaisons variables ne dépassant pas 33 millimètres; à l'entrée du dépôt, une rampe de 66 millimètres, puis, sur le reste, deux courtes rampes de 58 et 40 millimètres.

Le fil de trolley de 8.25 millimètres de diamètre est supporté par des poteaux en acier en trois tronçons distincts assemblés à chaud, avec potences simples et doubles. De chaque côté de l'usine, située à mi-ligne, règne un feeder souterrain armé, d'une section en cuivre de 96 millimètres carrés. Il alimente le fil de trolley de 800 en 800 mètres. Pour le retour est employé le *Chicago bond* décrit au § B, à raison de deux par joint, sur 2,000 mètres de part et d'autre de l'usine, et d'un seul sur le reste de la longueur.

A l'usine, outre trois dynamos tétrapolaires de 100 kilowatts conduites au moyen de câbles en coton par des machines Willans, les machines à vapeur et chaudières et les accessoires, on trouve quatre moteurs électriques dont deux pour les pompes, un pour la distribution automatique du charbon aux chaudières, le quatrième à l'atelier, un moteur générateur chargeant une batterie d'accumulateurs, enfin, un tableau d'essais affecté aux épreuves requises par le *Board of Trade*.

La batterie composée de 55 éléments fournis par le « Chloride Electrical storage Syndicate », à 15 plaques par élément de 546 ampères-heures de capacité, est chargée par un moteur-générateur excité du côté du moteur en compound, et du côté du générateur par la dérivation du moteur. Le côté moteur est à 500-550 volts, le générateur à 105-135 volts 230 ampères. Cette batterie est principalement destinée à l'éclairage de l'usine et du dépôt; mais, grâce à un commutateur spécial, elle peut renvoyer son courant à la partie génératrice du moteur-générateur, dont le côté moteur engendre alors un courant à 500 volts susceptible de faire mouvoir tous les moteurs de la station centrale.

Pour se conformer aux prescriptions du *Board of Trade*, on a fait suivre la ligne, de part et d'autre de l'usine, d'un *fil témoin*, destiné à enregistrer la différence de potentiel entre l'extrémité du circuit de retour (ici la voie) et son point le plus proche de l'usine : on sait que, d'après ces prescriptions, la différence de potentiel entre ces deux points ne peut excéder 7 volts; elles exigent aussi que l'isolation des feeders et du fil de trolley soit telle que la déperdition de courant ne dépasse pas $^1/_{100}$ d'ampère par mille anglais de tramway, soit $^1/_{160}$ ampère par kilomètre.

Le fil témoin fait partie d'un câble isolé à trois brins, dont deux pour le téléphone de service, enterré le long du feeder aux endroits où les feeders poussent des branches vers le fil de trolley, soit tous les 800 mètres; les fils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

téléphoniques portent également des dérivations accrochées aux cornets *ad hoc*.

La figure 381 montre la disposition des appareils de mesure. En voici la légende :

LÉGENDE.

+ B. Barre collectrice positive reliée au fil de trolley ;
— B. Barre collectrice négative reliée au circuit de retour ;
C, C, C. Commutateurs à deux directions ;
A. Ampèremètre gradué de $^1/_{20}$ à 3 ampères, et de $^1/_2$ à 10 ampères ;
G. Connexion à trois bouchons vers les trois génératrices ;
R. Ampèremètre enregistreur de $\frac{1}{2}$ à 25 ampères ;
V. Voltmètre enregistreur de 2 à 10 volts ;
S. Coupe-circuit simple ;
l. Deux éléments Leclanché ;
L. Six éléments Leclanché ;
I. Indicateur de polarité ;
P. Papier sensibilisé pour contact ;
f, *f*. Fils témoins allant aux deux extrémités de la ligne.

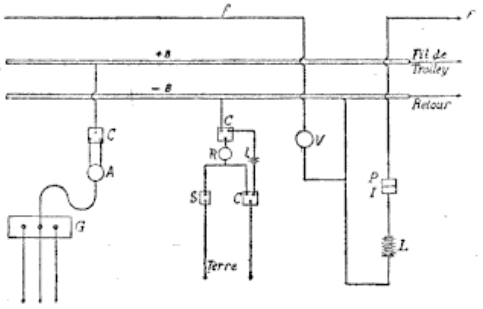


Fig. 381.

Le trolley spécial aux voitures à impériale de ce tramway est représenté figure 382. La base en est fixée non dans l'axe, mais sur l'un des côtés de la toiture. En J se trouve un joint à billes. Le dispositif et la forte inclinaison de la tige allongeant sa protection horizontale permettent de poser le fil de trolley un peu plus excentriquement que d'habitude, à 8 pieds, soit 2m40 de l'axe de la voie, d'après la revue *The Electrical Engineer*, du 11 octobre 1895, du côté où la base est fixée au bord de l'impériale.

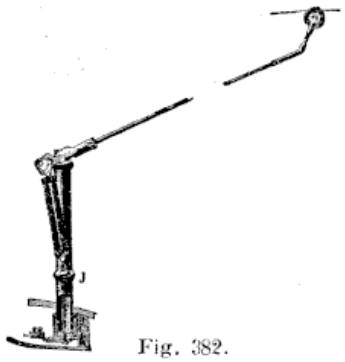


Fig. 382.

Ces voitures, au nombre de 12, contiennent 18 personnes à l'intérieur et 26 à l'impériale ; elles mesurent 7m30 entre extrémités, la caisse n'ayant que 3m64 de longueur. Deux moteurs G. E. 800 sont réglés moyennant des « controllers » type K, appareils décrits au chapitre I-A.

L'éclairage des voitures, indépendamment des cinq traditionnelles lampes de 16 bougies empruntant le courant au circuit du trolley, comporte, en outre,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quatre lampes de 32 bougies alimentées par deux batteries d'accumulateurs, chacune de 5 éléments; elles sont chargées à l'usine par séries de cinq couples de 5 éléments sur le circuit à faible tension du moteur générateur ou sur celui de la batterie fixe.

Dublin. — Pour terminer la série de renseignements sur les installations du type Thomson-Houston, nous dirons un mot des lignes du tramway de Haddington Road-Blackrock-Kingston et Dalkey, à Dublin, reconstruites pour être adaptées à la traction électrique.

Le point intéressant consiste dans les mesures spéciales prises pour fournir le courant à ces différentes sections du tramway, en raison de leur développement total, une quinzaine de kilométres, de l'emplacement avantageux sous certains rapports d'un dépôt existant pour en faire la station centrale, et surtout de cette exigence absolue du règlement du *Board of Trade* de maintenir à 7 volts le

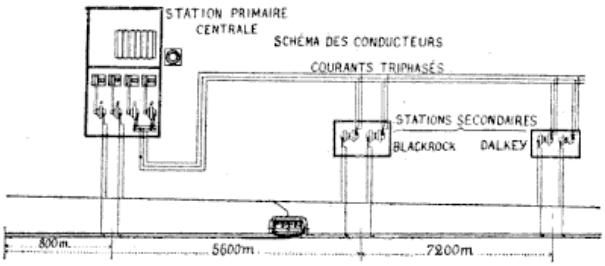


Fig. 383.

maximum de chute de potentiel entre le point du retour le plus éloigné et le plus rapproché de l'usine. Pour remplir les conditions requises, des stations secondaires ont été jugées préférables à une surcharge de conducteurs d'aller et retour.

Voici, d'après *Engineering* du 10 mai 1895, le dispositif adopté par M. H.-F. Parshall, ingénieur-conseil de la « General Electric Company ».

La station centrale (fig. 383) est à Balls Bridge et des stations secondaires à Blackrock et à Dalkey.

A la station centrale, deux générateurs ordinaires A, B 500 volts 100 kilowatts envoient directement le courant sur la ligne; C, D sont des alternateurs de 2,500 à 3,000 volts, 30 périodes, 120 kilowatts, lesquels envoient un courant triphasé aux stations de Blackrock et de Dalkey, où il est reçu dans deux moteurs synchrones de 60 kilowatts chacun, entraînant directement des générateurs de courant continus à 500 volts. L'excitation de ces moteurs est empruntée au courant de 500 volts; leur démarrage est opéré soit au moyen du courant triphasé, soit par la mise en mouvement de la dynamo à 500 volts.

Étant donné que les 20 voitures motrices de 50 places, à impériale, en remorquant un trailer, absorberaient par train-mille 1 $^1/_2$ unité du *Board of Trade*, soit 940 watts-heures, la perte de charge, au trolley, sera inférieure à 8 p. c.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En employant un poids égal de cuivre et une seule station, la perte serait de 30 p. c. La chute de potentiel dans le retour ne dépassera pas 2 volts.

Une installation de même type en construction à Rome pour un tramway de 1,800 mètres partant de la gare, emprunte sa force motrice à la fameuse usine hydraulique de Tivoli. Les courants alternatifs de haute tension sont transformés en courant continu de 500 volts. Une batterie d'accumulateurs Tudor, de même tension, emmagasine le courant pour trois heures de marche. Le service est assuré par 14 voitures à deux moteurs.

d. — *Installations du type Siemens et Halske.*

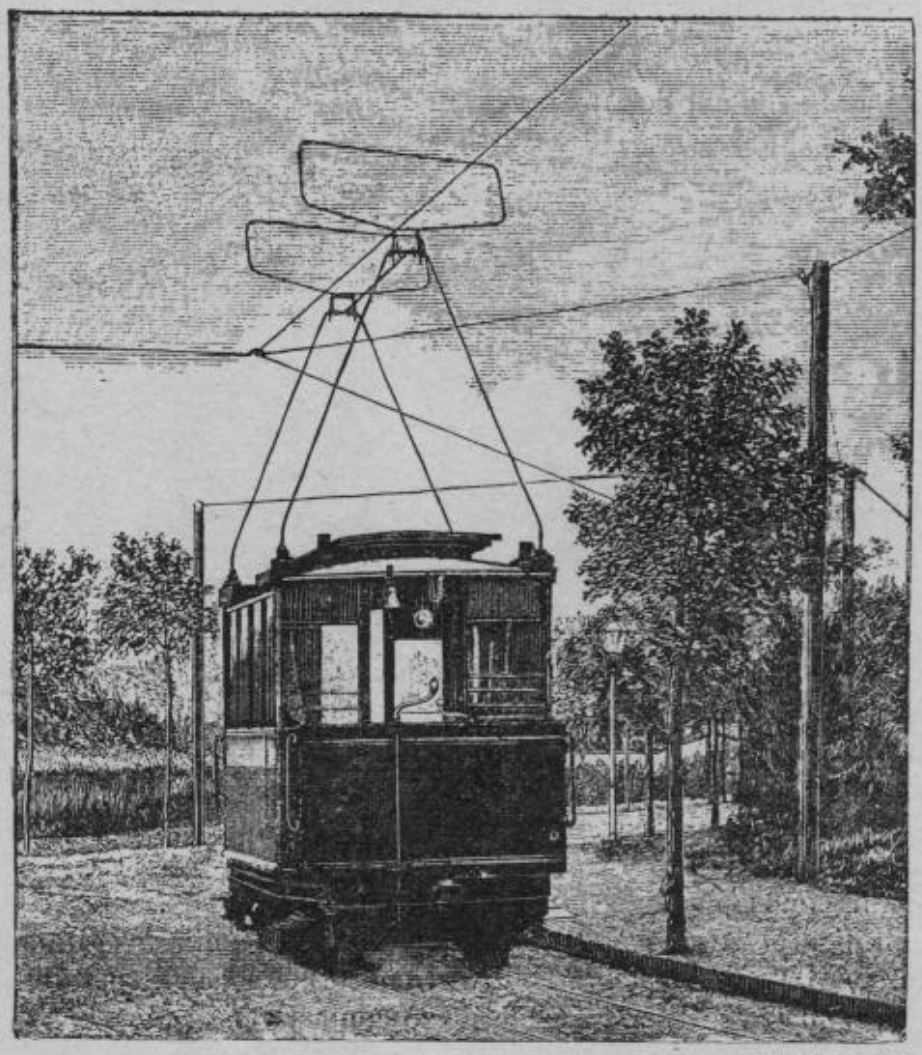


Fig. 384.

Prise de courant par tringle. — En 1890, un prolongement de la ligne primitive de *Lichterfelde*, près Berlin, à l'École des cadets (voir chap. II), se dirigeant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vers l'autre gare de même nom, fut équipé électriquement dans le système overhead.

α. — La figure 384 montre la première application du système de prise de courant inauguré par la maison Siemens et Halske et consistant en une ou deux tringles glissantes, au lieu d'une poulie. Le but essentiel du système est d'éviter les déraillements du trolley. Un autre avantage est de diminuer dans les courbes le nombre d'angles du fil de trolley.

β. — Pouvant occuper toute la largeur de la voiture, la tringle permet un certain désaxement de ce fil, même en ligne droite. Les liaisons et croisements ne nécessitent point d'appareil spécial, et l'on arrive, dans certains cas, à établir entre les voies une liaison avec aiguilles, sans la répéter dans la ligne aérienne : il suffit pour cela (fig. 385) de rapprocher les deux fils T et T' à une distance inférieure à la longueur de la tringle.

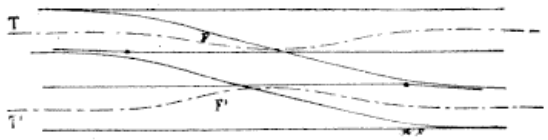


Fig. 385.

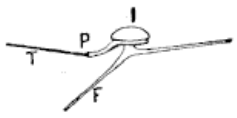


Fig. 386.

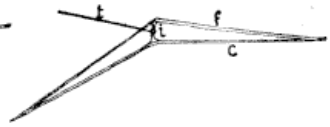


Fig. 387.

Fig. 388.

Fig. 389.

γ. — A côté de ces avantages se présente une certaine difficulté de construction résultant de la nécessité de ménager un espace bien libre au-dessus du plan horizontal tangent au fil de trolley, pour le passage de la tringle d'ailleurs légèrement incurvée, en vue du roulis de la voiture. En courbe, dans le système à poulie, un fil tendeur T (fig. 386) exerce sa tension sur le fil de contact F dans la direction même de l'axe de ce fil et se fixe à la pièce de suspension I par une queue P recourbée à cette fin.

Dans le système Siemens, le fil tendeur *t* (fig. 387) devant être relevé à l'abri des chocs de la tringle glissante, ne peut plus se trouver dans le plan du fil de contact; afin donc d'éviter la culbute de l'isolateur *i* (fig. 387), le fil tendeur le saisit au milieu entre deux cours de fils : le fil de contact continu C et le fil d'équilibre *f*. Dans les courbes raides et courtes, c'est le fil continu qui passe au-dessus; le fil d'équilibre devenant fil de contact est relié à ses deux bouts moyennant un petit manchon (fig. 388).

δ. — La crainte justifiée à l'origine d'une usure rapide du fil de contact, sur les lignes à grand trafic, a fait place aujourd'hui à une connaissance précise de ce que l'on peut attendre sous ce rapport de la tringle perfectionnée. Celle-ci,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rendue amovible sous forme d'un archet en aluminium (fig. 389), porte une rainure longitudinale remplie d'une pâte lubrifiante à la plombagine. Grâce à ce procédé, l'usure, mesurée après dix-sept mois de service sur un tramway urbain, a été trouvée de $^1/_4$ de millimètre.

L'emploi de deux tringles n'est maintenu que dans les cas où un courant très intense est requis; mais pour les tramways, un seul archet suffit. Le support élastique en a été varié dans chaque installation pour prendre actuellement la forme que l'on trouvera sur la voiture (fig. 393).

Considéré dans son ensemble, ce système simplifie l'installation aérienne dans ses supports, et supprime les déraillements. Ces avantages, surtout pour des lignes à trafic modeste, ne seraient pas contrebalancés par une usure rapide du fil de contact.

L'ancienne ligne de Lichterfelde à transmission par rails a été également appareillée dans ce système.

Nous citerons les traits intéressants de quelques-unes des autres installations où il a été adopté.

Barmen. — Deux lignes de tramways en ville et un chemin de fer à crémaillère hors ville sont alimentés par une même station centrale établie par la maison Siemens et Halske pour compte de l'administration communale.

1. — *Tramways.* — Voies. — La ligne d'Heckinhausen a 2.4 kilomètres de longueur, 2.9 kilomètres de voie, y compris les évitements. Elle comporte peu de fortes rampes, voir le profil (fig. 390).

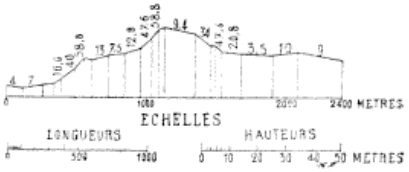


Fig. 390.

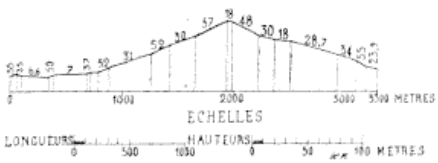


Fig. 391.

Les lignes vers Wichlinghausen, d'un profil beaucoup plus accidenté (fig. 391), ont ensemble une longueur de 3.3 kilomètres, un développement de 4 kilomètres en voie simple. Très sinueuses, elles comportent des courbes à angle droit de très petit rayon.

Une partie de l'appareillage est constitué au moyen de poteaux en treillis à potences. Ces potences (fig. 392) présentent une disposition spécialement étudiée pour répondre au système de prise de courant par archet que nous venons de décrire. Elles sont de construction simple et économique.

Voitures. — Le matériel roulant diffère, sur ces deux groupes de lignes, en raison de leurs profils distincts. Celle de Heckinghausen est desservie par 7 voitures motrices à 16 sièges et 8 places debout (fig. 393) à un moteur actionnant les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux essieux par chaînes noyées dans l'huile, concernant lesquels le chapitre I-A fournit des renseignements, en même temps que sur le mode de modération et de changement de la marche.

Le frein à main est manœuvré par un levier poussé dans un plan normal à l'axe de la voie. Un verrou mû par une tringle et une manette à la poignée du levier le cale sur un secteur denté.

Les voitures circulant vers Wichlinghausen diffèrent principalement par le truck (fig. 394), constitué par des longerons jumellés en fer estampé, et aménagé pour deux moteurs à engrenages décrits également au chapitre I-A et portant un frein à patin.

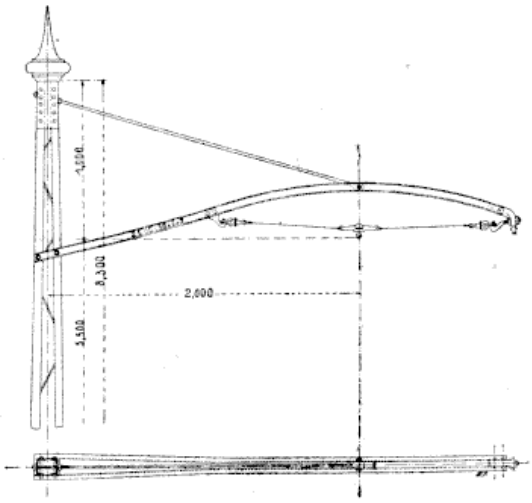


Fig. 392.

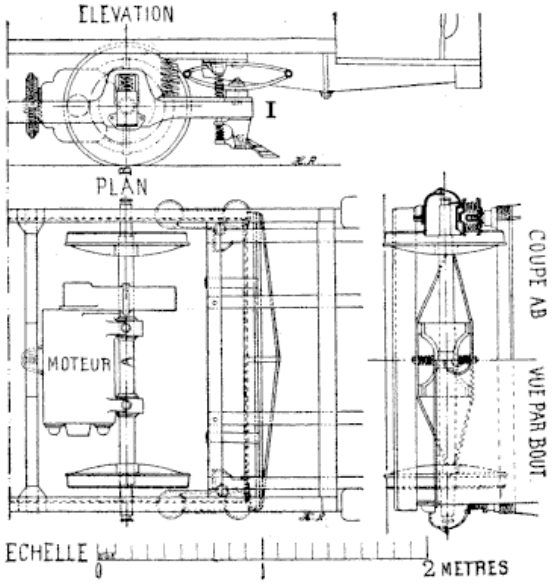


Fig. 391.

Voici quelques données complémentaires :

	Vers Heckinghausen.	Vers Wichlinghausen.
Nombre de voitures	7	8
Places	16 siéges, 8 debout.	16 siéges, 8 debout.
Poids de la caisse	2,180 kilogrammes.	2,180 kilogrammes.
— du truck et des roues sans moteur	920 —	1,870 (*) —
— d'un moteur avec deux chaînes, etc	1,400 —	...
— de deux moteurs à engrenages	...	1,450 kilogrammes.
— du reste de l'équipement électrique	500 kilogrammes.	500 —
Poids total à vide.	5,000 kilogrammes.	6,000 kilogrammes.
Réduction de vitesse de la transmission	1 : 3 7	1 : 6 8

(*) Frein à patin compris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

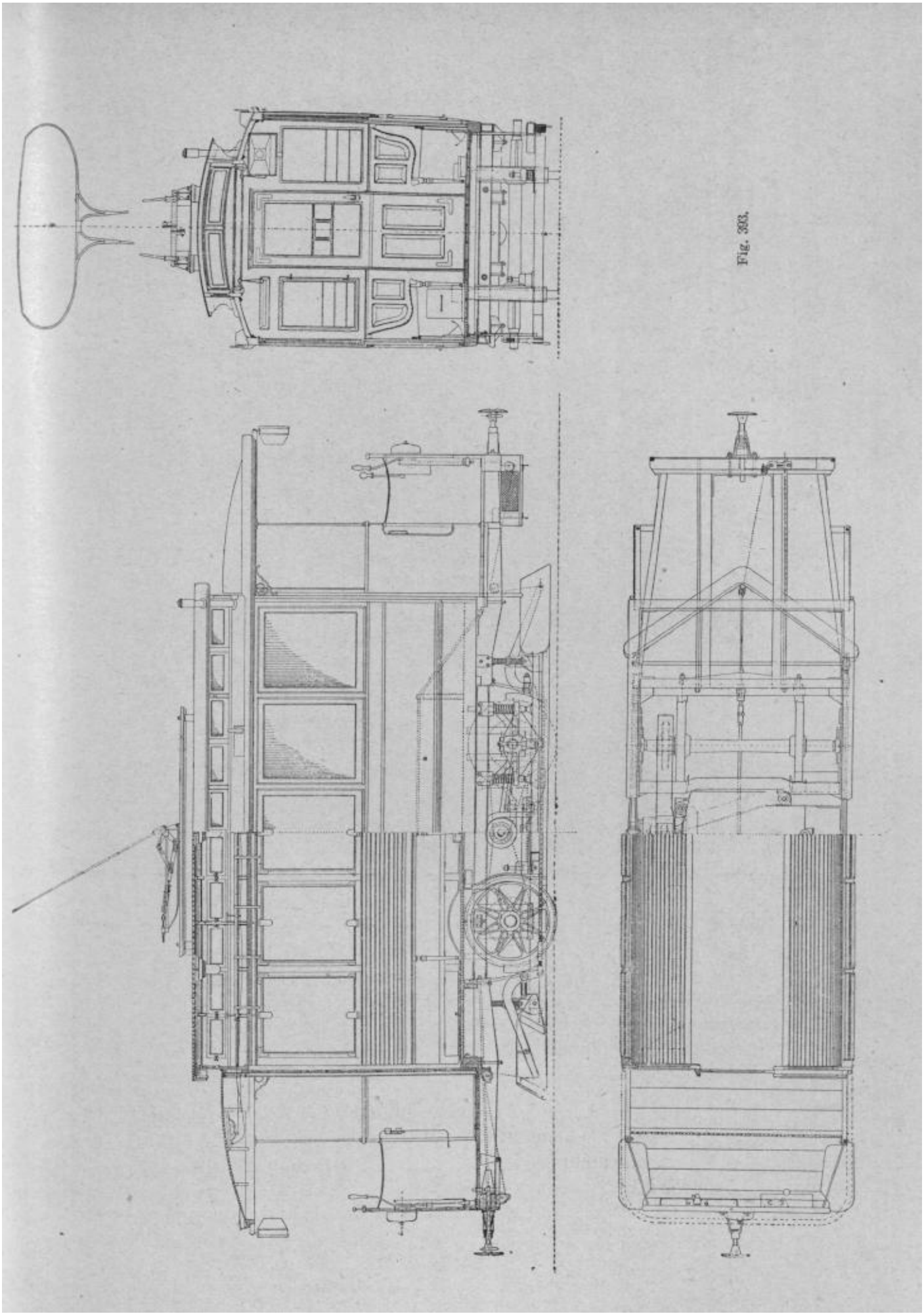


Fig. 383.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2. — *Chemin de fer à crémaillère.* — Au point de vue de la construction, cette ligne présente un sérieux intérêt, du pied au sommet.

Nous nous bornerons toutefois à le considérer dans le mode de traction adoptée.

La voie du système Riggenbach revêt deux formes, selon qu'elle est sur siège indépendant (fig. 395) ou qu'elle traverse des rues (fig. 396). Elle est à double voie sur 1,685 mètres.

On voit sur la figure 397 l'importance des rampes. La ligne présente deux courbures de 300 mètres de rayon, dont une en S qui en déplace l'axe latéralement.

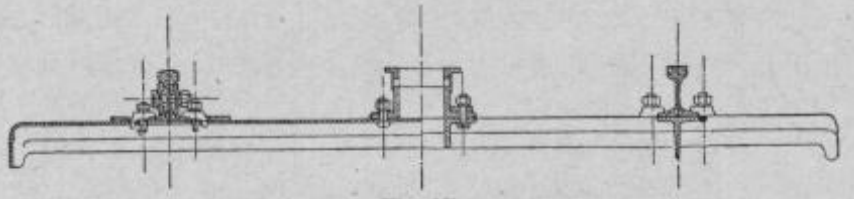


Fig. 395.

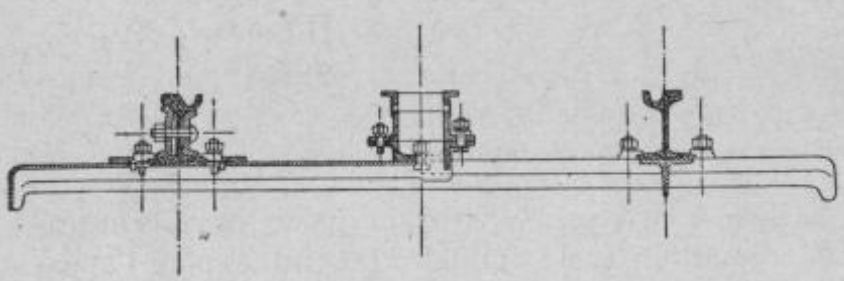


Fig. 396.

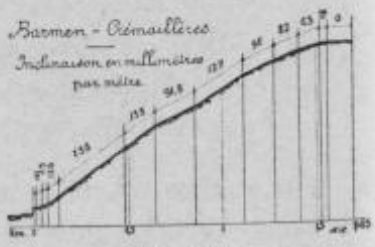


Fig. 397.

L'appareillage de la ligne aérienne est identique à celui des tramways et monté en partie sur poteaux en bois. Quant à la prise de courant, elle comporte, vu l'intensité requise, deux tringles de contact, mais dépourvues de rainure à graisse, le trafic n'étant pas assez actif pour faire craindre une usure rapide.

Chaque train est formé d'une seule voiture motrice qui se meut sous l'action de roues dentées mordant la crémaillère, calées sur les deux essieux et attaquées chacune par un fort moteur de 36 à 60 H. P. par une transmission à pignon et engrenage. Il y a 28 sièges et 8 places debout. Le truck mesure 8 mètres sur 2^m45 hors plate-forme, et la caisse 6^m12 sur 2^m15.

De multiples précautions ont été prises pour le freinage. En principe, la descente s'opère électriquement, c'est-à-dire en faisant travailler les moteurs comme générateurs, fonction qu'ils remplissent en récupérant $^1/_3$ environ de l'énergie employée à l'ascension. Un frein ordinaire et un frein patin s'emploient pendant les arrêts. En outre, un frein automatique agissant sous l'action de la force centrifuge, déclenche un fort ressort qui presse le frein, lorsque la vitesse dépasse 3.2 minutes par seconde, la vitesse normale dans les deux sens étant de 10 kilomètres à l'heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au bas à la station de Cleferstrasse, où l'espace est restreint, le passage de l'une à l'autre voie s'opère au moyen d'un transbordeur déplacé par l'action d'une vis tournant sous l'action d'une dynamo fixe.

Le service actuel est de 30 en 30 minutes.

On étudie un nouveau type de voiture plus légère à 20 places avec un moteur de 80 H. P.

Coût de construction de la ligne à crémaillère.

Cette ligne de 1,630 mètres de longueur, en ce qui concerne la partie qui nous intéresse, a coûté en frais d'établissement, pour la superstructure et l'armement :

Voie, superstructure, y compris la crémaillère	190,000	francs.
Signaux, télégraphe, téléphone, ateliers de réparation. .	10,000	—
Matériel roulant	220,000	—
Distribution du courant-ligne	27,500	—
Chaudières, machines à vapeur, épurateurs, bassins, tuyauteries	192,500	—
Dynamos à l'usine.	111,250	—
Puits, canalisation, etc.	21,250	—
Connexions électriques dans l'usine, tableau de distribution, éclairage (machine à vapeur spéciale), appareils .	28,750	—

On évalue le kilomètre de ligne à environ 14,000 francs pour les rails et traverses, 20,000 francs pour la crémaillère (voie simple), 8,000 francs pour l'appareillage de la ligne aérienne.

Usine génératrice. — Située sous la station du chemin de fer à crémaillère au niveau de Cleferstrasse, elle est commune aux trois lignes électriques qui viennent d'être décrites, tramways et chemin de fer à crémaillère. La ville qui l'exploite fournit également le courant à la ligne Barmen-Elberfeld équipée par l' « Union Elektricitäts Gesellschaft ».

Cette usine, montée par la maison Siemens et Halske, comporte les groupes suivants, y compris les agrandissements :

Dynamos fixes . . .
- Type . . . . . Dynamo hexapolaire à courant continu et à pôles intérieurs, inducteur calé sur l'arbre coudé de la machine à vapeur.
- Nombre . . . . . *a*) Trois machines mod. I. 93. *b*) Une machine mod. I. 92.
- Volts . . . . . 500 volts.
- Ampères. . . . . *a*) 380 ampères. *b*) 700 —
- Nombre de tours. *a*) 165 révolutions. *b*) 140 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à vapeur	Type	*a*)	Machines compound à condensation, horizontales.
		b)	— — — verticale.
	Nombre	*a*)	Trois.
		b)	Une.
	Force	*a*	200 H. P. effectifs, normal.
			250 — — maximum.
		b	400 — — normal.
			533 — — maximum.
Chaudières	Type		Cinq chaudières tubulaires, système Steinmüller.
	Force		Surface de chauffe, 181.7 mètres carrés; pression, 10 atmosphères.

Production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe : normalement, 15 kilogrammes; au maximum, 16 kilogrammes.

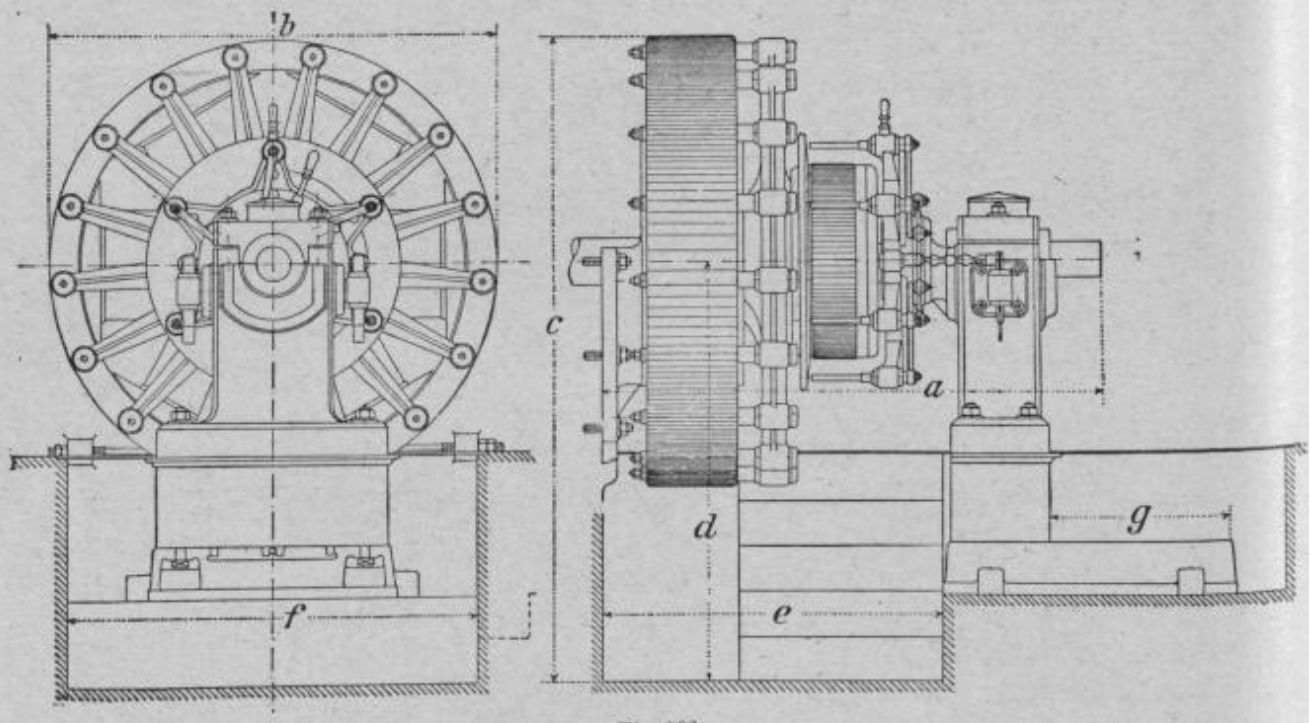


Fig. 398.

La figure 398 montre l'aspect des dynamos à pôles intérieurs.
Voici les dimensions et données qui s'y rapportent :

a = en millimètres.	2,255	*f* = en millimètres.	2,200
b = —	2,160	*g* = déplacement du palier, en millimètres.	650
c = —	3,080	Poids brut	12,000 kilog.
d = —	2,000	Puissance maxima	358 kilow.
e = —	1,500	Nombre de tours par minute	285 tours.

Remise et atelier des tramways. — Dans la construction de la remise aux voitures des deux lignes de tramways, les fosses de visite sont aménagées d'une façon très recommandable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au lieu de massifs en maçonnerie séparant les vides, on a adopté la construction en fer : *poutrelles sur colonnes de fonte reposant sur un radier général.* Il suffit dès lors, pour permettre la circulation au niveau des rails, de couvrir les entrevoies de madriers. On obtient par là un atelier de visite et d'entretien des plus commodes, bien qu'aussi économique, et facile à entretenir en état de propreté.

Dresde. — Inaugurées avant celles de Barmen, le 6 juillet 1893, les installations de Dresde n'en diffèrent pas sensiblement au point de vue de la traction. Les lignes Schlossplatz-Blasewitz-Loschwitz, de profil facile, sauf en quelques points, s'étendent sur 6 kilomètres de lignes à double voie, soit 12 kilomètres de voie simple.

Elles sont armées de 21 voitures motrices à 14 sièges et 16 places extérieures et 16 remorquées ouvertes à 50 places.

Les motrices sont généralement semblables à celles de Barmen-Heckinghausen à un moteur attaquant les deux essieux par chaînes (fig. 393); toutefois, l'équipement pourvu de moteurs à engrenages y est également en service (fig. 394).

Ces lignes appartiennent au réseau de la « Deutschen Strassenbahn-Gesellschaft », qui opère la traction par chevaux et au gaz et se procure le courant électrique à une usine d'éclairage public. Il est donc difficile de dégager de ses comptes rendus un prix de revient par voiture-kilomètre de la traction électrique.

Hanovre. — La « Strassenbahn Hannover Aktien-Gesellschaft » y possède 13.8 kilomètres de lignes, pour les deux tiers à double voie formant 22 kilomètres de voie simple de fil aérien, à prise de courant glissante, appareillés sur poteaux tubulaires.

Il y a 32 voitures motrices, à 32 personnes dont 14 assises, à un moteur de 15 H. P. attaquant par double chaîne les deux essieux, et 12 voitures à remorquer.

Nous pouvons nous en référer aux installations de Barmen pour la description technique.

Voici quelques renseignements financiers.

L'exploitation de ces lignes a été entreprise pour compte de la Société Siemens et Halske, du 1er janvier au 31 mars 1894, et reprise par la Société à partir du 1er avril de la même année.

Nous donnons ci-après le compte d'exploitation se rapportant à l'exercice 1895, compte dressé conformément au type de l'Union permanente Internationale des Tramways.

Frais d'exploitation en 1895.

Nombre de trains-kilomètres	1,099,351
— de voitures-kilomètres.	1,112,925

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Trains-kilomètres. (Centimes.)	*Voitures-kilomètres.* (Centimes.)
Salaires des conducteurs	4.2250	4.1750
— des machinistes, chauffeurs et manœuvres	1.0250	1.0125
Combustibles	2.5125	2.4875
Huile et déchets	0.7375	0.7250
Entretien des trucks des voitures et des appareils de prise de courant.		
Salaires des ajusteurs, matériaux et nettoyage	5.1625	5.1000
Entretien de la conduite aérienne.		
Salaires et matériaux	0.4000	0.3875
Entretien de l'usine.		
Salaires et matériaux	0.7875	0.7750
Divers	...	...
	14.8500	14.6625

Il est intéressant de reproduire d'autres postes de dépenses générales par trains-kilomètres, fournis par le même rapport

Ces dépenses générales sont réparties sur les parcours suivants :

Trains-kilomètres.	Traction animale	2,898,685 kilomètres.
	— électrique	1,099,351 —
	Omnibus	909,493 —
	Total	4,907,529 kilomètres.

	Centimes.	
Réparation des voitures remorquées :		
Réparation des voitures (salaires, matériaux, divers)	0.7375	
Lavage des voitures (salaires, matériaux)	0.2375	
Graissage des voitures	0.0250	
		1.0000
Entretien des voies et de la chaussée :		
Salaires, outils et matériaux	...	0.4750
Nettoyage des voies :		
Nettoyage ordinaire (salaires, matériaux, remises aux villes, impôts)	1.4125	
Enlèvement des neiges (salaires, matériaux)	0.0625	
		1.4750
Entretien des bâtiments (salaires, matériaux, travaux de tiers)	...	0.1875
Éclairage et chauffage des voitures (salaires et matériaux)	...	0.2000
Entretien du mobilier et des outils	...	0.0875
— de l'éclairage électrique	...	0.0375

Voici la répartition des frais d'entretien et de réparations des voitures électriques représentée par le chiffre ci-dessus, 5.1625 centimes par train-kilomètre :

1° Appareils de prise de courant	0.2625 centime.
2° Commutateurs	0.4000 —
3° Transmission	0.9125 —
A reporter	1.5750 centime.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Report. . .	1.5750 centime.
4°	Roues et essieux et revision	1.0875 —
5°	Boîtes d'essieux et ressorts	0.2625 —
6°	Freins et buttoirs	0.1500 —
7°	Caisse de voiture	0.0875 —
8°	Châssis de voiture	0 1500 —
9°	Appareils d'éclairage	0.0500 —
10°	Aménagement intérieur	0.0125 —
11°	Vernissage	0.1750 —
12°	Graissage	0.2125 —
13°	Divers	1.4000 —
		5.1625 centimes.

On sait que pendant les cinq derniers mois de 1895, la Compagnie *Strassenbahn*, de Hanovre, a inauguré le *système mixte de traction par accumulateurs et par fil aérien;* les batteries chargées sur la voiture même pendant le parcours sur la ligne à trolley, fournissent le courant aux moteurs dans la traversée du centre de la ville.

Au chapitre VI, des détails sont fournis concernant ce système et son fonctionnement.

Voici comment le rapport de janvier 1896 s'exprime à cet égard :

« L'exploitation au moyen d'accumulateurs, introduite depuis cinq mois, a donné jusqu'à présent de bons résultats; les craintes que l'on avait au début au sujet du manque de résistance des accumulateurs ont été reconnues mal fondées.

« On ne connaît pas encore le total des frais d'entretien, mais on est fondé à croire que l'exploitation au moyen d'accumulateurs sera aussi avantageuse que tout autre mode d'exploitation. Pour ce motif, nous avons conclu avec la ville de Hanovre un accord selon lequel la traction animale sera remplacée sur toutes les lignes par la traction électrique, en partie par accumulateurs, en partie par conducteur aérien. Les voitures sont commandées et l'usine électrique sera agrandie de façon que, vers le milieu de l'année 1896, on pourra mettre en service environ 60 voitures à accumulateurs. »

La prise de courant par tringle a été également adoptée par la maison *Mather et Platt*, notamment dans les installations électriques de l'île de Man.

e. — *Installations de la Compagnie de l'industrie électrique, à Genève.*

Dans les deux systèmes de conducteur aérien unique adoptés par la Compagnie de l'industrie électrique, la prise de courant se fait par friction.

Le plus ancien — installé entre Mont-Ferrand et Royat — est celui du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

simple tube. L'autre, postérieur, est un système à frottement, sous un fil, *par cuiller.*

1. *Tube unique. — Mont-Ferrand à Royat.* — Établi en 1890, ce tramway est resté le seul spécimen de son espèce.

Il a 7,336 mètres de longueur, y compris un embranchement de 1,500 mètres à simple voie, avec évitements, à l'écartement de 1 mètre, posée sur traverses en chêne, en rails de 22.2 kilogrammes et contre-rails de 13.83 kilogrammes type Marsillon, le mètre courant de voie pesant 72 kilogrammes, pour une section de 92.36 centimètres carrés.

Les plus fortes rampes se présentent dans la montée de Mont-Ferrand vers Royat : 34 millimètres sur 450 mètres et 34.3 à 49.4 millimètres sur 1,700 mètres, le reste étant d'inclinaison modérée généralement inférieure à 20 millimètres. La différence d'altitude entre points extrêmes est de 115 mètres.

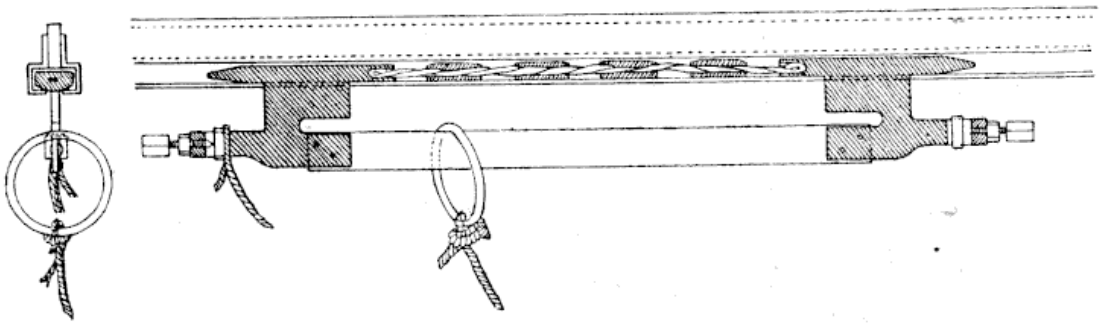


Fig. 399.

Le conducteur tubulaire (fig. 399) est de section rectangulaire formé d'une âme en fer et de deux ailettes en cuivre rouge qui se recourbent vers le bas sans se toucher, laissant entre elles une rainure. Dans le creux ainsi formé glisse la navette de la prise de courant.

Ce tube est suspendu à un hauban continu en acier, formé de 42 brins de 2 millimètres et supporté de 50 en 50 mètres, en moyenne, par des poteaux en fer surmontés de consoles où ils prennent appui par l'intermédiaire de galets en porcelaine. La navette, étudiée de façon à présenter les conditions requises de souplesse et de bon contact, est composée de galets de glissement en bronze, enfilés sur un câble en acier, tendu entre deux guides en fonte malléable terminés en pointe et rivés sur une lame longitudinale flexible, sur laquelle glisse l'anneau auquel est lié le cordeau de traction de la navette, tandis que le câble en cuivre captant le courant est vissé sur l'un des guides en fonte.

Deux sections consécutives du conducteur, d'une longueur de 10 mètres environ, sont réunies par des éclisses.

En certains endroits, où les potences par suite d'un excès de poids et de porte-à-faux ont à subir un effort trop considérable, notamment aux liaisons, le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

câble et le tube aériens sont portés par une sorte de poutre en treillis très légère reposant sur poteaux à travers la rue. Les poteaux en sont formés de deux fers double T jumellés plantés dans un dé de béton.

Il n'y a pas d'autre circuit d'alimentation que le conducteur et son câble-support : la résistance électrique de la ligne entre Mont-Ferrand et Royat est d'environ 1 ohm.

L'usine comporte les engins suivants :

Dynamos fixes . . .	Type	Système Thury, à six pôles, tambour, excitation compound séparée.
	Nombre	Deux, type HDT et HE génératrices.
	Volts	550.
	Ampères	160 à 300
	Nombre de tours .	380 et 220.
	Excitatrices . .	Deux de 75 volts 44 ampères.
Machines à vapeur .	Type	Horizontal à condensation.
	Nombre	Deux.
	Force	150 et 350 H. P. effectifs.
Chaudières	Type	Horizontal, tubulaires à deux bouilleurs et foyer.
	Nombre	Deux
	Force	200 H. P. par chaudière. Capacité : 14.4 mètres cubes et 150 mètres carrés surface de chauffe.

La figure 400 montre l'aspect des dynamos. Le dispositif des inducteurs a pour objet de soumettre l'induit à l'influence simultanée des masses polaires et du circuit inducteur lui-même, ce qui permet de réduire le courant d'excitation.

Le matériel roulant comprend 20 voitures motrices à un moteur bipolaire à double réduction décrit au chapitre I-A. Elles pèsent avec charge complète de 40 personnes entre 8,800 et 9,000 kilogrammes, selon la série à laquelle elles appartiennent (1); les caisses, de 4,500 à 4,700; le moteur, bielles et équipement électrique, 1,500 kilogrammes.

Les deux essieux assemblés à l'intérieur des roues par le moteur même sont extérieurement accouplés par bielles, système dont nous avons indiqué les avantages et les inconvénients.

Coût d'établissement. — Une estimation remontant à l'origine porte les prix suivants pour l'équipement électrique :

Câbles conducteurs, colonnes, consoles, isolateurs, etc. .		146,000	francs.
Dynamos fixes et accessoires		41,000	—
Voiture.	Caisse, châssis, roues	6,000	—
	Électro moteur et transmissions	45,000	—
	Régulateur de marche, appareils de mesure, etc.	1,200	—

(1) Le matériel a été successivement amélioré depuis les débuts et les petites voitures à 32 places remplacées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

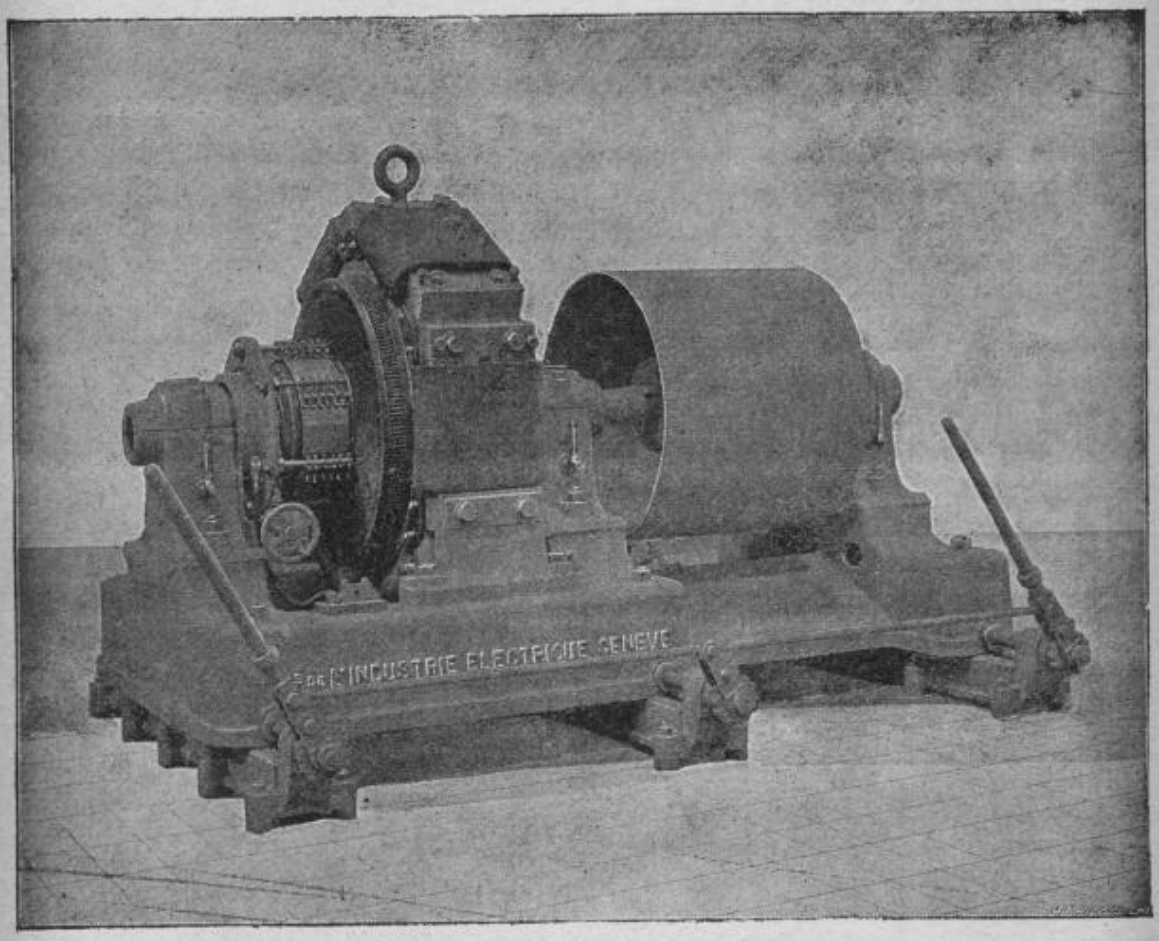


Fig. 400.

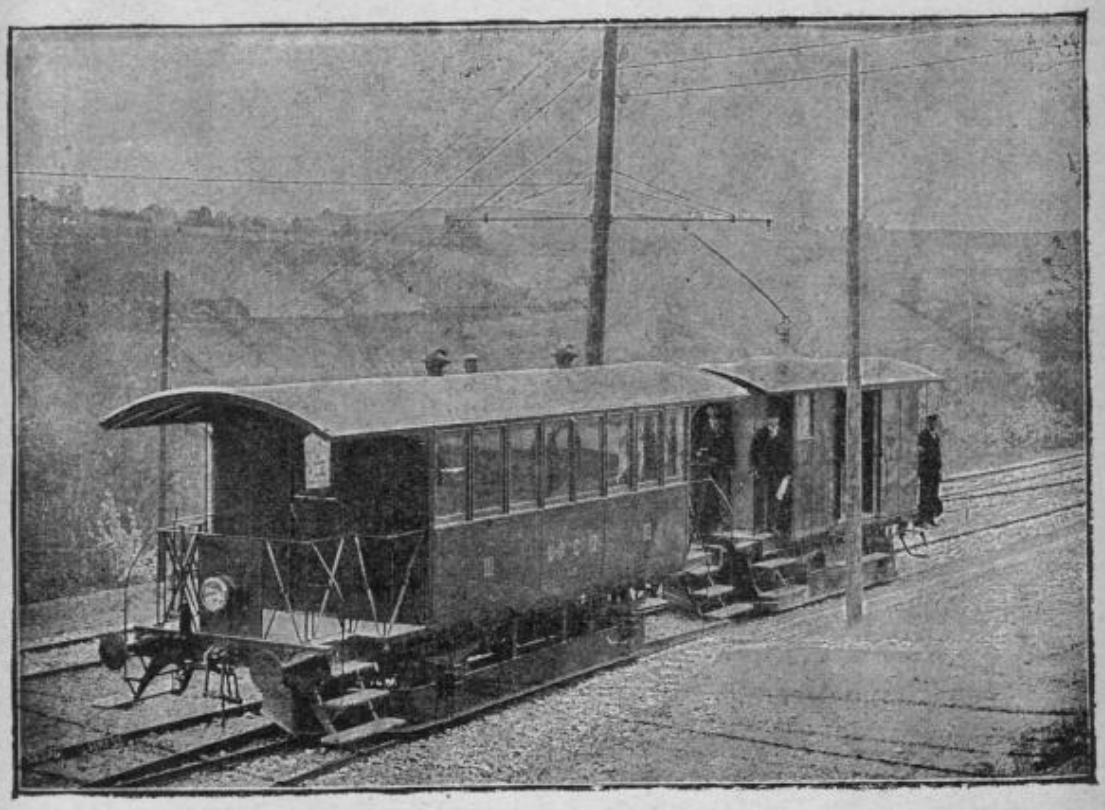


Fig. 401.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant aux chaudières et machines à vapeur, elles sont évaluées à 552 francs par cheval.

Dépenses d'exploitation.

	1892	1893	1894
Voitures-kilomètres	413,161	424,295	422,887
	Dépenses par voit.-kilom. Centimes.	*Dépenses par voit.-kilom.* Centimes.	*Dépenses par voit.-kilom.* Centimes.
Administration générale	... 9.4	... 4.3	... 3.7
Voies et bâtiments	... 1.9	... 2.0	... 2.0
Contrôle de la recette	... 8.3	.. 8 7	... 9.1
Traction et matériel :			
a) Voitures automobiles	2.2 ...	3.7 ...	5.3 ...
b) Ligne électrique à câble aérien	0.3 ...	0.1 ...	0.1 ...
c) Machines et chaudières	1.8 ...	2.7 ...	2.8 ...
d) Salaire du personnel	7.8 ..	7.4 ...	7.7 ...
e) Graissage et nettoyage	2.1 ...	1.7 ...	1.6 ..
f) Combustible	6.4 ...	7.4 ...	7.7 ...
g) Éclairage	0.1 ...	0.2 ...	0.2 ...
h) Outillage	0.2 ...	0.2 ...	0 2 ...
	— 20.9	— 23.4	— 25.3
Divers (mobilier, assurances, impôts)	... 4.5	... 5.4	... 5.1
Total	45.0	43.8	45.2

2. — *Fil et contact glissant.* — Reprenant l'un des types de prise de courant attribués à Sprague, la Compagnie de l'industrie électrique emploie, au bout d'une perche articulée à la base à ressort, une pièce de contact glissante creuse

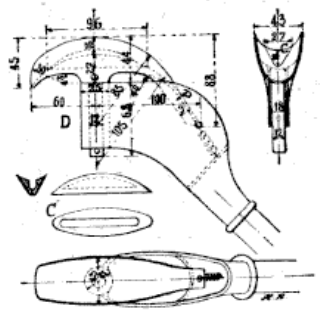


Fig. 402.

(fig. 401 et 402). La partie frottante, munie d'un pivot plongeant dans la douille D, tend à se maintenir dans l'axe de la ligne sous l'action d'un ressort. Pour racheter l'usure de la cuiller, après quelques jours de marche, on enlève et remplace à chaud une pièce centrale C soudée à l'étain, faite d'un métal tendre à base de cuivre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On étudiait, en 1896, pour les tramways de Genève, un dispositif très ingénieux, pour parer aux avaries que peut causer le déraillement du frotteur : après le déraillement, la perche faisant un angle plus grand que le normal, avec l'horizontale, se décrocherait à la base, mais se maintiendrait ensuite, sous une inclinaison qui dégagerait le frotteur de l'appareillage aérien.

Si, à cet instant, l'on tirait, au moyen de la corde, sur cette perche ainsi suspendue par l'élasticité de la base, elle rebondirait et se raccrocherait dans la position normale, à la condition de ne pas échapper à la main qui, tenant la corde, remettrait le frotteur en place.

Les premières installations de ce système ont été établies, en 1893, sur les lignes vicinales suisses, de *Stans à Stanstadt et Orbe à Chavornay*. La figure 401 représente un train de cette dernière; la dynamo hexapolaire, commandée au moyen d'une courroie par une turbine, est excitée séparément. Voici, du reste, quelques données sur ces deux lignes :

	Stans à Stanstadt.	Orbe à Chavornay.
Longueur	3.5 kilomètres.	4 kilomètres.
Écartement.	1 mètre.	1.435 mètre.
Rampe maxima . . .	10 millimètres par mètre.	25 millimètres par mètre.
Puissance motrice. . .	Hydraulique à plusieurs usages.	Hydraulique à plusieurs usages.
Dynamos	1, 50 H.P., 500 tours, 550 volts.	1, 60 H.P., 475 tours, 600 volts.
Voitures motrices. . .	Automobile à voyageurs pesant 5.8 tonnes à vide.	Voit.-fourgon à 40 voyageurs.
Nombre.	3	3
Moteurs par voiture . .	2 de 15 H. P.	2 de 30 H. P.
Type.	Tétrapolaire double réduction.	Bipolaire double réduction.
Véhicules à remorquer .	Voitures et fourgons, pesant à vide 3.2 et 2 tonnes.	Wagon à marchandises ou voiture à voyageurs.
Composition des trains .	1 motrice, 1 voiture, 1 fourgon.	1 voiture-fourgon motrice et 1 véhicule remorqué pesant 20 tonnes.
Charge utile	60 voyageurs et 5 tonnes marchandises.	40 voyageurs et 10 tonnes marchandises.
Poids total	20 tonnes.	28 tonnes.

Le fil de contact est en acier de 6 millimètres de diamètre, le feeder aérien a 9 millimètres de diamètre.

Genève. — La *Revue de l'électricité* de Berne, de janvier à mars 1895, décrit en détail la ligne de *Champel au Petit-Saconnex*. Nous lui empruntons une partie des renseignements qui suivent.

La ligne, d'une longueur de 5,410 mètres à simple voie avec évitements, est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

profilée figure 403. En outre, un embranchement à double voie relie la place Neuve au dépôt sur une longueur de 1,380 mètres en voie double. Ce tramway comprend donc 8.8 kilomètres de voie simple à l'écartement de 1,445 mètres. En ville, sur 1 kilomètre la voie est en rails Marsillon sur traverses en chêne, les deux files de rails et contre-rails pesant 70 kilogrammes par mètre courant de voie. Sur le reste du parcours, elle est en rails à ornière Phœnix de 28 kilogrammes par mètre sur traverses en fer, le tout pesant 82 kilogrammes par mètre.

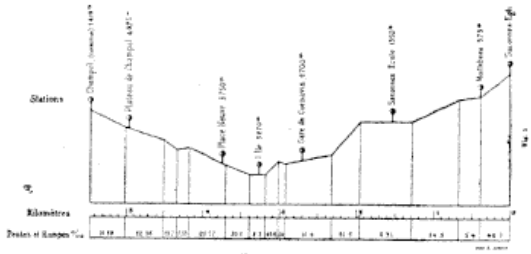


Fig. 403.

Le circuit d'alimentation et de contact comporte plusieurs parties; la première, très courte, est un câble sous plomb et armé de 250 millimètres carrés allant de l'usine génératrice à la place Bel-Air; les autres sont ainsi composées :

Kilomètres en partant de Saconnex.	FIL DE CONTACT.	CONDUCTEURS D'ALIMENTATION.
0 - 1.0 . . .	Bronze; diam , 8 millimètres	Point.
1.0 - 2 0 . . .	— — —	Aérien, cuivre; diam. 8 millimètres.
2.0 - 2.7 . . .	— — —	Souterrain section 50 millim. carrés.
2.7 - 3 4 . . .	Acier; diam.. 7 millimètres.	— 100 —
3.4 - 4.0 . . .	— — —	— 150 —
4.0 - 4.8 . . .	— — —	— 50 —
4 8 - 5.6 . . .	Bronze; diam , 8 millimètres.	Point.

On a donc, en ville, un fil de contact en acier de 7 millimètres; dans la banlieue, un fil de bronze de 8 millimètres.

Les supports sont ou des tubes d'acier en trois sections ou des fils transversaux fixés à des rosaces ou à des poteaux.

Pour le retour, outre un éclissage en fil de 7 millimètres, il existe, sur tout le parcours, un fil supplémentaire, et, parallèlement au gros feeder de 250 millimètres, un câble nu de même diamètre, allant de la ligne à la station productrice.

Usine génératrice. — Installée dans le bâtiment municipal des forces motrices du Rhône, elle comporte actuellement deux turbines de 225 H. P. à 325 tours sous 134 mètres de chute à réglage automatique par servo-moteur, et deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dynamos hexapolaires accouplées directement aux turbines par manchons élastiques Raffart. Une troisième unité est prévue pour extension éventuelle.

Chaque dynamo fournit un courant de 150 kilowatts sous 550 volts.

L'armature porte un enroulement tambour avec lamelles aux deux bouts, en vue d'obtenir une ventilation énergique. L'enroulement comporte 202 sections d'un tour de câble composé de 100 fils de $^6/_{10}$ de millimètre. Le diamètre d'alésage est de 1,100 millimètres, la profondeur de 400 millimètres. Le diamètre du collecteur est de 500 millimètres, sa longueur de 180 millimètres utiles. Le courant est recueilli par des frotteurs en charbon fixés dans des pinces d'un modèle spécial créé par M. Thury. Celles-ci sont réparties sur six tiges isolées et portées par un plateau. L'arbre est porté par deux paliers munis d'anneaux graisseurs assurant une lubrification continue des portées de l'arbre.

L'aimant, entièrement en fer forgé, porte un enroulement compound; le bâti des deux machines est isolé du sol par des isolateurs de porcelaine scellés au soufre dans le béton du bloc de fondation.

Voitures. — Les voitures, au nombre de 8, offrent 32 places disponibles, dont 12 assises à l'intérieur et 4 assises sur les plates-formes. La plate-forme d'avant reçoit 8 personnes; celle d'arrière, 10; en cas de besoin, on peut encore disposer de 6 places debout dans l'intérieur de la voiture et, en utilisant toute la place disponible sur les plates-formes, on arrive au chiffre de 45 voyageurs, maximum prévu.

La longueur totale des voitures est de 5^{m}85, non compris les tampons qui débordent de chaque côté de 265 millimètres; la longueur de la caisse est de 3^{m}80, la largeur de 2^{m}50; les plates-formes ont 1^{m}50 de longueur sur 1^{m}90 de largeur; elles sont munies chacune d'un marchepied à une seule marche de chaque côté. Le poids des voitures est d'environ 2,900 à 3,000 kilogrammes à vide, sans équipement électrique.

La suspension de la caisse est double : le truck est porté par des supports à lames plates disposés entre les boîtes à graisse et le châssis, tandis que la caisse repose par l'intermédiaire de 10 ressorts en spirale sur le châssis; ceux-ci sont disposés de telle sorte que tout tangage est rendu impossible.

Des deux essieux de la voiture, un seul est moteur; le diamètre des roues est de 80 centimètres et leur empatement de 1^{m}50.

Au chapitre I-A, se trouve une description du moteur à simple réduction et de l'appareil régulateur de la marche.

Il circule sur les mêmes voies un certain nombre de voitures à deux moteurs à 40 places qui en remorquent généralement une seconde.

Coût d'établissement. — Nous n'en possédons pas le détail, mais quelques données générales : l'établissement de la ligne Saconnex-Champel, voie comprise, a coûté 312,534 francs; le dépôt à Bienne, 31,829 francs; l'achat et l'équipement de 8 voitures électriques, 85,958 francs, plus 5,643 francs pour l'éclairage et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2,267 francs pour l'outillage. A ces chiffres s'ajoute l'équipement électrique du raccordement Cluse-Place-Neuve.

Ce réseau s'est subitement étendu à l'occasion de l'exposition de 1896 et la traction électrique sera successivement substituée sur diverses sections de tramways de la Compagnie.

Exploitation. — En général, le service ordinaire est réglé au $^1/_4$ d'heure, mais il est de 7 $^1/_2$ minutes sur certaines sections.

Frais d'exploitation. — Les accroissements successifs du réseau électrique avant un an révolu, les modifications du service et l'intensité momentanée du trafic pendant l'exposition ne permettent pas de dégager la dépense kilométrique d'exploitation applicable aux voitures à 1 moteur, ou à celles munies de deux moteurs faisant de la remorque.

M. le directeur Laval a eu l'obligeance de nous donner sous ce rapport certains renseignements faisant ressortir le prix élevé de la force motrice primaire fournie par la ville de Genève, qui exploite les forces motrices du Rhône, aux conditions suivantes :

Payement : *a*) d'une annuité de 10 p. c. sur le montant de l'installation pour intérêt, amortissement, entretien et graissage des turbines, dynamos et appareils divers; *b*) d'une redevance annuelle pour le personnel préposé à la marche de l'usine ; *c*) d'une somme proportionnelle au volume d'eau dépensé sous la pression correspondante à 134 mètres de chute, à raison de 2 centimes par mètre cube.

Sur cette base, le kilowatt-heure revient à 20 centimes, chiffre bien fort, si on le compare à ceux auxquels on arrive dans les stations génératrices à vapeur, en tant que *frais d'exploitation*, mais qui tendra à diminuer et à devenir moins onéreux.

En effet, l'installation fixe dont chaque groupe est prévu pour 225 chevaux n'en fournit pas le quart, et lorsque, par suite de la transformation entière du réseau, l'exploitation régulière occasionnera une demande d'énergie adéquate à la puissance des génératrices, on ne tardera pas à obtenir le kilowatt-heure à 13 centimes, ce qui abaissera le coût de la force motrice à 8 centimes par voiture-kilomètre.

Au surplus, cette dépense compte *l'amortissement et l'intérêt* des frais d'installation, au taux de 10 p. c. (y compris d'autres menus frais). Il arrivera donc un moment où, comparativement à une usine à vapeur, la station génératrice travaillera à prix modéré.

f. — *Installations de la Maschinenfabrik d'Œrlikon.*

Parmi les installations faites par la *Maschinenfabrik d'Œrlikon*, nous en citerons trois, par ordre de date, présentant chacune un caractère spécial, celles de Sissach à Gelterkinden, de Marseille et de Zurich.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ligne de Sissach à Gelterkinden. — Ce chemin de fer a été ouvert à l'exploitation le 23 avril 1891. Il est à l'écartement d'un mètre et relie la station de Sissach du chemin de fer Central, dans le canton de Bâle, au centre de l'industrieux village de Gelterkinden. Il sert au transport des voyageurs et des marchandises, de sorte que son parc à matériel diffère de celui des railways électriques ordinaires. Toutes les installations électriques ont été fournies par les ateliers d'Œrlikon.

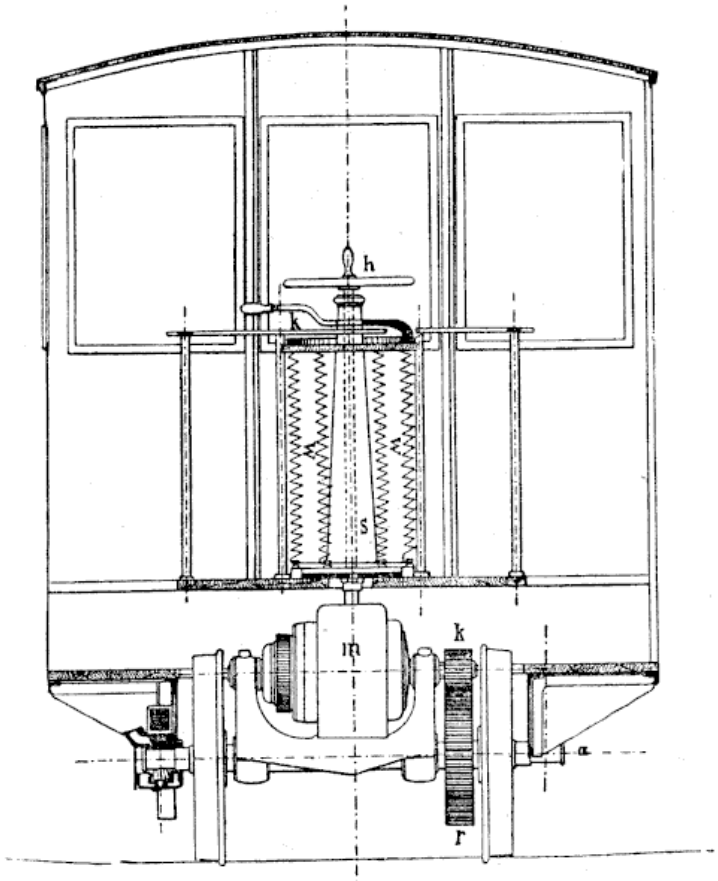


Fig. 404.

Voie. — Sa longueur est de 3.250 kilomètres, dont les deux tiers sur chaussée et le reste sur plates-formes spéciales, ce qui a augmenté notablement les frais de construction.

Les courbes minima ont un rayon de 60 mètres et la pente la plus forte est de 15 millimètres par mètre. L'installation fixe hydraulique et électrique est au tiers de la distance. La turbine actionne une dynamo de 600 volts et 50 ampères faisant 600 tours à la minute.

Matériel roulant. — Le parc au matériel se compose d'une locomotive électrique, de quatre voitures à voyageurs et de deux wagons à marchandises. La locomotive est pourvue de deux électro-moteurs, un par essieu. Ils sont à quatre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pôles et enroulés en série. Dans chacun d'eux, l'axe de la bobine attaque par un pignon un engrenage calé sur l'essieu (rapport de 1 : 4) et présente cette particularité de se trouver dans le même plan vertical que l'essieu, comme le montre la vue par bout de la locomotive représentée par la figure 404. Cet induit fait 420 tours à la minute, pour une vitesse moyenne de 17 kilomètres à l'heure.

Cette locomotive mesure 4m69 de long sur 2m95 de haut et pèse 6,170 kilogrammes. Elle remorque des trains de 2 et 3 véhicules, c'est-à-dire une charge remorquée d'environ 16,500 kilogrammes, y compris le poids des voyageurs.

La locomotive à vapeur utilisée à la construction sert de réserve.

Coût de premier établissement.

I. — Construction du chemin de fer et des installations.

		Francs.
***A.* Frais d'organisation et d'administration.**		
1° Traitements, salaires, frais de voyage	5,764 30	
2° Frais de bureau	907 55	
6° Divers	5,389 82	
		12,061 67
***B.* Intérêts du capital de construction.**		
1° Intérêt des payements faits à la Compagnie de construction jusqu'à l'ouverture du chemin de fer	..	3,787 50
***C.* Expropriation.**		
1° Traitements, salaires et frais de voyage	897 60	
2° Indemnités moins les remboursements	50,922 45	
3° Frais d'estimation et de justice	1,100 90	
5° Divers	574 61	
		53,495 56
***D.* Construction du chemin de fer.**		
1° Infrastructure	97,695 55	
2° Superstructure	64,000 00	
3° Bâtiments, etc.	27,500 00	
4° Téléphone, signaux et installations électriques	68,250 00	
		257,445 55
II. — Matériel roulant.		
Suivant devis	...	56,000 00
III. — Mobilier et ustensiles.		
Suivant devis	...	4,034 90
		386,825 18

La partie électrique seule se chiffre ainsi :

Appareillage électrique de la ligne	39,000 francs.
Dynamo fixe, tableau et accessoires	11,000 —
Locomotive électrique complète	15,000 —
Divers	4,000 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exploitation. — Le service journalier comprend 10 à 12 courses dans chaque direction, le train se composant de 2 à 4 voitures à voyageurs et quelquefois d'une ou deux voitures à marchandises, ce qui correspond annuellement à 26,000 ou 27,000 trains-kilomètres, dont la locomotive électrique accomplit plus des $^4/_5$.

Malheureusement, le compte de la locomotive électrique n'est pas distinct de celui de la locomotive à vapeur, ni comme parcours, ni comme dépenses.

Toutefois, on considère les frais de traction électrique comme étant de beaucoup inférieurs à ceux de l'autre, soit 20 à 30 centimes au lieu de 60 à 70 centimes par train-kilomètre, réduction de dépenses heureuse, en présence de l'état précaire des recettes. Le personnel le moins exercé peut conduire l'électro-moteur, ce qui simplifie l'organisation des équipes et de la réserve, les agents des divers services pouvant se suppléer.

Au surplus, voici les comptes d'exploitation de plusieurs exercices :

DÉPENSES.	1891 Sept mois et demi.		1892		1893	
Administration générale . . . . . fr.	...	306 40	...	1,601 51	...	1,628 62
Entretien et surveillance de la voie . .	...	2,901 55	...	6,140 85	...	6,181 70
Contrôle et recette	...	4,969 54	...	8,171 14	...	8,035 47
Traction :						
Personnel	3,965 90	...	5,015 45	...	5,071 85	...
Matières employées pour les locomotives et wagons	8 6 01	...	1,061 30	...	3,052 30	...
Entretien et renouvellement du matériel roulant.	29 60	...	1,062 40	..	887 45	...
Autres dépenses	207 80		253 15		476 37	
		5,009 31		7,392 30		9,487 97
Dépenses diverses	...	1,442 55	...	992 92	...	2,351 97
Total des dépenses. . fr.	...	14,629 35	...	24,298 72	...	27,735 73

Tramways de Marseille. — Inaugurée en mai 1892, la traction électrique sur la ligne de Marseille au faubourg Saint-Louis succéda, avec succès, à d'autres tentatives de traction mécanique qui avaient échoué jusque-là, tant à cause des difficultés de traction en fortes rampes que des caprices du trafic local.

Les ateliers d'Œrlikon et MM. Sautter-Harlé et Cie, de Paris, qui en ont entrepris l'équipement électrique, ont cédé l'exploitation à la Compagnie générale française de tramways (1).

(1) Des études complètes, accompagnées de dessins de détails, ont été publiées, en diverses langues, sur cette ligne : la première par M. Denizet, ingénieur des ponts et chaussées de France, en 1893 ; la seconde par M. du Riche Preller, dans *Engineering* du 27 octobre 1893. Elles ont été traduites en allemand dans *Zeitschrift für Kleinbahnen* de février 1894.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voie. — D'une longueur de 6,071 mètres à l'écartement normal, la voie est du système Humbert, rail à ornière sur chaises en fonte boulonnées à des traverses Zore en fer distantes de 1 mètre. Le rail pèse 27 kilogrammes au mètre, et la voie, traverses, éclisses et chaises comprises, 85 kilogrammes. Sur la forte rampe de 60 millimètres, les chaises sont remplacées par des longrines en double Z qui solidarisent toutes les traverses.

La ligne étant à double voie présente donc un développement de 12.2 kilomètres de voie simple, y compris les raccordements à l'usine. Elle est profilée figure 405.

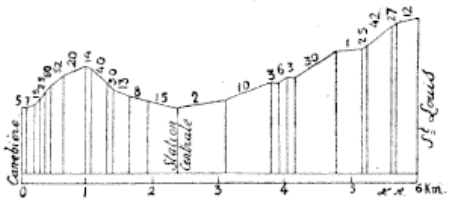


Fig. 405.

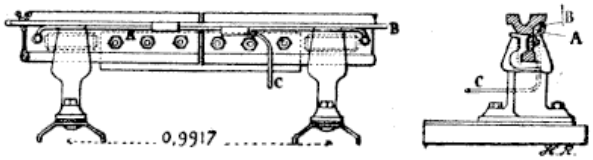


Fig. 406.

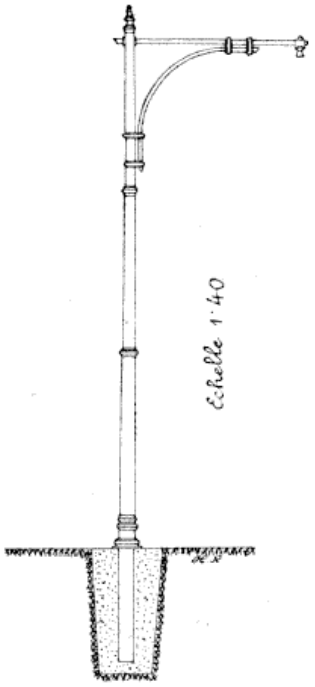


Fig. 407.

On voit figure 406, en même temps que la forme de la voie, comment le circuit de retour est renforcé : 1° d'une connexion entre rails formée d'un fil de cuivre étamé de 7 millimètres A rivé à l'âme du rail ; 2° d'un fil d'acier galvanisé B de 8 millimètres de diamètre régnant tout le long de chaque file de rails et soudé à chaque connexion ; 3° d'un fil transversal C reliant entre elles les deux files parallèles tous les 50 mètres.

La ligne aérienne est constituée par un fil en bronze siliceux de 6 millimètres de diamètre, fractionné en quatre sections alimentées séparément, les feeders aériens étant calculés de façon à porter la tension à 500 volts sous une perte de 10 p. c. ; la station centrale est au tiers de la longueur ; un feeder de 80 millimètres carrés alimente la quatrième section, un de 60 millimètres carrés, la troisième ; il n'y en a pas pour la seconde, reliée directement à l'usine ; le feeder de la première section a 50 millimètres carrés.

D'élégants poteaux tubulaires en fer, sur socle en fonte (fig. 407), une série

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'organes d'isolement et de suspension montés sur âme en bois paraffiné, complètent l'appareillage de la ligne.

On a trouvé, lors des essais de réception pour l'isolement total de la ligne, 40,000 ohms; pour la chute de potentiel entre l'usine et Saint-Louis (3,800 mètres), 15 p. c.; entre l'usine et la Cannebière (2,200 mètres), 12 p. c. au maximum.

La chute *moyenne* de potentiel avec huit voitures en service est d'environ 5 p. c. pour toute la ligne, perte minime.

Usine génératrice. — On y trouve trois chaudières tubulaires de Naeyer de 90 mètres carrés de surface de chauffe à réchauffeur de 70 mètres carrés de surface de chauffe, trois machines Corliss-Bonjour horizontales à condensation, construites par M. Vanden Kerchove, de Gand, dont deux de 250 à 300 H. P. effectifs à 80 tours et la troisième de 125 à 150 H. P.; elles commandent directement par courroie trois dynamos Œrlikon compound à 4 pôles, dont deux de 200 kilowatts et une de 100 kilowatts à 550 volts. Leurs induits dentés sont à double enroulement isolé au mica, les collecteurs en cuivre dur laminé; les charbons des balais sont maintenus entre deux lamelles latérales de cuivre. La mise en circuit d'une deuxième dynamo se fait par emprunt de courant à la barre d'équilibre avant la fermeture de l'interrupteur sur la ligne.

Sens du courant. — A l'inverse de ce qui se pratique en général ailleurs, le fil aérien ici est relié au pôle *négatif* et les rails au pôle *positif;* on n'en a pas jusqu'ici reconnu d'inconvénient. (Voir § B.)

Téléphone. — Un mot des troubles dans les lignes téléphoniques. Ces lignes, avant la reprise du réseau par l'État, suivaient ou croisaient à moins d'un mètre celle du tramway, au début de l'installation. On tenta d'user d'artifices, tels que l'intercalation de bobines d'induction et de condenseurs pour tamiser en quelque sorte les courants des deux sources et arrêter les perturbateurs; mais il fallut bien en arriver au remède radical, le doublement des circuits téléphoniques, et les supports du téléphone furent relevés de 14 mètres, opérations qui coûtèrent 70,000 francs à la Compagnie des tramways.

Voitures. — Nous avons parlé (I-A) des moteurs primitifs à vis et des moteurs à engrenages, simple réduction, qui leur ont succédé, ainsi que du schéma des connexions et des résultats obtenus. Rappelons que les premiers n'ont pas satisfait à la clause de remorquer un car de 50 personnes, sur rampes de 25 millimètres et moins à la vitesse de 20 kilomètres, ce qui a déterminé les ateliers d'Œrlikon à y substituer la transmission par roues dentées, laquelle donne toute satisfaction.

D'une longueur totale de 8 mètres entre garde-corps extrêmes, les voitures offrent 20 places intérieurement et 15 sur chaque plate-forme, avec des surcharges tolérées de 10 personnes et plus. Elles n'ont pas de truck indépendant; le châssis, en tôle ajourée et fer profilé, dûment entretoisé, porte, par quatre res-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sorts à lames, sur les boîtes à graisse des fusées d'essieux, dont l'écartement n'est que de 1m80. Les roues ont 96 centimètres à la surface de roulement, soit 1m04 y compris les boudins, de sorte que le plancher de la caisse est de 20 centimètres plus élevé que celui des plates-formes, sous lesquelles les longerons en tôle se prolongent surbaissés (1).

Poids : Caisse, châssis, roues	4,300 kilogrammes.
— Moteur et équipement électrique	2,400 —
Poids à vide	6,700 kilogrammes.

Auquel il y a lieu d'ajouter le poids de 50 à 60 voyageurs et même davantage.

Coût de construction :

Voie	fr.	240,000	
Pavage neuf		120,000	
			360,000
Ligne aérienne et supports	fr.		180,000
Machines à vapeur et chaudières			143,000
Dynamos fixes			57,000
Voitures :			
Une voiture : caisse, châssis, roues	fr.	9,000	
— moteur et équipement électrique		11,000	
Dix-huit voitures à	fr.	20,000	360,000
Divers :			
Fumisterie, cheminée et alimentation d'eau	fr.		25,000
Atelier de réparations à l'usine génératrice			8,000
Protection téléphonique			70,000
Truck-échafaudage pour entretien de la ligne aérienne			10,000
Bâtiments affectés à l'exploitation, frais généraux d'installation, intérêts intercalaires			145,000
	Fr.		1,358,000

Exploitation. — De dix-huit voitures disponibles, dix à seize sont journellement en service, se suivant en plein jour de 5 en 5 minutes, à la vitesse moyenne de 12 kilomètres, variant entre 10 kilomètres sur les rampes supérieures à 25 millimètres par mètre, sauf réduction sur celles de 60 millimètres, et 20 kilomètres à l'heure sur les inclinaisons inférieures à 25 millimètres. La faculté de surcharger la voiture, qui porte parfois jusqu'à 75 personnes, a évité l'usage de remorquées et permis par là une accélération générale de l'allure, conduisant à des parcours quotidiens de 150 à 175 kilomètres pour une durée de service de 18 à 20 heures, intense surtout de 8 heures du matin à 8 heures du soir.

(1) D'excellents dessins cotés de cette voiture se trouvent dans la brochure spéciale publiée par M. Denizet, et sont reproduits dans le *Portefeuille des machines d'Opperman*, novembre 1893.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Frais d'exploitation pendant les derniers exercices :

			Dépenses par train-kilomètre. (Centimes)	
Production de l'énergie.	Personnel		2.43	
	Charbon	Varie entre	12.20 et 13.26	
	Eau	—	0.13 et 0.21	
	Graissage		0.955	
	Divers		0.105	
		Varie entre		15.82 et 16.96
Matériel fixe.	Chaudière et tuyauterie		0.70	
	Moteurs à vapeur		0.36	
	Dynamos génératrices	Varie entre	0.13 et 0.27	
		Varie entre		1.19 et 1.33
Ligne aérienne retours et téléphones				1.12
Matériel roulant.	Véhicule, caisse, châssis, roues, etc.	Varie entre	4.63 et 4.04	
	Partie électrique, électro-moteur, appareils de connexion et de contact et mécanisme	Varie entre	5.13 et 5.86	
		Varie entre		9.76 et 9.90
Divers				0.06
Atelier et outillage				4 83
Conduite des voitures		Varie entre		5.50 et 7.52
		Dépense totale. Varie entre		38.28 et 41.72

L'entretien de la partie électrique des voitures se détaille ainsi :

Électro-moteur	3.61	centimes.
Rhéostats et circuits	1.07	—
Régulateurs	0.72	—
Perches et roulettes	0.46	—

A Marseille, le charbon coûte 30 francs la tonne.

Le parcours total a été de 589,943 trains-kilomètres en 1894 et le poids du charbon consommé 2,531,410 kilogrammes.

Zurich. — Accumulateurs fixes. — Un emploi très judicieux d'une batterie fixe d'accumulateurs, dans des conditions spéciales de profil et de trafic, est le côté sérieusement intéressant du tramway électrique de Zurich.

En voie simple de 1 mètre, la ligne, de 4.6 kilomètres de longueur, avec huit évitements de 30 mètres et une bifurcation sur une partie du trajet, présente de nombreuses et fortes rampes :

65 millimètres sur	115	mètres.
50 — —	500	—
30 à 50 millimètres sur	810	—
1.5 à 30 — —	3,070	—
0 millimètre sur	220	—

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Formée de rails Phœnix sur ballast, la voie pèse 77 kilogrammes par mètre.

La ligne aérienne est appareillée, comme celle de Marseille, avec un fil de 7 millimètres, mais placé à une hauteur de 5^m50 seulement au lieu de 6 mètres partagé en quatre sections d'égale longueur reliées à la station centrale par un feeder de 60 millimètres carrés. Le circuit de retour est disposé comme à Marseille. Contre la chute des fils téléphoniques, la protection est assurée moyennant deux fils d'acier tendus.

L'usine est à l'extrémité; elle comprend deux groupes principaux d'unités génératrices formés chacun d'une chaudière Galloway, système Escher-Wyss, de 58 mètres carrés de surface de chauffe, une machine compound verticale de 900 H. P., une dynamo de 200 ampères et 550 volts à 450 tours, mue par courroie.

Une batterie d'accumulateurs de 300 éléments Tudor n° 110, d'une capacité de 245 ampères-heures, est montée en parallèle avec la dynamo du groupe en service. Chaque élément est formé de sept plaques de 30 centimètres de hauteur, 8 millimètres d'épaisseur, dont quatre négatives.

En outre, une petite dynamo de 20 ampères sous 150 volts et 30 ampères sous 100 volts sert à remonter le potentiel des éléments déchargés.

Pour le cas où la réparation de la batterie exigerait sa mise complète hors circuit, on assure le service au moyen de deux dynamos qui sont, à cette fin, munies d'un enroulement compound mis en circuit dans de telles circonstances seulement.

Voici, d'après une étude de M. Paul Schoop, comment fonctionne le système :

La capacité de la batterie utilisée ne dépasse pas 150 ampères-heures au débit de 35 ampères pendant trois ou quatre heures. Un débit de 75 ampères peut être supporté pendant une heure.

La batterie représente donc une réserve de 70 kilowatts ou 100 H. P. et peut débiter, pendant une heure, près de 50 H. P. On peut en exiger davantage pendant cinq minutes au plus, c'est-à-dire porter momentanément le débit à son maximum de 75 H. P. En d'autres termes, la batterie peut suffire au mouvement entier du tramway pendant trois heures.

La figure 408 montre le schéma des connexions pour la charge et la décharge des accumulateurs.

La génératrice G, excitée en dérivation, envoie le courant négatif au conjoncteur-disjoncteur automatique I, qui coupe le circuit quand le potentiel de la batterie dépasse celui de la dynamo, pour le rétablir au cas inverse, et fonctionne également quand l'engin est arrêté. De là, le courant passe au régulateur de tension R, puis, sortant de la batterie, traverse l'indicateur de sens de courant A_I et rejoint la ligne aérienne L, alimentée d'ailleurs par le pôle positif de la dynamo après traversée du plomb fusible P, du coupe-circuit C et de l'ampèremètre A_{II}.

Le régulateur R, qui agit sur 81 éléments, par 27 touches insérant chacune 3 éléments, fonctionne automatiquement pour retirer ou ajouter ces éléments, corrélativement avec le débit de la batterie. A cette fin, un relais, en dérivation entre la ligne aérienne et le rail, déclanche l'appareil en suivant les fluctuations du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

potentiel. La palette supérieure est reliée à la ligne de terre par l'intermédiaire d'un plomb fusible et d'un coupe-circuit B. La palette inférieure est reliée à la dynamo auxiliaire D, que l'on fait fonctionner une ou deux fois par jour, pendant une couple d'heures, pour relever le potentiel des éléments compris entre les deux palettes, éléments qui cessent plus tôt que les autres d'être alimentés par la génératrice.

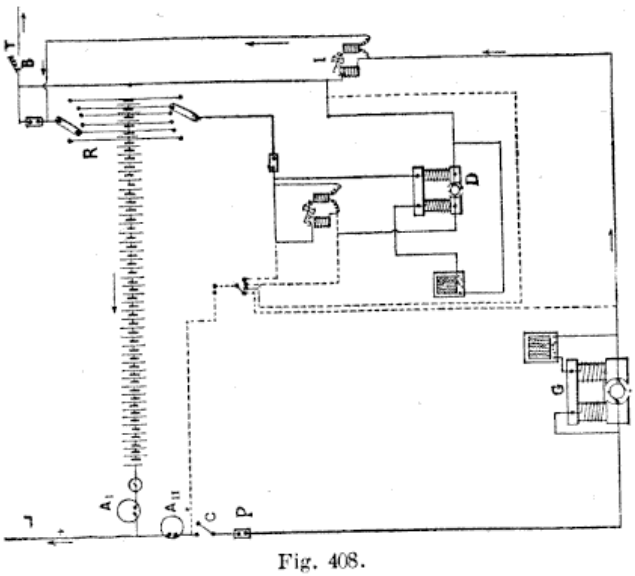


Fig. 408.

Comme état normal de charge, on règle les appareils de telle sorte que la batterie soit au niveau de 80 p. c. de sa capacité. La marge restante suffit à l'absorption de la surcharge non dépensée par la ligne, tandis que l'état moyen de 80 p. c. est favorable à la conservation de l'accumulateur.

Le débit de la batterie dépend à la fois des variations de la tension et de l'intensité sur la ligne. On se fera une idée du sens dans lequel elle fonctionne, charge et décharge, en consultant le tableau suivant relatant les résultats d'un essai :

HEURES.	COURANT SUR LA LIGNE.	TENSION SUR LA LIGNE.	COURANT DE LA DYNAMO.	DÉCHARGE DE LA BATTERIE.	CHARGE DE LA BATTERIE.	NOMBRE D'ÉLÉMENTS ENGAGÉS.
	Ampères.	Volts.	Ampères.	Ampères.	Ampères.	
10.20	...	510	20	...	20	250
10.21	60	500	20	40	...	253
10.21 1/4 . . .	30	505	20	10	...	253
10.21 1/2 . . .	25	510	20	5	...	250
10 22	23	510	20	3	...	250
10.22 1/4 . . .	...	510	20	...	20	250
10.22 1/2 . . .	70	500	20	50	...	253
10 22 2/3 . . .	40	500	20	20	...	253
10 22 3/4 . . .	...	510	20	...	20	250
10 25	...	510	20	...	20	250
10 25 1/2 . . .	35	510	20	15	...	250
10 25 2/3 . . .	50	505	20	30	...	250
10.25 3/4 . . .	70	500	20	50	...	253
10.26	90	500	20	70	...	256
10.26 1/3 . . .	...	510	20	...	20	250

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant au rendement technique du système, il en a été question au chapitre I-C.

Il existe 16 voitures motrices; chacune d'elles est munie d'un moteur de 18 H. P., comporte 24 à 26 places, dont 12 assises, pèse 3.8 tonnes à vide et 5.6 tonnes avec les voyageurs.

Coût de construction :

Établissement de la voie et des installations fixes, y compris les frais d'expropriations et d'études.	512,005 francs.
Matériel roulant	182,791 —
Outillage et mobilier	12.291 —
Total. . .	707,087 francs.

Dans ce chiffre, le réseau conducteur compte pour 71,537 francs, dont 45,000 francs pour la ligne aérienne et ses supports; les chaudières et machines à vapeur, pour 83,894 francs; l'installation électrique de l'usine, 67,000 francs; une voiture complète, 11,400 francs.

Exploitation. — Le service de 12 minutes au début, et serré plus tard à 6 minutes, a fourni, en 1894, un parcours réel de 354,745 kilomètres, qui s'est élevé ultérieurement à 460,000 avec 9 à 12 voitures ordinairement.

La batterie d'accumulateurs fonctionne *seule* avant 7 heures du matin et après 9 heures du soir.

Au personnel ordinaire s'est ajoutée la réserve exigée par la loi suisse sur le repos des agents; il comporte :

1 chef d'exploitation;	1 chef de dépôt;
1 comptable;	1 chef de station;
1 contrôleur;	1 portier;
16 receveurs;	2 receveurs auxiliaires;
16 conducteurs;	6 ajusteurs-conducteurs auxiliaires;
1 homme de peine;	2 chauffeurs;
2 machinistes;	2 nettoyeurs de voitures.
4 cantonniers;	

En tout 56 agents, personnel plus nombreux qu'on ne l'avait prévu, ce qui entraîne un surcroît de dépenses d'exploitation d'environ 3 centimes.

Le compte d'exploitation, pour la période du 8 mars au 31 décembre 1894, se traduit comme suit :

Dépenses.	Centimes.		
I. Administration générale.	...	...	2.470
II. Entretien et surveillance de la voie :			
Personnel	...	1.390	
Entretien et renouvellement.	...	0.078	
A reporter. . .	...	1.468	2.470

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

		Centimes.	
Reports. . .	...	1.468	2.470
Infrastructure	...	0.002	
Superstructure.	...	0.074	
Réseau conducteur	...	0.050	
Signaux, clôtures et divers	...	0.001	
Déblaiement des neiges	...	0 069	
Divers	...	0.072	
			1.736
II. Service d'expédition et de l'exploitation	..	...	6.839
IV. Service de la traction :			
A. Personnel :			
Chef de dépôt	0.822		
Machines fixes	1.99		
Conducteurs et visiteurs	7.416		
Nettoyeurs	0.779		
		11 007	
B. Matières :			
Combustible.	5.357		
Graisse	0.189		
Matériel d'éclairage	0.099		
Chargement des accumulateurs	0.139		
Divers	0.541		
		6.325	
C. Entretien et renouvellement des voitures et machines :			
Voitures	1.389		
Chaudières	0.057		
Machines à vapeur	0 209		
Dynamos.	0.083		
Accumulateurs	0.477		
		2.215	
D. Dépenses de bureau, etc.	...	0.184	
			19.731
V. Divers (loyers, frais de justice et de procès, assurances, impôts, caisse de secours, etc.)	...	...	1.886
			32.662

Le nombre de voitures-kilomètres a été de 1,186 en moyenne par jour, soit 355,000 voitures-kilomètres en chiffres ronds pour la période envisagée, et celui des voyageurs transportés de 3,247 également par jour.

g. — *Installations du système Dickinson.*

Poulie de contact sur moufle pivotante. — South Staffordshire. — Des poteaux placés sur l'accotement de la route ou sur les trottoirs supportent le ou les fils conducteurs du courant, dans une position intermédiaire entre le rail

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

extérieur de la voie et l'accotement. La poulie qui, pour capter le courant, doit atteindre chaque fil, quelle que soit sa position dans l'espace, est conduite par des supports dont la figure 409 représente la disposition d'ensemble, dans le cas de double voie.

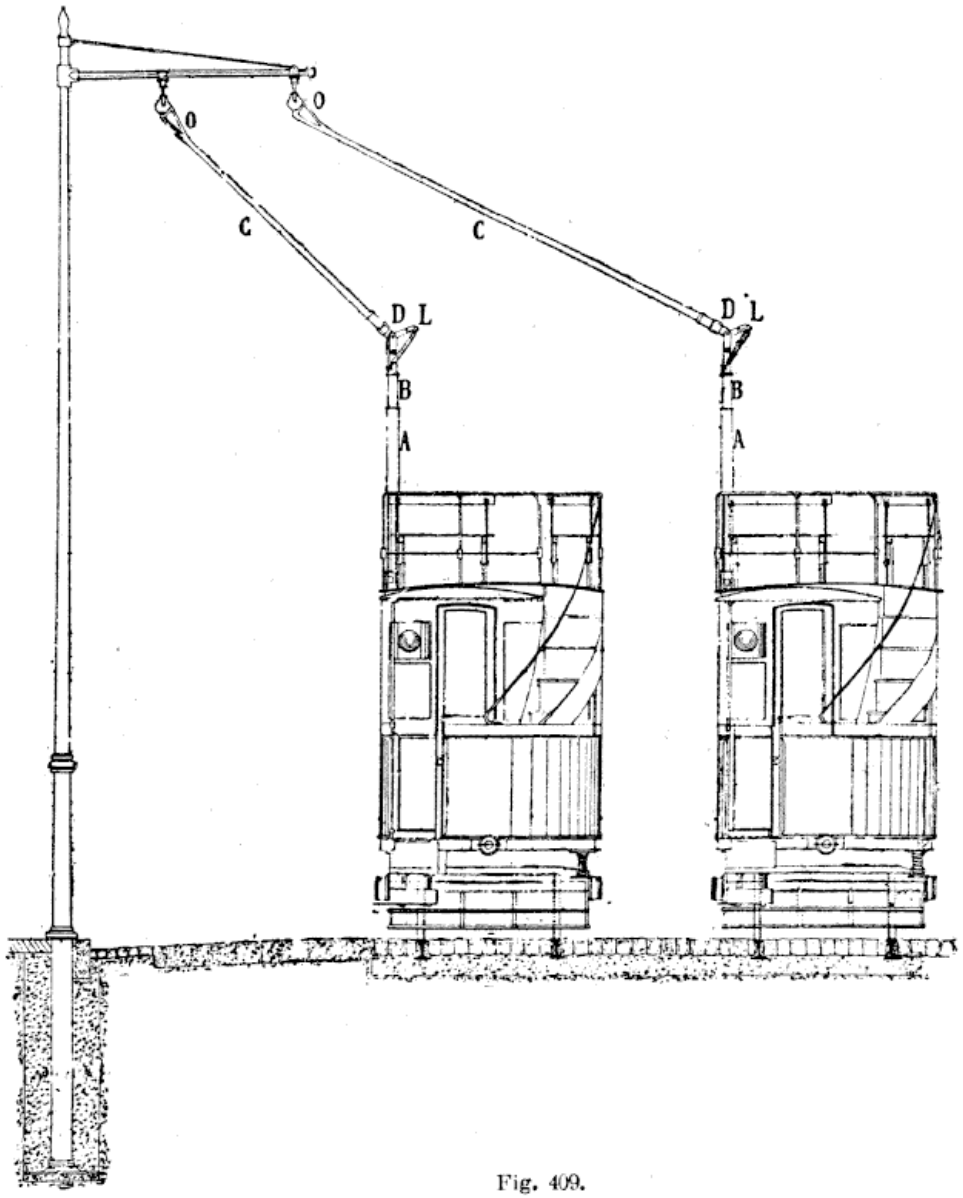


Fig. 409.

La figure 410 montre l'extrémité de la tige portant la poulie, tandis que le gros bout de cette tige s'enfonce dans l'une des branches d'un levier coudé articulé sur un mât à douille (fig. 411). C'est après avoir passé par une série de perfectionnements successifs que cet appareil a revêtu sa forme définitive.

On voit que les joues F, H embrassant la poulie appartiennent à une seule pièce se terminant en pivot par dessous, et présentant, en dessus, des formes extérieures arrondies particulières; l'une des faces regardant vers le fil est une surface de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

révolution qui, pendant le pivotement, est toujours, par l'une ou l'autre de ses génératrices, le prolongement de l'ergot O enté sur la tige. Grâce à ce dispositif, lorsqu'on amène l'une des joues au contact du fil conducteur, la poulie se place aisément dans un plan parallèle à ce dernier, et ensuite dans sa position normale sous le fil.

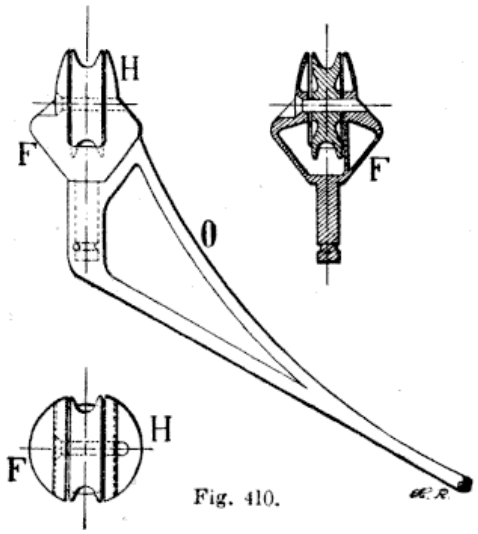


Fig. 410.

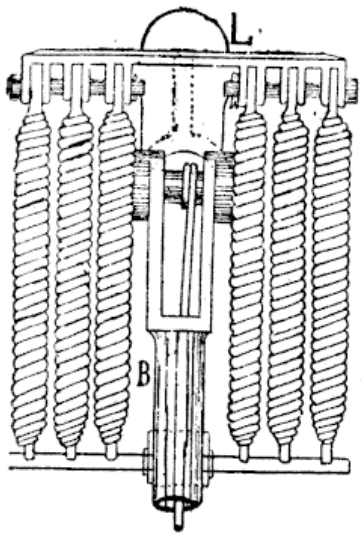


Fig. 412.

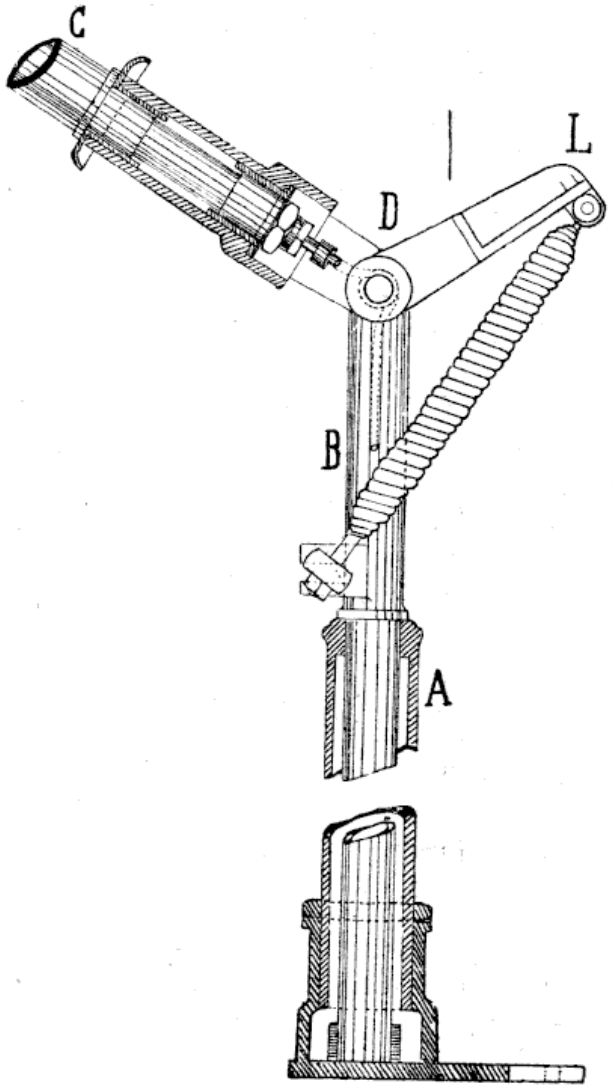


Fig. 411.

En F se trouve une chambre de lubrification.

Le levier CDL, qui continue la tige à son extrémité inférieure, est articulé en D sur un petit mât B, lequel pivote à son tour dans la douille verticale A fixée au toit de la voiture.

La pression de la poulie contre le fil de trolley est le résultat de la tension des ressorts BL agissant sur le bras DL du coude et détaillés dans la figure 412. La figure 413 montre les ressorts qui, liés au pied du mât vertical mobile, tendent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à ramener la tige de la poulie dans un plan perpendiculaire à la voie, lorsqu'elle en est écartée par ses mouvements dans un plan horizontal, précaution prise eu égard aux voyageurs d'impériale.

De cet ensemble de dispositions, il résulte que si l'on considère le point D comme centre d'une sphère dont le rayon est la tige DF, la poulie peut occuper un point quelconque d'une portion considérable de la surface de cette sphère; la figure 414 montre en projection les différentes positions que peut prendre le fil conducteur, par suite du champ d'action et de l'extrême mobilité de l'appareil capteur du courant.

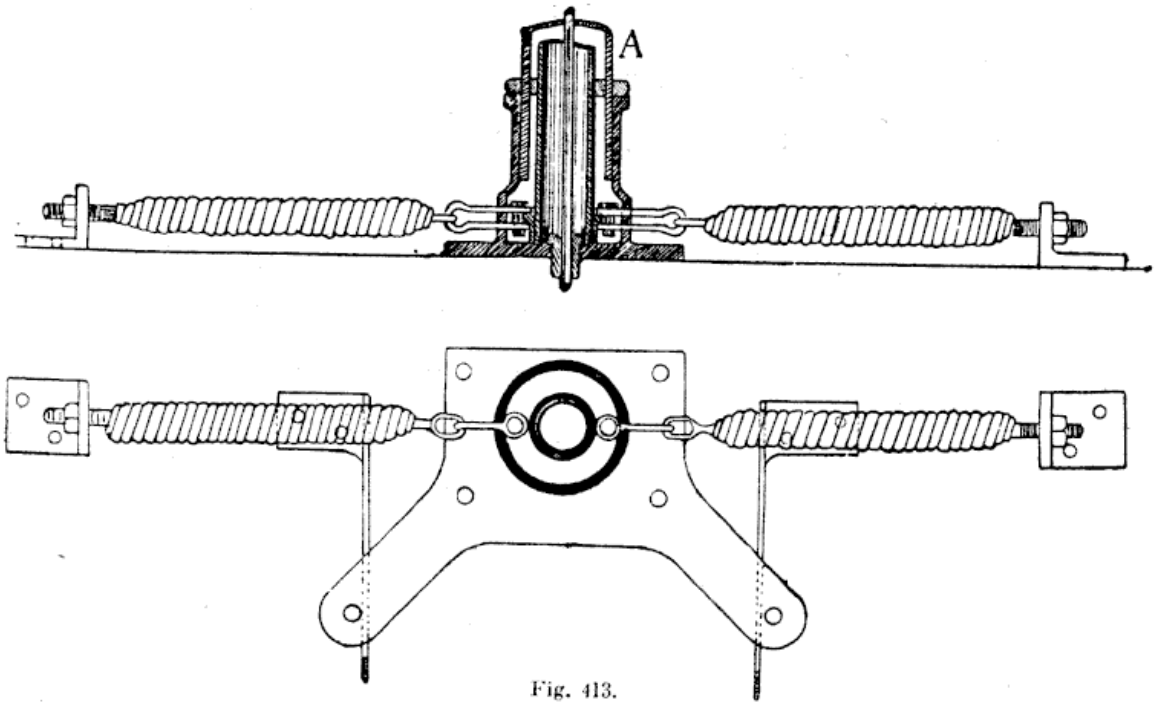


Fig. 413.

Les lignes sont en partie à double voie, en partie à simple voie, avec trente-sept voies d'évitement, c'est-à-dire septante-quatre liaisons, où les fils convergents sont fixés à un appareil spécial. Cet appareil (fig. 415) comporte une aiguille mobile M, prolongeant le fil raccordé et de telle courbure que sa projection descend au-dessous de celle de la plaque verticale supportant le fil continu, plaque contre laquelle l'aiguille est maintenue par un ressort R. Une entretoise, entre les branches de la fourche, empêcherait la moufle de s'y coincer, si la poulie déraillait en deçà de ce point.

Grâce à ces diverses dispositions, M. Dickinson a pu réduire dans des proportions considérables le nombre de poteaux, tout en supprimant les fils d'attache transversaux (*span wires*). On peut se faire une idée de cette réduction en regardant la figure 416, donnant en projection l'installation existant dans un carrefour de la ville de Walsall, et la figure 417, montrant ce qu'il eût fallu de points d'attache et de suspension, d'après l'ingénieur prénommé, pour main-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tenir le fil dans l'axe de la voie; le fil de trolley est figuré par des traits interrompus.

Lignes appareillées. — Tel que nous venons de le décrire, le système a été appliqué en Angleterre pour la première fois en 1892, aux lignes électriques de la « South Staffordshire Tramways Company ».

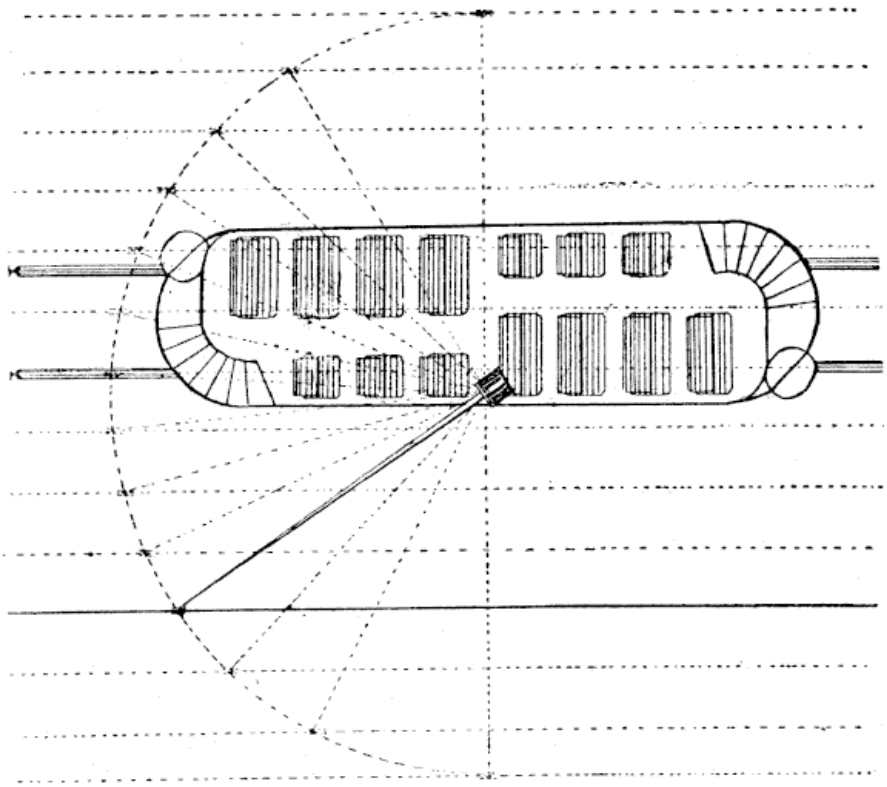


Fig. 414.

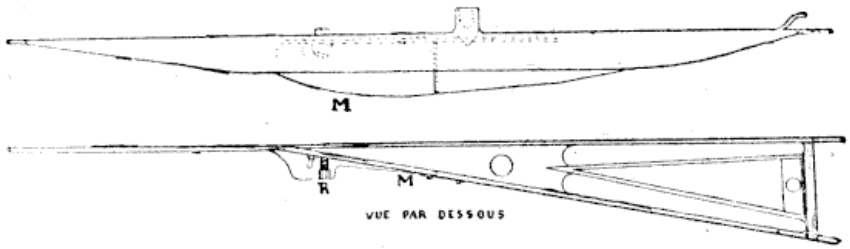


Fig. 415.

Antérieurement exploitées à vapeur, comme le reste du réseau, ces lignes relient les localités de Walsall, Darlaston, Bloxwich, Wednesbury, voisines de Birmingham. Elles ont été appareillées et équipées par l' « Electric Construction Corporation », de Wolverhampton.

Profils des voies. — La partie des lignes du « South Staffordshire » exploitée électriquement comporte quatre sections, dont ci-après les profils en long

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

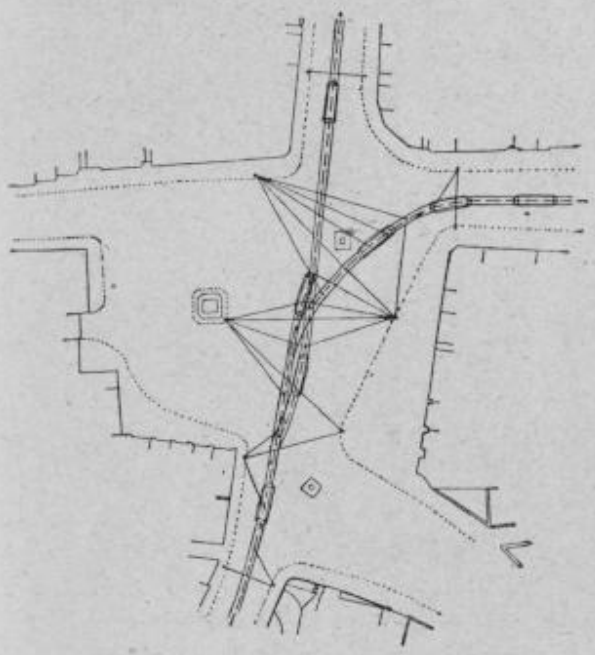


Fig. 417.

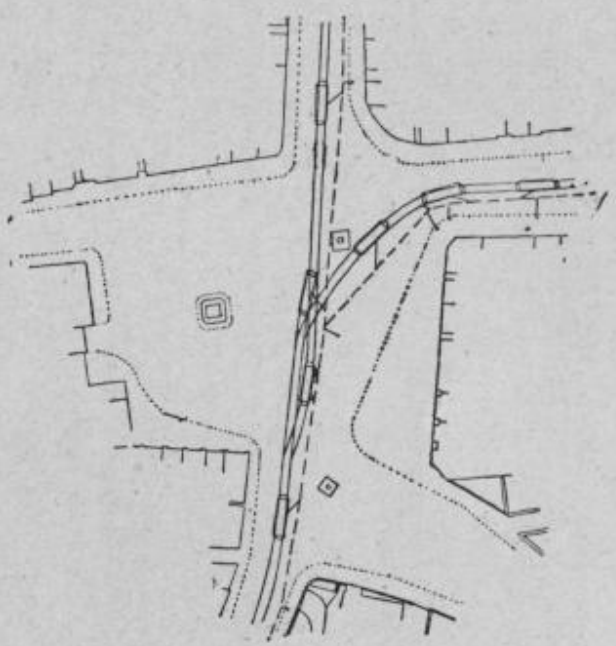


Fig. 416.

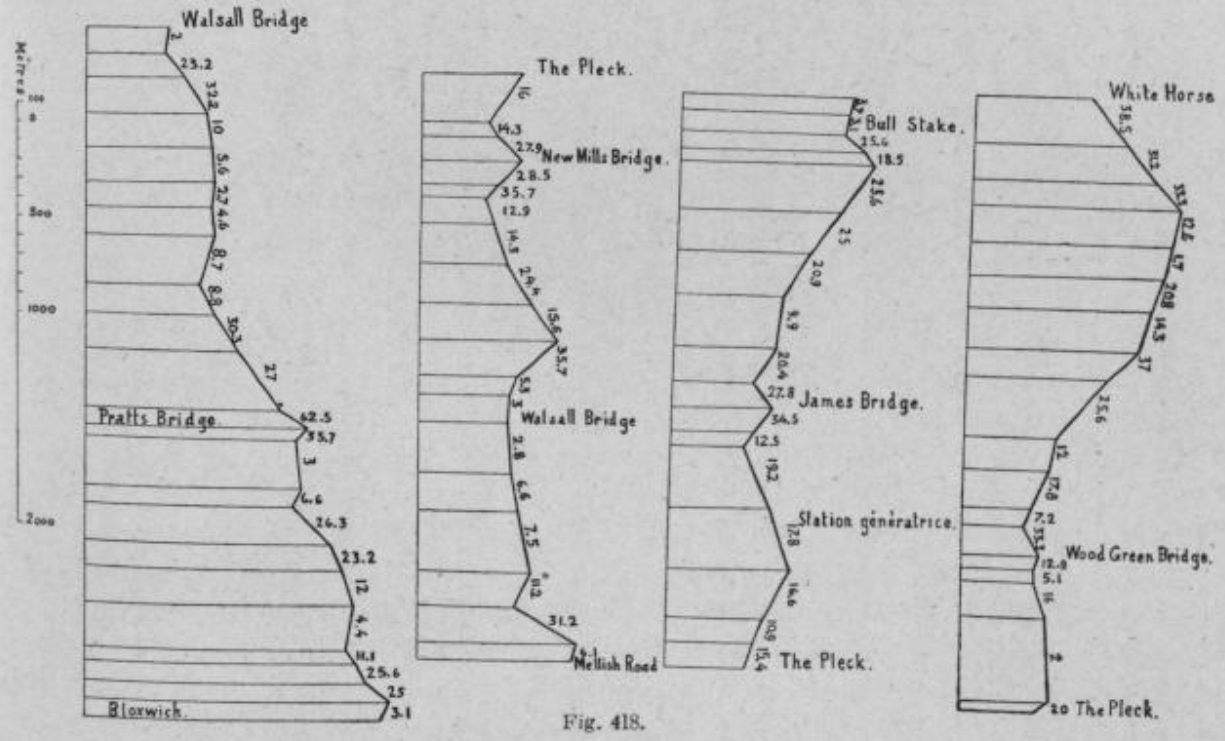


Fig. 418.

(fig. 418). L'ensemble des lignes présente un développement de 12,765 mètres comprenant, en simple voie, une longueur totale de 15,794 mètres, en y comprenant trente-sept évitements. Elles sont, comme le reste du réseau, à l'écartement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 1m06, et formées de rails à large patin, d'une hauteur de 152 millimètres reposant sur lit de béton, avec pavement de grès intérieur et extérieur. Quatre des courbes à angle droit n'ont qu'un rayon de 12 mètres.

Appareillage de la voie. — Les poteaux en tôle d'acier doux sont formés de deux parties, l'une cylindrique, l'autre conique, ainsi qu'on le voit figure 409; la partie cylindrique est enfoncée en terre dans un massif de béton à une profondeur

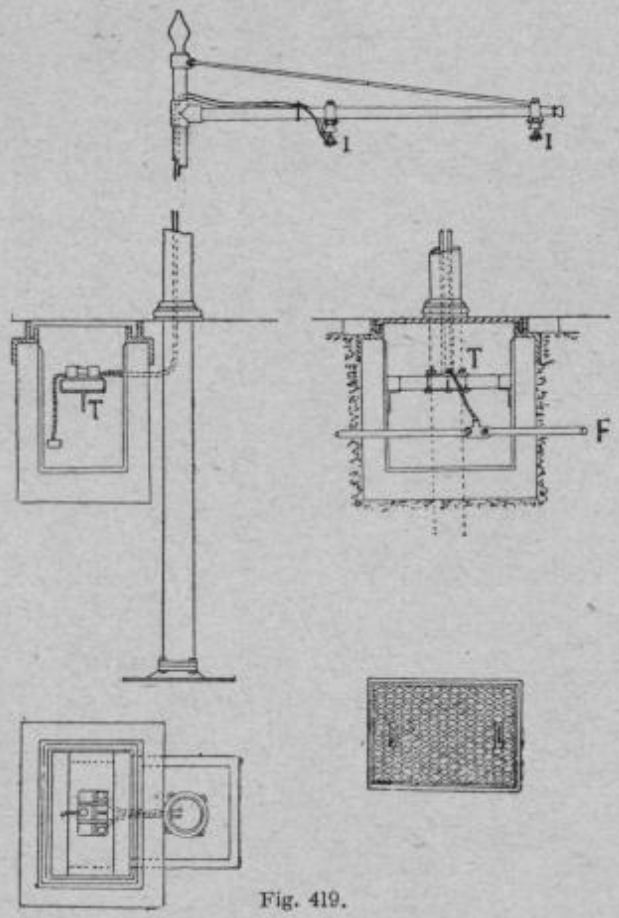


Fig. 419.

de 1m83 et prend pied sur une plaque de fondation de 0m60 × 0m60. Ils sont de trois types : le premier correspond aux potences de 0m75 à 1m35; le deuxième aux potences de 2m10 à 3 mètres; ces potences, quelle qu'en soit la longueur, présentent un diamètre décroissant de 67 à 38 millimètres; le troisième type de poteaux n'est employé qu'au terminus de chaque ligne.

Nous avons donné de ces poteaux une description complète, avec dimensions et efforts résistants, au § A-3.

Bien qu'à la pose, les poteaux n'aient pas été déviés de la verticale, ce qui eût été préférable, l'ensemble de ces supports et des potences constitue une installation relativement peu encombrante.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le fil de trolley en cuivre dur est suspendu à des isolateurs et maintenu par deux joues rivées l'une sur l'autre. (Voir § A-3.) Il est interrompu tous les 800 mètres pour former des sections isolées l'une de l'autre. Les extrémités du fil sont individuellement reliées au feeder par deux câbles qui descendent dans un logement pratiqué au pied du poteau (fig. 419), et où leurs terminus passent par des fils fusibles en T avant de se réunir au feeder F.

Station génératrice. — L'usine de production du courant est située sur la route de Darlaston à Walsall près du canal de Birmingham, c'est-à-dire au centre du réseau électrique.

Elle comporte : trois chaudières en acier timbrées à 8 atmosphères, à foyer intérieur et tubes transversaux; trois machines horizontales et trois dynamos. Les machines sont à détente Corliss et compound, faisant 100 révolutions par minute et capables de déployer chacune une puissance de 125 chevaux indiqués. Le volant qui sert de poulie et mesure 3 mètres de diamètre est placé entre les bielles motrices. Les cylindres ont une course commune de 756 millimètres et des diamètres respectifs de 265 et 524 millimètres.

Chaque dynamo shunt, enroulée en tambour, est d'une puissance de 260 ampères et 330 volts; l'armature est entraînée à la vitesse de 450 révolutions, par neuf cordes de coton de 37 millimètres de diamètre, passant sur une poulie à cannelures de 61 centimètres de diamètre.

Ces dynamos peuvent être accouplées en parallèle selon les besoins. La tension dans les fils de trolley est de 300 volts.

Les feeders sous enveloppe de plomb et armés sont logés au bord de la route, à une quarantaine de centimètres au-dessous du niveau du sol. L'un se rend à 4.8 kilomètres vers Bloxwich; l'autre, après un parcours de 400 mètres, se bifurque vers les autres extrémités. Les connexions avec les fils de trolley sont distantes de 800 mètres l'une de l'autre et effectuées comme il est dit ci-dessus.

Voitures motrices. — Les voitures, au nombre de seize, sont à sièges d'impériale et contiennent 40 voyageurs assis, 18 à l'intérieur et 22 à l'extérieur. Elles pèsent 6,650 kilogrammes à vide. L'entraxe des essieux est de 1^{m}824, avec des roues de 837 millimètres.

Les moteurs, qui sortent des ateliers de Wolverhampton « Electric Construction Corporation » type Elwell-Parker, sont à simple réduction, avec les dents d'engrenage en chevrons; ils sont décrits au chapitre I-A. Le truck (fig. 420) pèse 3,350 kilogrammes, y compris les moteurs.

Coût de premier établissement. — L'équipement électrique du tramway a été effectué par *The Electric Construction Corporation*, qui en a entrepris l'exploitation à forfait. La longueur des lignes est de 12,765 mètres; le développement en voie simple, 15,794 mètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

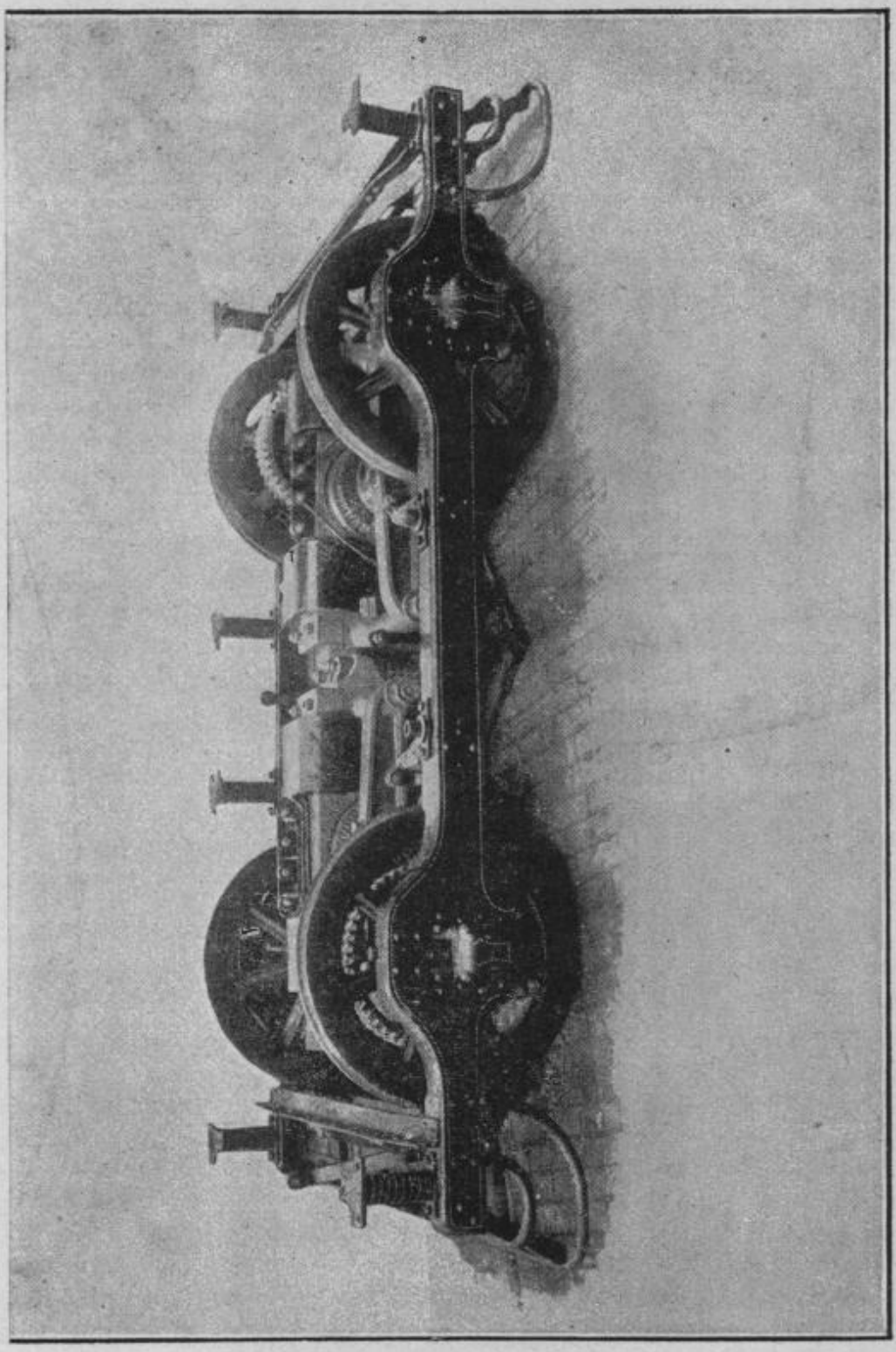


Fig. 420.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Evaluation des dépenses de construction :

Station génératrice :	
Bâtiment, raccordement au canal, chaudières, machines, dynamos et accessoires.	295,000 francs.
Lignes :	
Poteaux, fils de trolley et attaches, feeders, raccordement électrique des rails, etc.	206,250 —
Voitures :	
Voitures complètes à impériale, moteurs électriques et accessoires, 16 voitures.	240,000 —
Total. . .	741,250 francs.

Frais d'exploitation. — Résultats pour l'exercice 1893 :

Kilomètres exploités	12.8
Longueur de voie simple en kilomètres	15.8
Parcours en voitures-kilomètres	422,661
Voyageurs transportés	1,668,057

	Centimes.	
Locomotion :		
Salaires.	9.70	
Huile, graisse et autres matières	1.74	
Eau et divers	0.06	
		11.50
Usine génératrice :		
Salaires.	2.80	
Combustible	3.19	
Graissage	1.02	
Eau et divers	0.37	
		7.38
Entretien (matériaux et salaires) :		
A l'usine génératrice	0.0927	
Équipement électrique de la ligne	2.1260	
Voitures motrices	4.7570	
		6.97
Surveillance, taxes, assurances et impôts divers	3.56	

Installations diverses. — α. — A *Hartlepool*, les voitures à impériale portent le même trolley qu'au « South Staffordshire ».

β. — Mais dans d'autres installations, dont les voitures n'ont pas d'impériale, la tige de trolley, pouvant dès lors pivoter sur la base en tous sens, n'est pas assujettie en ce point, par des ressorts, à se diriger de préférence d'un même côté de la voiture.

Ce dernier type de tige, *à base libre*, est adopté notamment pour les lignes vicinales de Charleroi, le tramway de Bruxelles à Tervueren et d'autres lignes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

h. — *Installation de la Compagnie Internationale d'électricité.*

Herstal. — Étudiée par M. W. Dierman, ingénieur belge, que nous avons eu déjà l'occasion de citer, cette installation a été entreprise en 1892 par la Compagnie Internationale d'électricité, de Liége, pour compte de la Société des Tramways Liégeois, sous condition de reprise après un certain délai d'essai. L'inauguration a eu lieu en 1893.

Voie. — La ligne de Coronmeuse à Herstal est un tronçon du réseau de la Société des Tramways Liégeois à simple voie, avec trois évitements et deux garages extrêmes d'une longueur de 3,080 mètres, à l'écartement normal, formée de rails Demerbes de 32 kilogrammes au mètre courant à entretoises métalliques. Elle est profilée figure 421.

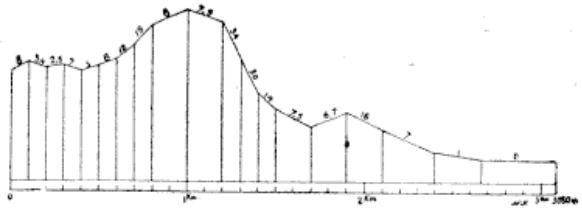


Fig. 421.

Dans le principe, on s'était contenté de connexions en fil de fer galvanisé de 6 millimètres, deux par joint, et de plaques de terre profondément noyées dans le sol, conformément à la pratique observée un an ou deux auparavant en Amérique par l'auteur du projet. Ultérieurement, on y a substitué des connexions en cuivre de 8.25 millimètres.

Les poteaux en treillis terminés par une flèche en bois sont espacés de 35 mètres.

Sur une moitié de la longueur, le fil de trolley est en bronze phosphoreux; sur l'autre moitié, en cuivre dur Felten de 7 millimètres.

Les feeders aériens ont respectivement 180 millimètres carrés de section sur 800 mètres et 35 millimètres sur 1,500 mètres.

Les pinces du fil de trolley sont soudées et fixées à des isolateurs au mica; les isolateurs des fils tendeurs sont en porcelaine et le dispositif en est figuré dans les généralités (§ A-3-*b*).

Usine génératrice. — Située à l'extrémité vers Liége, elle comprend deux chaudières multitubulaires De Naeyer de 108 mètres carrés de surface de chauffe timbrées à 7 atmosphères, deux machines à vapeur de 80 chevaux système Hertay, construites par le Phénix, de Gand, à un cylindre et détente variable au régulateur à boules agissant sur un cône de réglage vertical; la vitesse est maintenue aux environs de 135 tours. Chaque machine attaque par courroie une dynamo tétrapolaire de 550 volts 100 ampères à 700 tonnes. Une série d'unités suffit au trafic ordinaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voitures. — Une particularité du truck des voitures motrices, construit par la Société Saint-Léonard, de Liége, se voit dans la figure 422 : deux leviers L pivotant en O, où ils s'appuient sur les boîtes à graisse, tendent à prendre la position horizontale quand la voiture est en charge, et à combattre le tangage tout en répartissant sur plusieurs points les effets des chocs. Ce truck pèse 1,950 kilogrammes.

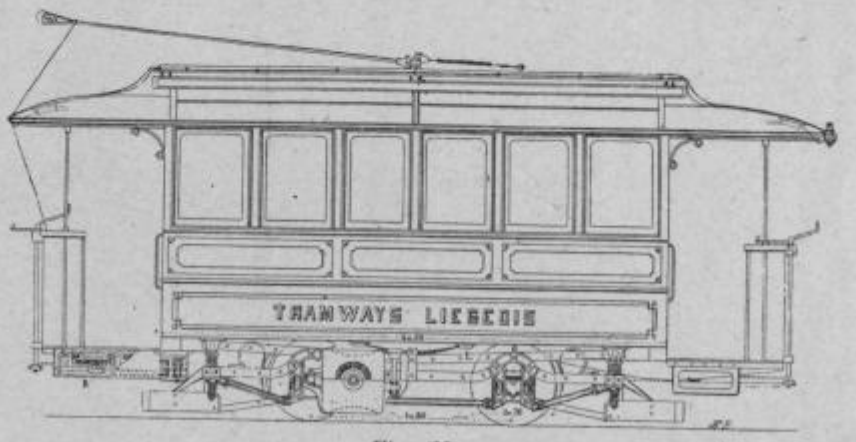


Fig. 422.

Il y a cinq voitures à 36 places, sur les plates-formes desquelles se tolère une surcharge qui porte à 40 le nombre de voyageurs. Chacune d'elles est munie d'un seul moteur de 25 chevaux, waterproof à simple réduction dans le rapport 1 à 4.5. Nous en avons fourni les éléments au chapitre I-A, ainsi que les connexions de l'appareil de changement de marche dont on voit la position sous la voiture en R : une transmission par chaîne permet de le manœuvrer de chaque plate-forme.

Coût d'établissement. — Concernant le coût de construction de cette ligne d'épreuve, nous n'avons que des données incomplètes. Toutefois, un devis basé sur ce type d'installation et pour la même longueur, fournit les évaluations suivantes :

160 poteaux, dont 100 pour potence et 60 pour fil transversal, poids 135 kilogrammes, à 27 centimes le kilogramme; 100 potences, à 15 francs.

Appareils de suspension, 300 francs par kilomètre, plus 125 francs pour évitement.

1 dynamo, 7,000 francs; 1 moteur et ses transmissions, 5,000 francs; 1 caisse de voiture, 2,600 francs; 1 truck, 2,100 francs. Les feeders sont suspendus à 120 points à des cloches en porcelaine sur crochets coûtant 1 fr. 25 c. la pièce. Le prix du cuivre est d'environ 2 francs le kilogramme.

1 machine, 1 chaudière, la tuyauterie et les accessoires, 17,000 francs.

Exploitation. — L'exploitation comporte en temps ordinaire la mise en service de quatre voitures motrices, et extraordinairement de quelques voitures remor-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quées. Pendant l'année 1893-94, les motrices ont parcouru 240,000 kilomètres, dont 15,000 avec voiture remorquée.

La consommation de charbon est en moyenne de 1,500 kilogrammes par jour.

Les frais de traction se sont traduits par les chiffres suivants :

		Par voit.-kilom. (Centimes.)
A. Matériel fixe :		
1° Frais d'entretien des câbles électriques et supports		0.283
2° Dynamos fixes : frais d'entretien annuel		0.05
3° Machines à vapeur et chaudières.	Personnel	2.125
	Lubrifiants	0.222
	Charbon	2.750
	Réparations et nettoyage	0.354
B. Matériel roulant :		
Entretien et réparations.	1° Partie électrique : électro-moteur, appareils de connexion et contact et mécanisme	1.217
	2° Véhicule (caisse, châssis, roues)	0.650
C. Salaires des conducteurs		4.500

i. — *Installation de la maison Averly, de Lyon.*

Lyon-Saint-Just à Sainte-Foy. — Nous citons cette ligne, peu connue, à raison de la simplicité rustique de sa construction, datant de 1892.

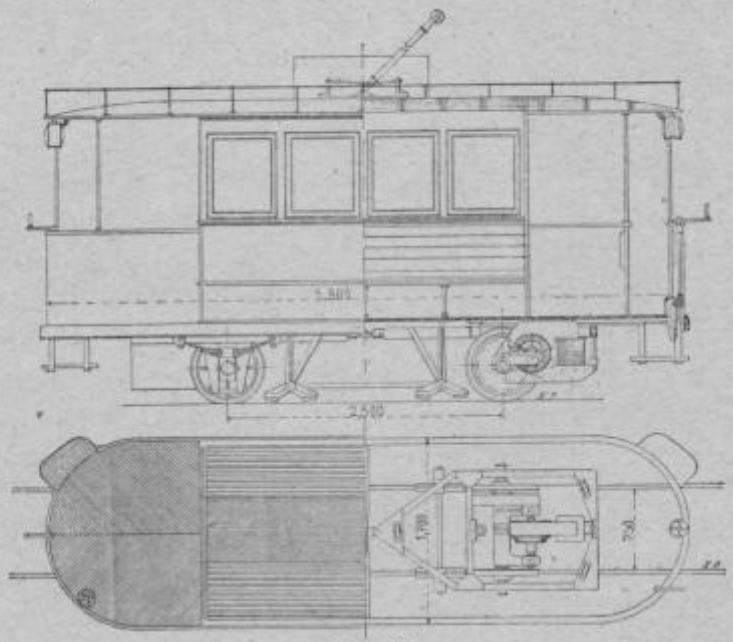


Fig. 423.

Commençant au terminus supérieur du plan incliné de Fourvière, elle se rend à Sainte-Foy par une voie de 3 kilomètres à l'écartement de 75 centimètres, très tortueuse, avec des rampes s'élevant à 67 millimètres par mètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le fil de trolley, dans lequel la tension est de 400 à 450 volts, est fixé tantôt par des agrafes métalliques non isolées à des fils transversaux attachés à des isolateurs en porcelaine, tantôt accroché à des isolateurs de même matière introduits dans les bras horizontaux de potences en bois.

Dans les dispositions de la voiture, M. Averly, de Lyon, a résolu un problème assez difficile, vu l'écartement de 75 centimètres de la voie. La figure 423 montre que ce constructeur y a reproduit, dans les trucks articulés à un essieu, le dispositif des voitures du tramway Madeleine-Saint-Denis, à Paris. (Voir chap. VI.)

Elles sont à 12 places assises et 12 debout, à deux moteurs à simple réduction, à engrenage en fonte et pignon en bronze. Nous avons déjà donné des renseignements sur ce type de moteur. Le commutateur est combiné par M. Berthet, de telle sorte, que sur la longue pente de 67 millimètres descendant de Saint-Just, il permet de se passer complétement du courant aérien : les moteurs font frein en envoyant leur courant dans des résistances assemblées dans une caisse au sommet de la voiture, ce qui dispense, en marche courante, de l'usage du frein à patin. (Voir I-A, fig. 125.) On descend la forte pente, *perche abaissée*.

Poids total de la voiture en charge, 6,500 kilogrammes.

Cette ligne, voie, équipement électrique, usine à deux dynamos et trois voitures, a coûté 206,000 francs, y compris les bâtiments extrêmes.

Actuellement, elle est peu fréquentée, sauf le dimanche; exploitation privée, elle est d'un rendement pécuniaire difficile à préciser; le fonctionnement technique nous en a paru satisfaisant.

j. — *Installations de la maison Siemens Brothers.*

Guernsey. — Fil latéral. — La maison *Siemens Brothers*, de Londres, a installé, en 1893, dans l'île de Guernsey, entre Saint-Pierre-Port et Saint-Sampson, une ligne électrique de 4.8 kilomètres, à simple voie avec cinq évitements, et adopté un appareillage de ligne à fil latéral avec un trolley spécial représenté figure 424, d'aprés une étude de M. Dawson [1]. Le mât en fer et fonte (fig. 425) est boulonné sur une plaque bombée en tôle. La partie conique en fer est scellée au soufre dans la partie cylindrique en fonte.

La ligne est pratiquement de niveau avec deux courtes rampes de 2 et 2.5 p. c.

Sur la chaussée, le rail est à ornière; sur siége spécial, il est du profil Vignoles sur traverses en bois distantes de 75 centimètres et pése 20 kilogrammes par mètre. Dans le premier cas, le retour du courant est assuré par un fil spécial en cuivre nu de 9 millimètres connecté au moyen d'un fil de 6 millimètres à chacun des rails; dans le second cas, il n'y a pas de fil de retour spécial, et les rails sont connectés par des estropes en fer de 25 millimètres de largeur sur 2.5 d'épaisseur rivées au patin des rails Vignoles. Il n'y a pas de feeder, la sta-

[1] *Association des Ingénieurs sortis de l'Institut électrotechnique de Liége*, avril 1894.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion génératrice étant à mi-longueur; le fil de trolley a 9 millimètres de diamètre.

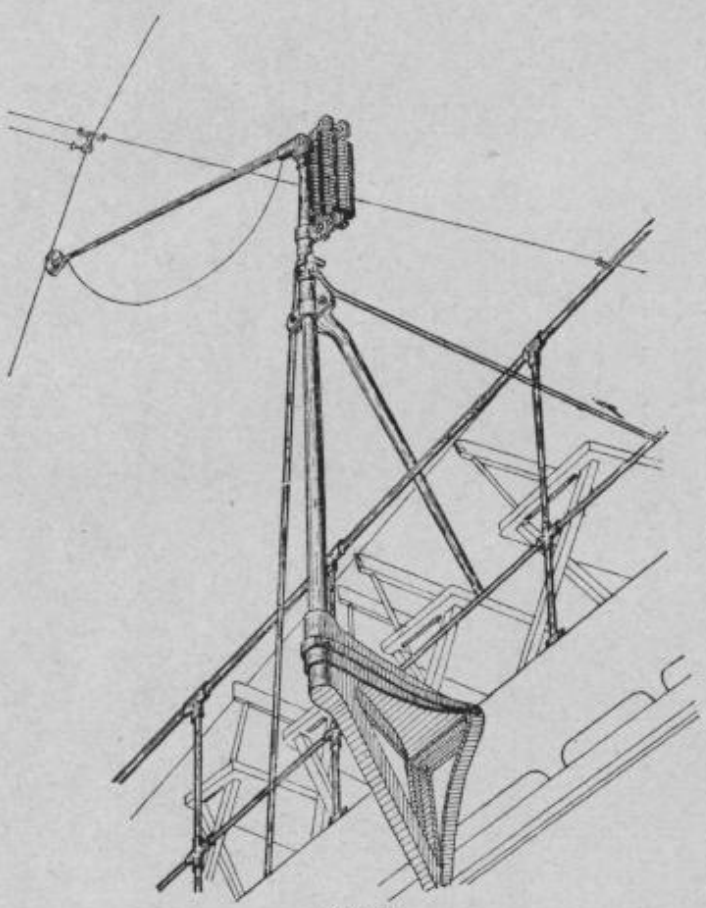


Fig. 424.

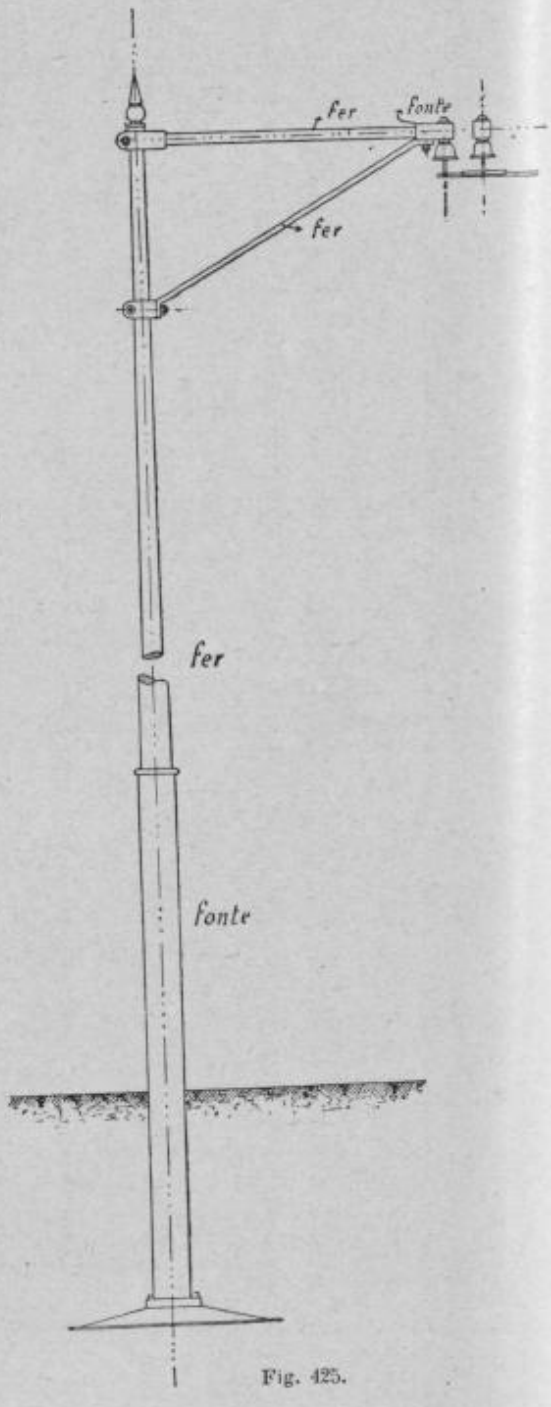


Fig. 425.

Station génératrice. — Elle comporte deux machines semi-fixes compound réglées à 10 atmosphères (fig. 426), pouvant développer à pleine admission chacune 75 H.P., mais marchant à une moyenne effective beaucoup inférieure ; à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

détente variable au régulateur de haute pression et marche avec une variation de 5 p. c. de la vitesse dans les limites extrêmes de charge. Le volant, d'un diamètre de 2m40, pèse 2,100 kilogrammes, fait 120 tours. Diamètre des pistons, 25.4 centimètres et 40 centimètres; course commune, 46 centimètres.

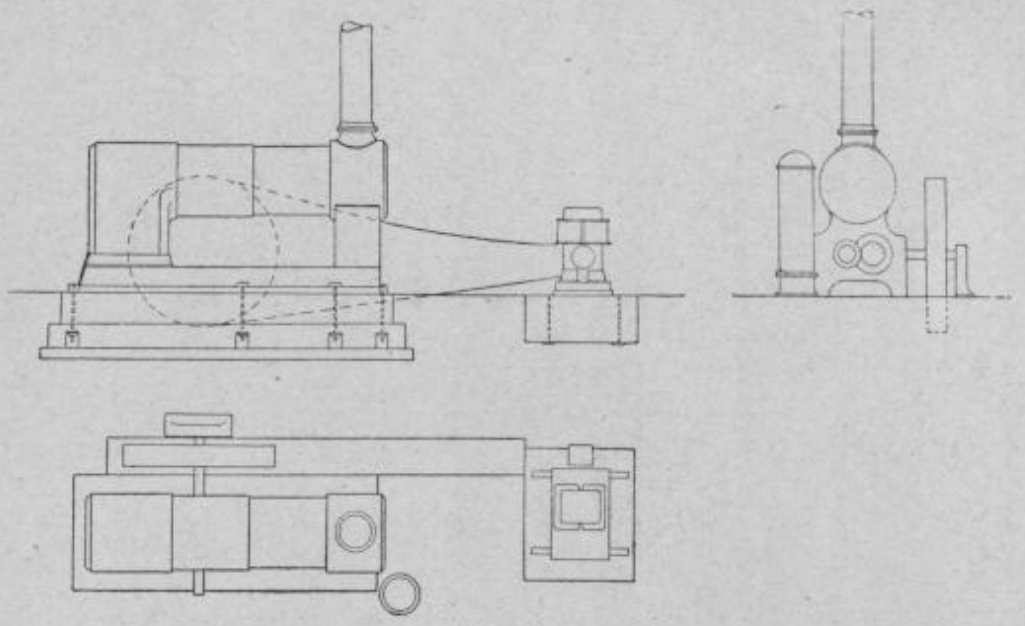


Fig. 426.

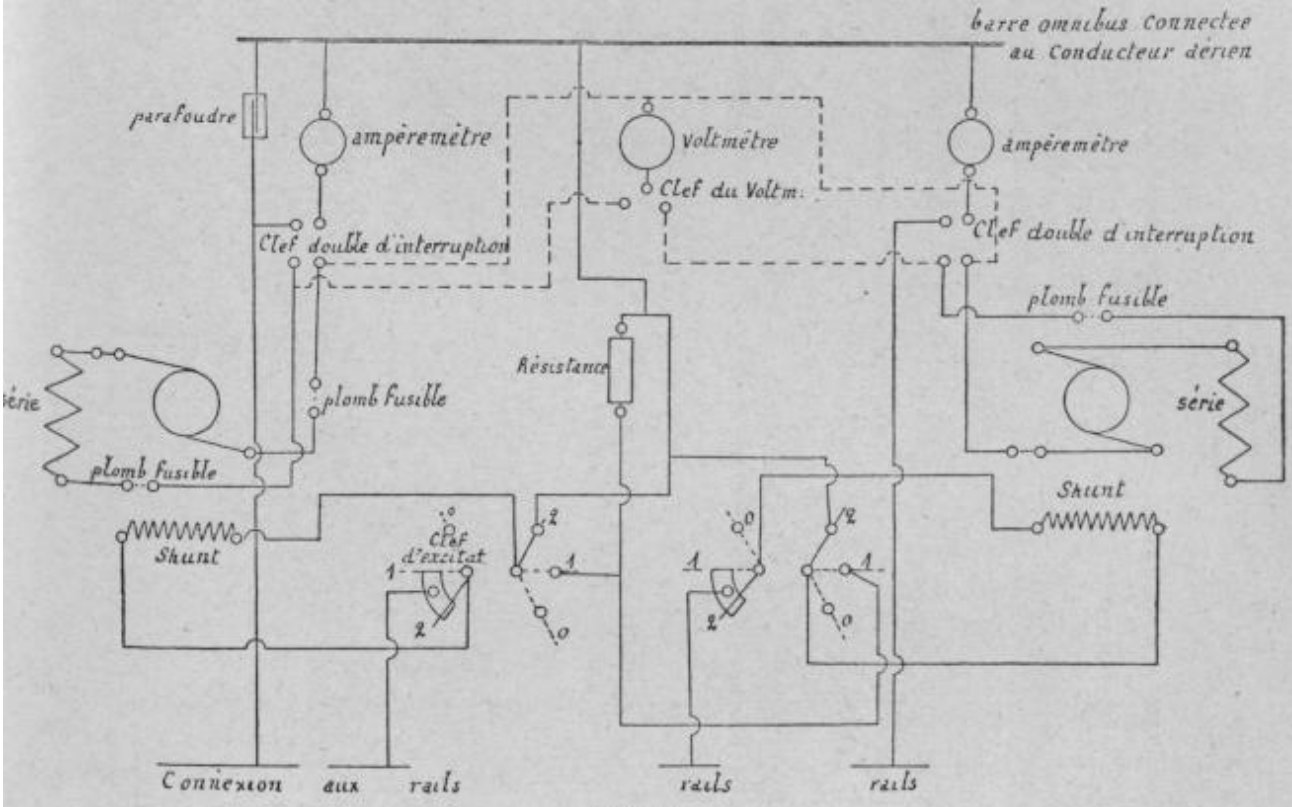


Fig. 427.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chaque dynamo compound fournit 100 ampères à 500 volts et tourne à 650 tours. Le réglage et l'accouplement en sont commandés d'un tableau de distribution, dont la figure 427 donne le schéma.

Matériel roulant. — Il comprend sept voitures automotrices, dont quatre à deux essieux et pouvant remorquer un trailer et trois montées sur bogies. Les premières sont munies de moteurs à chaîne, genre Siemens et Halske. Les voitures sur bogies (fig. 428) sont munies de deux moteurs à engrenages, simple réduction à dynamo, type inférieur de la maison Siemens Brothers.

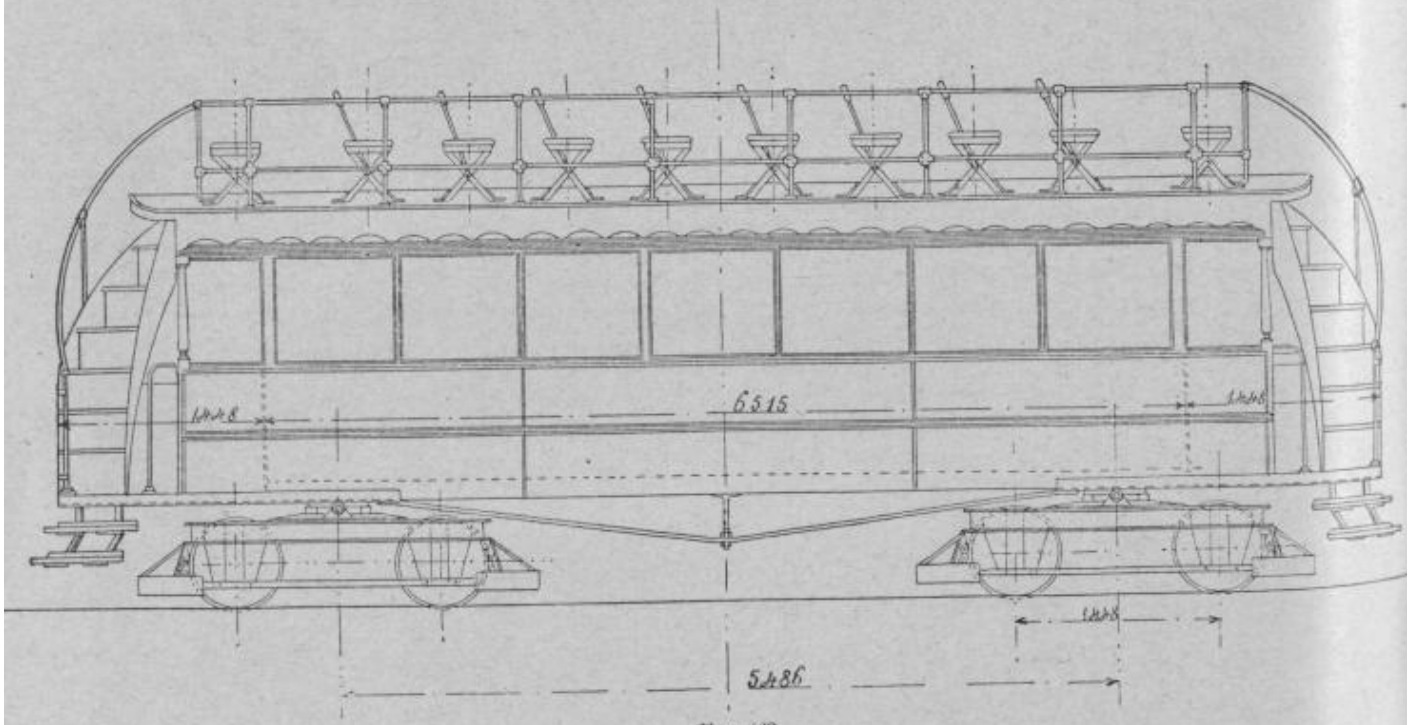


Fig. 428.

Exploitation. — Le service se fait de 15 en 15 minutes dans la journée; il est suspendu le dimanche. La consommation journalière de charbon est de 1,200 kilogrammes à 25 francs la tonne rendu à Guernsey, ce qui correspond à 8,100 litres d'eau, pour le travail d'une machine par jour, et à 2 kilogrammes par voiture-kilomètre en moyenne.

Le personnel comprend : à l'usine génératrice, trois mécaniciens et trois apprentis; à l'atelier, un contremaître, deux ajusteurs, un forgeron, un menuisier, un peintre, un manœuvre, un apprenti; au service de la voie, un contremaître et trois manœuvres; au service de la traction, sept wattmen, trois nettoyeurs des moteurs, deux nettoyeurs des voitures, un lampiste; enfin, sept gardes au service de la recette.

Le nombre moyen de voitures en service est de cinq, accomplissant 112 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètres par jour à la vitesse commerciale de 11 $^1/_2$ kilomètres pour 17 $^1/_2$ heures de service.

k. — *Installations de Actien Elektricitäts Gesellschaft, de Nurenberg.*

Zwickau. — Un trait commun caractérise les premières installations à fil aérien, entreprises par la société anonyme substituée à la firme *Schukert*, de Nurenberg, telles que Zwickau, en Saxe, et Baden, en Autriche, c'est d'avoir été montées simultanément pour l'éclairage et la traction. Celles d'Aix-la-Chapelle et de Hambourg-Altona ont été greffées sur des stations centrales d'éclairage conduites par la même Compagnie. Les plus récentes ont des usines indépendantes.

Nous donnerons d'abord quelques détails sur la première, celle de *Zwickau*, inaugurée en 1894, présentant comme celle de *Gera* ci-dessus décrite une distribution d'éclairage à *trois fils* (1).

Voie. — C'est une ligne de 4.5 kilomètres à l'écartement de 1 mètre, à simple voie avec huit évitements, en rails Phénix. A part une rampe de 35 millimètres sur 600 mètres, les inclinaisons varient entre 2 et 10 millimètres par mètre.

Le fil aérien en bronze siliceux de 7 millimètres est suspendu à 5^{m}50 au-dessus du sol par des poteaux tubulaires en fer généralement à potence en ville, et par des poteaux en bois hors ville.

Un fil de cuivre connecte les rails à chaque joint.

Le circuit d'alimentation comprend deux feeders souterrains, en câble sous plomb et armés, pour les deux sections isolées les plus éloignées de l'usine, la première section étant directement reliée à l'usine.

Usine. — L'éclairage prévu pour 4,000 lampes de 16 bougies est assuré par une canalisation à trois fils, moyennant une force électro-motrice totale de 250 volts, oscillant entre 220 et 300 volts, aux bornes extrêmes d'un accumulateur de 136 éléments Tudor, d'une capacité de 787 ampères-heures, dont le milieu est raccordé au fil neutre. La perte maxima dans les feeders d'éclairage est de 2 × 15 volts et de 1.5 × 2 volts dans les distributeurs. Il y a 53 kilomètres de câbles dans 13 kilomètres de tranchées. Le point éclairé le plus éloigné est à 1,100 mètres.

Les dynamos d'éclairage de 48 kilowatts sont donc réglées à 250 volts en moyenne, et, pour la traction, sont accouplées de façon à donner 500 volts. On dispose, de cette façon, de trois groupes de deux dynamos, dont l'un travaille pour l'éclairage, le deuxième pour la traction et le troisième sert de réserve pour l'un et l'autre service.

En outre, afin de pouvoir augmenter la puissance dans celui des deux services

(1) Voir page 339.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui le réclame momentanément, sans mettre en ligne le groupe de réserve, on dispose d'un moteur-générateur à courant continu dont l'un des induits fonctionne à 250-300 volts, l'autre à 500-550 volts, la transformation portant indifféremment sur le courant de basse tension ou sur l'autre. Les balais du côté du premier sont en cuivre, du côté du second en laiton. L'excitation est empruntée à l'accumulateur.

Voitures. — On voit sur la figure 429 que le truck des voitures est à longerons inférieurs suspendus sous les boites à graisse et réunis au centre par des entretoises arquées et une traverse où les moteurs prennent appui par l'intermédiaire de ressorts à boudin. La caisse repose sur un cadre en fer qui solidarise les plaques de garde et les ressorts à lames et soutient les pièces de frein.

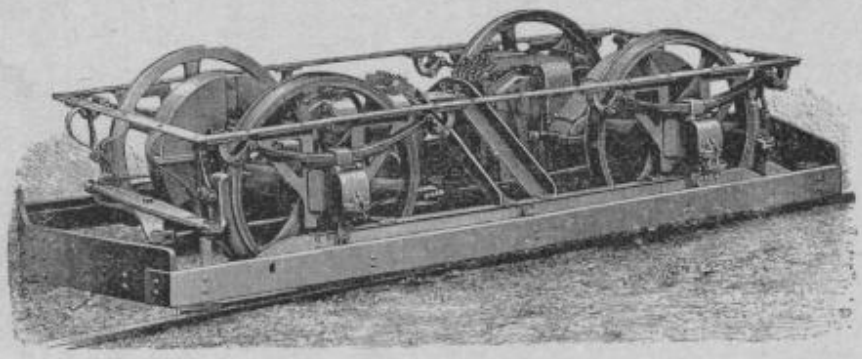


Fig. 429.

Elles sont à 16 places assises et 12 sur les plates-formes.

Les moteurs, au nombre de deux à simple réduction, développent normalement 10 et au maximum 15 chevaux chacun.

Exploitation. — Sur 11 voitures disponibles, 8 font le service ordinaire de 6 minutes, à la vitesse de 12 kilomètres en rue et 16 kilowatts hors ville, ce qui fournit un parcours annuel de 452,000 kilomètres avec une consommation moyenne de 360 watts-heures par voiture-kilomètre.

Aix-la-Chapelle. — Un mot de ce réseau de fils aériens, l'un des plus importants de l'Europe parmi les installations urbaines édifiées d'un seul jet : 26 kilomètres, la moitié à double voie, soit 39 kilomètres de voie simple avec des rampes hors ville atteignant 90 millimètres par mètre. Écartement de 1 mètre en rails Hartwich de 36 kilogrammes en ville et en rails Vignoles de 18 kilogrammes hors ville.

Les poteaux dans les rues sont tubulaires à 3 diamètres et d'une seule pièce du système Manesmann, sauf en cas de tension excessive. où ils sont de deux pièces. Dans les faubourgs, ils sont du type décrit au § A-3 (fig. 217); d'aspect suffisant à la campagne.

A l'usine d'éclairage de la ville, qui comporte une batterie d'accumulateurs, on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a ajouté deux groupes de machines et dynamos de 230 H. P. à attaque directe spéciale à la traction électrique, plus un transformateur réversible à courant continu 300-550 volts. L'excitation est fournie par les accumulateurs.

Des 40 voitures actuelles, 15 ont deux moteurs de 15 H. P.; 25, deux moteurs de 20 H. P. Nous avons donné au chapitre I-A des renseignements sur leur constitution, les connexions et l'appareil de changement de marche.

Le courant est vendu à la Société des tramways d'Aix, à raison de 7 $^1/_2$ centimes par voiture-kilomètre.

1. — *Installation de la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi.*

Cointe. — Le tramway de Cointe est une petite ligne liégeoise reliant le boulevard d'Avroy au plateau de Cointe, construite par la Société *Électricité et Hydraulique de Charleroi.*

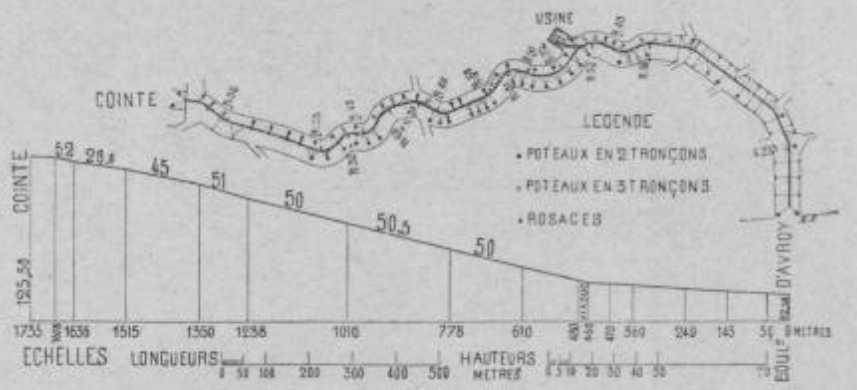


Fig. 430.

Voie. — S'élevant en zigzag à flanc de colline, elle présente une inclinaison continue de 5 p. c. sur les trois quarts de sa longueur, qui est de 1,735 mètres. (fig. 430).

La voie à l'écartement normal est en rails d'acier, type Phénix, sur billes en chêne.

Un fil de 8.25 millimètres en cuivre dur suspendu par des appareils d'isolement, type Aetna, des poteaux tubulaires en acier à trois diamètres, des connexions doubles en cuivre de 9 millimètres, entre-rails constituent l'appareillage de la ligne. Les poteaux, selon l'emplacement (fig. 430), répondent respectivement aux efforts horizontaux moyens de 175, 250, 450 à 500 kilogrammes et aux poids de 280, 380 et 440 kilogrammes. Les fils de trolley suffisent à l'alimentation dans la situation actuelle de la ligne et du trafic, l'usine étant à mi-chemin.

Usine génératrice. — On y trouve deux séries d'unités, outre la place pour une troisième, formées chacune d'une chaudière Galloway-Piedbœuf timbrée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 10 atmosphères, d'une machine verticale Carels, genre Williams, compound à tiroir de distribution rotatif, actionnant par courroie une dynamo tétrapolaire E. H. XI de 45 kilowatts à 600 tours, 600 volts, hypercompound.

Matériel roulant. — C'est surtout dans la voiture, le type de son truck et spécialement celui du moteur à transmission par vis, que se trouve la principale caractéristique de ce tramway. On a vu au chapitre I, figure 69, en quoi consistent cet électro-moteur et son truck. L'ensemble de la voiture est représenté figure 431 ; le châssis de la caisse a ses fusées propres, celles des boîtes à l'huile extérieures; le truck à moteurs en est donc indépendant et repose sur les essieux par ses propres ressorts et coussinets, tandis qu'à leur tour les moteurs y prennent appui, d'une part, et de l'autre, sur les essieux.

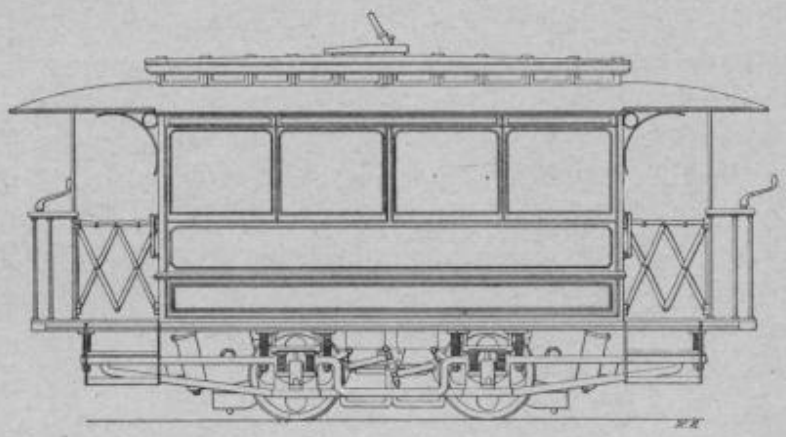


Fig. 431.

Bien que cette disposition ait donné, quant au roulement de la voiture, de bons résultats, elle ne sera probablement pas maintenue dans les autres voitures; l'expérience a établi que l'on pouvait sans inconvénient suspendre le moteur à vis au châssis extérieur.

Coût d'établissement et exploitation. — Sans pouvoir fixer des chiffres précis sous ce rapport, aussi longtemps que la ligne n'est pas prolongée et l'installation complétée, on notera les prix unitaires suivants :

Appareillage électrique de la ligne à simple voie, 15,000 à 16,000 francs le kilomètre; deux dynamos, tableaux, accessoires et l'éclairage de l'usine, 14,600 francs; deux chaudières, deux machines fixes, les tuyauteries et accessoires, 43,000 francs; chaque voiture complète, 17,500 francs.

Il y a actuellement deux voitures, dont une en service, depuis trop peu de temps pour en tirer des résultats d'exploitation utiles; mais les exploitants, MM. Ladant et Schmidt, s'en déclarent satisfaits.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V. — Transmissions dans le sol.

Remplacer les conducteurs électriques aériens avec leurs supports disgracieux et encombrants, par des conducteurs dissimulés dans le sol, est un problème posé depuis les débuts pratiques de l'électro-traction.

Les solutions entrées jusqu'en ces derniers temps dans le domaine de la pratique courante, se présentaient sous forme de grands chenaux longeant les rails et mis en relation avec l'extérieur par une fente longitudinale. Des tramways de l'espèce fonctionnent normalement, notamment dans la ville balnéaire de Blackpool, depuis 1884, à Buda-Pesth, depuis 1889, ainsi qu'à Washington, depuis 1893, à New-York, depuis 1894.

Beaucoup de systèmes différents ont été proposés en vue de réduire la dépense de premier établissement, en même temps que le volume occupé par les maçonneries, les supports et les ferrures constituant le canal où gisent les conducteurs électriques.

Quelques-uns de ces ingénieux systèmes ont donné lieu à des essais temporaires ou privés; les autres sont restés à l'état de projets; d'autres, enfin, ont osé affronter l'épreuve commerciale d'un service complet sur tramway public.

La plupart des systèmes, qu'ils aient été mis en service ou bien essayés, ou simplement proposés, se classent en trois catégories principales :

A. Grands chenaux à rainure ouverte;
B. Conduites à portions élastiques externes;
C. Conduites fermées à surface rigide.

Afin de bien montrer les liens qui rattachent à un même principe les différents systèmes mis en œuvre, nous les décrirons d'abord par catégories, en signalant les traits distinctifs des espèces.

Ensuite nous donnerons pour chaque groupe le coût et les résultats d'exploitation de quelques systèmes appliqués, ainsi que certains chiffres fournis par des essais spéciaux.

A. — Grands chenaux à rainure ouverte.

1. — Descriptions.

a. — *Système Holroyd Smith.*

α. — *Chenal de Blackpool.* — Établi à Blackpool, où il fonctionne depuis 1884 d'une manière satisfaisante, il comporte un caniveau formé dans le sol, entre les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rails, au moyen de cadres en fonte régulièrement espacés et reliés par des poutrelles en bois (fig. 432).

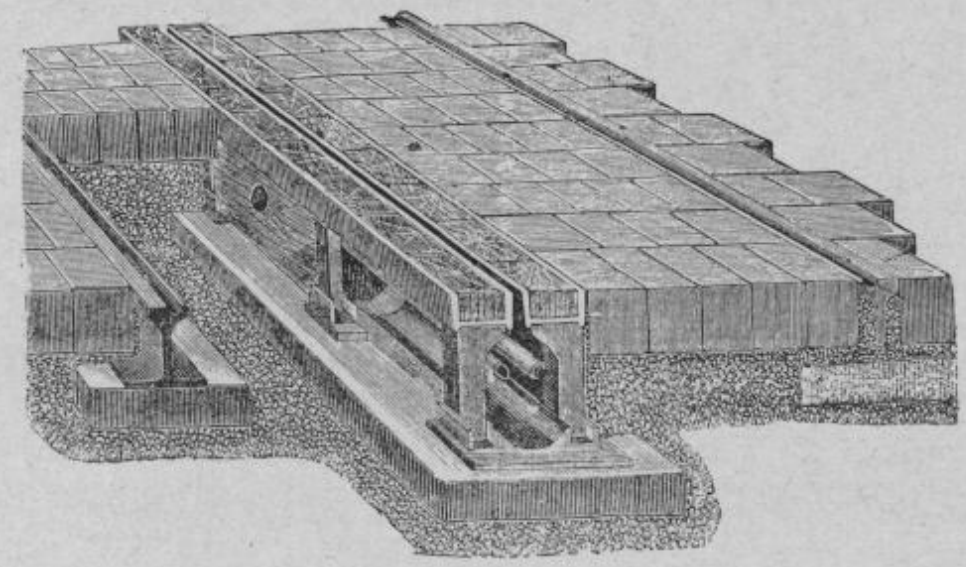


Fig. 432.

La figure 433 montre le chenal placé dans l'axe de la voie. Entre des sièges en fonte B reposant sur une fondation en béton et distants l'un de l'autre de 1m20, sont intercalés des madriers D créosotés. Au-dessus des sièges courent deux longrines mixtes en fonte et bois C. Dans les madriers D sont fixés, au moyen de goujons verticaux, des isolateurs en grès E dans lesquels pénètrent des crochets d'une forme spéciale qui portent les conducteurs F.

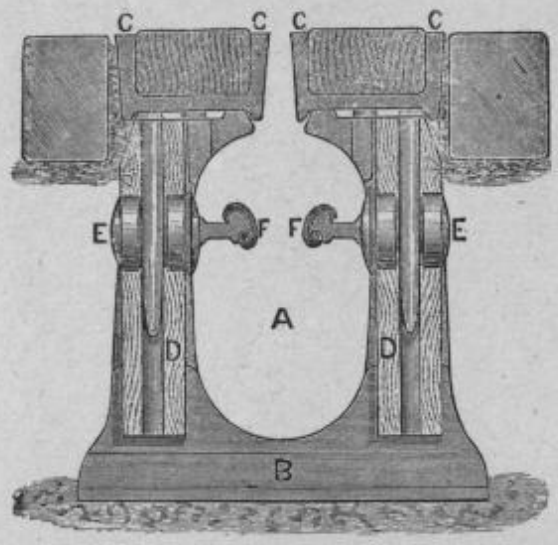


Fig. 433.

Ces conducteurs sont au nombre de deux, d'abord pour faciliter le dispositif de prise de courant et pour éviter des complications aux jonctions avec les voies d'évitement.

L'appareil de prise de courant est représenté dans les figures 434 et 435; il comprend essentiellement une partie centrale C, qui est le collecteur proprement dit, et deux sortes de socs de charrue PP servant à le diriger. Ses parties sont réunies entre elles par des pièces flexibles S. Deux coquilles sont attachées au bas de l'appareil et s'appuient, l'une sur le tube de droite, l'autre sur le tube de gauche. Elles sont en laiton, d'une composition spéciale. Inutile de dire que la pièce en T à laquelle elles sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

attachées est parfaitement isolée du reste de l'appareil, pour se rendre au câble souple allant à l'électro-moteur. Les pièces directrices sont attachées par d'autres

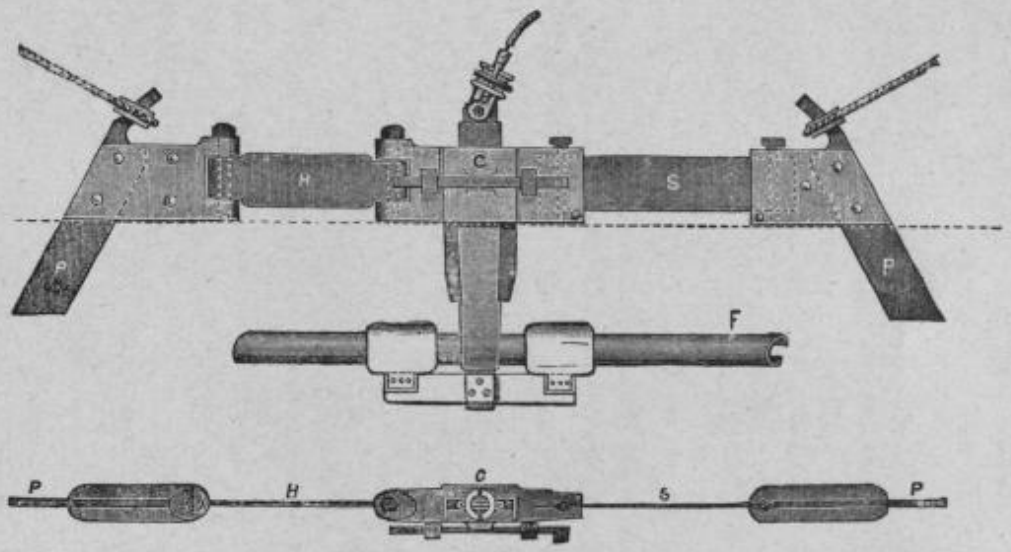


Fig. 434.

câbles, qui supportent l'effort de traction auquel est soumis l'appareil. Le retour du courant se fait par les rails dûment connectés l'un à l'autre. Tel est le système. (Voir les résultats au § 2.)

β. — On attribue à M. Holroyd Smith l'étude d'un type de grand chenal commun à deux voies et placé dans l'entre-voie (fig. 436). C'est une succession de poutrelles et de voussettes au-dessus d'un canal de $1^{m}70$ de haut sur $1^{m}40$ de large. La prise de courant s'opérait pour chaque voie sous une file de rails dédoublés, l'intervalle entre ces barres donnant directement dans le grand canal. Ce dernier contient évidemment les feeders. Ses dimensions se motivent sur la facilité d'inspection, de nettoyage et d'entretien de tous les organes de fixation et d'isolation des conducteurs. Son prix pour une double voie ne serait pas beaucoup plus élevé que celui de deux chenaux bien conditionnés en fonte, fer et béton. Inu-

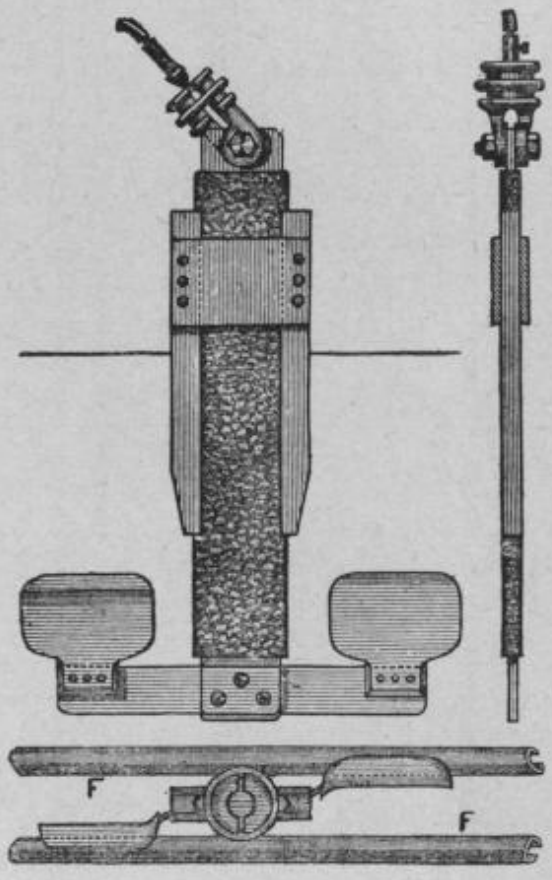


Fig. 435.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tile de faire ressortir la difficulté de logement d'une telle construction. Elle avait néanmoins été adoptée pour le tramway électrique projeté, à Paris, entre la place Cadet et la porte de Montmartre.

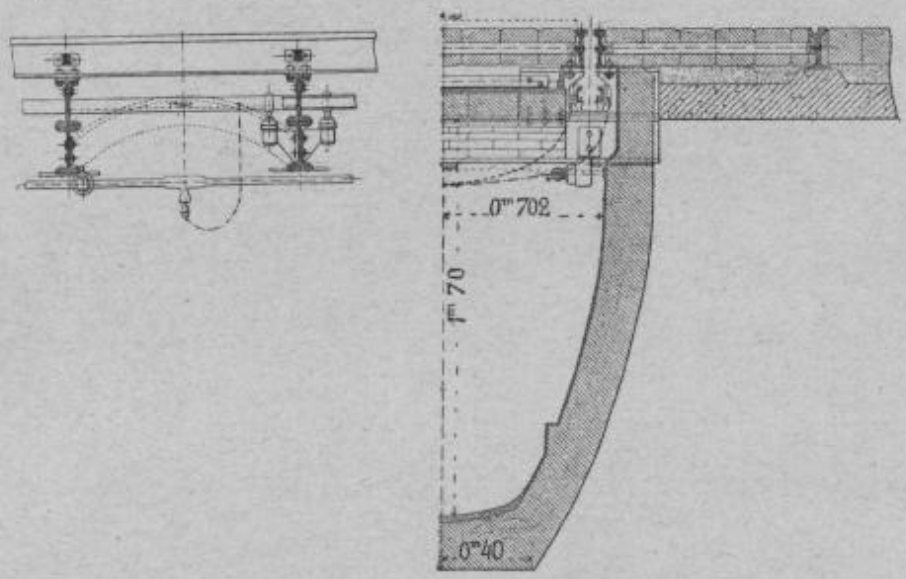


Fig. 436.

A notre connaissance, l'exécution ne doit pas encore en être entamée (fin 1896).

b. — *Système Siemens et Halske.*

a. — *Chenal de Buda-Pesth.* — La caractéristique du système employé par la firme *Siemens et Halske*, à Pesth, consiste à disposer l'un des rails dédoublé en rail et contre-rail, système Haarman, au-dessus du chenal. L'assemblage aux cadres en fonte se voit très bien dans la figure 437. Ces cadres sont distants de 1m20, et leur section intérieure mesure 33 centimètres de haut sur 20 centimètres de large. Ils sont reliés par une maçonnerie qui forme chenal entre eux. La rainure a 33 millimètres de largeur.

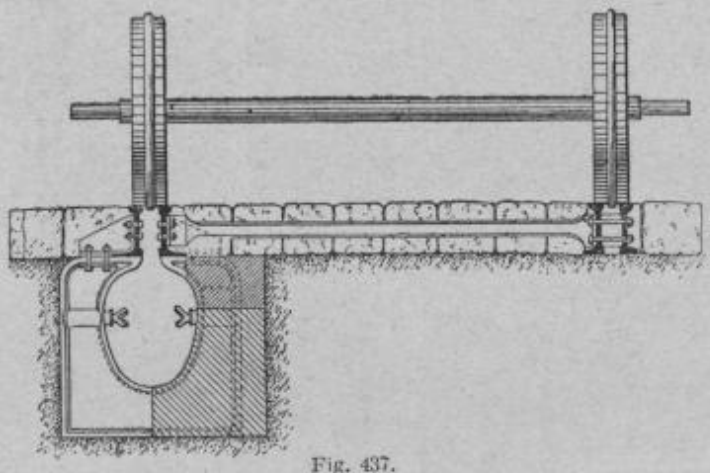


Fig. 437.

La figure 438 montre l'importance de la maçonnerie et des ferrures nécessaires à la solidité du système.

Des entretoises réunissent le contre-rail à l'autre filé de rails. Cette voie se maintient admirablement. Le courant électrique est conduit le long de la paroi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

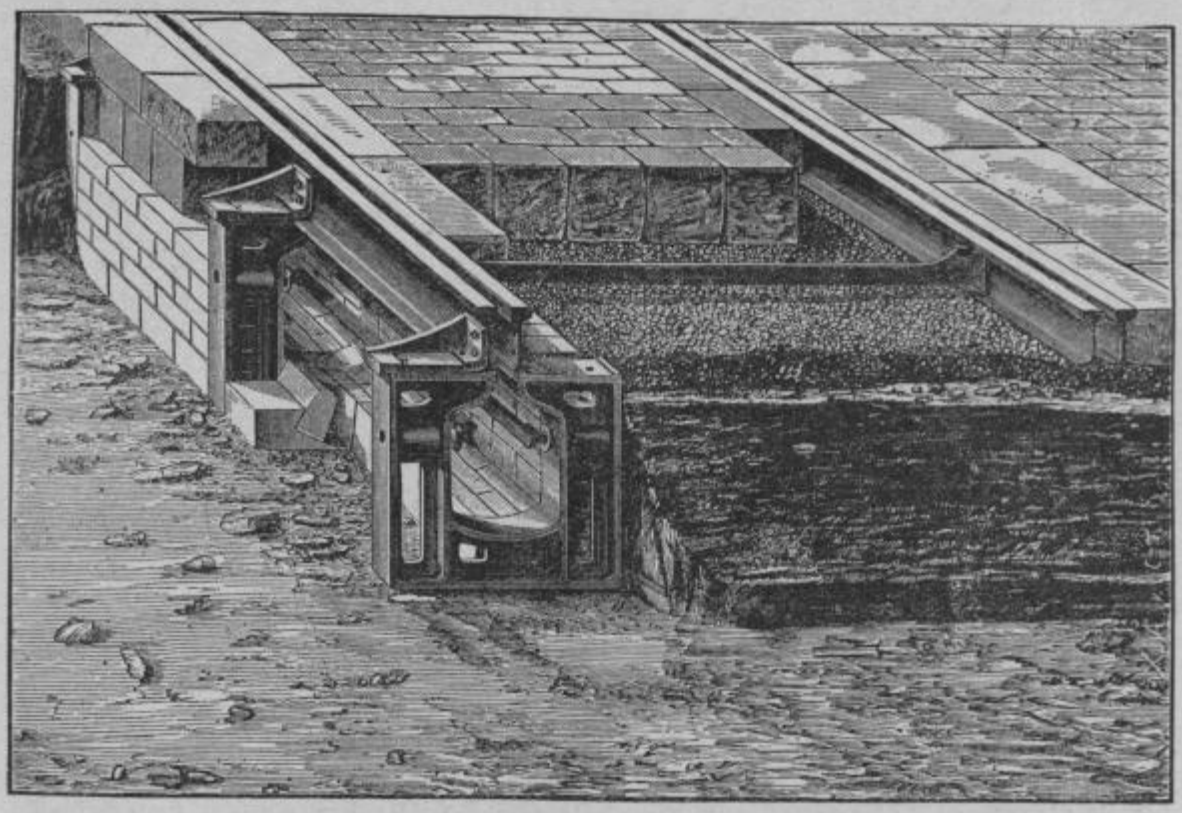


Fig. 438.

du chenal par deux cornières fixées aux supports en fonte au moyen d'isolateurs. La prise de courant par les voitures s'effectue au moyen d'un curseur portant deux frotteurs en fonte qui s'emboîtent dans les cornières. La différence de potentiel aux bornes des dynamos est de 300 volts.

Les bandages des roues des voitures portent sur les deux barres constituant les rails, afin de mieux répartir les efforts.

Dans la maçonnerie, on a donné aux blocs des deux lits supérieurs d'assez fortes dimensions pour leur permettre de résister sans déformation aux chocs des lourds chariots. (Voir les résultats au § 2.)

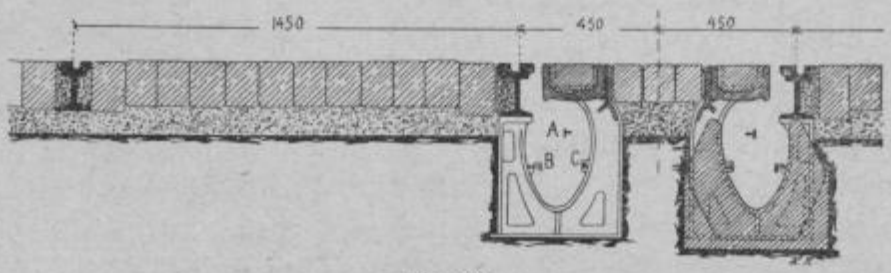


Fig. 439.

§. — *Système de Dresde.* — Avec la collaboration de *M. Klett*, de Dresde, il a été étudié par la maison Siemens et Halske une conduite qui aurait pour avantage de pouvoir s'installer le long d'une voie existante sans y interrompre le service.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Essayée en 1895, dans la Lothringerstrasse, sur une longueur de 250 mètres, cette conduite (fig. 439) est un caniveau extérieur au rail, mais dont les cadres en fonte soutiennent cependant ce dernier en s'y raccordant sous le patin.

En A est une coupe dans le conducteur du courant qui est porté par des isolateurs fixés dans l'œillet C venu de fonte avec le cadre, de même que la saillie B servant de guide au chariot capteur du courant.

c. — *Systèmes américains exploités.*

Système Bentley and Knight. — Dans ce type, figure 440, le chenal tout en fonte a été rejeté à l'extérieur de la voie contre l'un des rails. Il fonctionna, en 1884, aux États-Unis dans la ville de Cleveland (Ohio), et fut mis hors de service l'année suivante.

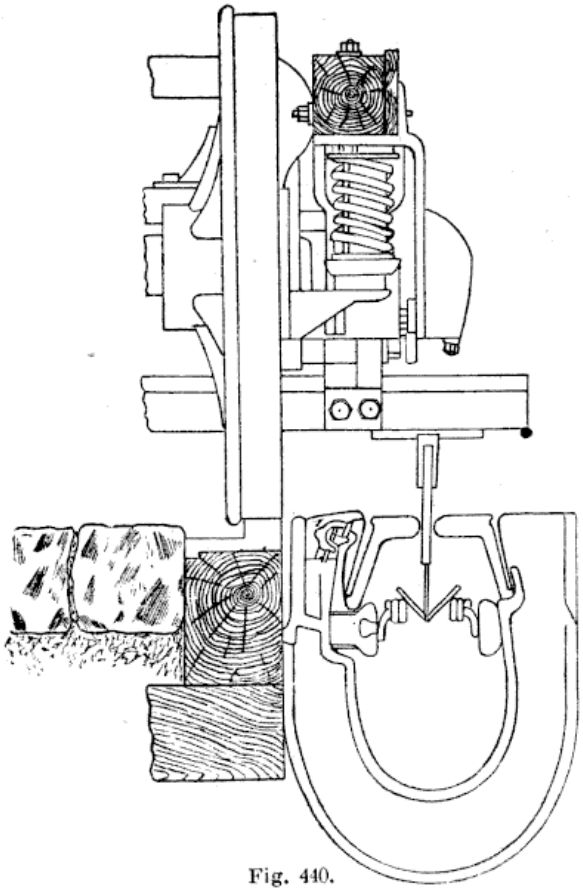


Fig. 440.

Système Love. — C'est également un chenal en fonte, mais placé dans l'axe de la voie et fortement relié aux rails avec lesquels il forme un solide ensemble (fig. 441). De plus, les conducteurs électriques *cc* sont suspendus aux couvercles au lieu d'être fixés latéralement comme dans les précédents systèmes, et un double trolley y prend contact. Ce système fut essayé d'abord à Chicago sur une ligne en ovale de 2 kilomètres de pourtour en 1892, puis à Washington en 1893.

β. — A Washington également, la *Metropolitan Railroad Company* a depuis installé dans la 9e rue un caniveau central empruntant au système Love la suspension des conducteurs à la partie supérieure, plutôt qu'aux parois latérales de la conduite. Ces conducteurs sont des T en fer (fig. 442) maintenus par des isolateurs en porcelaine, de 10 centimètres de diamètre, dans lesquels sont scellées au ciment les griffes portant les conducteurs. Ces conducteurs sont distants de 155 millimètres l'un de l'autre.

Des cadres en fonte supportant les rails sont distants de $1^{m}35$ d'axe en axe; ils pèsent 108 kilogrammes, mesurent $1^{m}67$ et en profondeur 787 millimètres.

Le chenal est en béton.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

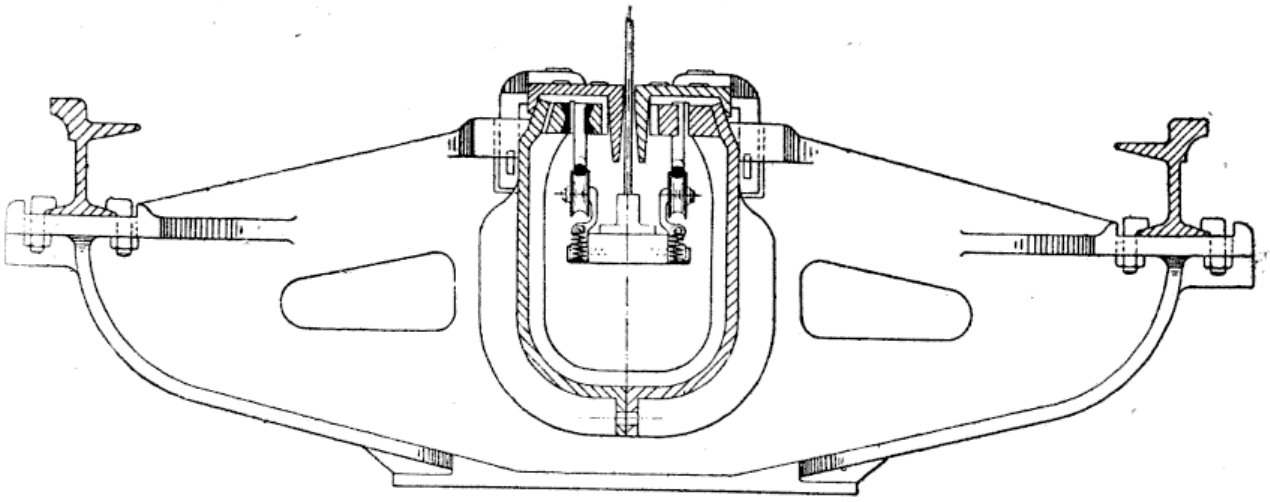


Fig. 441.

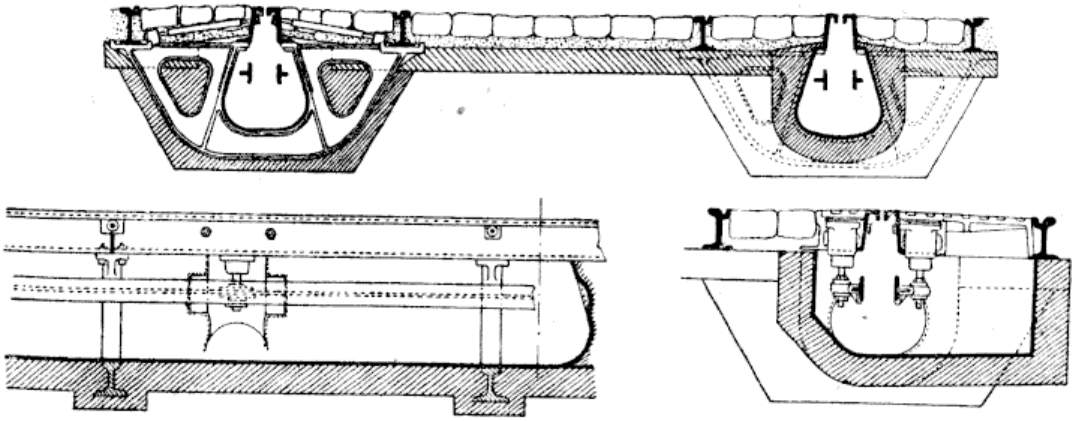


Fig. 442.

La hauteur du chenal, non compris les fers en Z, est à l'intérieur de 457 millimètres; les fers en Z mesurant 178 millimètres de hauteur sont reliés aux rails par des tirants de 14 millimètres d'épaisseur.

Des trous de visite distants de 4 mètres et de 50 centimètres de largeur sont placés à l'endroit des isolateurs en porcelaine. Les conducteurs en acier doux de $8^{m}20$ de longueur pèsent 11 kilogrammes au mètre et sont connectés soit au moyen de deux fils de cuivre de 9 millimètres de diamètre, soit par un fil, selon la distance, à l'usine génératrice. L'ouverture du chenal n'est que de 19 millimètres en ligne droite. Des canaux d'évacuation distants de 75 mètres conduisent aux égouts. La longueur de voies de ce tramway est de 12.37 kilomètres.

γ. — Il n'y a pas de différences bien notables entre ce chenal et celui qu'a installé dans ses lignes la *Metropolitan Street Ry*, de New-York. Toutefois, elle avait essayé dans la *Lenox Avenue* d'une suspension du conducteur, au moyen d'un boulon enveloppé d'isolant et logé dans un chapeau en fonte. Les conducteurs étaient des fers U sur champ de 10 centimètres de haut. En certains endroits, on avait essayé, au lieu de les suspendre, de les porter sur des colonnettes en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

stéatite coiffées de chapeaux en fonte auxquels les barres étaient boulonnées par des boulons verticaux.

Mais pour d'autres rues et pour la *Lexington* avenue, le système d'isolateur se rapproche de celui de Washington et les conducteurs sont des tubes en fer.

Le tube (fig. 443) est serré dans une griffe boulonnée au bas d'une tige qui, par le haut, est scellée au ciment dans l'intérieur de la cloche en porcelaine, ondulée intérieurement et extérieurement et, à son tour, scellée dans une coupe en fer matricé, boulonnée par deux pattes sur un support en fer S qui se prolonge sur ses flancs dans les parois en béton de la niche où il est logé. Ces isolateurs sont espacés de 3m06, les coupes en fer ont un diamètre de 132 millimètres comme dimensions, le tube mesure extérieurement 52 millimètres et 37 millimètres intérieurement, en longueur de 9 mètres connectés par des fils de cuivre. Ils portent des mortaises dans lesquelles peut passer dans un sens la tête plate du

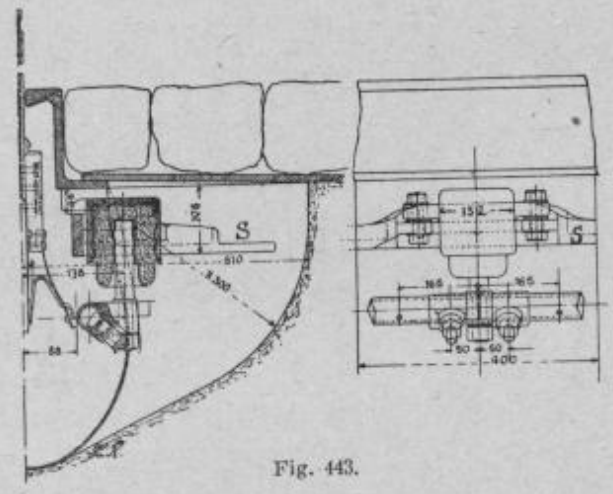


Fig. 443.

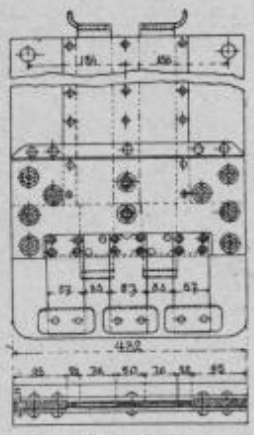


Fig. 444.

boulon qui les visse à la tige et qu'on tourne ensuite à angle droit avant le serrage à fond.

Le capteur du courant (fig. 444) a une épaisseur de 11.2 millimètres pour passer dans une fente de 19 millimètres.

Deux tôles de 3.2 millimètres d'épaisseur et de 23 centimètres de longueur portant des épaulements de 1.6 millimètre, entre lesquels se logent les lames en cuivre isolées verticales conduisant le courant aux frotteurs, sont boulonnées ensemble aux épaulements. Ceux-ci ménagent également le long de la tranche extérieure deux vides de 3.2 millimètres d'épaisseur où pénètre la languette portée par deux barres verticales de 11.2 millimètres d'épaisseur servant d'armures protectrices et réunies à leur tour par d'autres barres horizontales formant un cadre rigide auquel sont adaptées, par l'intermédiaire de blocs isolants, les pièces de contact au nombre de trois de chaque côté. Elles sont formées de ressorts d'acier tendus à 2.8 kilogrammes, portant des frotteurs rectangulaires de $106 \times 60 \times 20$ millimètres, recevant vers le bas le courant conduit par les lames verticales isolées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La tension d'abord adoptée à New-York était de 300 volts, fut portée successivement jusqu'à 500 volts, sans inconvénient, et sera maintenue à ce taux dans les extensions.

d. — *Système de l'Union Elektricitäts Gesellschaft.*

C'est entre la conduite Siemens et Halske et les conduites américaines qui viennent d'être décrites, que devrait se classer le système construit à Bruxelles, sur certaines lignes de la *Société des Tramways bruxellois*, par l'*Union Elektricitäts Gesellschaft*, de Berlin (1896-97). Un spécimen de ce système fut établi d'abord sur un bout de voie à Berlin, où une application de quelques kilomètres est également projetée sur une ligne de la « Grosse Berliner Pferde-Eisenbahn Gesellschaft ».

A Bruxelles, la voie est double sur la majeure partie des deux lignes, et comme le caniveau de chaque voie se trouve sous l'un des rails dédoublé Haarman, en plaçant ces caniveaux du côté de l'entrevoie, on a pu y installer également certaines parties communes aux deux voies, telles que puisards et gargouilles de décharge.

Caniveaux. — L'ensemble de la construction des caniveaux est représenté figure 445.

La profondeur minima de l'excavation nécessaire à leur établissement est de 914 millimètres. La fouille est parfois plus profonde en mauvais terrain, où l'on remplace le sable ou la terre de remblais par un bétonnage de 30 à 60 centimètres selon le cas.

Le sol étant préparé, on commence par y coucher un lit de béton, soit commun aux deux caniveaux, soit en deux parties *a* d'une épaisseur de 160 millimètres, damé en deux couches. Ce béton est composé de fine pierraille, de sable et de ciment, dans la proportion de 6 : 3 : 1.

Dès qu'il a fait prise, on dispose sur ce lit les cadres en fonte *b* à intervalles de $1^{m}25$ d'axe en axe, puis on y adapte les rails Haarman de la rainure, que l'on fixe au moyen de cornières en gousset *c* boulonnées après un ajustage minutieux. Le dressage de l'ensemble exige que certains cadres soient relevés par des cales, avant qu'un coulis de béton final vienne leur donner sous le patin une assiette définitive. Les rails Haarman pèsent 26 kilogrammes par mètre. Des entretoises réunissent ceux du côté de l'entrevoie. Les autres sont reliés aux rails Phœnix, lesquels pèsent 45 kilogrammes par mètre.

Alors entre les cadres sont descendus les demi-caniveaux *f* qui complètent le chenal. Tous les joints sont cimentés. Ces demi-caniveaux sont, ou en béton de forte composition, ou en briques, selon le temps dont on a disposé pour la fabrication.

Tous les dix mètres sont ménagées des niches réservées dans deux blocs de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

béton formés sur place au moyen de moule et que montre la coupe GH. C'est dans ces niches que se logent les isolateurs d'about *j* portant les rails de contact; tandis que dans l'intervalle, soit à 5 mètres des premiers, se logent également dans des niches moulées les isolateurs intermédiaires *g* supportant les rails de contact en leur milieu.

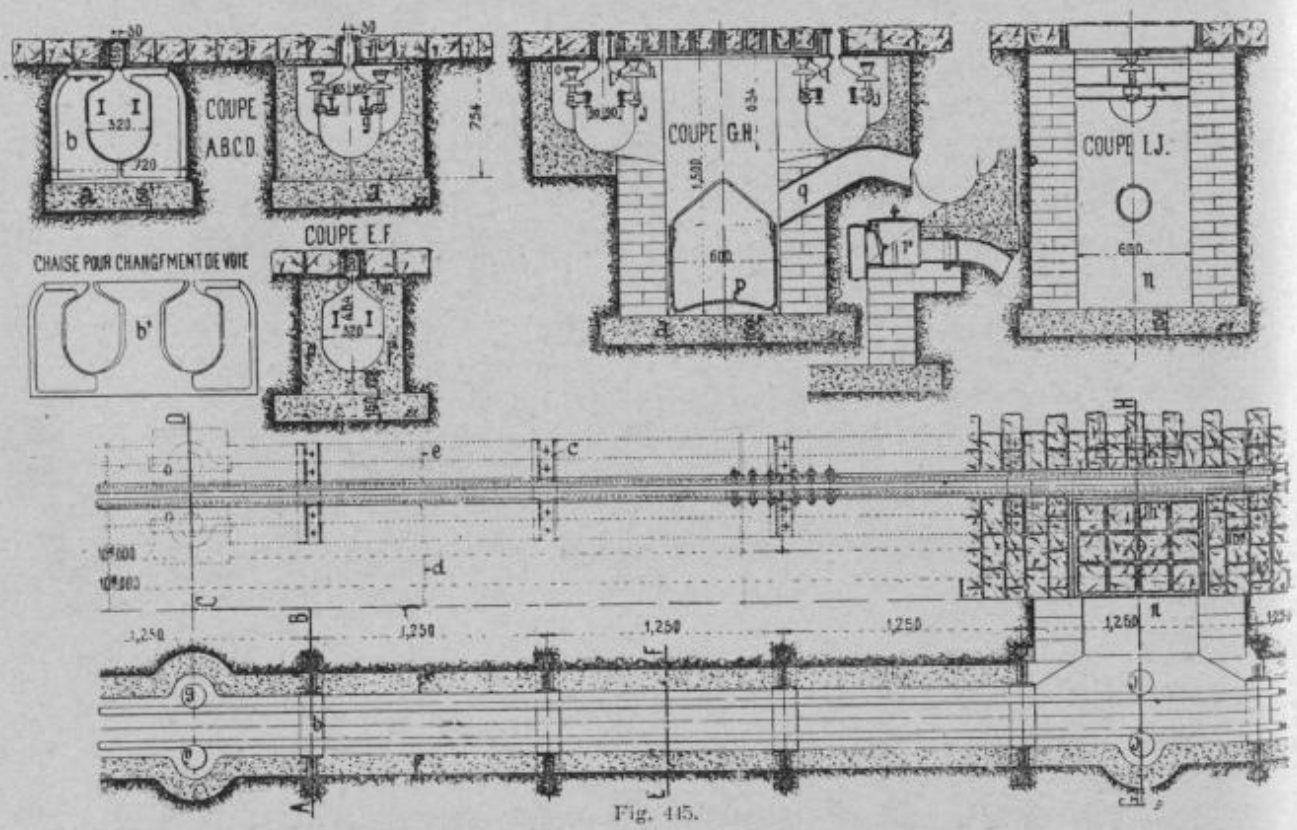


Fig. 445.

Le puisard que l'on voit dans la coupe GH n'existe que tous les 40 mètres et une sorte de panier en tôle *p* muni d'une anse y recueille les immondices raclées périodiquement au fond du chenal, tandis que le trop-plein liquide s'écoule, soit par un simple canal oblique *q* formant coupe-air, ce qui suppose un niveau d'eau permanent suffisamment élevé dans le puisard, soit de préférence par une boîte à clapet figurée à côté, en *r*.

Les puisards et les fosses de visite sont fermés par des couvercles en fonte que cloisonnent des nervures, entre lesquelles sont chassés des blocs en bois debout goudronné.

Afin de pouvoir employer des pavés de petit format ordinaire, on supplée à la résistance des parois de béton au moyen de plaques de tôle *m* qui les protègent contre les chocs du roulage.

Rails de contact et isolateurs. — Les rails de contact en acier qui ont 10 mètres de longueur pèsent 9 kilogrammes par mètre; ils sont portés aux extrémités par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des isolateurs *j* et supportés au milieu par des isolateurs *g*. L'isolateur est un peu différemment suspendu, selon qu'il se trouve situé ou non sous une trappe; dans ce cas, il est fixé à une cornière *h*, et de plus abrité contre les infiltrations d'eau, sous le joint de la trappe, par une lame de zinc *l* rivée à la cornière. Dans les niches où des plaques *m* les protègent, les isolateurs sont suspendus à des barres *o* scellées par leurs extrémités dans le béton.

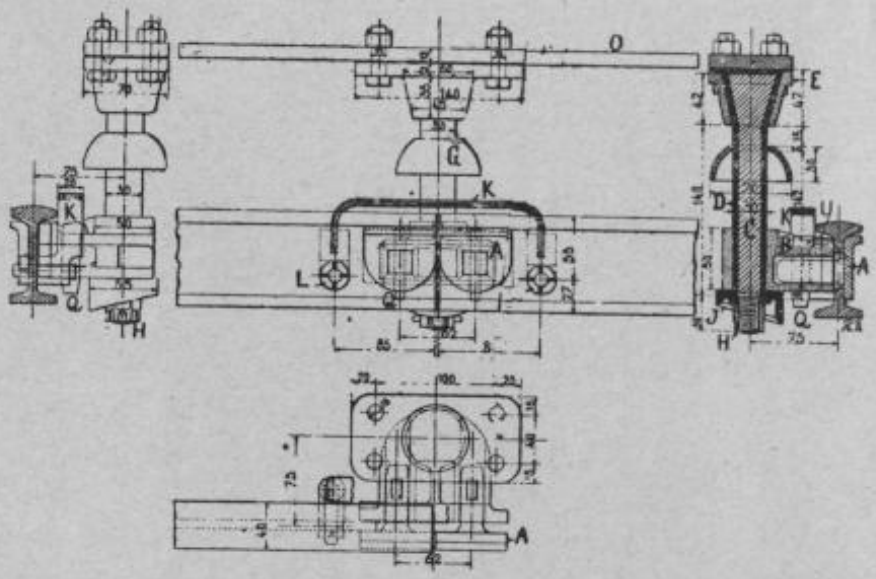


Fig. 446.

La figure 446 montre en détail un isolateur d'about. Un boulon central C enveloppé d'ébonite D est logé dans un support conique E boulonné à la barre O qui s'appuie sur les parois en béton de la niche. Ce boulon porte une patte B qu'il soutient par l'écrou H isolé au moyen du chapeau en ébonite J; une couronne dentelée permet de régler le serrage de l'écrou H avant le placement de la goupille. Le bout de chaque rail est maintenu, avec un certain jeu, au moyen d'une plaque A portant une queue clavetée par la clavette Q. Une feuille de cuivre U serrée entre la patte B et les bouts de rails en facilite le jeu tout en servant de liaison électrique accessoire. La principale connexion de l'espèce est le pont K formé de quatre lamelles de cuivre soudées à leurs extrémités dans les mortaises que portent les boulons L et L' rappelant les attaches du « Chicago rail bond » (IV-B). Enfin, un chapeau G en caoutchouc mou complète l'isolement. Dans certains isolateurs, la connexion en cuivre K contourne horizontalement la patte B.

Changements de voie. — Aux liaisons, des chaises jumelles supportent les rails dédoublés. Ces chaises jumelles sont de deux dimensions; on voit la plus grande en *b'* (fig. 445); une autre moins large, à ouvertures dissymétriques, est plus rapprochée des aiguilles. Vers ce point, les rails conducteurs internes sont interrompus sur un court espace et s'infléchissent à leur extrémité sous la forme d'une sorte de corne destinée à relever le clapet capteur du courant; cette corne est en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bois garnie de bronze. Les pointes de cœur reposant sur les deux chaises jumelles présentent à la pointe un porte-à-faux de 60 centimètres.

L'aiguillage (fig. 447) est très ingénieusement conçu. La manœuvre s'en opère au moyen de leviers coudés D et D' qu'on soulève en passant un crochet dans l'œillet *t*.

Le levier D agissant par une fourche sur le goujon C pousse la barre B; celle-ci, moyennant un talon T, fait basculer le levier à contrepoids EG, dont le crochet se dégage de la cavité V, laissant ainsi libre l'aiguille A que la barre B déplace, et qui en même temps se trouve poussée contre la face F de la tige J, laquelle déplace l'aiguille H.

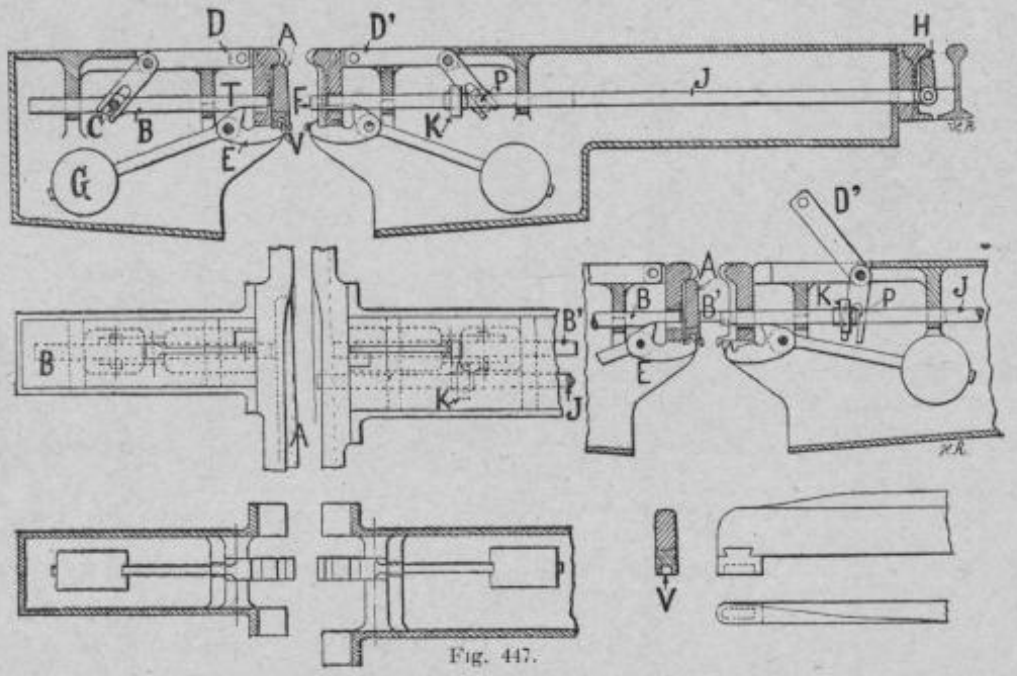


Fig. 447.

En sens inverse, le levier D' agit, d'une part, directement, par la fourche et le goujon P, sur la barre B' pour replacer l'aiguille A dans sa position primitive en la forçant à abaisser le crochet du levier à contrepoids EG ; il agit, d'autre part, au moyen d'un prolongement du goujon P, sur le taquet K fixé à la tige J pour ramener l'aiguille H. Après avoir rempli cette double fonction, le levier D' est rabattu et retire en même temps la barre B'.

On trouvera au § 2-*c* le coût détaillé de ce système.

Appareil capteur du courant. — Comme on le voit (fig. 448), l'appareil capteur du courant comprend deux glissières indépendantes D, D' suspendues à des câbles G, G' et formant cadres isolants pour les fourches portant les clapets C, C' sur lesquels sont rivés les frotteurs J en bronze phosphoreux, l'un pour le rail conducteur positif, l'autre pour le négatif. Des ressorts H maintiennent les clapets sous un certain angle quand ils sont relevés.

Cet ensemble glisse entre galets E, dans un double châssis FF' fixé par l'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

termédiaire d'un support S à une traverse rivée aux longerons de la voiture, et consolidé par des tirants T. Des roues plates K servent de guides complémentaires à la descente, ou de supports éventuels.

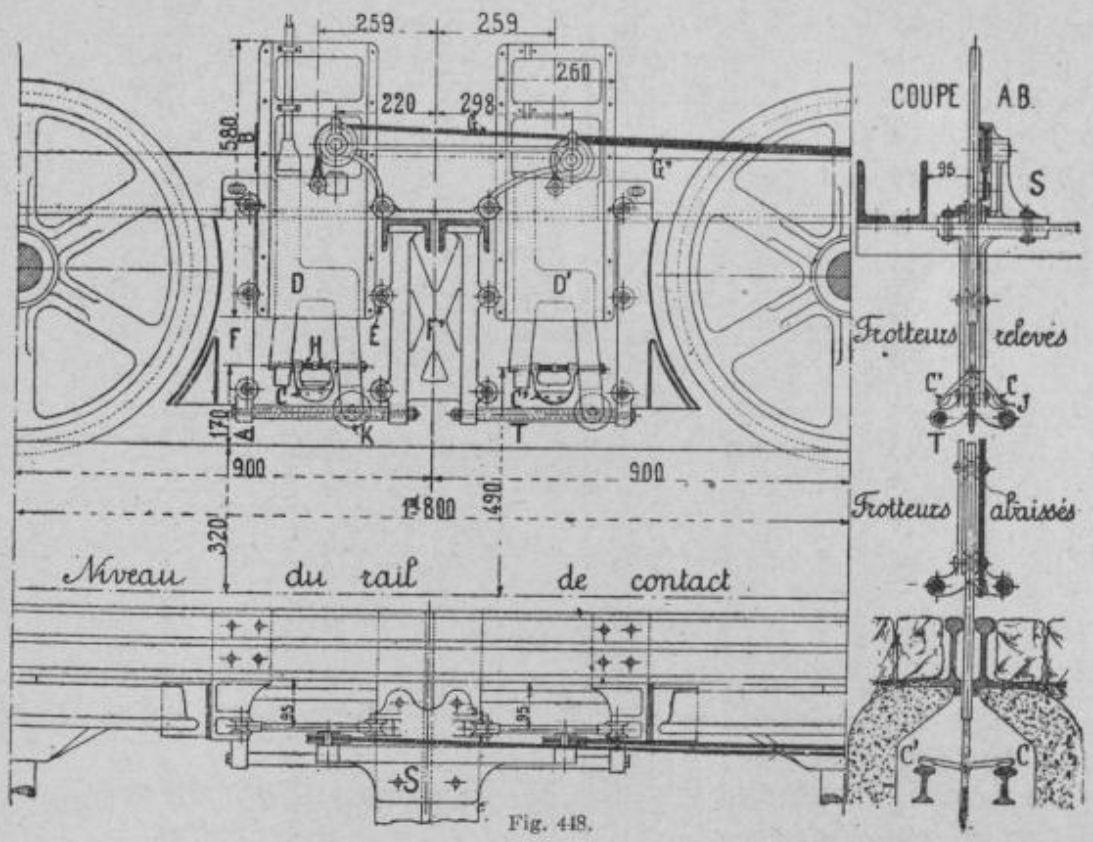


Fig. 448.

e. — *Système de Hœrde.*

En vue de réduire la dépense d'installation résultant de la construction du massif de béton et de sa fondation, les *Hœrder Bergwerks und Hütten Verein* ont étudié et construit à titre d'essai dans leurs chantiers de Hœrde une conduite en fonte et tôle représentée par la figure 449. Entre deux chaises en fonte, la tôle est ondulée. Ainsi que dans le système Love, le courant est recueilli par une poulie roulant sur un conducteur de forme ronde fixé à des isolateurs logés sous la longrine supérieure formant contre-rail.

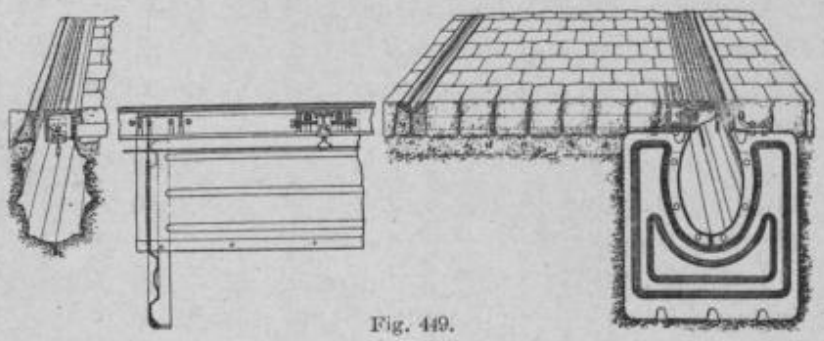


Fig. 449.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

f. — *Systèmes divers.*

Les autres systèmes de chenaux à rainure n'ont pas été jusqu'ici appliqués à des exploitations régulières, ni donné lieu à de sérieux essais. La tendance qui s'y manifeste, c'est la recherche de moyens de simplifier la construction, de mieux isoler le conducteur du courant, ou de l'abriter plus efficacement des atteintes de l'eau, en le séparant, par une paroi verticale, du centre du chenal visible sous la rainure. Cette cloison-abri est simple ou dédoublée, et l'appareil de prise de courant contourne le bord ou les lèvres de la ou des cloisons fixes.

C'est le mérite, au moins apparent, des systèmes Berlier, Bradley, Lackmann, Griffin, Waller-Manville et autres semblables.

Accordons toutefois une mention spéciale à la conduite ouverte *Johnson* constituant un type distinct : son trait caractéristique, c'est la réduction du chenal à la forme d'une simple rainure étroite et profonde ménagée dans une masse non conductrice, en verre ou en porcelaine. Au fond repose le conducteur électrique nu. Le frotteur capteur du courant est précédé d'une sorte de soc de charrue en bois dur opérant le nettoyage préalable.

2. — Résultats d'applications.

a. — *Tramway de Blackpool.*

Description complémentaire. — Le tramway de Blackpool, qui mesure 3,200 mètres, à l'écartement de 1^{m}45, a été établi, en 1884, sur les plans de M. Holroyd Smith. (Voir § 1-*a*.)

Il existe une rampe de 16 millimètres par mètre sur 400 mètres et une autre de 20 millimètres par mètre sur 100 mètres aux environs du dépôt; le reste de la ligne est moins incliné, et en grande partie de niveau.

A l'usine se trouvent deux fortes locomobiles demi-fixes, deux dynamos et deux petites machines excitatrices. Les dynamos sont réglées à 240 volts.

Chaque locomobile est d'une force de 70 chevaux et peut commander les deux dynamos, qui sont chacune de 33 chevaux.

Les voitures sont de grands omnibus avec sièges sur l'impériale, à 48 ou 52 places. Il en circule souvent huit ou neuf à la fois. Il y a aussi quelques voitures découvertes à 30 places.

On compte environ 15 ampères par voiture. Une seule locomobile permet la mise en marche de huit ou neuf de ces grands véhicules. L'électro-moteur à chaîne a été décrit au chapitre I, § A.

Les pertes de courant dans la voie ne sont réellement sensibles qu'à de courts instants, lorsque le vent a chassé le sable dans le chenal et que l'humidité s'y mêle.

Coût de premier établissement. — La ligne de Blackpool étant la première établie avec chenal de l'espèce, a donné lieu dans le principe à beaucoup de mécomptes que l'expérience acquise éviterait pour une autre installation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le coût total de premier établissement s'est élevé à 750,000 francs, tout compris, voie, bâtiments, matériel fixe et roulant.

Mais la partie électrique de l'installation, celle qui doit servir de terme de comparaison avec les autres modes de traction, a coûté 300,000 francs, somme dans laquelle le chenal électrique entre pour la moitié.

Ce chenal, à lui seul, revient en effet à 43,750 francs par kilomètre de simple voie.

Dépenses d'exploitation.

Année finissant le 31 octobre 1891. — Voitures-kilomètres : 156,800. — Voitures de 48 à 54 places.

		Dépense par voit.-kilom.	
Recettes . . . . . fr.	181,024 15		
Dépenses.			
Administration générale . . . . . fr.	13,383 60	0.085	
Entretien de la voie	22,822 75	0.145	
Contrôle de la recette	17,403 08	0.110	
Traction et matériel :		———	0.340
Personnel (conducteurs, mécanicien chef, chauffeurs). . . .	16,642 07	0.105	
Réparation du chenal central (main-d'œuvre et matériaux) . .	3,618 30	0.023	
Appareil électrique : Réparation des armatures, des roues internes, et garnitures diverses de cuivre et de laiton . . .	4,807 05	0.030	
Roues pour voitures, chaînes, réparations aux machines et chaudières, freins, blocs, outils, etc.	3,368 95	0.021	
Peinture et décoration : 8 voitures ; travaux de plombier. . .	1,929 85	0.012	
Charbon, coke, huile, déchets de coton, etc.	7,278 95	0.046	
Eau et gaz.	2,255 80	0.013	
Dépenses diverses (convention pour réparation de la route, indemnités, primes d'assurances, frais de justice, licences, etc.).	11,285 60	——— ...	0.250 0.070
Totaux des dépenses. . fr.	104,796 00		0.660

Ce tramway avait donné jusqu'ici d'excellents résultats financiers. Toutefois, en 1894, la conduite commençant à se ressentir de ses dix ans de service, a dû subir quelques renouvellements et modifications.

b. — *Tramway de Buda-Pesth.*

Description complémentaire. — Il y a actuellement en exploitation 12.1 kilomètres de lignes, plus 11.5 kilomètres d'évitements, de garages ou de double voie, soit en tout 24 kilomètres de voie simple ; 72 voitures motrices et 10 voitures à remorquer. Nous avons décrit les électro-moteurs au chapitre I-A ; les voitures motrices pèsent 4,800 kilogrammes à vide, dont 1,700 pour l'équipement électrique complet. L'usine centrale est d'une puissance d'environ 1,000 chevaux répartie sur 6 dynamos de 100 à 250 chevaux ; la plupart des lignes présentent très peu d'inclinaisons, on compte tout au plus une rampe de 19 millimètres par mètre à l'extrémité d'une des lignes, et une autre de 33 millimètres, mais assez courte. En somme, l'ensemble du réseau est de niveau. La tension y est de 300 volts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le trafic est relativement intense, la vitesse varie entre 10 et 15 kilomètres.

Les dépenses de construction ne sont pas exactement déterminées, le réseau s'étant constitué par fractions à différentes époques avant d'être mis aux mains de la société qui les exploite actuellement. Le coût kilométrique de voie simple dépendant du développement d'un réseau proposé, varierait entre 60,000 et 62,500 francs pour la conduite et les rails, c'est-à-dire la fourniture et le placement de la superstructure. Mais il est des motifs d'admettre que ce chiffre a été dépassé à Pesth. Il varierait d'ailleurs avec les prix des matériaux et de la main-d'œuvre. (Voir § 1-*b*.)

Frais d'exploitation.

A. Administration générale :	
Traitements et salaires, entretien du bureau. Dépenses diverses . . . . . fr.	0.028
B. Surveillance et entretien de la voie :	
Bureau central, dépenses générales, surveillance, entretien et transformation de la substruction et de la superstructure des bâtiments et câbles	0.0246
B'. Enlèvement des neiges	0.011
C. Service du trafic et du commerce :	
Bureau central, imprimés, service de station (gardes et gardes-excentriques), service des trains (conducteurs, contrôleurs), autres dépenses	0.0607
D. Service de la traction et du matériel :	
Bureau central, frais de traction au dépôt pour les voitures et dans les remises. Service des ateliers pour l'entretien des voitures, l'entretien des chaudières, machines, pompes, etc., divers.	0.221
Total. . fr.	0.346

Les frais de traction ont été répartis comme suit :

	Centimes.
Frais du dépôt central.	0.466
Frais de traction dans le dépôt central :	
Matériaux : charbons, huile, eau, matériaux de nettoyage, étoupage, éclairage, etc.	5.61
Salaires du chef-machiniste, des machinistes, graisseurs, chauffeurs, charretiers, etc.	1.51
Frais de traction des voitures :	
Matériaux : huile, torchons, chaînes, roues, commutateurs, éclairage, etc. . . .	1.557
Salaires et uniformes des conducteurs, serre-freins, etc.	4 56
Frais de traction dans les gares :	
Salaires et uniformes des visiteurs, surveillants, nettoyeurs	2.47
Réparations et entretien des voitures :	
Matériaux	3.23
Salaires	2.30
Entretien des chaudières, machines, etc. :	
Dépôt central	0.21
Ateliers	0.105
Frais divers	0.12
Total. . .	22.138

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette exploitation est actuellement englobée dans un réseau de lignes à caniveau et d'autres à fils aériens, parmi lesquelles les premières comportent un parcours annuel d'environ 2,300,000 voitures-kilomètres.

De renseignements plus récents résultent les chiffres ci-après de dépenses par voiture-kilomètre.

	Par voiture-kilomètre.
Administration générale	3.3 centimes.
Surveillance et entretien des lignes	2.8 —
Enlèvement des neiges	0.9 —
Mouvement et service commercial	5.7 —
Traction et ateliers	17.3 —
Total des frais d'exploitation	30.0 centimes.
Dépenses spéciales, impôts, timbre de coupons, etc.	6.1 —
Total	36.1 centimes.

	Par voit.-kilom.	
	(Kilog.)	(Cent.)
Consommation de charbon	2	2 9

c. — *Tramways bruxellois.*

Renseignements complémentaires. — Le système de conduite sous-sol de l'« Union Elektricitäts Gesellschaft », que nous avons décrit plus haut (§ 1-*d*), y sera appliqué sur les lignes de Schaerbeek au Bois de la Cambre, et de la rue de la Loi, avec quelques embranchements, soit sur 10 kilomètres de double voie.

Bien que le courant d'aller et celui de retour forment deux circuits isolés dans les rails conducteurs, pour l'énergie électrique fournie aux voitures circulant sur les voies à caniveaux, néanmoins les rails porteurs sont connectés sur la majeure partie de leur longueur, en vue de ramener le courant des voies aériennes qui prolongent la ligne à conduite sous-sol de la rue de la Loi et des embranchements par l'avenue d'Auderghem et par l'avenue de Cortenberg.

Ces connexions électriques entre rails porteurs sont de deux espèces : pour les rails dédoublés Haarman de la rainure, des feuilles de cuivre sous-éclisses, externes, soudées à des bouchons chassés dans des trous forés dans l'âme des rails et serrés par goujons centraux; pour les rails Phœnix, deux fils adaptés par bouchons et goujons semblables ; ces fils, selon la distance à l'usine, ont des diamètres différents, 10 et 12 millimètres.

Coût d'établissement. — On ne connaîtra la dépense effectuée réellement que par le compte rendu de la Société des Tramways bruxellois pour l'exercice 1897. La nécessité d'avoir terminé des travaux commencés tardivement avant l'ouverture de l'Exposition de Bruxelles de cette année a entraîné la Société à des dépenses que l'on ne peut pas considérer comme représentant le coût normal d'une ligne à caniveau de l'espèce.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici toutefois une évaluation du *prix de revient :*

Prix du mètre courant moyen de simple voie.

Rails (alignement droit) :			
Deux rails Haarman de 26 kilog. = 52 kilog., à 16 francs			fr. 8 32
Un rail Phœnix de 42 kilog., à 14 francs.			5 88
Entretoises avec boulons (par 10 mètres, neuf pièces de 8 kilog. = 72 kilog.), à 40 francs.			2 88
Éclisses avec les boulons pour voie Haarman et Phœnix (100 kilog. par 10 mètres), à 25 francs			2 50
Ballast (1 mètre cube pour 6 mètres), à 6 francs			1 00
Briques de pavement (à raison de 16 pièces par mètre de voie), à 25 francs le mille . .			0 40
Pavage (sans les pavés ni boutisses) par mètre courant, $2^{m}50$ à 60 centimes			1 50
Caniveau (partie métallique) :			
Cadres en fonte de 95 kilog. (tous les $1^{m}25$), à 13 francs			10 00
Deux rails de contact de 9.5 kilog., à 17 francs.			3 25
Accessoires : deux goussets, à 1 fr. 50 c.	fr. 3 00		
— boulons, rondelles	2 00		
Par $1^{m}25$ de voie. . fr.	5 00		4 00
Deux isolateurs par 5 mètres, à 8 francs			3 20
Supports d'isolateurs, boulons et accessoires (par 10 mètres de voie), à 14 francs . .			1 40
Connexions des conducteurs (deux par 10 mètres), à 3 francs			0 60
Couvercles en fonte des trous de visite (un par 10 mètres), de 200 kilog., à 14 francs .			2 80
Maçonnerie et main-d'œuvre :			
Terrassements, transports des matériaux ci-dessus, montage, fourniture et mise en place des blocs de ciment, construction des puisards, des raccordements aux égouts, prix soumissionné			32 00
Majoration pour les courbes :			
Cadres en fonte, 10 p. c.	fr. 1 00		
Accessoires, 10 p. c.	0 40		
Isolateurs, 100 p. c.	3 50		
Supports, etc., 75 p. c.	1 50		
Fr.	6 40		
En admettant 10 p. c. de courbes par mètre courant			fr. 0 64
Aiguillages :			
On suppose 1.5 aiguille par kilomètre, à 3,000 francs.			2 25
Études et surveillance :			
En répartissant ces frais, on trouve, par mètre de voie simple			1 50
Prix de revient du mètre courant de simple voie. . fr.			84 02

En supposant un bénéfice de 20 p. c. pour les entrepreneurs, on arrive au coût de 100,000 francs par kilomètre de simple voie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Feeders. — L'ensemble des lignes à caniveau comportera une alimentation fractionnée en trois parties comprenant, l'une quatre câbles d'une section de cuivre de 350 millimètres carrés à 13 francs le mètre courant sur 3.5 kilomètres, l'autre deux câbles de 270 millimètres carrés de cuivre à 10 francs le mètre courant sur 2 kilomètres, soit pour les câbles de feeders . . . . . fr. 222,000

En y ajoutant 7,000 mètres de tranchée à 1 fr. 50 c., soit 10,500

pour le transport, la pose, les manchons, la surveillance 24,666

enfin le tableau de distribution à l'usine 6,000

on arrive pour les feeders à une dépense de . . . . . fr. 263,366

Usine. — Nous avons vu chapitre IV, C-2, que l'usine des Tramways bruxellois devait recevoir un complément de machines destinées à fournir l'énergie aux voies électriques nouvelles tant à caniveau qu'à fil aérien. La part des lignes à caniveau est calculée à raison de 18 voitures motrices et 18 remorquées en service courant, absorbant 20 chevaux-vapeur effectifs, soit 360 chevaux ou 450 H. P. indiqués. En ajoutant 50 p. c. de réserve, on arrive à 675 H. P. répartis sur trois jeux de chaudières, machines et dynamos, ce qui supposerait :

Trois chaudières de 235 mètres carrés et fondations. . .	66,000	francs.
— machines à vapeur de 225 H. P. et fondations . .	81,000	—
— dynamos de 250 kilowatts à attaque directe . . .	120,000	—
Tuyaux, pompes, courroies, outils, épurateur d'eau d'alimentation	30,000	—
Tableau de distribution	12,000	—

Remises. — Extension pour le matériel roulant : 75 voitures à 32 mètres carrés à raison de 50 francs par mètre carré, plus les voies et ateliers, soit 150,000 francs.

Voitures. — Pour les trajets sur lignes à caniveau, on aura 25 voitures motrices, 25 remorquées fermées, 25 remorquées ouvertes.

Les voitures motrices coûtent : truck y compris deux moteurs, controllers et équipement électrique, 13,500 francs; caisse, 3,500 francs, soit 17,000 francs; une remorquée fermée, 3,200 francs; une remorquée ouverte, 2,500 francs.

A ces dépenses s'ajoutent des frais pour accroissement de l'outillage, études, honoraires d'ingénieurs, surveillance et imprévus, soit une somme d'environ 150,000 francs.

d. — *Lignes américaines.*

Washington. — La longueur de la ligne à caniveau située dans la 9e rue est de 12.5 kilomètres. La tension est de 500 volts, la station centrale est d'environ 1,200 chevaux-vapeur; il y a 25 voitures motrices et 50 trailers. Des feeders en câbles sous plomb d'une section en cuivre de 250 et de 500 millimètres carrés

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont reliés tous les 250 mètres au conducteur en fer de la conduite sur une grande partie de sa longueur. (Voir § 1-*c*.)

Voici une évaluation du *coût de la construction :*

1.	Rails de roulement, poutrelles de rainure et joints .	20,212 francs.
2.	Barres conductrices	3,960 —
3.	Boulons, écrous, rondelles, tirants	2,475 —
4.	Cadres, encadrements de trous d'homme, couvercles et autres objets en fonte	15,840 —
5.	Isolateurs	825 —
6.	Pinces en fonte malléable	825 —
7.	Connexions électriques	7,425 —
8.	Excavations	710 —
9.	Béton de première qualité pour le chenal	15,840 —
10.	— de seconde qualité sous le pavage	9,570 —
11.	Placement de la voie, transports et voies temporaires.	7,672 —
12.	Pavage en asphalte sur la moitié intérieure et 60 centimètres aux côtés de la voie	23,430 —
	Total. . .	108,784 francs.

Exploitation. — Parcours :

Trains-kilomètres à deux voitures, une motrice et un trailer . . . . . 153,975 kilomètres.

Frais d'exploitation :

Station centrale.	Dépenses par train-kilom.
Mécaniciens	0.59 centime.
Chauffeurs	0.59 —
Main-d'œuvre autre	0.47 —
Renouvellement et réparation des outils	0.14 —
Huile et chiffons	0.2 —
Combustible	1.74 —
Réparation des machines à vapeur, dynamos, chaudières	0.195 —
Tableau de distribution et canalisation intérieure, conduit, pompes et divers.	0.07 —
Réparations aux voitures et à l'équipement électrique.	
Travaux divers	0.21 centime.
Freins et sabots	0.14 —
Régulateurs	0.08 —
Réparations diverses	0.32 —
— au chariot capteur du courant	0.4 —
Roues et essieux	0.11 —
Treillis protecteurs (fenders)	0.1 —
Réparations diverses aux caisses	0.33 —
Canalisation intérieure	0.13 —
Renouvellement et réparation des outils	0.03 —
Réparation des armatures	0.18 —
— des inducteurs	0.03 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Dépenses par train-kilom.
Coussinets et fusées	0.14 centime.
Réparations diverses aux armatures	0.16 —
Chasse-neige et sabliers	0.04 —
Peinture et vernissage	0.33 —
Divers	0.18 —

Résultats généraux.

Frais par train-kilomètre		28.97 centimes.
— —	(station centrale)	3.82 —
— —	(réparation des voitures)	3.00 —
Kilowatts-heures (total)	113,355	
—	(par train-kilomètre) 0.737	
Charbon par kilowatt-heure	1,770 kilog.	

La satisfaction de la « Metropolitan Railroad Company » peut se déduire du fait qu'elle applique, en 1896, le même système à 21.6 kilomètres de ses lignes les plus importantes à l'est et à l'ouest de la ville.

New-York. — L'intensité extrême du mouvement dans cette ville y ressuscite périodiquement la question du *Rapid transit.* Bornons-nous à constater ici que les tramways funiculaires, malgré leur capacité de trafic considérable, tout en donnant satisfaction dans certaines artères, ne constituent pas une solution générale. On s'explique ainsi la simultanéité de la traction par câble et de la traction électrique dans une même conduite sous-sol à caniveau, notamment dans la Lexington avenue. Dans ces conditions, le coût de la construction est un point secondaire. Il faut avant tout satisfaire à la demande de moyens de transport. On ne recule pas non plus devant les dépenses d'expérimentation. Nous avons dit que la tension de 300 volts, dans la Lenox avenue, s'était élevée à 500 volts et serait portée à ce taux dans les autres, que les conducteurs en fer U seraient remplacés par des tubes. Il s'agit donc d'un réseau de grands chenaux, en voie de formation ; on a commencé par installer une station génératrice de 6,500 H. P.

3. — Essais techniques.

Nous avons cherché les éléments d'appréciation des conduites sous-sol, au point de vue des déperditions de courant qui peuvent s'y produire soit à l'état normal, soit dans des conditions défectueuses à redouter.

Nous avons vu que la dépense en combustible à Blackpool et à Buda-Pesth n'a rien d'exagéré, et les dépenses de station centrale par voiture-kilomètre, pour la production de la force motrice, y est la même que pour les systèmes de transmission aériens.

Il a été procédé à Washington à des essais d'isolation sur la ligne à caniveau de la 9e rue en octobre, en novembre et en décembre 1895, par les soins de M. A. N. Connett.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La ligne étant à double voie présente quatre circuits ayant environ chacun 6,400 mètres de conducteurs exposés dans les caniveaux à des déperditions, et supportés par 1,500 isolateurs.

Constamment il a été reconnu que l'isolation était toujours meilleure du côté positif que du côté négatif, et, pour s'en assurer, l'on a soumis à des essais individuels une section séparée qui a montré exactement les mêmes résultats.

Les essais eurent lieu en octobre par un temps sec, en novembre par une pluie abondante, et en décembre par un temps sec qui durait depuis plusieurs jours.

On trouva en moyenne :

	Octobre.	Novembre.	Décembre.
Positif	16,000 ohms.	8,000 ohms.	29,000 ohms.
Négatif	700 —	400 —	900 —

Au cours des essais, on a trouvé sur l'un des circuits un défaut d'isolation qui fut aisément localisé.

L'auteur des essais estime que la perte de courant dans la 9e rue coûte en charbon environ 5 centimes par jour au maximum. Pour donner une idée de l'isolation que cela représente, il ajoute que si elle était réduite en moyenne au taux de 250 ohms, la perte serait de 20 kilowatts par jour, ce qui se traduirait par 50 centimes de charbon; du reste, les consommations de combustible sont représentées par les chiffres suivants pendant les trois mois en question.

Charbon par kilowatt-heure	1.8 kilogramme.
— par voiture-kilomètre	1.4 —
— par train de 2 voitures	2.8 —
Watts-heures par voiture-kilomètre	327
— par trains de 2 voitures	754

Les trains pésent 9,307 kilogrammes.

B. — Conduites à portions élastiques externes.

1. — Description.

a. — *Systèmes à surfaces longitudinales flexibles.*

Logées dans des chenaux étroits, ou affleurées avec la surface du sol, les portions élastiques qui constituent ce genre sont continues ou jointives.

Système Van Depoele. — α. — Le même Belge qui, aux États-Unis, a créé la transmission aérienne par trolley avait débuté, en 1884, par l'essai d'une transmission sous le niveau du sol. Le dispositif figure 450 est très simple. Des lèvres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en caoutchouc, ou en fibre élastique, formant joint en J, protègent contre les immondices le conducteur gisant au fond de la cannelure. Le même appareil qui recueille le courant écarte en les soulevant les lèvres élastiques.

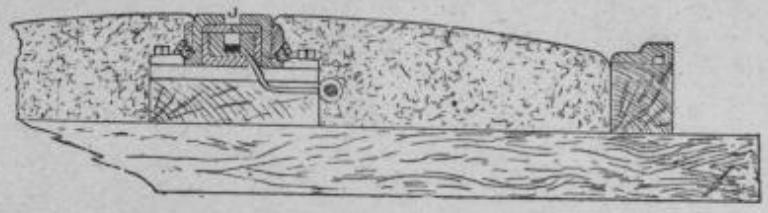


Fig. 450.

Ce dispositif fut essayé, en 1884, sur une voie de 1,000 mètres à l'exposition de Toronto (Canada). Après un an d'essais, cette voie fut démolie et l'on n'en parla plus.

β. — Van Depoele avait en même temps pris brevet pour une variante perfectionnée de ce système (fig. 451). Les lèvres sont bordées de métal; des gouttières d'évacuation G conduisent de distance en distance les eaux à des canaux en communication avec les égouts. Dans le même mémoire où ce fécond praticien décrit ces types de conduites, il en cite d'autres dont l'un n'a pas de parties élastiques, mais se rapproche du précédent, à cette différence près, qu'au lieu de deux recouvrements flexibles au-dessous du conducteur, il n'en possède qu'un seul fixe.

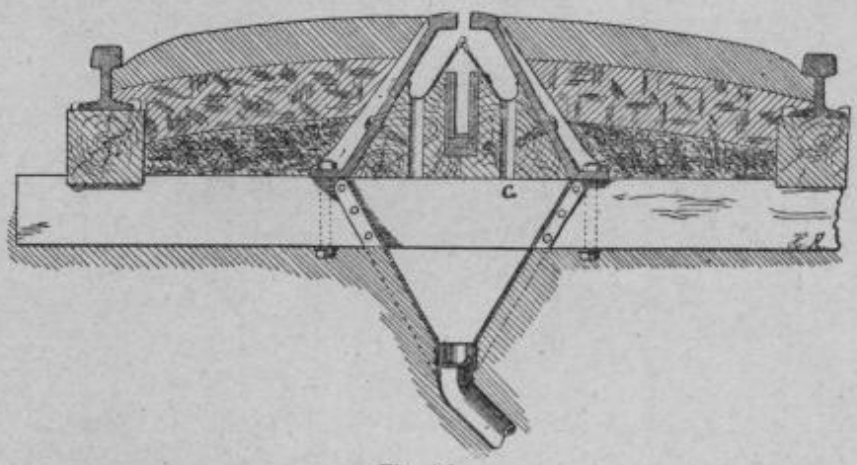


Fig. 451.

Système Brain. — M. Brain a substitué aux lèvres de caoutchouc une bande de fer longitudinale *a* de 50 × 11 millimètres fermant la conduite *m* comme un couvercle indéfini, figure 452. Ce couvercle est soulevé au moyen de galets portés par un petit chariot que la voiture entraîne, figures 453 et 454. C'est sous la bande ainsi soulevée que passe le capteur de courant, en contact avec le conducteur *c*. Aux jonctions, le chenal se déplace parallèlement aux aiguilles, en une portion d'égale longueur montée sur un pivot. La barre est interrompue sur une égale portion, laquelle, du côté du talon des aiguilles, est articulée à l'extrémité arrêtée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en ce point, et, du côté des pointes, passe, rabotée à demi-épaisseur, sous l'autre extrémité rabotée aussi, qu'elle peut ainsi soulever au passage du chariot de contact.

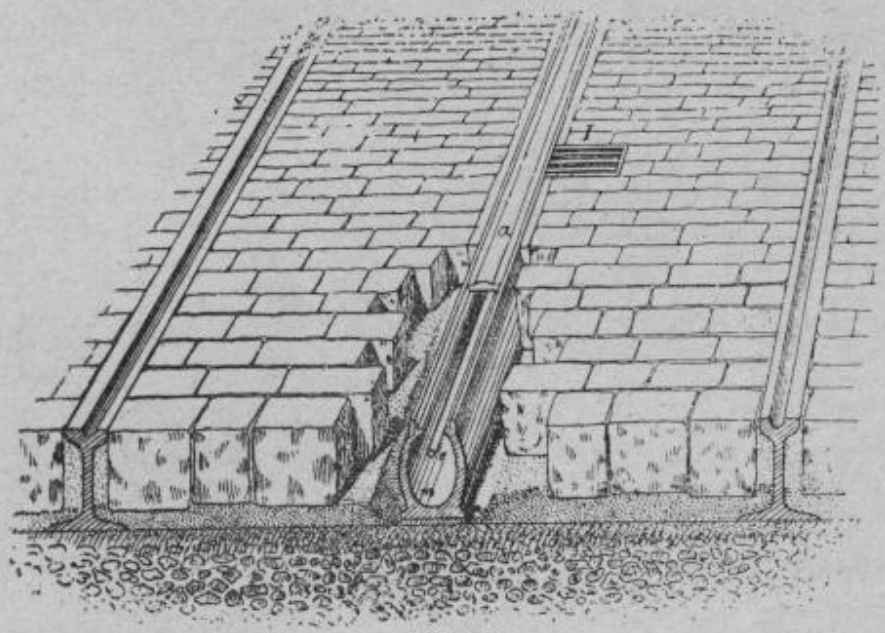


Fig. 452.

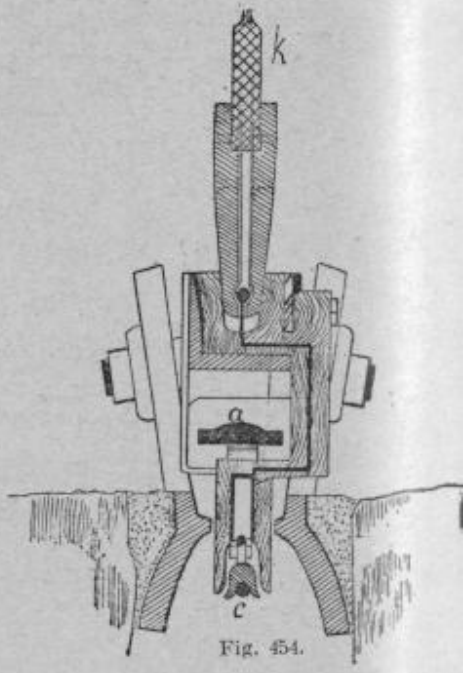


Fig. 454.

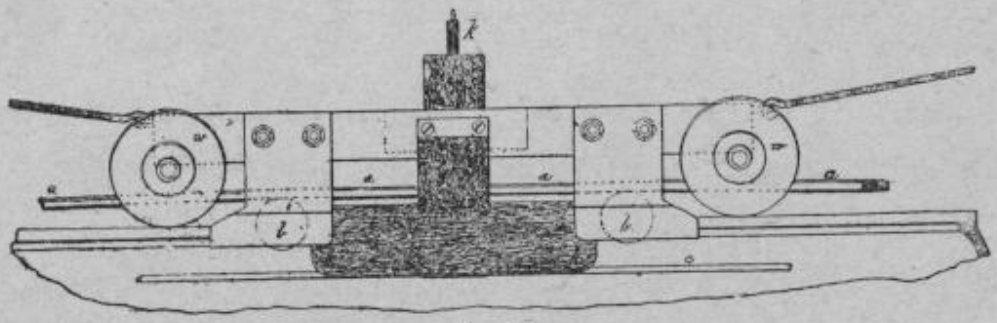


Fig. 453.

Les essais organisés depuis 1892 dans les chantiers de la *Telegraph Manufacturing Company*, à Helsby, ont donné des résultats encourageants au point de vue mécanique. Une application en est faite depuis 1895 aux usines de Sandicroft (Chester). (Voir § 2-z.)

Conduite Irish. — Elle est décrite par son inventeur dans l'*Electrical Engineer*, de New-York, sous la forme des figures 455 et 456. Le courant est conduit par un ou deux fils de cuivre C logés dans des tubes en caoutchouc E portant extérieurement des plaques P et intérieurement des blocs B reliés entre eux par des vis. Lorsque les poulies de prise de courant portées par la voie soulèvent, en passant, les plaques P, le circuit se ferme, par suite du contact établi alors entre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le conducteur et les blocs B, et de la liaison métallique de ces derniers avec la plaque P, à travers la paroi du tube de caoutchouc.

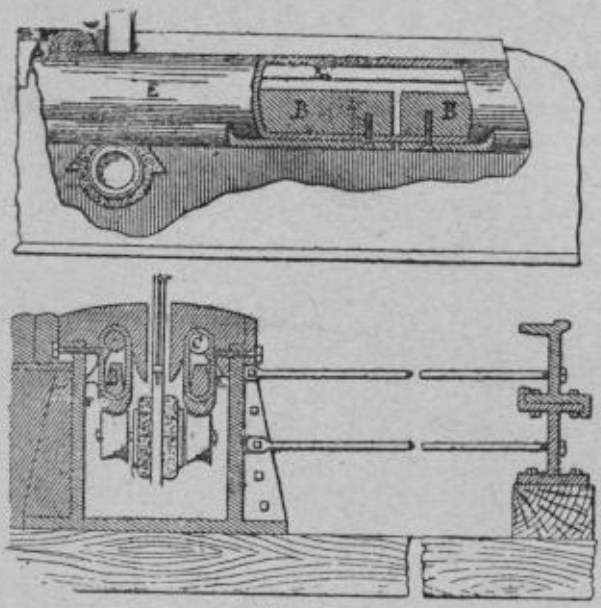


Fig. 455.

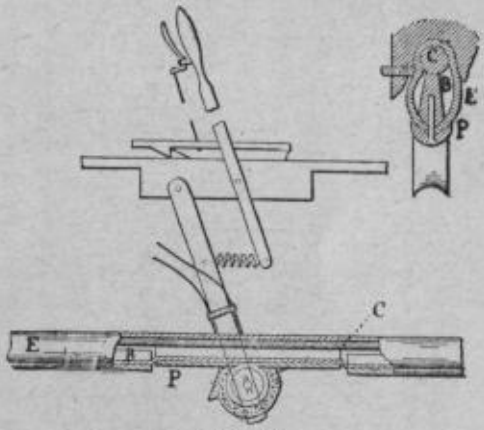
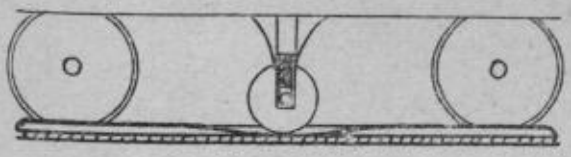


Fig. 456.

Conduite Booth. — (Fig. 457.) Un bloc de caoutchouc C remplace le tube du système précédent et maintient l'écartement entre le conducteur et les deux plaques qui, l'une à l'intérieur, l'autre à l'extérieur, sont destinées à servir d'intermédiaire au passage du courant, déterminé ici par la pression qu'exerce une roue spéciale entrainée par la voiture.



Conduite Booth.

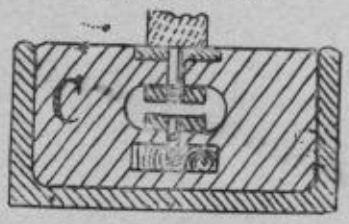


Fig. 457.

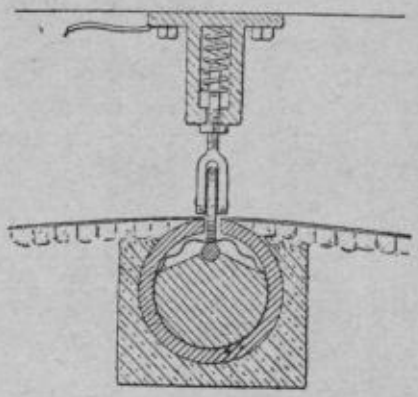


Fig. 458.

Conduite Perkins. — (Fig. 458.) Même principe que le précédent; seulement, c'est une tôle ondulée que la roue déprime, qui sert de diaphragme imperméable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Conduite Vermeiren. — Dans une autre conduite brevetée, construite en modèle par M. Vermeiren, de Bruxelles, en 1895, des barres en fer glissent dans une rigole en bois garnie de cornières en fer. Ces barres, déprimées sous la pression d'une roue chargée de recueillir le courant, vont le fermer par l'intermédiaire de boites à ressort à godet de mercure. Les abouts des tringles en fer connectés mécaniquement par des charnières, sont isolés l'un de l'autre parce que ces charnières sont montées sur un bout isolant; des tenons latéraux les arrêtent contre la poussée, de bas en haut, de forts ressorts à boudin.

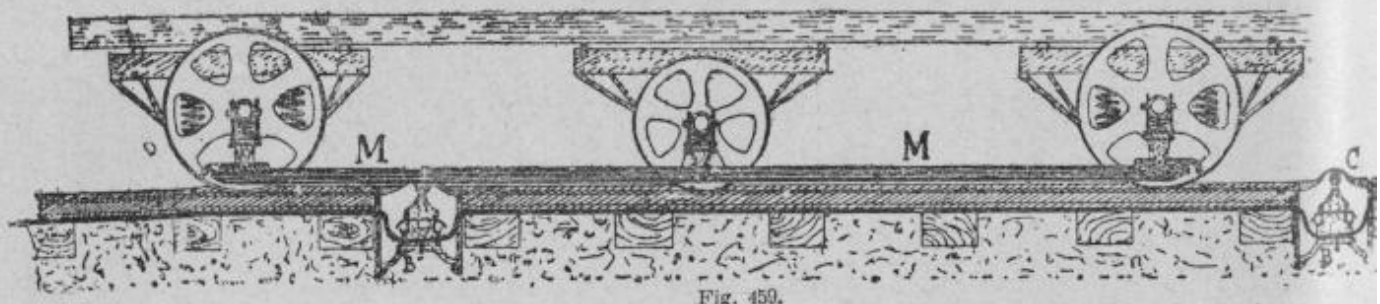


Fig. 459.

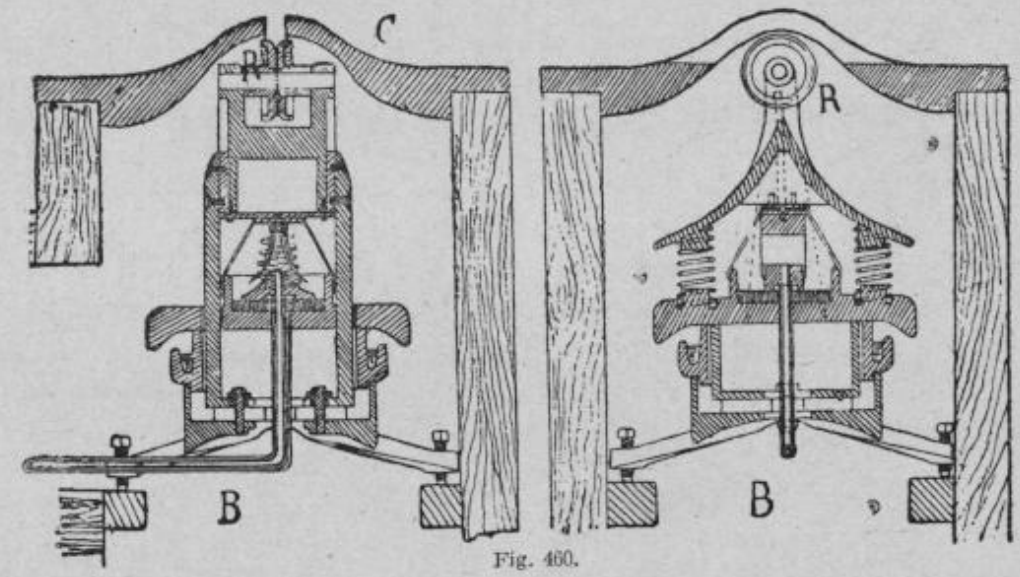


Fig. 460.

b. — *Systèmes à boîtes échelonnées.*

Système Munsie-Coles. — Ici, des boites de contact B, figures 459 et 460, espacées de 5 mètres en 5 mètres, portent des touches à roulettes R, dans la gorge desquelles s'engage successivement une longue tringle mince en fer MM suspendue à la voiture. Le couvercle C de la boîte, un peu proéminent au-dessus du pavé, porte une bouche juste assez large pour laisser pénétrer la tringle M, mais non pour permettre aux passants ou aux véhicules de toucher la roulette. Cette dernière, aussi longtemps qu'elle n'est pas déprimée par la tringle, n'est pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

directement en rapport avec le conducteur électrique principal logé dans le sol : mais par suite de cette dépression, une tige fixée sous la fourche portant la roulette R, va prendre contact, au centre de la boîte, dans un milieu bien isolé, avec un coin métallique auquel aboutit un bout de fil branché sur le conducteur principal.

Les essais entrepris depuis 1892 à Hartford dans le Connecticut, où une voiture était en service quotidien, démontrent sa praticabilité.

Système Stetson. — C'est une combinaison de l'emploi d'un large caniveau à rainure avec l'isolement complet du câble amenant l'électricité. Des touches de contact mettent l'appareil de prise de courant porté par la voiture en relation avec le conducteur principal; mais cette relation n'est établie qu'au moment du passage de la voiture, moyennant un mouvement de rotation que leur imprime l'appareil de prise de courant, mouvement qui détermine un contact dans une boîte hermétiquement close.

D'essais prolongés effectués à Coney-Island, aux États-Unis, il résulte que la déperdition de courant, même quand la conduite est entièrement noyée, n'est pas très importante. Dans un nouveau modèle, les inventeurs ont, paraît-il, réduit leur conduite à des dimensions telles qu'elle pourrait s'installer sur toutes voies de tramways, sans excavations considérables, mais elle est, en somme, assez compliquée mécaniquement. (Voir les résultats au § 2-3.)

Système Westinghouse. — Les combinaisons que présentent les autres systèmes élastiques, à boîtes de contact, rentrent dans l'ordre d'idées qu'on retrouve parmi les précédents. Dans celui que la firme Westinghouse a breveté en 1893, la voiture est armée de deux roulettes, l'une à l'arrière, l'autre à l'avant, roulant dans deux rigoles en fer au niveau du sol, rigoles sectionnées en bouts de 4 mètres environ et séparées par les boîtes de contact. L'une des roulettes a pour fonction, en passant sur une touche adaptée à chaque boîte, d'amener le courant à la section abordée, où elle le recueille; l'autre roulette a pour fonction de rompre ce courant en déprimant une autre touche.

Cette firme, au lieu de donner suite à ce projet, a étudié une conduite entièrement close décrite au § C.

Système Behr. — Du même principe procèdent également d'autres conduites ingénieusement conçues : celle de *M. Behr*, de Londres, formée d'une rigole dans laquelle font saillie, tous les 5 mètres, des diaphragmes souples recouvrant hermétiquement un jeu de leviers, dans une boîte, chargés d'établir un contact interne avec le feeder, pour amener le courant vers un plot externe porté par le diaphragme; l'appareil qui a pour fonctions de déprimer le plot avec le diaphragme et de recueillir le courant, est formé de volets qui en font une pièce très flexible horizontalement et non verticalement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c. — *Conduites à distribution série.*

On peut encore rattacher aux conduites à portions élastiques celles qui ont été étudiées en vue de distribuer le courant *en série* aux locomoteurs électriques échelonnés sur la ligne, en changeant l'allure des circuits, moyennant le mouvement d'organes distribués le long de la voie.

Transmission en série à Northfleet. — Afin de réaliser la transmission du courant en série aux voitures, il a été organisé en 1889 des essais conduits par MM. Kincaid, Waller et Manville, sur une ligne où circulait une voiture ordinaire à 26 places, munie d'un moteur à vis de 10 H. P.

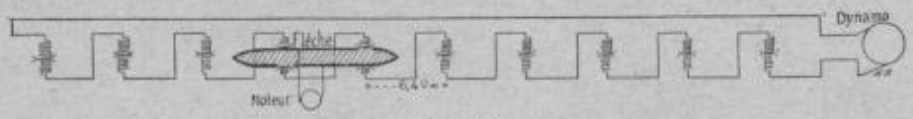


Fig. 461.

A cette fin, le conducteur amenant le courant est subdivisé en segments (fig. 461) de 6m40 de longueur, maintenus à leurs extrémités, en contact entre eux, moyennant des plots à ressort (fig. 462) serrés ainsi sous une pression de 2.7 kilogrammes. La prise de courant intercalle le circuit du moteur en écartant deux de ces plots et y prenant séparément contact : telle est la fonction de la flèche portée par la voiture et dont les deux lames isolées sur une âme en bois bordée de caoutchouc, sont en communication avec les deux pôles de l'électro-moteur. Le tout est logé dans un chenal.

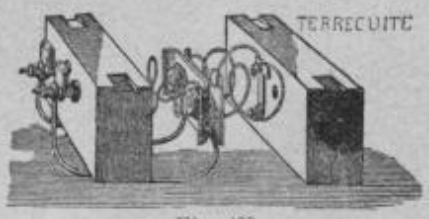


Fig. 462.

Après avoir atteint une extrémité de la ligne, le courant peut être ramené soit par les rails, soit par un câble isolé, soit, ce qui est mieux, par une autre voie alimentée par le même procédé.

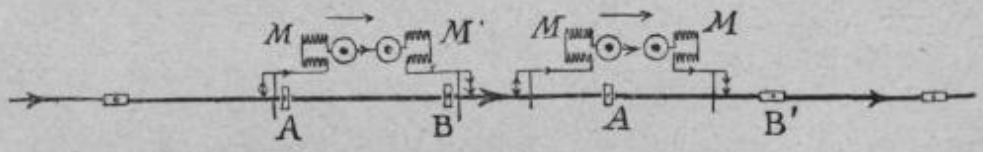


Fig. 463.

Système Cattori. — Ce problème a été repris par M. Cattori, mais résolu selon le principe de la distribution série employé dans leur système de telphérage par *MM. Jenkin-Ayrton et Perry*. Dans un caniveau sous rails Haarman, il loge un conducteur sectionné (fig. 463), mais dont tous les segments sont réunis par des cliches A, B, A, B'. Une voiture, en approchant d'un segment AB, fait tourner au moyen d'un éperon la cliche A, qui ouvre le circuit sur le conduc-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teur, tandis qu'il se ferme par l'électro-moteur de la voiture, après le passage de laquelle la cliche sera retournée pour rétablir la continuité du circuit comme on le voit en B′ (1).

2. — Résultats d'essais.

α. — Des systèmes de conduites à portions élastiques, il n'existe pas à notre connaissance d'exploitation publique.

Toutefois, la conduite *Brain*, dont la voie expérimentale a été construite à Helsby, comme on l'a dit ci-dessus, a également reçu une application dans les chantiers « Sandycroft Foundry and Engine Works Company », à Sandycroft (Chester), pour opérer les transports sur des voies de manœuvre au moyen d'une locomotive électrique de 40 chevaux, recevant un courant de 200 volts. La construction de 1 kilomètre de conduite Brain est estimée à 30,000 francs, y compris les feeders, mais non compris les rails.

Quelques essais ont donné des résultats bons à noter.

Nous avons vu que dans la conduite Brain, une barre de fer externe est soulevée par un chariot : la force nécessaire pour tirer ce chariot, qui pèse 15 kilogrammes, ne dépasse pas 1 kilogramme pour un soulèvement de 5 centimètres. L'isolation du conducteur reste, paraît-il, dans des limites suffisantes pour n'être pas un côté faible du système.

β. — La conduite *Stetson*, à touches pivotantes dans un chenal, semble présenter une complexité d'organes sujets à provoquer des fuites nombreuses de courant; néanmoins, M. Stevenson faisait connaître, en octobre 1893, les résultats suivants d'essais exécutés à Coney Island, sur une ligne expérimentale de 400 mètres. A sec, la résistance de la ligne est de 61,500 ohms quand la voiture n'est pas dans le circuit. La voiture étant amenée dans une partie basse de la ligne mesurant 25 mètres de longueur et son appareil de prise de courant abaissant les leviers des touches pivotantes fermant le circuit, on a rempli d'eau la conduite sur ces 25 mètres de long et trouvé sous la tension de 353 volts une résistance de 380 ohms, soit 0.926 ampère de perte. Les conclusions de ces essais ont été que les pertes sur une ligne à l'état normal seraient équilibrées par la puissance d'un H. P., et que sur une ligne entièrement submergée, les voitures en circuit, la perte serait de 7.69 p. c., c'est-à-dire que 13 cars étant en circuit, la perte serait égale à la puissance de traction exigée par l'un d'eux.

γ. — Bien que les essais de Northfleet aient démontré la praticabilité du système en série, on a renoncé à l'appliquer.

D'ailleurs, la transmission série qui avait également fait l'objet d'études attentives aux États-Unis, notamment de la part de *M. Short*, est aujourd'hui absolument abandonnée. Elle ne puise sa raison d'être que dans la formule exprimant la

(1) Cattori, *La energia elettrica applicata a la trazione*. Rome, 1892.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

perte de calorique causée par l'intensité du courant, $P = RI^2$, indépendante de la force électro-motrice, d'où une économie de cuivre et de travail à la génératrice, si l'on maintient I constant en faisant varier la force électro-motrice. Mais on voit par les deux exemples que nous venons de citer combien mécaniquement compliqué serait ce mode de transmission, sans compter qu'il ne donnerait de résultat sérieusement économique qu'à des tensions dépassant les taux usuels.

Il est vrai que M. Cattori argue d'une interdiction, édictée aux tramways, en 1892, par le ministère des postes et télégraphes d'Italie, de se servir de la terre pour fermer le courant. Ce côté de la question est examiné ailleurs. (Chap. IV-B.)

C. — Conduites fermées à surface rigide.

---

1. — Description.

a. — *Système à aimantation externe.*

L'idée d'amener le courant à la voiture par un conducteur à ras du sol, sectionné en bouts isolés successivement électrisés, a été en premier lieu présentée par MM. les professeurs Ayrton et Perry, en 1883, vers l'époque où ils construisaient leur système de transport aérien à circuits en série (telphérage).

Mais, en ce qui concerne les tramways, cette conception n'a pris un corps qu'en 1888, dans le système Lineff, qui partage avec d'autres ce trait commun, d'employer *un électro-aimant traîné par la voiture*, pour provoquer la fermeture du circuit, à travers la surface métallique rigide.

Système Lineff à contact continu. — C'est sur des bouts de rail S émergeant légèrement du sol que se prend le courant (fig. 464 et 465). Ils ne deviennent le siège d'un courant électrique qu'à l'instant du passage de la voiture, car ils sont fixés, à une petite distance du conducteur en cuivre C, dans une masse isolante en asphalte ou autre matière peu conductrice. La relation entre le conducteur C et le rail émergeant S s'opère par l'intermédiaire d'une bande continue en fer F soulevée sous l'influence d'un électro-aimant A traîné par la voiture. Les petits fers en forme T totalement noyés à côté des rails S remplissent une fonction magnétique accessoire, consistant à répartir longitudinalement les lignes de force amenées par les rails S et passant par la bande souple interne, laquelle subit de la sorte une attraction maxima dans la zone de la prise externe de courant opérée par les galets G qui portent l'électro-aimant.

Il va de soi que l'électro-aimant remorqué se trouve excité par une dérivation du courant principal, en l'absence duquel agit celui d'une pile primaire ou secondaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En Angleterre, le fonctionnement de ce système a été reconnu praticable sur une voie d'essai établie à Hammersmith. (Voir § 2.)

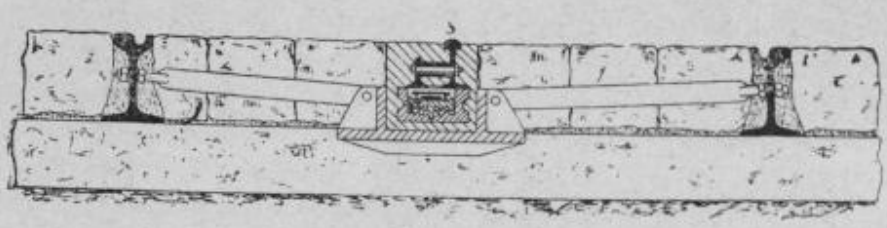


Fig. 464.

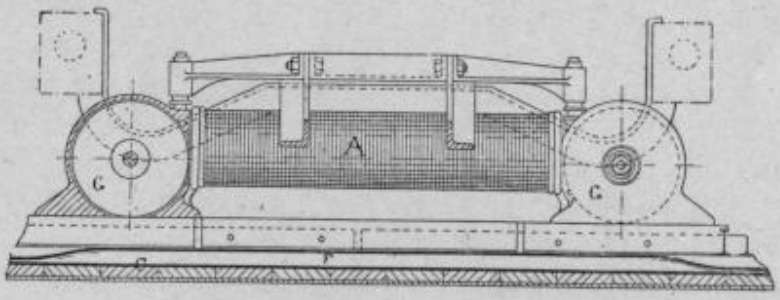


Fig. 465.

Dérivés du système Lineff. — A la bande souple, en fer galvanisé, intermédiaire entre le conducteur fixe et la plaque métallique extérieure, on peut substituer un câble ou une chaîne, comme l'ont fait *MM. Pollak et Biswanger*, ainsi que *M. Riker*. La maison *Schuckert* y substitue des copeaux de fer; de plus, en vue de faciliter le maintien de l'isolement général, elle sépare les rails extérieurs de friction, de la conduite sur laquelle agit l'aimant mobile; les tronçons supérieurs de cette conduite sont reliés, par des bouts de fil, à ceux du rail de contact externe, ce qui permet de dissimuler complètement et protéger les premiers sous l'asphalte.

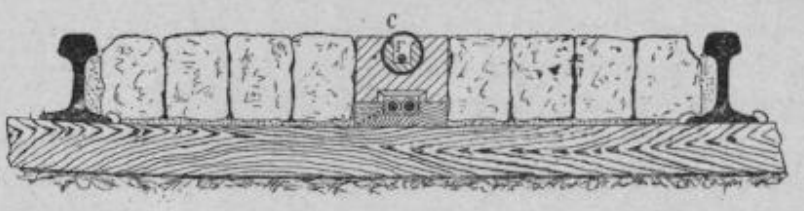


Fig. 466.

Dans la conduite *Brown* (fig. 466), récemment essayée avec succès, aux Etats-Unis, à Salem, se présente cette particularité, qu'à l'intérieur de bouts de tubes en cuivre C émergeant légèrement d'une masse peu conductrice, se trouve une garniture également isolante sur laquelle repose un simple conducteur en fer F alimenté de loin en loin par le feeder, et soulevé contre le tube en cuivre quand passe l'électro-aimant fixé à la voiture.

M. Hunter et d'autres introduisent des pièces internes de contact ajustées, à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

palettes mobiles, convenablement espacées, fermant le circuit contre la surface externe à l'approche de l'électro-aimant, ce qui semble plutôt une complication qu'une amélioration.

Systèmes à boîtes échelonnées et barre mobile. — Dans les systèmes *Churchill* et *Diatto*, la surface affleurante rectiligne est remplacée par des disques bombés fermant des boîtes rondes, à l'intérieur desquelles se meuvent les organes qui ferment les circuits sous l'action externe d'une barre magnétique remorquée.

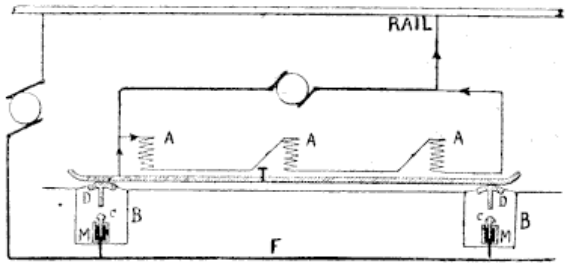


Fig. 467.

La figure 467 représente schématiquement le dispositif Diatto, qui fonctionne à Turin depuis 1895 et à Lyon depuis 1897, sur des voies d'essai. (Voir § 2.) Les disques bombés D sont frottés par une barre T que porte la voiture. Cette barre qui capte le courant est magnétisée par des électro-aimants A excités en dérivation, et attire contre les disques D, des chevilles C mobiles dans des godets à mercure M en relation avec le feeder F. Ces organes sont isolés dans une boîte B, en asphalte, fermée par un disque en fonte reposant sur un cercle de même métal. Le tampon central est en fer. Sa surface concave et la tête de la cheville sont garnies de cuivre sur un millimètre d'épaisseur, afin d'améliorer le contact et d'amoindrir les effets du magnétisme rémanent.

Systèmes à boîtes échelonnées et barreaux affleurants. — *M. J.-F. Mc Laughlin*, de Philadelphie, revient aux barreaux affleurants S (fig. 468) fixés dans l'asphalte, mais alimentés moyennant le jeu de pièces logées en des boîtes B, pièces mobiles sous l'action d'électro-aimants E, E′ portés par la voiture.

Ces pièces mobiles (fig. 469) sont étudiées en vue de répondre à certaines conditions : être en équilibre, de façon à présenter peu de résistance à l'attraction, posséder une masse suffisante pour obtenir, par l'effet de la force vive, le serrage et le desserrage du bloc qui ferme et ouvre le circuit.

Deux fortes plaques L, L′ en fer sont symétriquement fixées à des fléaux de balance. Elles ont 28 à 30 centimètres de longueur, sur 8 à 10 de largeur et 2 d'épaisseur. Des tôles P et P′ sont soudées à des leviers coudés D et D′ articulés aux extrémités des fléaux.

Chaque groupe LPD, L′P′D′ est actionné respectivement par un des deux électro-aimants E, E′, lesquels à cette fin ne sont pas équidistants de l'axe de la voiture, mais suivent deux lignes distantes l'une de l'autre de 20 centimètres environ. L'électro E arrivé au-dessus du groupe LPD, soulève d'abord la tôle P, entraînant ainsi le levier coudé D qui se décroche du taquet triangulaire T, en pivotant sur son articulation jusqu'à ce qu'il butte contre l'ergo G ; alors la plaque L forme, avec la tôle P, les éléments solidaires d'une même armature. En même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

temps, le coude P'D' est venu s'accrocher au taquet T'; et le coin de bronze fixé au bras en bois F a été introduit entre des lames M pour fermer le circuit.

Les pièces de la boîte restent en cet état jusqu'à ce que le capteur de courant K formé de galets ou de frotteurs en bronze ait parcouru une section S d'environ 3m30. Entre ces deux galets ou frotteurs, l'écartement est un peu plus grand que la lacune isolée entre deux sections S, de telle sorte que le capteur du courant touche ces deux sections au moment où l'électro-aimant E' arrive au-dessus du groupe L'P'D' pour le décrocher et le soulever, tout en abaissant et accrochant à son tour le groupe LPD et ouvrant le circuit en M.

L'ouverture et la fermeture du circuit en M ont lieu à potentiel constant, à cause du soin que l'on a pris d'opérer ces mouvements quand le capteur K touche deux sections consécutives (fig. 468).

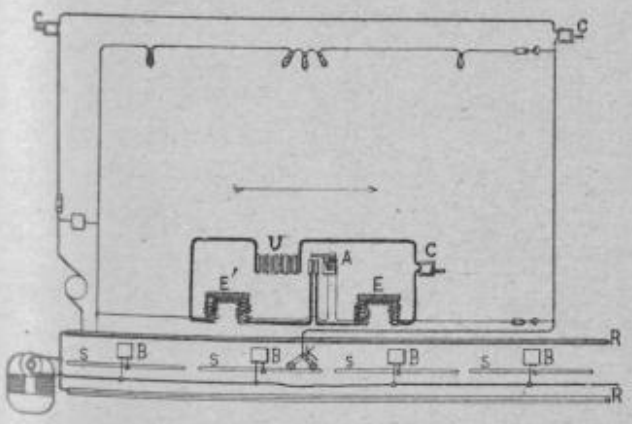


Fig. 468.

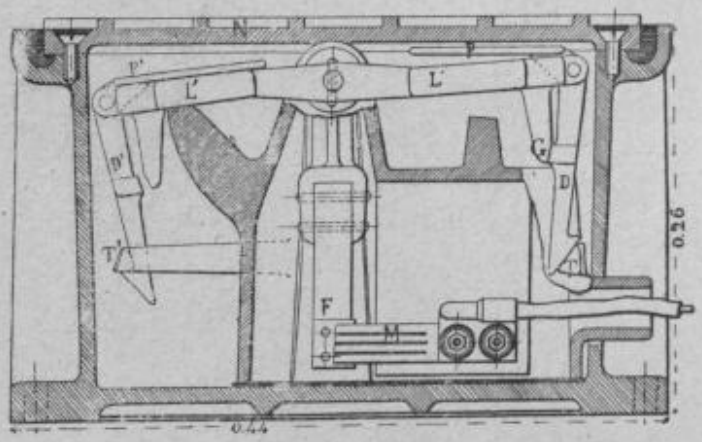


Fig. 469.

L'excitation des électro-aimants est prise sur une dérivation du courant principal; toutefois, avant que ce dernier soit établi, il y est suppléé par une batterie d'accumulateurs U, dont le circuit se ferme et s'ouvre moyennant l'interrupteur automatique A, dans la bobine duquel passe le courant dérivé. En C sont des interrupteurs.

Les électro-aimants E, E' prennent de 1 1/2 à 3 ampères, selon la vitesse à laquelle on entend faire fonctionner le système entre 12 et 25 et même 30 kilomètres, et aussi selon la distance à laquelle on peut maintenir les électros au-dessus du couvercle en bronze N des boîtes, en raison de la constitution de la voie. Ces boîtes en fonte sont posées dans un massif de béton qui se prolonge en longueur sous l'emplacement du barreau de la section correspondante. Ce dernier est un fer double T de 75 millimètres, isolé dans l'asphalte, dont il n'émerge que par sa surface supérieure large de 65 millimètres, sur une longueur de 3m30, la lacune isolée entre deux barreaux étant de 30 centimètres, en bois dur paraffiné.

La figure 469 représente la boîte telle qu'elle a été construite sur la voie d'essai

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 300 mètres dans les chantiers de la Société *Électricité et Hydraulique* de Charleroi.

A Philadelphie, sur la voie d'essai construite en 1895, au lieu de deux groupes symétriques de pièces, il n'en existe qu'un, le groupe LPD, par exemple, tandis que le groupe L'P'D' est remplacé par une plaque un peu plus forte que L' formant simple contrepoids sans organe à crochet d'attache.

Pour renverser le sens de la marche de la voiture, il est nécessaire d'inverser les effets des électros E et E' sur les groupes de pièces LPD et L'P'D' des boîtes fixes. A cette fin, ils sont mobiles transversalement et reposent sur des glissières en fer profilé, par l'intermédiaire de petits galets, de telle sorte que l'un puisse être amené au-dessus de la ligne que l'autre décrivait précédemment par rapport à l'axe de la voie.

De plus, dans les courbes, ces électros s'écarteront d'autant moins des lignes qu'ils doivent suivre au-dessus des boîtes, qu'ils seront suspendus plus près des essieux. Mais on obtient un résultat plus certain et en même temps on les maintient à une distance plus constante du couvercle des boîtes, en rattachant leur suspension à deux petits équipages spéciaux formés chacun d'un train Bisel articulé à chaque bout de la voiture et monté sur roulettes légères roulant sur les rails. (Voir coût et essais § 2.)

b. — *Systèmes à aimantation interne.*

Dans un autre genre de systèmes à surface rigide, les éléments superficiels métalliques reçoivent successivement la charge électrique du conducteur principal, grâce au jeu d'appareils électro-magnétiques *logés dans le sol*. Ces appareils fonctionnent sous l'action de courants dérivés que la voiture leur envoie en progressant, par les mêmes frotteurs qui ferment le circuit général sur les barres d'affleurement.

Voici divers systèmes construits selon cette méthode.

Système Wynne. — Les figures 471 et 472 le représentent dans l'état de perfectionnement où il fut réalisé, en 1892, à Wolverhampton dans les chantiers de *The Electric Construction Corporation*, bien qu'il eût été essayé et décrit en 1890 sous une autre forme.

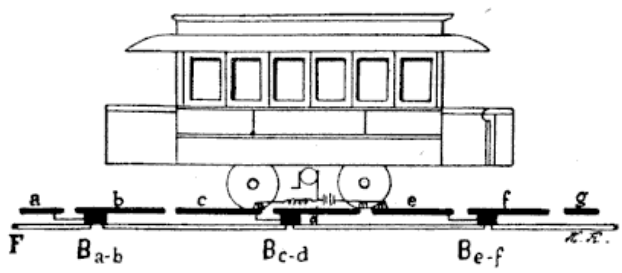


Fig. 470.

Les barres superficielles frottées sont noyées dans une espèce d'asphalte. Elles mesurent 1m50 de longueur, et deux d'entre elles *a*, *b* sont desservies par une boîte de contact B venue de fonte avec l'une d'elles *b* (fig. 470).

Cette boîte détaillée dans les coupes, figure 472, comporte essentiellement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux électro-aimants E, F, l'un horizontal, l'autre vertical, dont les circuits d'excitation sont reliés respectivement, par l'un des bouts, à chacune des deux barres desservies par la boîte, et par les deux autres bouts, à une lame L. Au-dessus de celle-ci et symétriquement, une seconde lame L' est reliée au conducteur principal. Ces lames sont assouplies par des fentes.

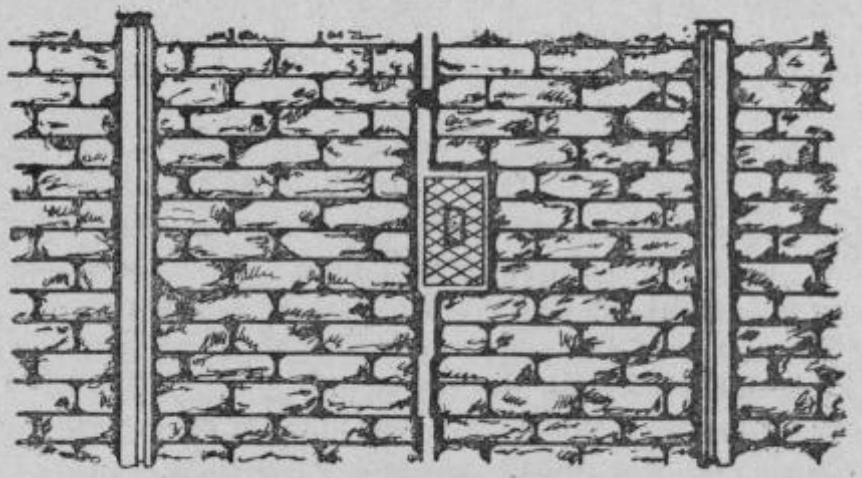


Fig. 471.

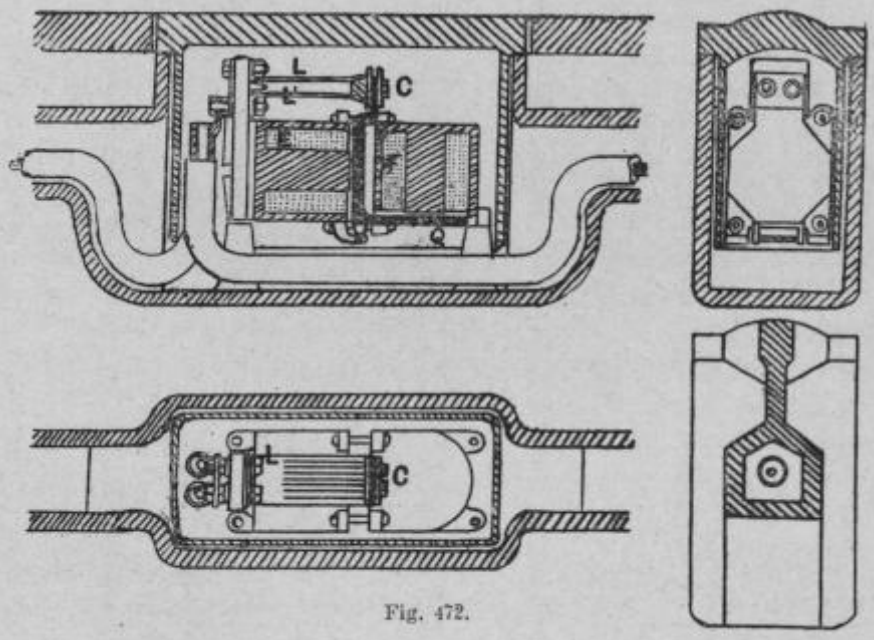


Fig. 472.

Le circuit principal passe de la lame L à la lame L', lorsqu'elles sont réunies par un coin en cuivre C amené entre elles par le jeu de l'armature en équerre CQ. Cette armature obéit également à l'un ou l'autre électro-aimant, en pivotant autour d'un axe situé à l'angle de ses deux palettes. Ces électro-aimants sont excités, l'un après l'autre, par une dérivation issue du capteur de courant frottant les barres longitudinales externes. Cette fonction s'accomplit comme le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

montre la figure 470, où l'on voit les boîtes B connectant deux tronçons affleurants successifs et le feeder F également segmenté en longueurs égales à deux tronçons. Le couvercle de la boîte forme cloche à plongeur au-dessus des organes électro-magnétiques. Pour exciter une première fois ceux-ci et mettre en train le fonctionnement du système, la voiture porte une petite batterie galvanique ou quelques éléments d'accumulateurs.

M. Hunter, de la firme Thomson-Houston, a proposé le remplacement des électro-aimants internes par des soléonides verticaux à relais.

Système Westinghouse. — Un dérivé du système Wynne, essayé aux États-Unis par *M. Wheless* vers 1894, est actuellement exploité par la Compagnie Westinghouse, qui a installé une ligne d'expérience en service dans ses chantiers de Pittsbourg et une autre en service public sur une branche de 1,600 mètres du tramway *Eckington and Soldiers' Home*, à Washington.

Ici, au lieu de barres fixes affleurantes touchées par des balais, ce sont des plots fixes saillants touchés par des barres mobiles qui établissent la communication entre la voiture et les organes électro-magnétiques dissimulés dans le sol en des boîtes hermétiques. Deux rangées parallèles de plots installés entre les rails sont frottées successivement par deux barres parallèles; deux plots, situés sur une même perpendiculaire à l'axe de la voie, sont reliés à une même boîte. Chaque barre a une fonction distincte. L'une d'elles, au moment où elle aborde le plot de la rangée correspondante, lui communique un courant faible qui passe à l'électro-aimant de la boîte qui dessert ce plot; l'électro-aimant, en soulevant sa palette, ferme le circuit principal qui se rend au plot de l'autre rangée desservi par la même boîte, et de là, par la barre mobile correspondante, à l'électro-moteur. Au surplus, le courant principal, avant de quitter la boîte à électro-aimant, s'enroule autour de ce dernier, en renforce le champ et affermit les contacts de la palette. Ces contacts sont en charbon. Le courant faible n'est pas une dérivation du principal, mais vient d'une batterie d'accumulateur de 3 éléments. Tel est le principe du système.

La figure 473 est un schéma des circuits. Les contacts B et B' sont, en réalité, dans un plan perpendiculaire à la voie, de même que la boîte du commutateur électro-magnétique; le circuit de la pile P portée par la voiture et donnant le courant faible dans l'électro-aimant E se ferme par la terre; alors le courant principal passe par FCC'B au régulateur R du moteur M, pour se rendre ensuite à la terre par les rails.

La figure 474 montre une coupe de l'installation pour une voie; lorsqu'il y a deux voies, les quatre boutons sont connectés à une même boîte, accouplés par paire de même fonction. L'une de ces boîtes est détaillée figure 475, où l'on voit le circuit principal S, le dérivé D et les contacts en charbon fixes et mobiles. Une enveloppe en forme de cloche à plongeur, comme dans la boîte Wynne, protège les organes électro-magnétiques; le tout est logé dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une boîte fermée par un couvercle cloisonné garni de blocs en bois debout.

Les plots ou boutons de contact K (fig. 476) en acier mesurent 100 millimètres de diamètre et font une saillie de 10 millimètres sur les blocs de céramique auxquels ils sont fixés et qui reposent eux-mêmes sur des sièges en fonte présentant un goulot où passe le câble venant du feeder.

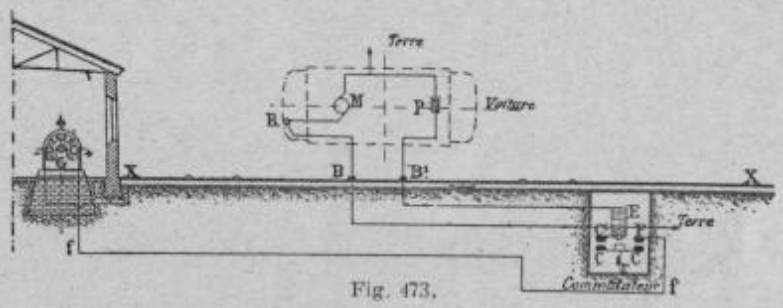


Fig. 473.

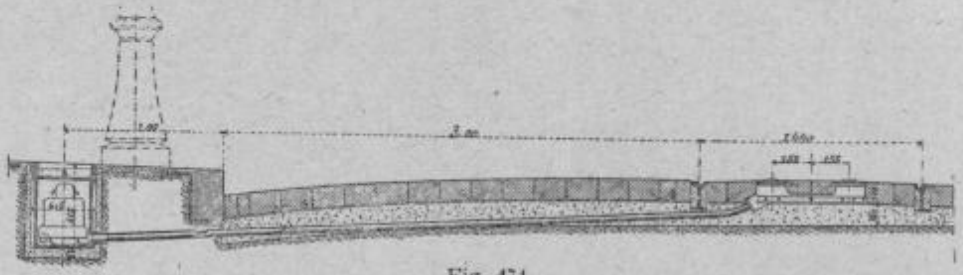


Fig. 474.

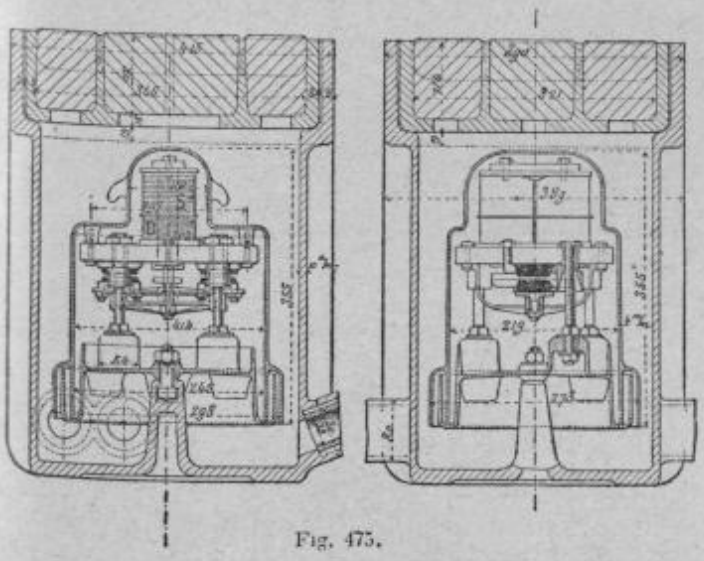


Fig. 475.

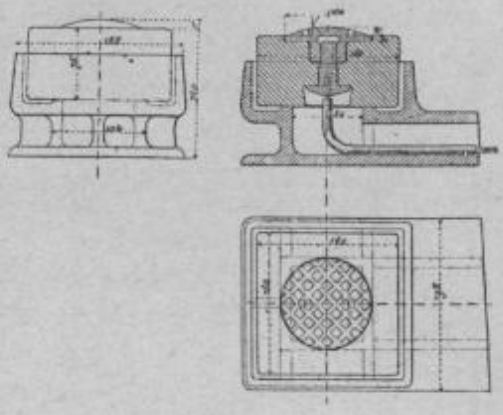


Fig. 476.

Système Johnson Lundell. — C'est au fond le système Wynne, avec des barres affleurantes de 2m50 et des boîtes distributrices espacées de 12 mètres l'une de l'autre, desservant plusieurs barres. Une voie de 360 mètres créée à New-York fin de 1893, a été parcourue par un car pendant l'hiver et le printemps. Ces expériences ont bien réussi.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Système Gordon. — α. — Au lieu d'une boîte distributrice pour une ou deux barres, comme dans le système Wynne, M. J. Gordon n'emploie qu'une boîte distributive par 30 éléments de contact de $2^{m}70$, soit par 80 mètres de voie.

Chaque boîte contient 30 électro-aimants, autant que d'éléments superficiels. Chacun est excité par une dérivation qui va de cet élément à la terre. La palette de chacun se meut à l'approche du frotteur porté par la voiture, ouvre le circuit de dérivation et ferme le circuit principal qui passe à la barre correspondante de la voie.

β. — Dans un autre dispositif, *une seule armature*, portée par un bras, tourne autour d'un pivot relié au feeder et servant de centre à une couronne portant les 20 ou 30 électro-aimants; cette armature passe successivement sur autant de plots, où elle lance le courant principal lorsque le dérivé, venant du frotteur progressant avec la voiture, a excité l'électro correspondant.

Des essais de courte durée exécutés en 1891 dans une usine de Greenwich avaient donné des résultats satisfaisants.

Système Schuckert. — Un groupement analogue de 20 à 50 électro-aimants, desservant des sections de 60 à 250 mètres, a été étudié par l' « Elektricitäts Actien Gesellschaft vormals Schuckert », de Nürenberg (fig. 477), avec ce trait

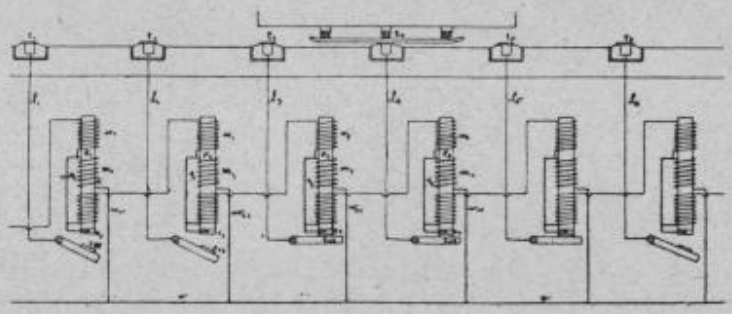


Fig. 477.

particulier que le courant en dérivation passe par tous les électro-aimants d'un seul coup, mais les excite d'autant plus que la voiture est plus proche, parce qu'alors le circuit dérivé est plus court; le circuit principal, quand les palettes attirées le ferment, et comme il forme quelques spires en sens inverse sur chaque noyau d'électro-aimant, se charge de maintenir le contact de ces palettes aussi longtemps que la prise de courant a lieu extérieurement, tandis que la polarité du magnétisme qu'il a provoqué étant l'inverse de celle de la dérivation, facilite le décollage de la palette. Original en théorie, ce système n'a pas subi les épreuves de la pratique. Au surplus, le nombre des palettes soulevées en même temps paraît indécis.

Système Claret Vuilleumier. — α. — Ce système diffère des précédents par la méthode de distribution du courant aux barres frottées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un poste distributeur dessert 12, 15 ou 20 éléments. Mais l'appareil ne peut jamais envoyer le courant principal *qu'à une seule barre à la fois*, et ne peut recevoir de courant dérivé que d'une seule barre, ce qui évite le danger inhérent aux systèmes précédents et qui résulterait du *maintien accidentel* d'un ou plusieurs contacts dans les boîtes de distribution, que ces boîtes soient indépendantes comme dans le système Wynne, ou munies d'un nombre d'électro-aimants égal à celui des sections superficielles, comme dans l'un des dispositifs du système Gordon.

Lyon. — Un tramway spécimen établi à l'occasion de l'Exposition universelle de Lyon, entre le pont Lafayette et le parc de la Tête d'Or, fonctionna régulièrement depuis le printemps jusqu'à la fin de 1894.

Description sommaire. — Bien qu'ayant 1,800 mètres de longueur, correspondant à un développement en voie simple de 3,200 mètres, cette ligne était considérée par MM. Claret et Vuilleumier comme type à l'essai. Sans trop s'attarder aux détails de cette première installation pratique, il suffira de passer en revue les arrangements adoptés quant à la voie, la distribution et la prise du courant.

Voie. — Les figures 478 et 479 montrent en coupe et en plan la disposition de la voie. La figure 478 en représente l'aspect à la surface et la figure 479 la structure.

Les barres isolées sont des rails Vignoles V renversés, de $2^{m}80$ de longueur, et distants l'un de l'autre de 3 mètres. Ils sont logés entre des blocs de bois découpés de façon à s'enchevêtrer les uns dans les autres et cimentés par un coulis de bitume. Chaque rail et les blocs qui l'enveloppent constituent un élément isolé qui repose sur un lit d'asphalte.

La voie de roulage, à l'écartement de 1 mètre, est du type Marsillon formée de rails et contre-rails sur chaises en fonte.

Distribution du courant. — On voit en coupe, dans les figures 478 et 479, et mis à nu dans une partie de la figure 479, un chenal C en planches de $0^{m}085 \times 0^{m}085$ de dimensions intérieures, contenant les câbles adducteurs du courant qui mettent les barres isolées en relation avec l'appareil distributeur du courant correspondant.

Chaque appareil distributeur du courant est abrité dans une petite citerne hermétiquement close construite dans le terre-plein de la promenade en P (fig. 479).

Un appareil dessert une série de 12 à 18 barres.

Pour saisir aisément le principe sur lequel repose le fonctionnement de ces distributeurs, on prendra le cas d'un appareil à 12 touches, en relation avec une partie de la double voie sur laquelle les voitures marchent toujours dans un même sens.

La figure 480 est un schéma de la distribution du courant par deux appareils à deux séries de barres. En fait, la douzième barre d'une série est la première de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

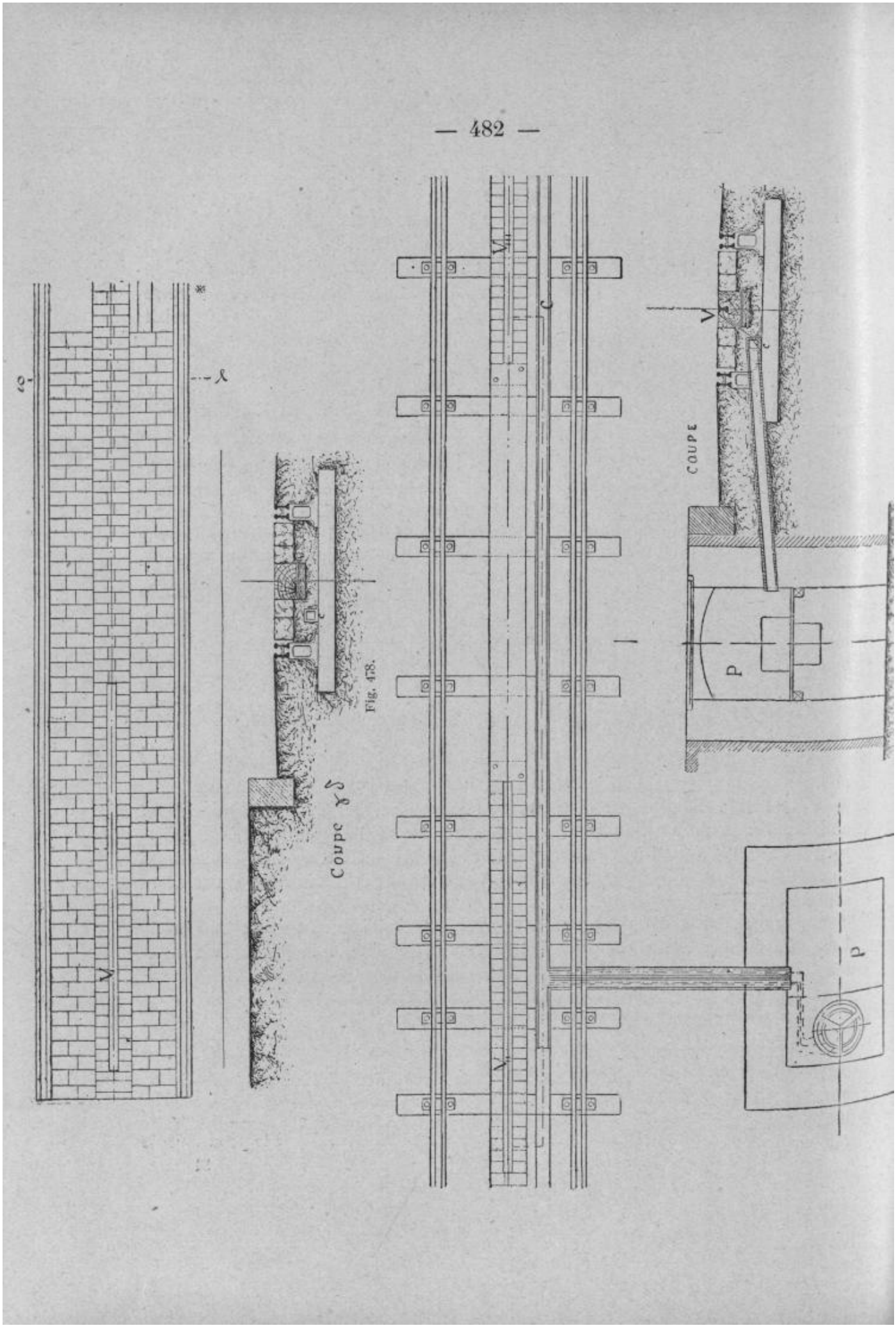


Fig. 478.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la suivante. Ce sont donc, en réalité, des séries de 11 barres que desservent les appareils à 12 touches de commutation.

Voici essentiellement comment fonctionne l'appareil distributeur.

Les figures 481 et 482 donnent une idée de la disposition d'ensemble de cet appareil qui se trouve, pour l'instant actuel, dans la position correspondante à l'appareil L_1 de la figure 480, c'est-à-dire que c'est la touche t_{VIII} reliée à la barre isolée VIII qui reçoit actuellement le courant principal.

Ce courant lui arrive d'un bras M qui est en relation constante avec la source d'électricité. Ce bras forme avec le doigt d, dont il est électriquement isolé, un équipage mobile entraîné dans la rotation de l'axe A.

Lorsque la voiture aura de la sorte franchi la série des 11 barres desservies par un même appareil distributeur, elle arrivera à une douzième barre qui est la première de la série suivante. Il faut donc qu'en cette étape de sa fonction, le distributeur des barres franchies reste au repos : dans ce but, la douzième touche est fractionnée en deux parties (fig. 482), isolées l'une de l'autre. Le bras M reposera sur une partie qui n'est en communication avec aucune barre. Quant au doigt d amené alors sur la touche t', il sera en relation avec la première barre de la série *franchie*. Aucun courant ne passera plus par le distributeur considéré, jusqu'au moment où une nouvelle voiture apportera à la première barre de ladite série, le courant dérivé nécessaire à son fonctionnement. C'est, du reste, dans cette même position que se trouve l'appareil distributeur consécutif L_2 (fig. 480), desservant la série suivante, au moment où la voiture aborde la barre isolée XII-I.

A l'extrémité du bras M, la pièce de contact est assez large pour toucher, dans son mouvement, deux plots consécutifs, en vue d'éviter la formation d'un arc.

Tel est, en principe, le mode de distribution du courant. L'appareil se complique un peu quand, sur une ligne à simple voie, les voitures circulent dans les deux sens. Il existe alors un deuxième doigt placé symétriquement par rapport au bras du courant principal et commandant la marche inverse. De plus, la rotation de l'arbre qui porte l'équipage mobile doit être *dextrorsum* ou *sinistrorsum*, selon le sens de la marche de la voiture; à cette fin, la roue conique de cet axe est attaquée, selon le cas, par l'un des deux pignons coniques d'un manchon glissant sur son propre axe, soit à droite, soit à gauche, sous l'action d'électro-aimants excités chacun isolément et en temps voulu, selon le sens de la marche de la voiture. Enfin, d'autres points de construction, qu'il paraît superflu de détailler, constituent certaines précautions d'ordre secondaire.

Prise de courant. — Elle s'effectue, ainsi qu'on le voit figure 483, par une série de patins suspendus à une même pièce et communiquant électriquement entre eux. Ces patins sont aimantés sous l'influence d'aimants permanents auxquels ils sont articulés, artifice ayant pour but d'assurer un contact plus intime avec les barres de fer isolées, tandis que des ressorts qui tendent à les relever diminuent le frottement contre le pavé dans l'intervalle entre les barres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

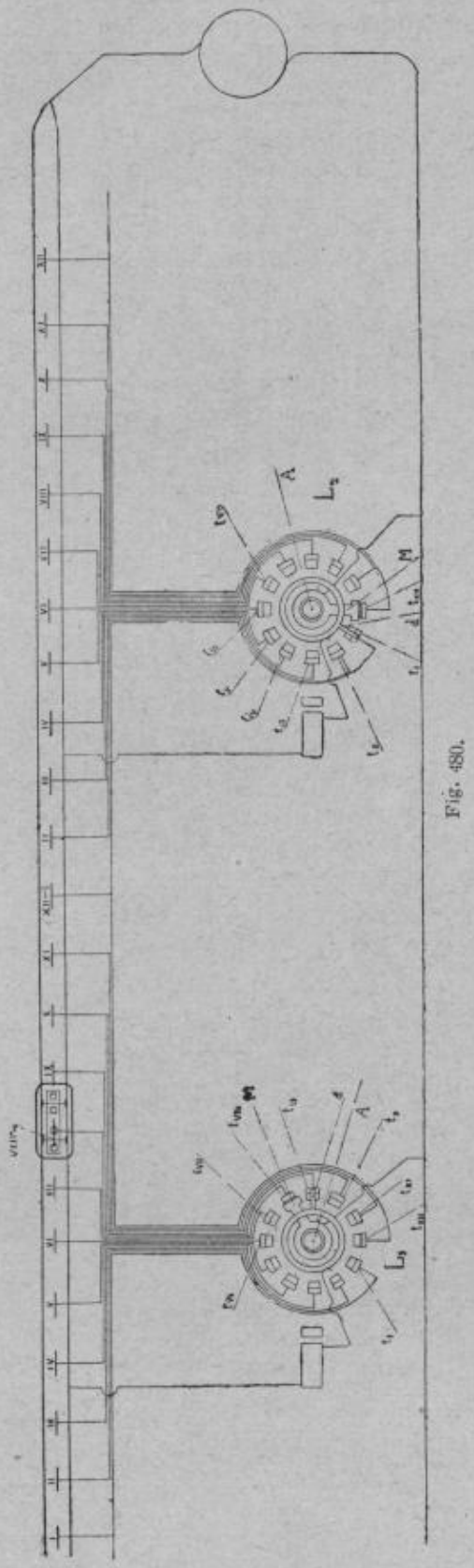
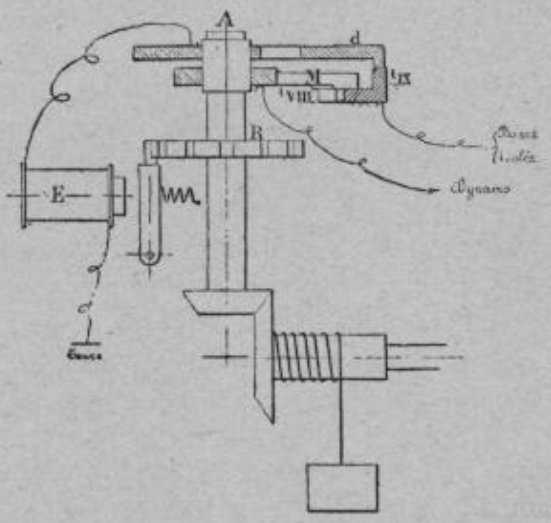


Fig. 480.



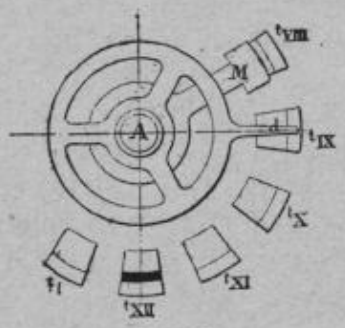


Fig. 481.

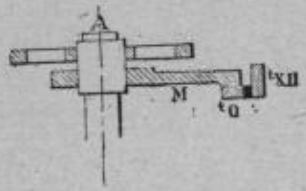


Fig. 482.

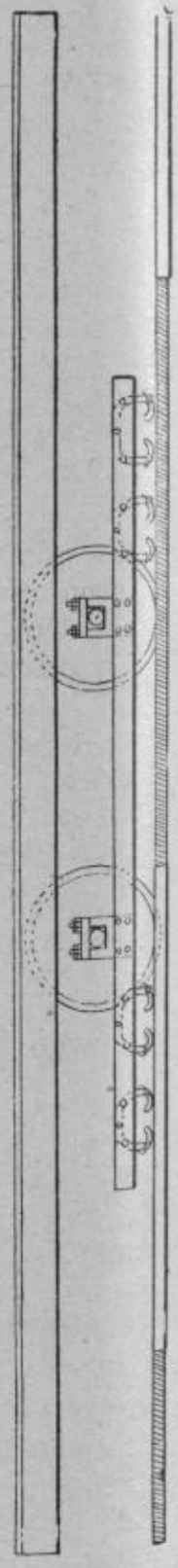


Fig. 483.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

β. — *Paris.* — Une application récente du système Claret Vuilleumier a été faite à Paris sur le tramway de la *Place de la République à Romainville*, ouvert à l'exploitation au printemps de 1896.

Quelques éléments y ont subi certaines modifications.

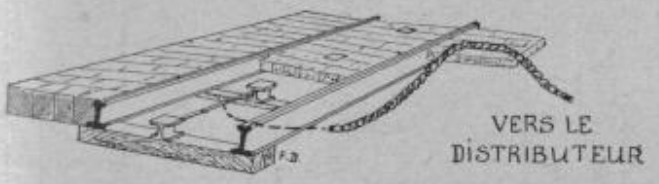
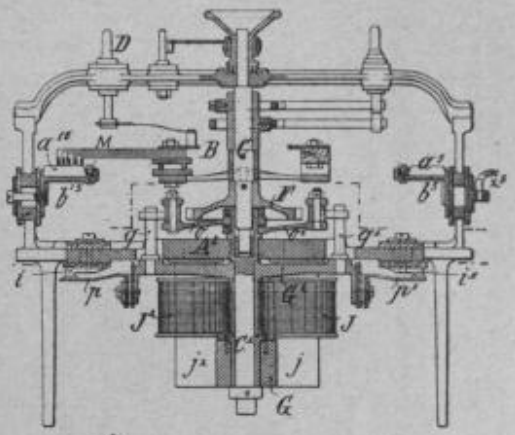


Fig. 484.



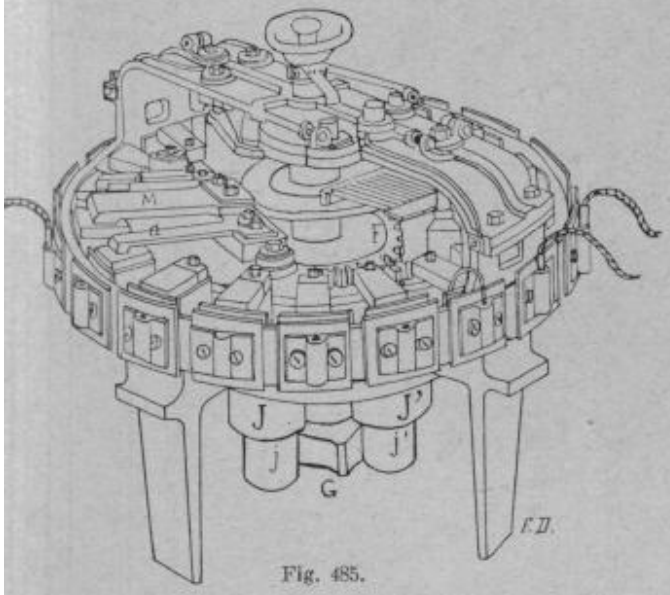


Fig. 485.

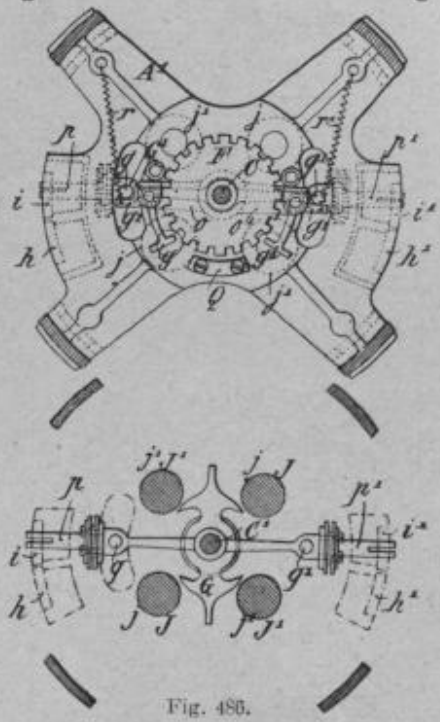


Fig. 486.

Au lieu de barres affleurantes frottées par des sabots, on n'y voit, émergeant du sol, que des *pavés* en fer de 20 centimètres de longueur sur 10 centimètres de largeur, distants de 2m75 l'un de l'autre, dans l'axe de la voie (fig. 484).

Ces pavés sont connectés électriquement *deux à deux* et mis ainsi en relation par couple, avec une des touches principales du distributeur. Ces touches sont au nombre de 20, dont l'une de repos ou plutôt de passage au distributeur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suivant ; on a donc 19 fois 5m50 comme longueur d'une section desservie par un même distributeur. Les touches de cet appareil sont en charbon.

Ce distributeur, en perspective (fig. 485), en coupe et projection (fig. 486), au lieu d'être mû par un contrepoids, comme l'était le type de Lyon, est actionné par un dispositif électro-magnétique assez simple en principe, mais que l'inventeur a compliqué d'organes accessoires utiles, soit en vue d'accroître l'amplitude du mouvement dû à chaque attraction, soit pour lui permettre de faire avancer ou de faire reculer la voiture à volonté.

Les figures schématiques 487 et 488 expliquent le fonctionnement de l'appareil. Ainsi, supposons excitées les bobines des électros dont les pôles sont en j' (fig. 487). La roue dentée F recevra la poussée d'un cliquet g' poussé par l'armature G, moyennant la goupille q'. Le cliquet g' est articulé sur un petit bras o', disposition qui a permis l'adoption d'une roue à dents symétriques susceptibles d'être poussées dans les deux sens, à la place de deux roues à dents inversement inclinées. On voit sur le schéma de l'encliquetage que pendant le fonctionnement du côté du cliquet g', la rotation est inverse de ce qu'elle est quand le cliquet g fonctionne.

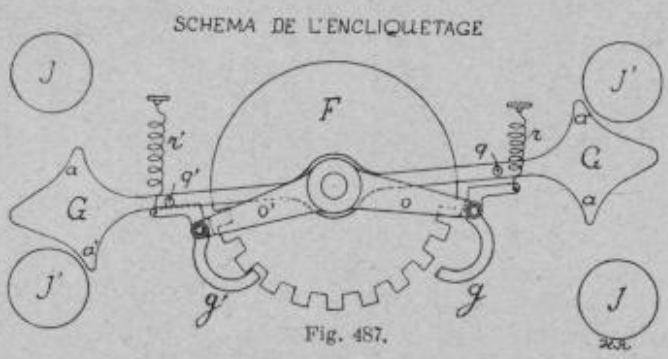


Fig. 487.

L'armature G a une forme spéciale donnant le maximum d'attraction vers la fin de la course. Les électros j agissent sur a pour un sens de la rotation, et les électros j' sur a' pour l'autre sens.

Un schéma des circuits excitant l'une de ces paires d'électros J pour un sens de rotation se voit figure 488, où l'on trouve la palette p solidaire de l'armature G. Lorsque la barre de la voiture V aborde une nouvelle paire de pavés, le courant dérivé suit momentanément le chemin III-d-i-p-J-terre. Le mouvement étant ainsi commencé, la lame p passe sur un deuxième plot h, où elle reçoit encore momentanément un courant venant des doigts d et d', par suite d'une courte simultanéité de contact avec deux touches, du bras M portant le courant principal. A la troisième phase, le plot h ne reste en relation qu'avec d' privé de courant, et la palette p regagne sa position première, étant solidaire de l'armature G que sollicite le ressort r de l'encliquetage, ainsi qu'on le voit figure 487.

Pour le cas accidentel où un défaut de fonctionnement du distributeur aurait pour effet de laisser un pavé électrisé, alors que la barre de prise de courant l'a déjà quitté, il a été prévu un *dispositif de sûreté* consistant à mettre ce pavé à la terre et, par suite, établir à travers l'appareil distributeur un court circuit faisant sauter son fusible pour l'isoler du feeder.

Le moyen le plus simple d'établir ce court circuit serait de faire traîner à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'arrière par la voiture une roulette ou un sabot mis à la terre directement par le truck, et cueillant le courant du pavé en fer devenu dangereux.

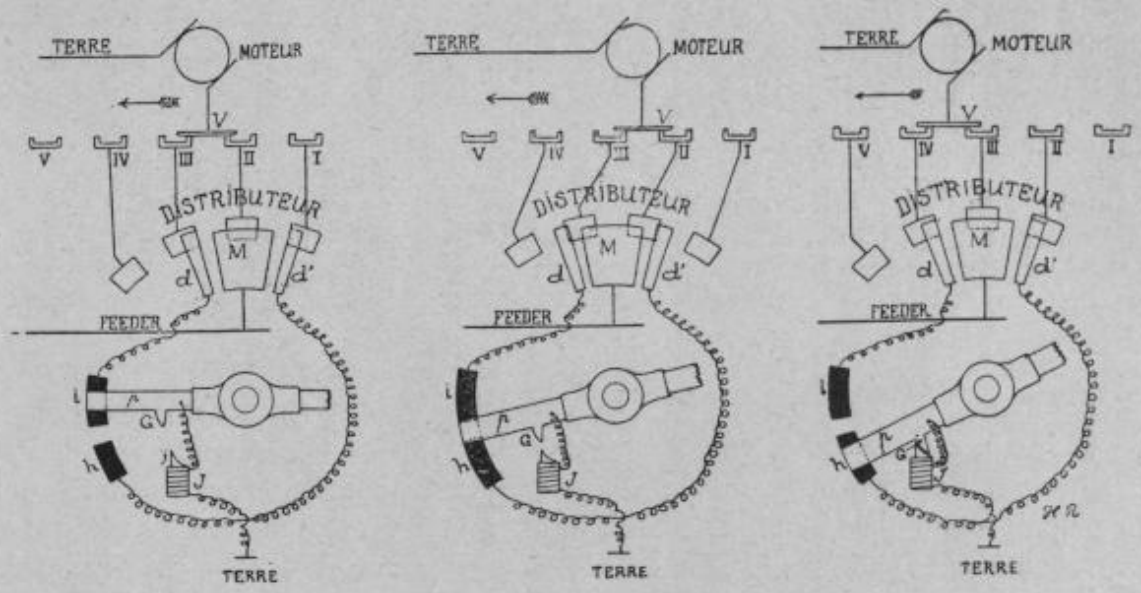


Fig. 488.

Mais les dimensions relatives du véhicule et des segments fixes sur la voie ne permettent pas de l'employer à Paris, et forcent à recourir à un procédé permettant de rapprocher la roulette de la barre, mais plus compliqué (fig. 489). Une roulette R touche l'un des pavés que la barre vient de quitter. Si cette paire de pavés est restée électrisée parce que la main M est restée sur la touche correspondante, au lieu d'avoir avancé d'un cran, alors le courant ne passe plus par l'électro-aimant A: sa palette P tombe et ferme le circuit sur la terre, d'où un court circuit qui brûle le fusible *f* du distributeur.

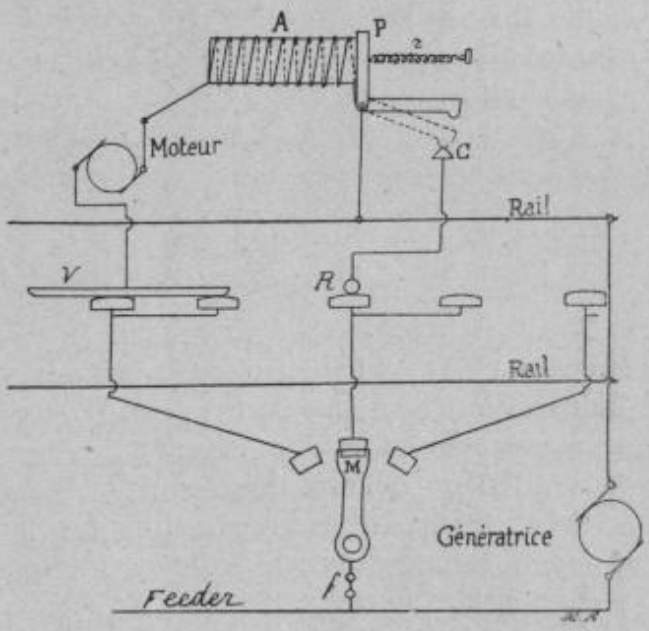


Fig. 489.

On voit sur la figure 486, dans la coupe $a^{15}b^{15}$, que la main M qui frotte les plots a^{15} en rapport avec les pavés en fer, est faite de lames multiples donnant de la souplesse et de la douceur au contact. Cette main est fixée à un cercle tournant isolé B qui reçoit le courant également par friction. La coupe $a^5b^5x^5$ montre comment le support b^5 d'un plot a^5 isolé de la masse est relié par une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fiche x^5 au câble allant au pavé en fer correspondant. Les doigts d et d' que l'on voit sur le schéma de la marche des courants figure 488, sont également visibles sur la figure perspective 485; il est clair qu'ils accompagnent la main M dans sa rotation, pour accomplir les fonctions ci-dessus définies; toutefois, ils en sont isolés électriquement; des organes flexibles de friction périphériques et centraux, analogues aux lames M et au cercle B, mais omis sur la figure afin de ne pas l'encombrer, leur sont respectivement consacrés pour former les circuits représentés par la figure schématique 488.

Dans le § 2 donnant les résultats d'applications, nous dirons comment ce système s'est comporté à Lyon et comment il se comporte à Paris.

c. — *Systèmes à induction.*

L'induction d'un organe interne situé dans la conduite sur un organe externe porté par la voiture, a également été proposée en guise de solution.

Ainsi *M. Dewey* propose de placer, en dérivation sur les branches du circuit principal, un nombre indéfini de bobines fixes excitées par un courant polyphasé provenant de la dynamo fixe. Une bobine plus large, portée par la voiture, deviendrait en progressant le siége d'un courant induit qui passerait à l'électro-moteur.

Le projet *Boult* présente une conduite fermée à surface rigide, dans laquelle circulerait une bobine à fil fin, sous la forme d'un électro-aimant à pôles relevés monté sur des galets, lequel, roulant sur rails conducteurs, y recueillerait le courant alternatif issu de la génératrice. Extérieurement, un organe similaire et symétrique à gros fil, remorqué par la voiture, subirait l'influence inductrice du premier et enverrait son courant induit au moteur.

2. — Résultats d'applications.

a. — *Conduites à aimantation externe.*

Conduite Lineff. — Déjà en 1890, la conduite Lineff avait fait, de la part de M. Gisbert Kapp, l'objet d'essais intéressants au dépôt de Chiswik de la West-Metropolitan Company de Londres. D'abord, le chariot portant l'électro-aimant demande pour sa remorque une puissance de 210 watts et pour son excitation l'énergie d'une batterie de deux éléments seulement. Le soulèvement du ruban de la bande métallique interne demande une puissance de 180 watts; en somme, le fonctionnement mécanique du système absorbait un demi-cheval. Sous une tension de 230 volts dans la ligne, en l'absence du chariot capteur du courant, la résistance d'isolation trouvée se traduisait par 117 ohms au kilomètre. En amenant le chariot capteur, on trouva une perte se chiffrant au taux de 45 watts par voiture. (Voir § 1.)

Système Diatto. — L'essai qui s'en est fait à Turin depuis 1895 sur une ligne de 200 mètres a donné de bons résultats. Une autre voie expérimentale de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

300 mètres fonctionne à Lyon depuis 1897. L'emploi de godets à mercure n'est susceptible d'objection que dans les pays très froids. Une évaluation approximative permet de fixer la dépense d'installation du système en lui-même au prix minimum de 17,000 francs, cette dépense pouvant s'élever toutefois à 25,000 francs selon les circonstances locales, l'intensité du courant requis et l'état préalable de la voie. (Voir § 1.)

Système Mc Laughin. — Aux États-Unis, après les essais de construction et de fonctionnement effectués à Philadelphie dans les ateliers de la Compagnie, on a pu évaluer à 60,000 francs par kilomètre le coût d'installation des appareils fixes constituant le système. Mais si l'on compte l'appropriation spéciale du sol en béton et asphalte, on arrive à 85,000 francs.

A *Charleroi*, les essais effectués sur la voie de 300 mètres construite par une compagnie spéciale, dans une dépendance de la Société Électricité et Hydraulique, ont suffisamment démontré la praticabilité du système (§ 1). Dans les limites pratiques de la vitesse des tramways urbains, le fonctionnement s'est montré régulier. Il est consommé par les électro-aimants en moyenne 2 ampères, chiffre qui s'abaisse et s'élève selon qu'on rapproche ou écarte ces appareils du niveau des boîtes fixes, ce qui dépend naturellement de la constitution de la voie. Une augmentation de vitesse entraîne aussi, pour assurer la rapidité des mouvements, un accroissement d'intensité d'aimantation; celle du courant d'excitation se tient donc, pour ces motifs, entre 1 $^1/_2$ et 3 ampères.

b. — *Systèmes à aimantation interne.*

Système Claret-Vuilleumier. — Coût et exploitation — Ce système (§ 1) avait fonctionné régulièrement et sans accidents, durant neuf mois, à l'époque de l'Exposition de *Lyon*, en 1894, sur une longueur de 1,800 mètres de double voie; il était desservi par 12 voitures, dont 10 en service de 4 en 4 minutes.

A *Paris*, la ligne de la *Place de la République à Romainville* a 7 kilomètres de longueur, à double voie sur 4 kilomètres.

L'usine génératrice située aux Lilas est d'une puissance de 800 chevaux, actionnant 4 dynamos.

La dépense d'installation se chiffrerait à 35,000 francs par kilomètre pour une installation moyenne. Ce chiffre ne comprend pas les rails et les feeders.

De la place de la République jusqu'aux Lilas, la ligne est en rampe continue avec des inclinaisons variant de 13 à 45 millimètres par mètre. Sur le reste du trajet, elle est sensiblement de niveau.

Ouvert à l'exploitation au printemps de 1896, ce tramway est desservi par 20 voitures motrices à 52 places à impériale pesant à vide 9,100 kilogrammes, mues par deux moteurs Hillairet (1). Elles font un service de 15 minutes à la vitesse

(1) Voir page 49.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyenne de 13 kilomètres. Le fonctionnement en est très régulier; il a, du reste, été démontré qu'en cas d'avaries à un distributeur, il peut être remplacé en 4 ou 5 minutes. Tous les petits câbles de connexion s'y terminent dans des douilles à frottement doux, c'est l'affaire de quelques secondes pour les enlever ou les remettre.

Signalons toutefois un inconvénient du système pour les lignes à trafic intense : sur une section desservie par un même distributeur, il ne peut se trouver qu'une seule voiture à la fois; en cas d'encombrement momentané, on ne pourrait pas masser les voitures à la limite de l'obstruction. Cette difficulté d'exploitation peut être levée moyennant une manœuvre à la main du distributeur de la dernière section libre.

Essais techniques. — Au point de vue des pertes de courant, nous avons eu l'occasion de faire diverses constatations assez rassurantes concernant ce système.

α. — A Lyon, pendant une journée de septembre 1894, après quelques jours de temps pluvieux, le service étant assuré par 5 ou 8 voitures, selon les heures, l'intensité du courant requis était de 10 ampères en moyenne par voiture, d'après des lectures faites sur deux ampéremètres, l'un près de la dynamo-génératrice, l'autre à l'origine de la ligne; cette voie était de niveau en général. Les ampéremètres industriels ne décelaient pas l'influence de la pluie sur la consommation du courant.

Une expérience directe faite le 6 septembre, en intercalant un ampéremètre plus sensible, a permis de constater que la déperdition de courant est négligeable tant que le sol, bien qu'humide, est propre à la surface.

En arrosant la région occupée par l'une des barres métalliques, d'eau boueuse chargée de feuilles et autres détritus, on a porté à *un* ampère environ la dérivation par le sol, entre la barre isolée et les rails. Cela représenterait 10 p. c. du courant moyen requis pour la propulsion des voitures, dans ces conditions exceptionnelles.

β. — A Paris, bien que les voitures soient plus lourdes, ayant une impériale et offrant 52 places, l'ampéremètre à l'usine marque 10 à 15 ampères par voiture en moyenne, sauf dans les cas où la compensation n'est pas établie par leur distribution sur les fortes rampes et les pentes.

La réduction aux dimensions d'un pavé, de l'affleurement métallique fixe, ne peut être que favorable à l'isolation générale, laquelle demande d'ailleurs des soins spéciaux en raison du fractionnement du câblage.

Systèmes Wheless-Westinghouse. — Le système Wheless, devenu le système Westinghouse, est en service à Washington et à Pittsburg sur des lignes d'environ 1 $^1/_2$ kilomètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VI. — Accumulateurs électriques et piles primaires.

A. — Tramways.

1. — Paris.

a. — *Essais divers.*

Premier essai de 1881. — Accumulateur Faure. — Avant l'exploitation régulière actuellement établie à Paris, la traction électrique par accumulateurs y fut l'objet de diverses tentatives en 1881, en 1883, en 1888, tentatives qui, sans recevoir de suite commerciale immédiate, ne sont cependant pas restées infructueuses. Les deux premières ont été exactement relatées dans la brochure déjà citée de M. Émile Reynier (1).

En 1881, une voiture appartenant à la Compagnie générale des Omnibus de Paris fut mise à la disposition de *MM. Faure et Raffart* pour compte de la Société *Force et lumière*, fondée par MM. Philippart frères.

C'était une voiture de 50 places à impériale, dont l'aspect extérieur ne devait pas être modifié. L'intéressant moteur qu'y adapta M. Raffart a été décrit au chapitre I-A, où la figure 2 en donne une idée.

Son premier voyage eut lieu le 25 mai 1881, sur la ligne du boulevard Voltaire.

Les accumulateurs étaient logés sous les banquettes. Ils étaient du type *Faure* à oxydes de plomb maintenus sur feuilles de plomb par des feuilles de feutre, eau acidulée au $^1/_{10}$ d'acide sulfurique. Les éléments, au nombre de 50 lors des premières expériences, furent ensuite portés à 80, d'un poids brut de 30 kilogrammes, soit 2,400 kilogrammes. Ces accumulateurs, malmenés du reste par des mains inexpérimentées alors, se perforaient et se détruisaient rapidement.

Accumulateur Faure-Sellon-Volkmar. — Essai de 1883. — Les expériences furent reprises en 1883, ensuite de perfectionnements divers concentrés dans le type d'élément secondaire qui prit le nom d'accumulateur *Faure-Sellon-Volkmar*, dans lequel un support perforé d'alvéoles nombreuses soutient la substance active, supprimant la feuille de matière organique intercalée.

---

(1) Voir page 3.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit le quadrillage, l'assemblage et le montage des plaques sur la figure 490, qu'explique d'ailleurs la légende.

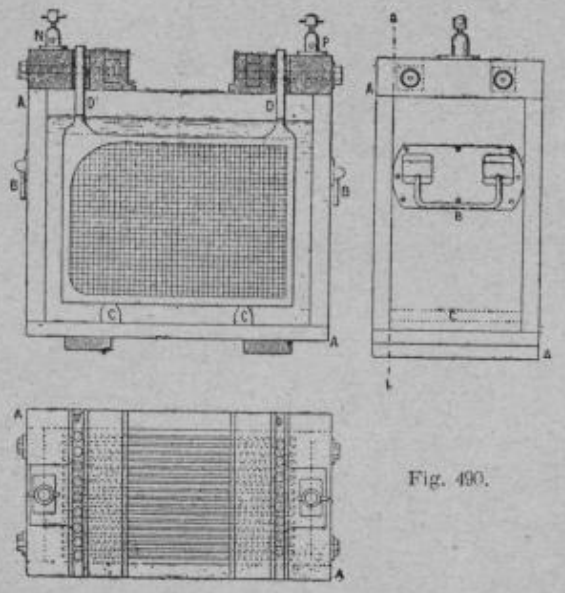


Fig. 490.

Modèle de 30 kilogrammes.
Coupe longitudinale, vue latérale et plan.

LÉGENDE.

A, A. Récipient.
B, B. Poignées.
C, C. Tasseaux.
D. Huit électrodes positives, composées chacune d'une plaque de plomb fondue à jours, dont les cellules sont remplies de peroxyde de plomb.
D'. Neuf électrodes négatives, composées chacune d'une plaque de plomb fondue à jours, dont les cellules sont remplies de plomb réduit.
P. Borne positive, en communication avec les huit plaques positives.
N. Borne négative, en communication avec les neuf plaques négatives.

Le poids de chaque accumulateur était ainsi réparti :

	Kilogrammes.
Boîtes en bois goudronné, couvercle, poignées, contacts, bornes .	6.000
Eau acidulée	6.500
Plomb et oxydes	16.800

« Avec 80 accumulateurs, on a obtenu, le 24 juin (1883), une vitesse moyenne « de 12 kilomètres à l'heure, sur le parcours très accidenté de la rue de « Montreuil à La Muette (et retour), par les boulevards extérieurs et la place de « l'Étoile. Cette route comporte de fortes rampes, notamment celle de l'avenue « de Wagram, $^{34}/_{1,000}$, et celle du boulevard Rochechouart, $^{38}/_{1,000}$. Dans cette « expérience, le tram-car, portant 31 personnes, pesait au total 8,600 kilo- « grammes. M. Raffart pense qu'après ce trajet de 31 kilomètres, les accumu- « lateurs auraient pu fournir encore une course de 10 à 15 kilomètres. »

Réglage du courant. — C'était là ce que l'on peut appeler les prodromes de la traction par accumulateurs; ils furent aussi pleins d'enseignements concernant les appareils les plus importants composant un véhicule électrique de l'espèce, tel, par exemple, que l'appareil de réglage du courant.

En effet, la modération de la force électro-motrice s'obtenait en intercalant dans le circuit de l'électro-moteur un nombre variable d'éléments, au moyen d'un commutateur, par *additions successives de 5 couples*, depuis 30, 35, 40, etc., jusque 80. « Ce procédé, évidemment défectueux, est celui qui fut proposé par « M. Camille Faure dans son premier brevet *accumulateurs*. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ainsi s'exprimait, en 1883, Émile Reynier, en indiquant en même temps plusieurs moyens d'éviter les graves défauts de ce système de réglage, notamment la dépense inégale des éléments et, par conséquent, l'usure rapide de ceux qui faisaient le plus souvent partie du circuit. L'un de ces moyens était la subdivision de la batterie en groupes d'éléments, groupes susceptibles d'être associés différemment en série ou en quantité, en vue de modifier la force électro-motrice, mais *intervenant tous* dans chaque combinaison. (Voir chap. I-A-2.)

Essais de 1888. — Pour les nouveaux essais qu'ils entreprirent en 1888 et 1889, sur la ligne de la Madeleine à Levallois-Perret, MM. Philippart frères équipèrent une voiture appartenant au type essayé en 1883, mais présentant de notables améliorations.

Dans le système de réglage du courant, les accumulateurs constituaient quatre groupes dont les huit bornes étaient mises en relation par des câbles avec un commutateur qui les réunissait soit en une seule série de 280 volts, soit en deux séries de 140 volts assemblées en quantité, soit en quatre groupes de 70 volts, soit trois en tension, le quatrième en quantité sur l'un des trois autres avec une force électro-motrice de 210 volts (1).

La disposition mécanique du tram-car avait été légèrement modifiée : la courroie allant de la dynamo à l'arbre intermédiaire avait été remplacée par une corde qui recevait un certain degré de tension, au moyen d'une poulie qu'elle entourait de l'une de ses circonvolutions d'ailleurs assez compliquées.

Pour obtenir le changement du sens de la marche de l'électro-moteur, on employait encore l'appareil déjà décrit, formé de balais doubles en forme de V (I-A, fig. 97).

Le poids total de la voiture chargée était de 9,440 kilogrammes, réparti comme suit (2) :

50 voyageurs		3,400 kilogrammes.
Voiture (caisse, châssis, roues)		3,500 —
Accumulateurs et accessoires	1,800	
Moteur électrique	350	
Transmission	300	
Commutateur, galvanomètre, etc.	50	
Outils	40	
Équipement électrique	——	2,540 —
Total		9,440 kilogrammes.

L'accumulateur, du type Faure-Sellon-Volkmar, avait reçu, en passant en

(1) Voir page 120.

(2) Voir l'article détaillé de M. E. Reynier, dans le *Portefeuille économique des machines*, octobre 1888.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Angleterre, dans les mains de l'*Electrical Power Storage Company*, un nouveau baptême sous l'appellation de E. P. S. (voir § 3). Il comportait 144 éléments à plaques jumelles (fig. 491) du poids de 12.5 kilogrammes chacun. De ces plaques jumelles, une moitié, positive, plonge dans un élément, l'autre, négative, dans l'élément voisin; les plaques juxtaposées sont alternées quant aux signes de leurs moitiés; l'ensemble des anses unissant ces moitiés forment des connexions relativement légères entre éléments successifs.

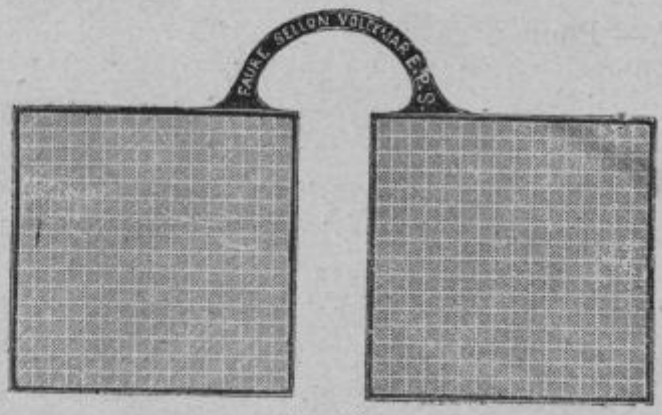


Fig. 491.

« La puissance normale de cette batterie », disait M. Reynier, « est de « 7 chevaux, mais elle peut donner jusqu'à 20 chevaux pendant un temps « limité, pour des coups de collier. Le travail électrique disponible est de « 42 chevaux-heures environ.

« Quant à l'électro-moteur, la puissance électrique *mesurée aux bornes* est, « pour une vitesse de 11 kilomètres à l'heure :

En palier.	4 à 4 1/2 chevaux.
Sur une rampe de 10/1000	9 1/2 —
— — de 20/1000	15 —
— une pente de 10/1000	0 —
— une courbe en palier.	8 —

b. — *Tramways vers Saint-Denis.*

Essais préliminaires. — Accumulateurs Laurent Cely. — La *Société pour le travail électrique des métaux*, à titre de démonstration du parti qu'on pouvait tirer de ses accumulateurs du type Laurent Cley, avait fait à Paris, en 1890, un essai de courte durée sur une ligne Decauville de 500 mètres, à voie de 60 centimètres, allant du Palais de l'Industrie à la place de la Concorde. La voiture, à 40 places, pesait, sans voyageurs, 4,500 kilogrammes, dont 1,536 kilogrammes pour l'accumulateur, et portait deux moteurs Hillairet de 6 chevaux chacun.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

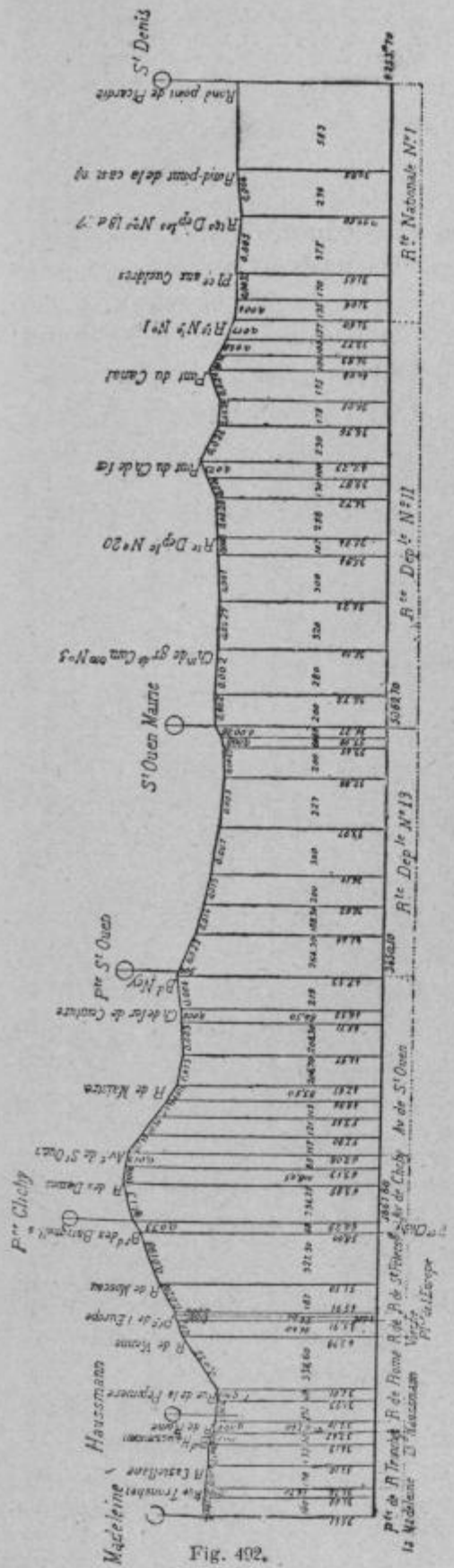


Fig. 492.

Les plaques des 32 éléments de 19.8 kilogrammes chacun, ou 1,267 kilogrammes en tout, fournissaient 14.3 chevaux-heures au débit moyen de 2.2 ampères au kilogramme. On faisait 45 à 50 kilomètres par jour à la vitesse de 12 à 20 kilomètres à l'heure.

Les résultats obtenus furent pris en sérieuse considération par la *Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine*. Cette puissante Société, sous la direction de *M. Broca*, poursuivit ces études et expérimenta, au commencement de 1892, un type de voiture approprié à l'exploitation de plusieurs de ses lignes présentant entre elles une certaine similitude de profil et de trafic, l'une partant de la place de la Madeleine, l'autre de l'Opéra, pour se rendre à Saint-Denis. Une troisième ligne, ouverte ultérieurement, Saint-Denis-Neuilly, complète ce premier réseau de 20 kilomètres d'axe, exploité électriquement.

Lignes vers Saint-Denis. — Voies. — La figure 492 représente le profil en long de la section Madeleine-Saint-Denis (1), d'une longueur de 9,253 mètres. La ligne Opéra Saint-Denis, de même longueur, est de même allure. Voie à écartement normal. Rails à gorge, système Broca, en ville (2), rails Vignoles de 22 kilogrammes au mètre sur traverses, hors ville. Les parties les plus accidentées se

(1) Certains renseignements et figures de ce paragraphe sont extraits du *Génie civil*, de l'*Industrie électrique* et de l'*Électricien*. Les autres ont été recueillis sur place ou fournis par les exploitants.

(2) Cette voie Broca, formée de rails d'une pièce à patin et à gorge reposant directement sur un lit étroit de ballast logé dans une ornière, pèse 97 kilogrammes au mètre courant, en y comprenant les éclisses, les cales, les entretoises et les boulons. Le rail seul pèse 44.29 kilogrammes au mètre courant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trouvent heureusement intra-muros, où une allure modérée est précisément d'ordonnance : ce sont des rampes de 35 à 38 millimètres par mètre.

Sur la ligne de Saint-Denis-Neuilly, qui a 6 kilomètres, on ne rencontre pas de rampe supérieure à 24 millimètres par mètre.

Usine génératrice. — Située à Saint-Denis, elle comprend : 3 chaudières Girard semi-tubulaires à 2 bouilleurs, de 120 mètres carrés de surface de chauffe timbrées à 6 atmosphères; 2 machines Corliss-Garnier de 125 chevaux, à condensation, tournant à 70 tours; une troisième, de 150 chevaux, à 600 tours; 3 dynamos Desroziers-Bréguet, tournant à 600 tours par minute et fournissant chacune 230 ampères à 260 volts; une dynamo Édison d'ancien type, 110 v. 75 a., pour l'éclairage de l'usine et du dépôt.

En 1895, on a ajouté 2 dynamos Desroziers, de 200 ampères et 35 volts seulement, destinées à modifier le mode antérieurement suivi dans les opérations de charge électrique désignées plus loin.

Les installations fixes et le matériel roulant se présentent sous deux aspects, si l'on a égard aux améliorations étudiées récemment et que nous indiquerons à leur place.

Prenons-les d'abord tels qu'ils s'offrent avant la réalisation des changements expérimentés.

La disposition de la halle de charge en rapport avec le mode de manutention des batteries est représenté figure 493.

Chariots. — Ces batteries sont transportées de la halle de charge aux voitures sur des chariots en fer (fig. 494) formés d'une plate-forme mobile en fonte qu'une double vis à filets inverses élève ou abaisse au niveau du plancher sur lequel reposent les caisses d'accumulateurs dans la voiture.

On voit (fig. 493) les petites plaques tournantes qui distribuent ces chariots aux voies conduisant soit aux tables de charge, soit aux voitures.

Tables de charge. — Les tables de charge sont formées de simples madriers goudronnés, reposant, par l'intermédiaire d'isolateurs en verre, sur des piliers en brique.

A ces tables sont fixés des contacts à ressorts qui mettent les conducteurs venant des dynamos en relation avec chaque batterie, moyennant des bandes de cuivre vissées à l'extérieur de sa caisse.

Marche technique de l'usine. — Les dynamos génératrices engendrent, à la vitesse de 600 tours, un courant de 230 ampères, sous une force électro-motrice moyenne de 260 volts. Elles sont groupées en quantité ainsi que les circuits des batteries en charge.

La charge des batteries se fait à potentiel constant, mode préféré à cause de sa rapidité et de sa simplicité. On avait, jusqu'en 1895, adopté pendant toute la durée de la charge le même potentiel de 260 volts. Il en résultait vers la fin

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une réduction d'intensité qui prolongeait inutilement la charge. Ultérieurement, on a partagé l'opération en deux périodes : on marche environ deux heures avec 250 volts, puis on couple les survolteurs de 35 volts pour la marche à 280 volts.

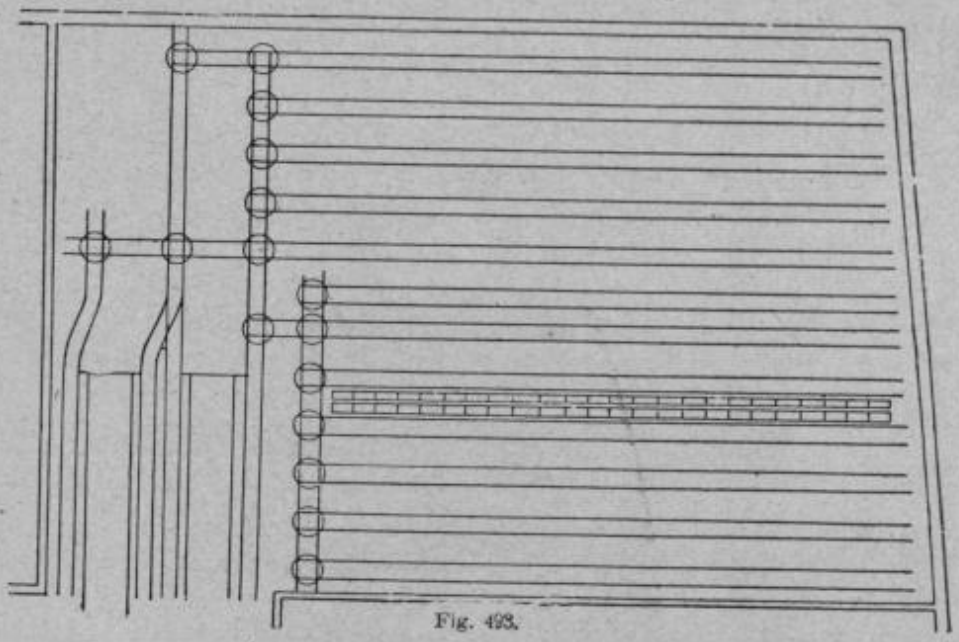


Fig. 493.

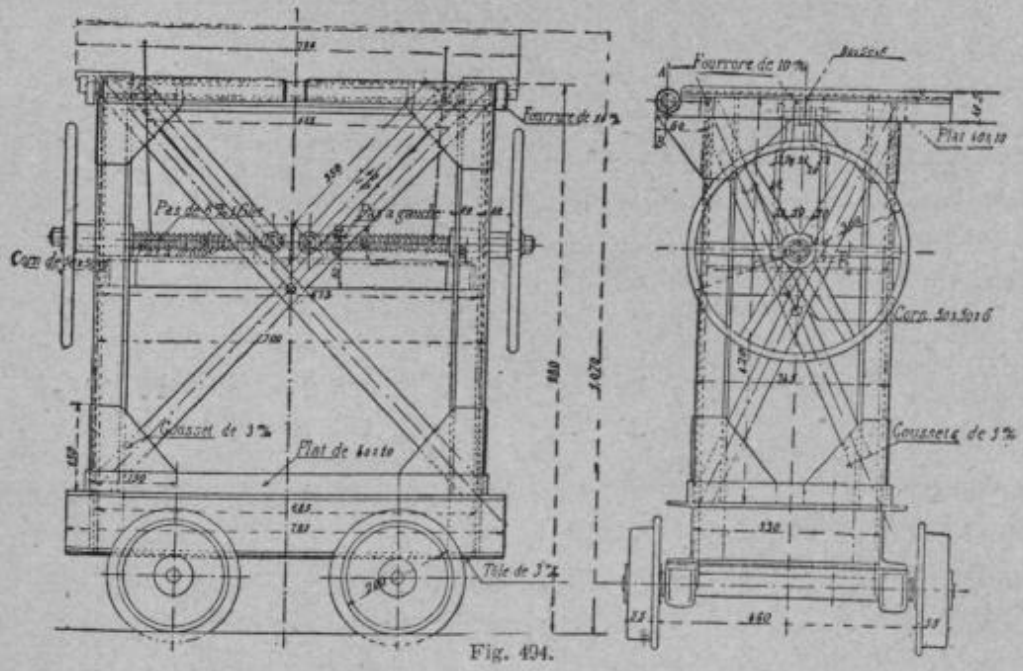


Fig. 494.

Il pourrait arriver que le courant d'une batterie déjà complètement chargée vînt à se déverser dans d'autres batteries au début de leur charge. L'indicateur de sens de courant intercalé dans le circuit de la batterie chargée met en mouvement dans ce cas une sonnerie avertisseuse, et l'on sépare immédiatement cette batterie du circuit des machines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On laisse les batteries se charger jusqu'au moment où elles ont absorbé un nombre d'ampères-heures égal à celui qu'elles ont débité en service, avec une augmentation correspondante au rendement en quantité des accumulateurs qui est de 85 p. c.

Le nombre des ampères-heures débités a été déterminé expérimentalement pour chaque parcours, au moyen d'un ampèremétre enregistreur placé sur une voiture d'essai.

La durée de la charge est de 5 à 6 heures pour une batterie ayant fourni toute sa capacité, qui est de 230 ampères-heures, soit 52 chevaux-heures. Le rendement des batteries en énergie s'élève à 70 p. c., et en quantité à 85 p. c.

Deux machines fonctionnent pour la charge durant 23 heures par jour; la troisième machine, le survolteur, n'est en marche que pendant 6 heures.

Les batteries fournissent en service, sous une force électro-motrice supérieure à 200 volts, des débits qui atteignent 80 ampères, soit plus de 4 ampères par kilogramme de plaque.

On atteint même 100 ampères sur les fortes rampes, ou dans le cas du remorquage d'une seconde voiture par le mauvais temps.

En rampe, la marche la plus fréquente est à 60 ampères, et le débit moyen pour la ligne entière est de 35 ampères environ.

Une batterie peut fournir sans recharge un parcours de 60 kilomètres sur rail à ornière Broca, ou de 120 kilomètres sur rail Vignoles, en raison de la différence d'efforts à vaincre, ainsi qu'on l'a vu au chapitre I, § C.

Le service de chaque voiture est assuré par deux batteries, faisant sans recharge quatre ou six courses consécutives sur les lignes de l'Opéra et de la Madeleine. Dans ce dernier cas, la batterie fournit un parcours de 55.5 kilomètres.

La durée d'une course, y compris les arrêts et les stationnements aux stations terminus, est de 55 minutes.

La dépense moyenne par kilomètre-voiture en énergie électrique, en charbon et en huile pour la charge des batteries, pendant les années 1892-93-94, a été la suivante :

Heures-chevaux électriques engendrés à l'usine	1.38	par kilomètre-voiture.
Ampères-heures chargés	3.9	—
Kilogrammes de charbon consommé	2.465	—
— d'huile	0.00358	—

Ces moyennes sont prises sur deux ans et demi, ou 2 millions de kilomètres-voitures.

Par cheval électrique et par heure, la consommation de charbon a été de 1.66 kilogramme.

Batteries. — α. — Les accumulateurs furent d'abord du type Laurent-Cely dans tous leurs éléments.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les plaques de ce système sont formées de pastilles emprisonnées dans un quadrillage fondu de plomb antimonieux. Ces pastilles se préparent par transformation du chlorure de plomb fondu dans des moules de même forme. L'enlèvement du chlore s'obtient en présence du zinc dans des bacs contenant de l'eau acidulée; il en résulte immédiatement des pastilles négatives de plomb spongieux, d'une densité 2.2; celles-ci peroxydées donnent des positives. Ces pastilles biseautées au pourtour portent, en outre, des rainures perpendiculaires entre elles.

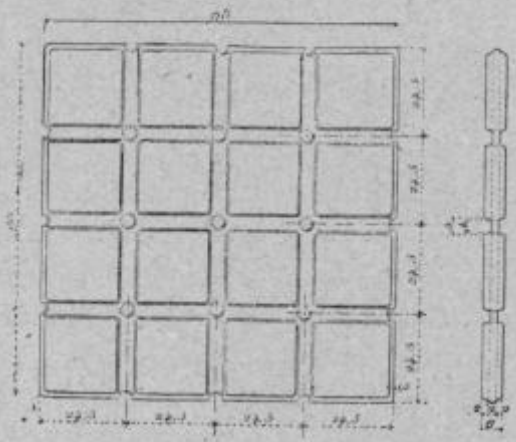


Fig. 495.

Fig. 496.

Le plus souvent, ces rainures sont symétriques sur les deux faces de la pastille (fig. 495); dans certaines batteries, elles sont disposées en chicane (fig. 496). Les pastilles sont placées dans des moules où l'on coule le plomb antimonieux qui les sertit au pourtour et les maintient par les filets remplissant les rainures. La plaque apparaît donc extérieurement sous la forme d'un grillage.

Les dimensions des plaques ont varié; les unes mesurent 210 × 210 millimètres; épaisseurs : positives, 8 millimètres; négatives, 5 millimètres; d'autres en surface 200 × 200, en épaisseurs, 8 millimètres pour les positives, 6 millimètres pour les négatives. Elles sont séparées par des plaques d'amiante perforées. Poids des plaques d'un élément, 18 kilogrammes.

Chaque caisse contient 9 éléments à 11 plaques et pèse, acide compris, 230 kilogrammes, dont 162 pour les plaques seules.

Ces caisses sont représentées avec leurs accessoires figure 497. Les éléments de chacune groupés en tension sont reliés par leurs électrodes extrêmes à deux bandes de cuivre, lesquelles servent, sur les tables de charge, à recevoir le courant, et, dans les voitures, établissent les connexions avec le câblage distributeur. Au fond des caisses sont creusées des rigoles destinées à évacuer l'acide projeté. Deux poignées en cuivre sont fixées dans le bas de la grande face verticale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces accumulateurs étaient fournis et entretenus à forfait par la Société pour le travail électrique des métaux, dirigée par M. Sarcia.

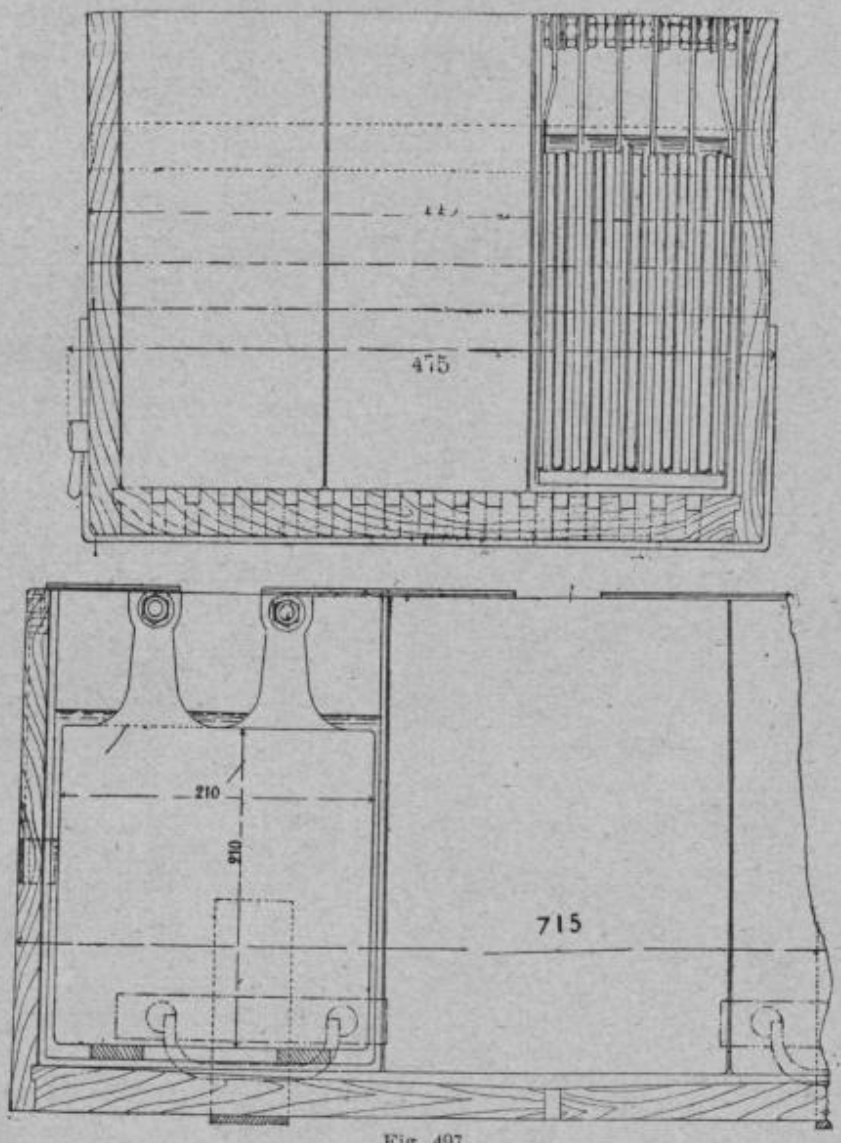


Fig. 497.

β. — Cet ingénieur a fait connaître à la *Société internationale des électriciens*, dans sa séance du 3 avril 1895, les modifications apportées et expérimentées par ses soins aux accumulateurs. Voici en quoi elles consistent : Les plaques négatives s'étant bien comportées et s'étant montrées capables de réaliser un parcours de 150,000 kilomètres ne seront pas remplacées. Les positives étaient mises au rebut après 14,000 kilomètres; la matière active désagrégée tombait, laissant un squelette fragile qui finissait par se détruire. On y a substitué des plaques en plomb antimonieux (10 p. c. d'antimoine) en forme d'*arête de poisson*, c'est-à-dire une âme pleine portant de part et d'autre des rangées de petits augets qu'on remplit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de matière active; cette dernière opération se renouvellera après 14,000 kilomètres de parcours. Ce nouveau support est estimé susceptible d'un parcours de 100,000 kilomètres, chiffre basé sur des essais à outrance dans lesquels les supports, après dix réempatages, n'étaient pas encore usés. Chaque élément de ce nouveau type est composé de 9 plaques de 200 × 200 millimètres, au lieu de 11 plaques. Nous verrons à quelle transformation du matériel roulant a conduit ce remaniement de l'accumulateur.

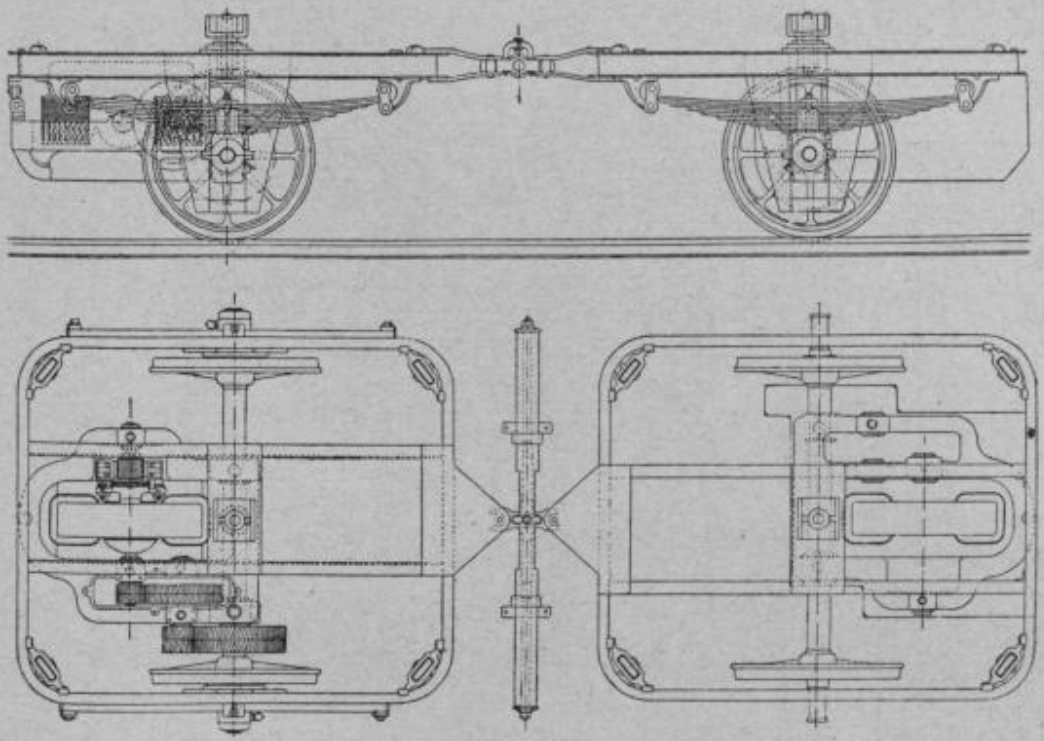


Fig. 491.

Voitures. — *a.* — Ce sont de grands véhicules à impériale comportant 52 places.

La figure 498 représente les trucks des premières voitures, avant transformation, et construites par la maison Averly, de Lyon.

Dans ce type, les moteurs électriques sont à double réduction, par engrenages en chevron ramenant la vitesse de 12 à 1. Chacun d'eux est porté sur un truck de forme spéciale à un seul essieu. Nous avons décrit au chapitre I-A les éléments de ces moteurs et le mode de réglage de la marche de la voiture. Indépendamment de leur pivot central respectif et des galets de support, les deux trucks sont, en outre, articulés à une pièce intermédiaire commune maintenue latéralement par des ressorts à boudin logés en des manchons fixés au centre de la voiture. En courbe, ce dispositif laisse la souplesse voulue aux trains de roues, tout en les maintenant dans la position axiale en ligne droite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les accumulateurs répartis en 12 caisses de 9 éléments sont logés sous les banquettes et introduits par l'extérieur en soulevant les bas panneaux, après avoir été amenés sur les chariots ci-dessus décrits (fig. 494).

Poids des voitures :

Caisse, châssis, roues		4,900	kilogrammes.
Accumulateurs et caisses	2,800		
Chaque moteur, train d'engrenages et accessoires, 1,400 kilogrammes, soit	2,800		
Appareillage électrique. . .	———	5,600	—
Voyageurs et personnel (52)		3,500	—
Total. . .		14,000	kilogrammes.

5. — Dans un nouveau type de voitures dont un spécimen a été mis à l'essai au printemps de 1895, les douze caisses d'accumulateurs logées sous les banquettes sont remplacées par une seule caisse suspendue au châssis entre les deux moteurs, et les 108 éléments à 11 plaques, par 56 éléments à 9 plaques de 200 × 200. Le poids de la batterie, caisse comprise, sera donc réduit à 1,700 kilogrammes.

Un truck rigide à deux essieux écartés de $1^{m}90$ remplace les deux trucks articulés à un essieu. Les deux moteurs sont à simple réduction par engrenages à chevron dans le rapport 5 : 1, et d'une puissance de 10 kilowatts. Nous donnons au chapitre I, §§ A et B, quelques renseignements sur la marche, le mode de régulation de ces moteurs et les résultats d'essais auxquels ils ont donné lieu, notamment en ce qui concerne la récupération d'énergie en pente.

La nouvelle voiture ne pèse plus que 11.7 tonnes en ordre de marche, voyageurs compris, au lieu de 14 tonnes, et la consommation d'énergie électrique à l'usine ne dépasse pas 700 watts-heures par kilomètre-voiture, au lieu de 1,000 dans l'ancien type.

La caisse unique d'accumulateurs s'enlève sur un chariot à basse plate-forme. On étudie un procédé qui mettrait en jeu des appareils hydrauliques.

Exploitation. — Le service des voyageurs inauguré, dès le 1er juin 1892, sur les tramways de la Madeleine et de l'Opéra vers Saint-Denis, dans leurs parties situées extra-muros, a été successivement étendu aux parties situées intra-muros, et la traction animale a été définitivement abandonnée, depuis le 1er octobre 1892, sur la ligne partant de la Madeleine, et depuis le 1er juin 1893, sur celle partant de l'Opéra.

La ligne de Neuilly-Saint-Denis a été ouverte au public le 1er mai 1893 et immédiatement exploitée au moyen de voitures électriques à accumulateurs.

Le service journalier sur la ligne de la Madeleine comporte 104 courses, soit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

52 voyages aller et retour. Sept voitures automobiles circulent sur cette ligne, faisant les unes 8, les autres 9 voyages, ou 148 à 163 kilomètres, tandis que les voitures à traction animale ne parcouraient que 100 kilomètres par jour au plus.

Les conditions d'exploitation sont les mêmes sur la ligne de l'Opéra, sauf dans la partie de cette ligne située hors Paris, où les voitures automobiles remorquent une voiture ordinaire à 50 places, ce qui porte le nombre des voyageurs du train à 100.

Trois voitures étaient en service sur la ligne de Neuilly, en 1896.

Renseignements financiers. — Les chiffres qui suivent sont fournis par le compte rendu des opérations de la Compagnie paru en 1894.

Coût d'établissement.

Matériel de traction électrique. — Situation au 31 décembre 1894.

DÉSIGNATION.	Valeur d'inventaire.
Trois machines à vapeur, système Corliss	88,000 francs.
Trois chaudières à vapeur semi-tubulaires	48,000 —
Tuyauterie et robinetterie générales, compteur d'eau, appareils d'alimentation, bâches, réservoirs et divers	33,500 —
Puits avec pompe d'élévation	25,000 —
Transmission intermédiaire, courroies	37,000 —
Trois machines dynamos.	43,500 —
Fouilles et maçonnerie des massifs des machines, carrelage, travaux de fumisterie générale, cheminée en briques, etc.	96,500 —
Matériel de production de l'énergie.	371,500 francs.
Quarante-quatre batteries d'accumulateurs	203,000 francs.
Tableau de transmission électrique, canalisation, banc de chargement	33,000 —
Trois compteurs électriques Thompson-Houston	1,260 —
Accumulateurs et appareils de charge.	237,260 francs.
Une locomotive électrique pour le service du dépôt	6,500 francs.
Vingt-cinq voitures électriques.	425,000 —

Ces chiffres représentent la valeur réelle des installations de l'usine et du matériel roulant. Il y a lieu d'y ajouter 28,717 francs pour l'outillage et le petit matériel, et 32,066 francs d'approvisionnements, soit en somme un capital d'établissement de 1,101,043 francs, non compris les frais d'étude.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Frais d'exploitation.

	ANNÉE 1892. *Kilom. parcourus : 231,548.*		ANNÉE 1893. *Kilom. parcourus : 803,293.*		ANNÉE 1894. *Kilom. parcourus : 961,025.*	
	Dépenses par chapitre.	Dépenses par kilomètre-voiture.	Dépenses par chapitre.	Dépenses par kilomètre-voiture.	Dépenses par chapitre.	Dépenses par kilomètre-voiture.
Dépenses spéciales à la traction électrique.						
Frais généraux	7,960 57	0.0344	10,667 25	0.0133	10,683 73	0.0111
Production de la force motrice	54,100 00	0.2336	147,861 72	0.1841	167,278 25	0.1741
Entretien et manutention des accumulateurs. .	47,545 97	0.2053	132,721 93	0.1652	146,318 71	0.1522
Roulement : cochers, manœuvres, etc. . . .	23,703 65	0.1024	63,338 59	0.0783	75,203 00	0.0782
Entretien des trucks, moteurs, commutateurs, etc.	21,264 77	0.0918	73,742 81	0.0918	56,589 17	0.0589
Dépenses diverses, chauffage, éclairage, etc. .	1,365 78	0 0059	7,240 42	0.0090	7,131 81	0 0075
Dépenses de traction. Total. . .	155,940 74	0.6734	435,575 72	0.5422	463,204 67	0 4820
Autres dépenses de matériel.						
Entretien et renouvellement des caisses et accessoires des voitures.	...	0.0233	...	0.0317	...	0.0335
Entretien de l'outillage des ateliers	...	0.0011	...	0.0021	...	0.0013

Afin de n'oublier aucun poste des dépenses susceptibles d'entrer dans une comparaison des frais de matériel et traction, il y aurait lieu de tenir éventuellement compte du loyer du dépôt de Saint-Denis, 21,840 francs, et de l'intérêt du capital d'exploitation, 56,000 à 58,000 francs, dépenses qui, sous le nom de « dépenses d'ordre », représentent en moyenne 0.085 franc par voiture-kilomètre.

Si les frais généraux et la production de la force motrice s'affaissent fortement, répartis sur un parcours plus considérable des voitures, un progrès notable est marqué dans les frais d'entretien des trucks moteurs, qui tombent de 9 à 6 centimes. Quant aux accumulateurs, leur entretien a pu ne pas moins coûter, mais la dépense de manutention s'est répartie sur un plus grand nombre de kilomètres; car il est bien entendu qu'il n'a pas été procédé dans l'ensemble au coûteux remplacement des batteries par des éléments du récent modèle essayé.

Quoi qu'il en soit, voici comment M. Sarcia, dans sa communication du 6 mars 1895, établissait l'abaissement des dépenses spéciales de traction réalisable grâce aux améliorations introduites dans les accumulateurs, les moteurs, la manœuvre des batteries et leur charge, lors de la mise en service du nouveau type de voiture.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses de traction par voiture-kilomètre.

	Type de voiture. Ancien.	Nouveau (1895).
Entretien et manutention des accumulateurs	16 centimes.	10 centimes.
Force motrice	18 —	13 —
Entretien des trucks et des moteurs	5 —	3 —
Conducteur (wattman)	8 —	8 —
Total	47 centimes.	34 centimes.
Soit donc, sans le conducteur, frais de traction par voiture-kilomètre à 50 places	39 —	26 —

Ces chiffres s'entendent en tant que frais d'exploitation seulement, sans amortissement du capital. Dans l'abaissement des frais d'entretien et de manutention des accumulateurs, il faut compter pour beaucoup cette manutention qui coûtait 6 centimes et sera fortement réduite par suite de l'emplacement de la caisse unique entre les essieux, car l'enlèvement et le retrait de douze caisses nécessitent le roulement de vingt-quatre wagonnets obligés souvent à un long parcours dans la halle. La consommation d'énergie par kilomètre-voiture tomberait à 70 p. c. du chiffre ancien, résultat expérimental.

c. — *Lignes desservies par l'accumulateur Tudor à charge rapide.*

Un autre groupe de lignes de la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine est exploité électriquement au moyen de l'*accumulateur Tudor à charge rapide*, concernant lequel on trouvera plus loin des renseignements complémentaires, à propos de Hagen, Vienne et Hanovre. Le principe du système Tudor est énoncé au paragraphe intitulé : « Essais de Francfort 1891 » (§ 5).

L'usine de charge envoie le courant par des câbles souterrains aux extrémités des lignes, où les voitures stationnent le temps nécessaire à la durée de la charge, *laquelle s'opère sur les voitures mêmes*. Des bornes fixes sont reliées aux voitures par des câbles souples. Une sonnerie avertit le wattman de la fin de la charge. Les gaz dégagés durant la charge sont évacués moyennant deux petits ventilateurs électriques.

Voies. — Les lignes desservies ne sont pas d'une façon permanente invariables. C'est le groupe de tramways se dirigeant de la Madeleine vers Levallois et vers Neuilly. Le profil n'en est pas très accidenté, sauf aux viaducs; on y trouve comme rampes principales : 39 millimètres par mètre sur 100 mètres, 18 sur 900, 11 sur 1,200.

Longueurs :

Madeleine au terminus du Pont de Neuilly à Courbevoie	7.0 kilomètres.
— — du Port de la Jatte	5.7 —
— — de Levallois	4.8 —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les chiffres suivants indiquent en quoi consistent les installations :

Usine (située à Puteaux) :

Nombre de chaudières	3	1 groupe
— de machines à vapeur	3	de réserve.
Puissance par machine	200	chevaux.

Dynamos :

Nombre	3	
Volts	600	1 groupe
Ampères	200	de réserve.

Débit total du tableau :

En service normal	550	volts.
	400	ampères.

Longueurs et sections des feeders entre l'usine et les terminus où s'opère le chargement	700	mètres	150	millim. carrés.
	2,000	—	150	— —
	3,500	—	250	— —

Accumulateur :

Poids brut par voiture, y compris caisses et liquide	3,500	kilogrammes.
Nombre d'éléments par voiture	200	—
Poids des plaques seules par élément	12.8	—
Nombre des plaques positives par élément	2	
— — négatives —	3	
Épaisseur des positives	12	millimètres.
— des négatives	1 de 7	—
	2 de 5	—
Hauteur et largeur des plaques	200 × 220	—
Intensité du courant de charge d'une voiture	150 à 100	ampères.
Différence de potentiel	490 à 540	volts.
Durée à la charge moyenne	10 à 12	minutes.
Nombre de kilomètres parcourus avec une charge	1	voyage aller et retour.
Régime de charge, intensité moyenne	10 à 12 a.	par kg. de plaque.
— de décharge, —	1.2 amp.	— —
— — maxima aux démarrages	10 à 15 a.	— —

Voitures.

Nombre total à fournir		35	voitures.
Poids : Caisse, châssis, roues		5,500	kilogrammes.
Accumulateur (total)		3,500	—
Moteurs et régulateurs		1,500	—
Voyageurs (52)		3,500	—
	Total	14,000	kilogrammes.
Moteurs : Nombre		2	moteurs.
Type			Brown-Bovery.
Puissance		15 à 18	kilowatts.

Les voitures motrices sont construites pour pouvoir prendre en remorque une autre voiture à 52 voyageurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Marche du service. — Les voitures fournies au commencement de 1897 étaient au nombre de 11, dont 8 faisaient le service sur la ligne de Madeleine-Neuilly.

Le chargement commence à 490 volts avec 150 ampères et se termine à 540 volts avec 100 ampères; sa durée varie entre 8 et 12 minutes, selon les variations du travail de traction, qui tiennent notamment au nombre de voyageurs, au nombre de démarrages, à l'état des moteurs, des voies, etc.

En parcourant en aller et retour les 7 kilomètres, soit 14 kilomètres de parcours, on dépense 20 ampères-heures seulement. Si la voiture motrice en remorquait une seconde, on consommerait donc au plus 40 ampères-heures, la remorquée étant moins lourde que la motrice. Or, la capacité de la batterie est de 54 ampères-heures; il resterait donc une marge de 14 ampères pour parer à l'affaiblissement des éléments par l'usage.

Lorsque l'on charge, à un terminus, une seule voiture, la perte théorique dans le feeder est de 20 volts, si l'on charge deux voitures à la fois, 40 volts; elle serait éventuellement de 60 volts pour trois voitures. Le feeder de 700 mètres est d'une section relativement plus forte, en prévision de charges simultanées, au terminus du Pont de Neuilly.

2. — Anvers-Bruxelles-Hambourg.

Indépendamment de quelques tentatives faites à Bruxelles en 1883, des services réguliers de traction par accumulateurs furent établis dans cette ville et à Hambourg, à la suite du concours de traction organisé à l'occasion de l'Exposition d'Anvers en 1885. Ces importants essais pratiques ont laissé le souvenir de travaux utiles au progrès de la locomotion et à l'étude de l'accumulateur; à ce point de vue surtout, l'on nous permettra de nous y arrêter.

a. — *Essais divers.*

Débuts à Bruxelles. — Grillage Julien. — En 1883, débutèrent à Bruxelles des expériences sommaires conduites par feu *Edmond Julien,* sur des voies relativement accidentées de la Société des Tramways bruxellois. C'était la suite ou le pendant des essais poursuivis à Paris de l'emploi de l'accumulateur Faure-Sellon-Volckmar, ou E. P. S. Mais une importante modification de ce dernier type intervint pendant les essais belges.

Voici comment s'exprimait à cet égard M. Camille Blanchard dans une communication faite en 1886 devant l'Association des ingénieurs sortis des écoles de Liége (1) :

« Le premier progrès réel a été obtenu par l'emploi de lames perforées

(1) *Revue universelle des mines*, 1886, t. XIX et XX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« avec minium disposé dans les ouvertures au lieu d'être appliqué à la sur-
« face.

« Par cette disposition nouvelle, la durée des appareils et leur capacité
« d'emmagasinement se trouvaient notablement augmentées.

« Dès que le progrès fut bien constaté, les expériences de traction recommen-
« cèrent à Bruxelles; chaque nuit, la voiture qui avait servi aux expériences
« précédentes circulait sur les lignes des *Tramways Bruxellois*, et, le 27 octo-
« bre 1883, avec un chargement de 1,200 kilogrammes d'accumulateurs, on
« effectuait un parcours de 53 kilomètres. C'était un grand pas en avant; il ne
« restait plus qu'à trouver le moyen de prolonger encore la durée des lames.
« Ce progrès a été réalisé en 1884 par l'emploi d'un composé métallique spécial
« insensible à l'action du courant électrique, dont l'idée est due à M. Julien,
« directeur de la Société *l'Électrique*, à Bruxelles.

« La voiture électrique, armée de batteries confectionnées avec ce métal, a
« fait, au commencement de l'année 1885, le service régulier rue de la Loi, à
« Bruxelles, concurremment avec les voitures ordinaires à traction par chevaux;
« pendant l'Exposition d'Anvers, la même voiture a pris une part brillante au
« concours de traction organisé à l'occasion de l'Exposition. »

L'accroissement de solidité et de légèreté du grillage est bien le résultat de l'emploi de l'alliage métallique dont parle M. Blanchard dans la citation qui précède et caractérisant l'accumulateur Julien. Cet alliage est composé de plomb, d'antimoine et de mercure dans les proportions approximatives de :

Plomb	95.0 p. c.
Antimoine	3.5 —
Mercure	1.5 —

Expériences d'Anvers. — Proportion de matière active. — D'autres enseignements théoriques et pratiques, d'importance capitale pour le progrès de l'accumulateur, au point de vue de la traction, furent la conséquence du concours d'Anvers en 1885 et se confirmèrent au service régulier de Bruxelles.

Une erreur, assez répandue auparavant, consistait à croire que dans une pile secondaire, l'emmagasinage d'électricité réalisable était proportionnel à la quantité de matière active contenue. On s'efforçait donc de faire adhérer à la plaque le plus de minium que possible.

Ce qui contribua le plus à dissiper cette erreur, ce furent les essais conduits par M. le professeur *Éric Gerard*, à l'Institut électrotechnique de Liége, sous le contrôle du *Comité international* près l'Exposition d'Anvers (1885). Le rapport fournit le résultat d'un essai prolongé de l'accumulateur à grille, type Julien, dont les alvéoles contenaient 35 p. c. de matière active, oxyde ou plomb spongieux.

De ces pages hautement intéressantes, nous devons nous borner à donner ici la conclusion la plus originale, à savoir : *qu'analytiquement, un sixième seule-*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment de la matière pulvérulente tassée dans les alvéoles des plaques prend part aux réactions électro-chimiques de la charge et de la décharge.

« Ce chiffre », dit le rapporteur, « donne une idée des progrès que l'on peut « encore réaliser dans la construction des accumulateurs. »

Cette constatation déduite de pesées, de mesures et de calculs en harmonie avec la théorie de la double sulfatation (1) et corroborée par les travaux de divers savants, modifia certainement l'orientation des efforts tendant au perfectionnement de l'accumulateur destiné à la locomotion. Les grilles s'amincirent et présentèrent une plus grande surface de contact à la matière pulvérulente, figure 499.

Toutefois, dans les accumulateurs à grille, la proportion de cette dernière au poids du grillage est restée assez grande, 35 à 40 p. c. environ, mais en partie à cause des nécessités de construction et d'usage de l'appareil.

Hambourg. — Pastilles perforées. — M. Huber, qui dirigeait les essais de Hambourg en 1886, avait été amené, en raison de la considération théorique ci-dessus énoncée, à perforer les pastilles d'un trou rond (fig. 500), enlevant ainsi le peroxyde à l'endroit le plus éloigné du support.

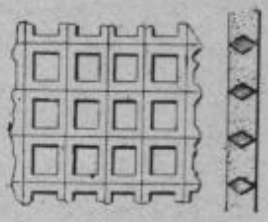


Fig. 499.

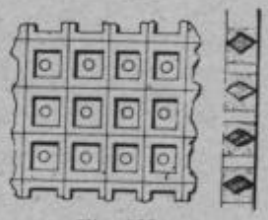


Fig. 500.

Amélioration sensible pour les accumulateurs à poste fixe, la perforation des pastilles n'a pas immédiatement réussi pour la traction, parce qu'elle en diminue la résistance aux actions mécaniques et exige une fabrication plus délicate et plus soignée. Cela n'infirme pas le principe expérimental relevé par le comité d'Anvers. (Voir aussi plus loin : Mines d'Amercœur.)

---

(1) Les équations suivantes traduisent cette théorie :

Formules	$Pb0^2 + 2H^2S0^4 + Pb$	=	$PbS0^4 + 2H^20 + PbS0^4$			
Grammes par ampère-heure .	2.5095	2.058	2.1725	3.1818	0.378	3.1818
		Charge.			Décharge.	

Cette théorie n'est pas universellement admise. M. G. Darrieus prétend que la force électromotrice naturelle 1.6 volt, du couple $Pb0^2$ et Pb doux, devient 1.94, dans la pile secondaire, à cause d'une propriété spéciale de l'*état spongieux* du plomb négatif de l'accumulateur, état spongieux qui augmenterait de 0.34 la force électro-motrice. Le surcroît de force électro-motrice est dû à des suroxydations passagères.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

b. — *Voies et matériel à Anvers, Bruxelles et Hambourg.*

Rapprochons, en un tableau, les conditions de poids d'accumulateurs, eu égard au travail à effectuer sur des voies de profils différents, dans ces trois séries d'essais contemporaines.

INDICATIONS.	ANVERS 1885.	BRUXELLES (rue de la Loi) 1886.	HAMBOURG 1886.
Caisse, châssis, roues	2,570 kilogrammes.	3,350 kilogrammes.	3,370 kilogrammes.
Électro-moteur et mouvement . . .	560 —	530 —	
Accumulateurs.	1,120 —	1,600 —	1,500 —
Voyageurs et agents.	2,380 —	2,380 —	2,170 —
Totaux. . .	6,630 kilogrammes.	7,860 kilogrammes.	7,040 kilogrammes.
Voie. Longueur	2,292 mètres.	1,630 mètres.	5,360 mètres.
Voie. Profil	En palier.	Rampes maxima : 23 millimètres sur 309 mètres. 31 à 37 millimètres sur 350 mètres.	Courbes et rampes nombreuses. Maximum : 25 millimètres sur 100 mètres.
Vitesse en palier (à l'heure)	12 kilomètres.	12 kilomètres.	12 kilomètres.
Vitesse en forte rampe (à l'heure) . .	...	6 à 8 kilomètres.	6 à 8 kilomètres.

On remarquera en passant la légèreté des moteurs de l'époque. La transmission entre l'axe de l'induit et l'essieu comportait toujours une double réduction de la vitesse de rotation par arbre intermédiaire, moyennant des organes divers : cordes et chaîne, engrenages et cordes métalliques, engrenages et chaîne, double jeu d'engrenages. A Bruxelles, on s'en tint finalement à une paire d'engrenages et une chaîne, dispositif qui fut adopté également à Hambourg après l'essai de la transmission par cordes et chaîne.

c. — *Résultats d'exploitation à Bruxelles.*

α. — L'exploitation régulière de Bruxelles dura de 1886 à 1890, rue de la Loi. Indépendamment des écoles faites dans l'usage des accumulateurs, leur charge et leur manutention furent un sujet d'études techniques et de perfectionnements que nous retrouverons, d'ailleurs, appliqués dans le service actuel de la Haye à Scheveningen ; en décrivant cette exploitation, nous aurons l'occasion de les détailler. (Voir § 4.)

β. — Quant aux batteries, leur capacité, qui avait été au début de 4 à 6 ampères-heures au kilogramme de plaque, avait, grâce aux perfectionnements ci-dessus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

exposés, atteint 10 à 12 ampères au kilogramme au régime de décharge de 2 kilogrammes, et même davantage, à un taux de débit moindre.

Mais la traction ne s'accommodait guère de ces modestes régimes, et sur les fortes rampes de la rue de la Loi, un débit de 3 ampères par kilogramme de plaques suffisait à peine.

Les éléments étant de 12 kilogrammes de plaques, fournissaient sur la rampe de 37 millimètres un courant de 40 ampères sous 200 volts, soit 3.3 ampères au kilogramme.

Le parcours par charge était de 35 kilomètres.

7. — Commercialement, à Bruxelles, l'insuccès du système ne fut pas absolu : d'aucuns ont prétendu établir que la traction électrique coûtait un peu moins que la traction animale, mais que la différence était trop minime pour justifier l'émission et assurer l'amortissement d'un nouveau surcroît de capital.

Voici les chiffres connus :

Les installations fixes, machines, chaudières, dynamo, bancs de charge et divers, avaient coûté 100,000 francs, non compris les bâtiments.

Chaque voiture exigeait 10 batteries, 4 en marche, 4 en chargement, 2 en réserve, ce qui représentait 8,500 francs par voiture; le reste, caisse, châssis, roue, électro-moteur et accessoire, valant 9,000 francs.

Bien que l'installation fixe fût montée pour 16 voitures, dont 12 en service, elle n'en alimenta que deux au début et jamais plus de 4, chiffre du stock, dont 3 en marche.

A ces souvenirs, ajoutons encore quelques chiffres de dépenses de traction donnés par M. Michelet au Congrès des chemins de fer tenu à Paris en 1889 :

Consommations	9.0 centimes.
Salaires, entretien, etc.	2.9 —
Frais généraux (moitié des frais réels)	9.9 —
Entretien des accumulateurs (estimation)	10.0 —
Ensemble. . .	31.8 centimes.

Au poste « frais généraux », la réduction tient compte du petit nombre de voitures en service.

Dans la traction par chevaux, les postes comparables à ces dépenses se traduisaient pour 2 chevaux par fr. 0.342 par voiture-kilomètre.

Les accumulateurs, au moment de l'envoi du rapport de M. Michelet, avaient parcouru 8,000 kilomètres en moyenne. Une estimation ultérieure les supposant capables de plus de 12,000 kilomètres, fixa le coût de leur entretien à 6 centimes. En réduisant, d'autre part, la quote-part des frais généraux par voiture dans l'hypothèse d'un service plus étendu, 12 à 15 voitures en service au lieu de 3 seulement, la locomotion électrique par accumulateur eût coûté un peu moins que la traction à deux chevaux, pour une vitesse compatible avec le profil de la ligne desservie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En somme, on peut affirmer que la longue expérience de Bruxelles fut une leçon profitable et que son résultat le plus positif fut de servir de type à l'installation de la Haye-Scheveningen, où des circonstances locales motivent la préférence donnée à l'accumulateur.

3. — Angleterre.

a. — *Premiers essais.*

Londres. — Accumulateur E. P. S. — Des tentatives à peine publiques de locomotion électrique par accumulateurs eurent lieu, à partir de 1883, sur divers points de l'Angleterre, peu après la constitution de l'*Electrical Power Storage Company* qui exploitait les brevets Faure-Sellon-Volckmar.

Nous avons parlé plus haut de ce type de batterie secondaire. (Voir § 1, Paris.)

La Compagnie cherchait à se rendre compte des frais d'entretien qu'elle aurait à stipuler, soit dans des entreprises de traction, soit pour la navigation. Tandis qu'elle équipait des canots d'essai, elle montait des batteries et des moteurs sur plusieurs voitures ordinaires de tramways.

La plus remarquable pour l'époque, que nous avons vue, en 1888, à l'usine de Milwall, et dont le moteur actionnait l'essieu par une vis sans fin, avait accompli de nombreux *trial-trips*, comme prélude au service régulier établi ensuite sur les « North Metropolitan Tramways », service expérimental concernant lequel il est donné des renseignements plus loin (§ *b*).

Accumulateur Elieson. — Ce type, du genre Planté, a passé par diverses formes. En 1887, il comportait des plaques en plomb de 4 millimètres d'épaisseur, de 22 centimètres sur 20 de surface et perforées de 169 alvéoles, dans lesquelles était introduit du plomb lamellaire enroulé en spirale, les spires étant séparées par une couche de papier d'amiante. Cette disposition portait la surface active à 112 décimètres carrés. Le foisonnement résultant de l'oxydation des spires les appliquait fortement contre les parois des alvéoles. Chaque élément, d'une trentaine de kilogrammes, comportait 11 plaques.

La batterie, formée de 80 éléments, était montée sur une *locomotive* qui pesait en tout près de 7 tonnes et remorquait une voiture de 2.5 tonnes à vide, d'une contenance de 46 voyageurs.

Après sept ou huit mois d'essais marqués par diverses écoles intéressant le locomoteur, il fut reconnu qu'il était trop faiblement constitué mécaniquement. L'insuccès ne semble donc pas tenir au genre d'accumulateur employé. Cependant, c'est sous un tout autre type que nous retrouverons un accumulateur de même nom aux États-Unis (§ 11).

Brighton. — Accumulateur Roger Tatham. — Entre temps, on éprouvait en Angleterre d'autres types d'accumulateurs pour traction, un peu oubliés aujour-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'hui. L'un était le type *Roger Tatham*, de Rochdale, modification du système E. P. S. : la matière active introduite dans les alvéoles était un mélange de pâte à papier de bois et d'oxyde de plomb, mélange dont la porosité était censée favoriser l'activité des réactions. L'essai à la locomotion en eut lieu à Brighton, sur une voiture pesant 5 tonnes, y compris le poids d'une batterie de 80 éléments, 1,500 kilogrammes, et celui des voyageurs. Le moteur Immish, pesant 250 kilogrammes, était construit pour supporter, à 1,000 tours, 40 ampères sous 160 volts. Il attaquait l'essieu, par axe intermédiaire, au moyen de deux chaînes Gall montées sur roues dentées, de façon à obtenir une vitesse moyenne de 9 kilomètres. Les rampes variaient de 7 à 33 millimètres; l'une atteignait 48 millimètres.

Les expériences, commencées en 1887, furent de courte durée.

b. — *North Metropolitan Tramways de Londres.*

Cette compagnie a mis pendant plusieurs années ses lignes à la disposition d'une société constituée d'abord sous le titre de *Electric Traction Company*, devenue ensuite la *General Electric Power and Traction Company*, afin qu'elle se livrât à toutes les opérations de traction par accumulateur, qui puissent tendre à démontrer sa supériorité économique sur la traction animale.

Après des parcours préliminaires rappelés plus haut à propos des débuts, en Angleterre, de l'accumulateur E. P. S., la Compagnie électrique offrit en 1889 à la Compagnie des « North Metropolitan Tramways » d'exploiter régulièrement la section de *Canning Town à Barking*, à un prix déterminé, par voiture et par mille.

Description. — Usine. — Une usine de charge fut établie à Barking, 6 voitures équipées, et il fut procédé à l'organisation d'un service régulier qui dura jusqu'en 1892.

Ligne. — La ligne de 2 kilomètres environ désignée sous le nom de *Barking Road*, à l'écartement de 1m43, présente peu de courbes et quelques inclinaisons, savoir : 15 millimètres par mètre sur 60 mètres de longueur, 18 millimètres sur 136 mètres, 25 millimètres sur 115 mètres et 28 millimètres sur 98 mètres.

Voitures. — Les voitures pesaient environ 10 tonnes, se décomposant comme suit :

Caisse, châssis, roues	3,270	kilogrammes.
Moteurs et transmissions	1,360	—
Accumulateur	2,400	—
52 voyageurs	3,600	—
	10,630	kilogrammes.

Batteries. — Élément E. P. S. spécial. — L'accumulateur était du type E. P. S., contenant 96 éléments de la série E.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chaque élément de cette série, contenu dans une boîte en ébonite, comportait 19 plaques séparées par des fourches en ébonite et des feuilles de celluloïde. L'élément avait une hauteur de 30 centimètres et une base de 22 sur 17 centimètres.

Il contenait environ 17 kilogrammes de plaques (fig. 501).

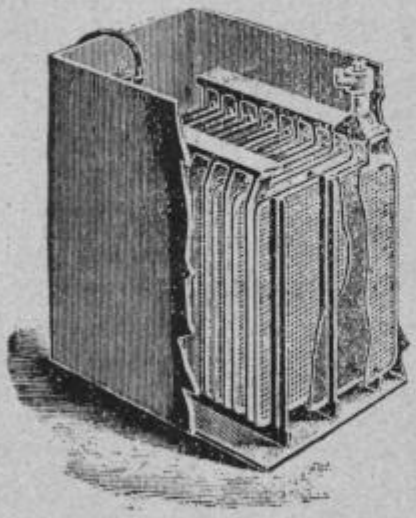


Fig. 501.

Résultats d'exploitation. — 2. — La question des dépenses de traction fut, à plusieurs reprises, vivement débattue dans la presse technique anglaise, sans être jamais élucidée.

On savait que par son contrat avec la Société des « North Metropolitan Tramways », la firme *General Electric Power and Traction Company* s'était engagée à supporter les frais de traction, à raison de *4 1/2 pence per car-mile*, soit 28 centimes par kilomètre-voiture, prix relativement économique, comparativement à la remorque par chevaux, pour des grands omnibus à sièges d'impériale.

Mais le *prix de revient réel* resta un mystère, la compagnie électrique ayant soigneusement évité la divulgation de ses comptes.

Il en fut, cependant, mis au jour quelque chose par M. Gisbert Kapp, à l'intervention de M. Fraser, ex-ingénieur de l'*Electric Traction C°*, laquelle s'était fusionnée dans la firme susdite (1).

Le coût d'établissement de l'usine et de l'équipement électrique de six voitures s'éleva au montant de 150,000 francs, non compris le prix du corps même des voitures (caisse, châssis, roues), c'est-à-dire 30,000 francs.

De juin 1889 à fin juin 1890, il a été parcouru par les six cars, dont cinq en service, 162,258 kilomètres, soit environ 110 kilomètres par jour et par voiture en service.

Les dépenses de traction auraient été les suivantes par voiture-kilomètre :

Salaires au dépôt	10.0 centimes.
Conducteurs	9.0 —
Charbon	6.5 —
Batteries, dépréciation et réparations	17.6 —
Moteurs, dépréciation et réparations	2.7 —
Total par voiture-kilomètre. . .	45.8 centimes.

Le prix de revient, 46 centimes, eût donc dépassé notablement le chiffre du

(1) *The Electrician*, février-mars 1891.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contrat, 28 centimes, et ce qui était plus grave, le coût de la traction chevaline, environ 38 à 40 centimes par voiture-kilomètre.

Mais ces divulgations soulevèrent les protestations de la Compagnie électrique contractante. Elle soutint, non sans quelque fondement, que ces chiffres, variables d'ailleurs chaque année, se fussent modifiés complètement, si au lieu d'opérer la traction de 6 cars sur 2 kilomètres, elle eût obtenu les pouvoirs nécessaires pour étendre le système à tout le réseau des « North Metropolitan Tramways », soit 64 kilomètres de lignes.

Comme on le voit, nous retrouvons ici à peu près l'histoire de la traction électrique par accumulateurs à Bruxelles : de part et d'autre, les entrepreneurs déniaient aux résultats obtenus lors d'essais limités, la valeur d'un critérium de ce que produirait l'application du système sur plus vaste échelle.

β. — Une observation plus grave de M. Fraser, à savoir que les batteries ne duraient que dix mois et ne supportaient que 300 décharges, fut également relevée par M. King parlant en qualité de défenseur de l'accumulateur E. P. S. Ce dernier soutint que les plaques positives supportaient environ 400 décharges, plus ou moins, selon le degré de soin apporté dans la manipulation, que la vie des négatives se prolongeait au delà de 750 décharges; car lors de la première mise hors service des batteries, en 1890, il avait été reconnu que les négatives auraient encore pu servir au moins un an; que malgré tout, le coût de l'entretien et du renouvellement des batteries (*maintenance*) sur la ligne Barking Road n'avait pas excédé 6.2 centimes par voiture-kilomètre (*one penny per car-mile*); et que ce facteur du prix de revient allait tomber bien plus bas encore, 5 centimes par voiture-kilomètre, *two thirds of a penny per car-mile*, lorsqu'on ferait usage d'un type nouveau d'accumulateur à l'essai, susceptible d'endurer 800 à 1,000 décharges!

Un peu plus d'un an après ce débat contradictoire, en juillet 1892, la traction par accumulateurs, sur la ligne de Barking à Canning Town, rendait la place aux chevaux.

c. — *Birmingham.*

La traction électrique par accumulateur fut inaugurée à Birmingham, en 1890, sur la section *Bristol Road* de la *Central Tramways Company*.

Voie. — Cette route, qui a 4,800 mètres de longueur, est profilée figure 502. Les courbes y sont peu nombreuses, mais les inclinaisons très fortes en plusieurs endroits.

La voie est formée de rails Vignoles en acier mesurant 15 centimètres de hauteur, à patins de 175 millimètres et pesant 38 kilogrammes au mètre courant.

Ils reposent sur un béton de ciment de 15 centimètres d'épaisseur; les éclisses ont 60 centimètres de longueur et les bandes entretoises sont espacées de 2m70.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

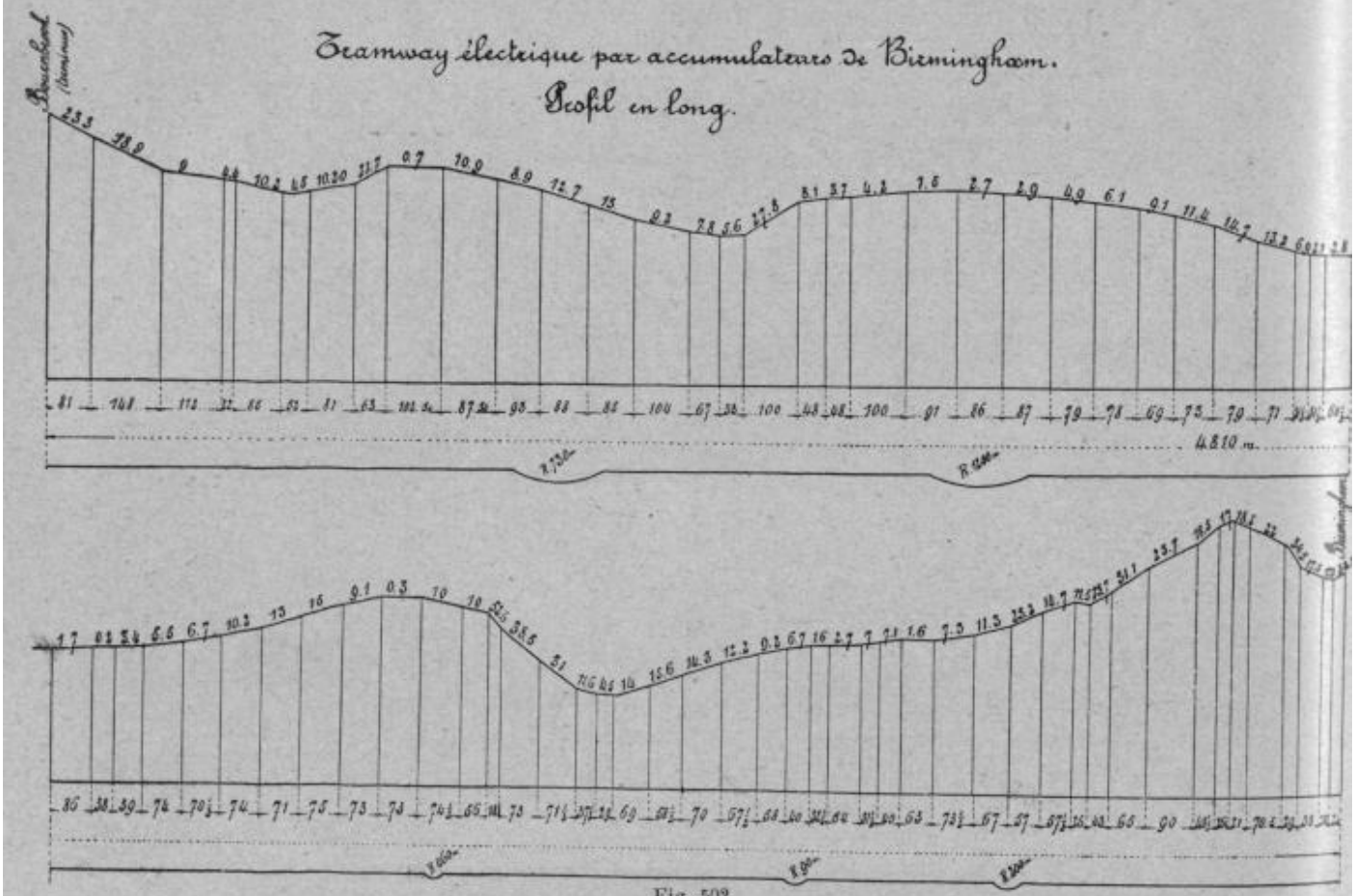


Fig. 502.

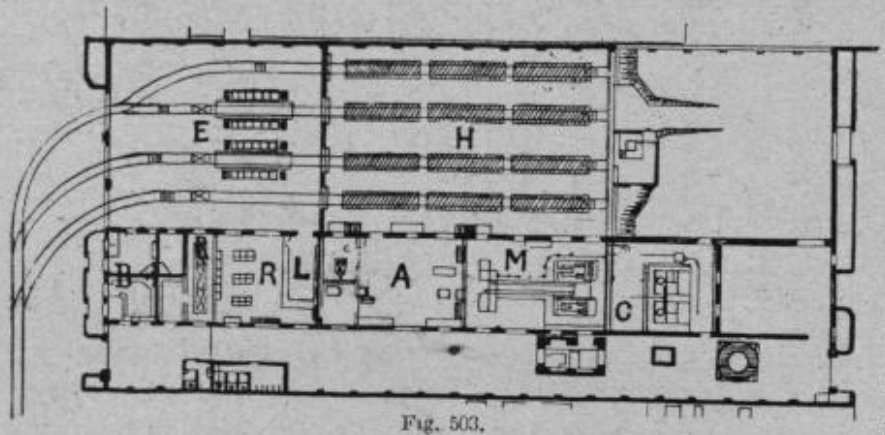


Fig. 503.

LÉGENDE.

E. Elévateur hydraulique pour la manipulation et la charge des batteries.
H. Hangar.
C. Chaudières.
M. Machine et dynamos.
A. Ajustage.
F. Forges.
L. Laboratoire. Ampèremètres. Voltmètres.
R. Accumulateurs en réserve.
E. Bureau, magasin, etc.

Installations fixes. — L'équipement électrique fut entrepris par *The Electrical Construction Corporation*, firme qui venait de se fonder en 1889 pour amalgamer, en de communs intérêts, les usines Ellwell-Parker de Wolverhampton, la manufacture d'accumulateurs E. P. S. de Milwall, les brevets anglais de Julien et ceux d'autres entrepreneurs de traction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Usine. — L'usine de charge, belle installation établie au terminus de Bournbrook, comprend : deux chaudières à vapeur Davey Paxmann, de 80 chevaux, et une autre Babcock et Wilcox de 160 chevaux, deux machines à vapeur compound sans condensation de 100 chevaux, deux dynamos Ellwell-Parker débitant chacune, à 540 tours, 500 ampères sous une force électro-motrice de 120 volts (fig. 503).

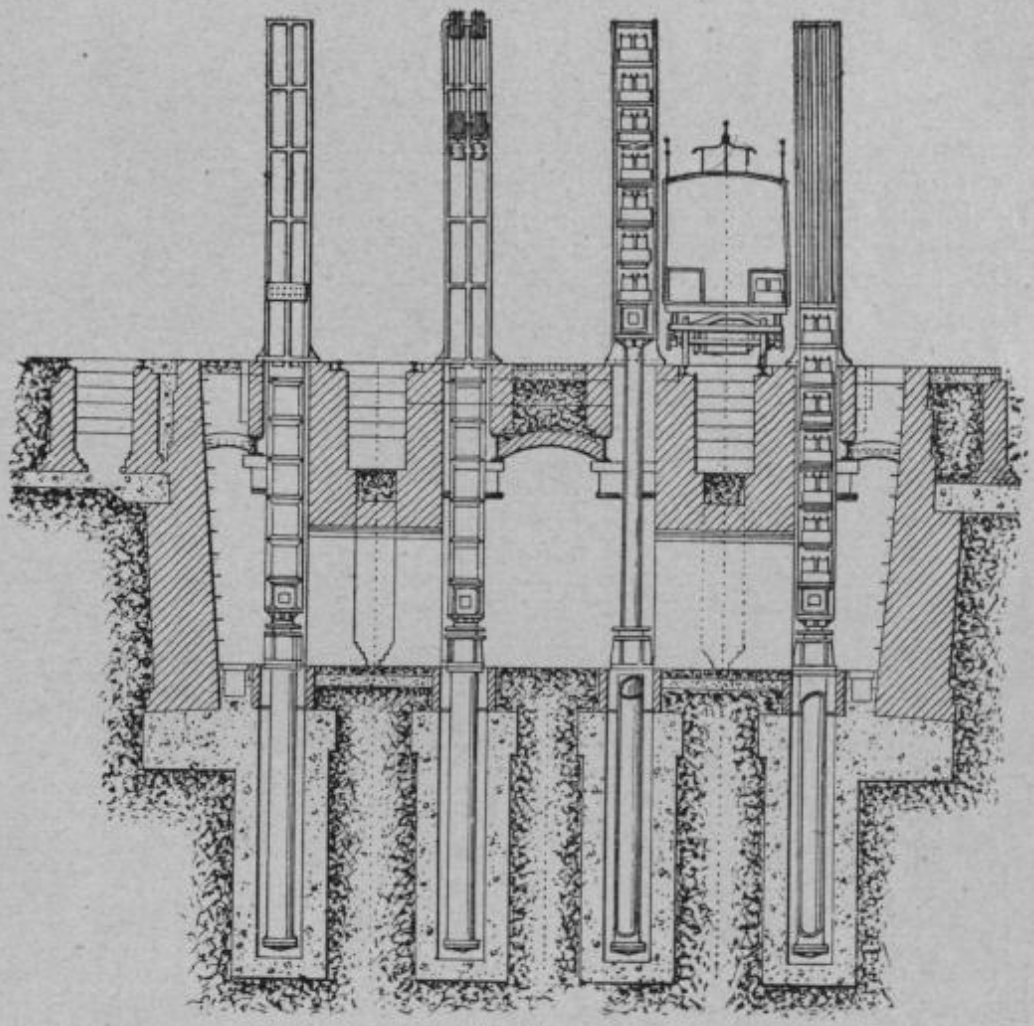


Fig. 504.

Manœuvre des batteries. — La manutention des accumulateurs s'opère au moyen d'élévateurs hydrauliques (fig. 504) *sur lesquels ils demeurent pendant la charge :* à cette fin, des bandes de cuivre appliquées le long des guides latéraux sont en relation, par des ressorts, avec les huit rayons sur lesquels reposent les caisses ou tiroirs, au nombre de six par rayon. Ces six tiroirs contenant chacun 8 éléments s'introduisent en même temps dans chaque flanc de la voiture.

Lorsque besoin est, les batteries neuves ou réparées sont amenées par chariot,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la salle de réserve aux élévateurs, qui ont généralement chacun un ou deux rayons disponibles.

Charge électrique. — Mesure. — Le renouvellement de la charge électrique des 6 batteries d'un même rayon de l'élévateur est réglé dans un laboratoire de mesure annexé au hangar de manutention; sur un nombre d'ampèremètres et de voltmètres égal à celui des rayons à desservir, un électricien observe et enregistre la quantité de courant absorbé par chaque jeu de batteries ayant fonctionné et la force électro-motrice initiale et finale. Le courant moyen ainsi envoyé à chaque rayon est environ 30 ampères, sous une force électro-motrice variant entre 105 et 120 volts.

Accumulateurs. — Le type d'accumulateur a varié trois fois depuis le commencement de l'exploitation et le poids s'en est accru dans une certaine mesure :

α. — On a débuté en 1890 avec l'accumulateur E. P. S., fabrication Ellwell-Parker, grille en métal Julien;

β. — A ceux-ci a succédé l'accumulateur Epstein, au mois d'août 1892;

γ. — Enfin, dans le courant de 1894, on a mis à l'essai le type appelé en Angleterre *chloride accumulator*.

Fig. 505.

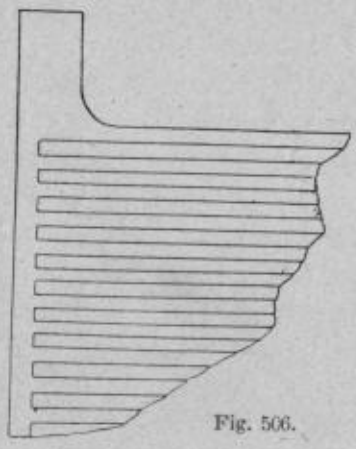


Fig. 506.

α. — Type Ellwell-Parker. — La variété du type E. P. S., fabriqué par Ellwell-Parker, se distinguait, entre autres, par la forme de la grille (fig. 505) plus favorable que la coupe ordinaire en simple losange au maintien en place de la pastille. Toutefois, on a plus tard adopté la grille Julien (plomb, antimoine, mercure), dont nous avons parlé plus haut (voir § 2, Bruxelles).

Chaque élément comportait 19 plaques, 10 positives, 9 négatives, mesurant 21 centimètres sur 16 (17 à 18 kilogrammes de plaques) logées en des boîtes de vulcanite placées par huit dans des caisses en bois de teak.

La charge au régime de 30 ampères durait 8 à 9 heures.

Les plaques mises accidentellement hors d'usage étaient remplacées au dépôt même par des neuves fournies par le fabricant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

β. — Type Epstein. — On sait qu'un premier type d'accumulateur *Epstein* ne différait des précédents que par la manière d'obtenir la matière active (1) logée dans le grillage.

Mais ce n'est pas de ce genre qu'il s'agit ici. M. Epstein, après plusieurs années d'expérience, est revenu aux plaques Planté sous la forme à ailettes (fig. 506). Il les prépare à chaud par immersion dans un bain d'eau acidulée au centième d'acide nitrique, où elles finissent par prendre une surface chagrinée gris sombre qui jaunit à l'air. Elles sont ensuite formées par charges et décharges successives de la manière ordinaire.

Le type mis en service, fin de 1892, à Birmingham, comportait 9 plaques, 4 positives d'une épaisseur de 9 millimètres environ et 5 négatives de 4 $^1/_2$ millimètres.

Les dimensions en hauteur et largeur et le poids étaient à peu près les mêmes qu'auparavant.

Au régime de décharge de 25 ampères par élément, chaque élément a une capacité de 190 ampères-heures, s'abaissant à 130 au régime de 65 ampères.

La durée de la charge peut être réduite à 5 ou 6 heures au régime de 35 à 50 ampères par élément.

La Compagnie Epstein percevait 15 centimes par voiture-mille, soit près de 10 centimes par kilomètre, pour maintenir les batteries indéfiniment en bon état de marche.

γ. — Chloride accumulator. — L'accumulateur adopté en 1894 par la Compagnie est connu en Angleterre et aux États-Unis sous le nom de *chloride accumulator* et en France sous celui de la *Société pour le travail électrique des métaux*, dont les plaques sont fabriquées d'après la méthode de M. Laurent Cely, méthode décrite à propos des tramways Paris-Saint-Denis (§ 1)

Chaque élément de 31 kilogrammes contient 13 plaques, 6 positives de 8 millimètres d'épaisseur et 7 négatives de 4.5 millimètres, mesurant en longueur 25 centimètres et en largeur 18 centimètres; elles sont séparées par des diaphragmes en asbeste.

Par l'emploi de ces batteries, on comptait faire accomplir le service journalier d'une voiture au moyen de deux charges de batteries, au lieu de trois, comme précédemment. Chaque voiture parcourt, en effet, de 120 à 150 kilomètres par jour. Les accumulateurs du type E. P. S. et du type Epstein fournissaient par charge 40 à 50 kilomètres, tandis que ceux du type de 1894 avaient la réputation de pouvoir emmagasiner l'énergie nécessaire à un trajet de 75 kilomètres. On ne peut guère juger du bénéfice commercial résultant de cet avantage que par le relevé des dépenses d'entretien corrélatives. Lors de nos dernières informations, la Compagnie des tramways n'était pas encore fixée à cet égard.

---

(1) Dans un mélange de 93 p. c. de plomb fondu et de 7 p. c. de permanganate de potasse, le dégagement d'oxygène provoquait une subdivision de la masse en granules microscopiques qui après lavage étaient dûment comprimées dans les alvéoles du support

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voitures. — Les voitures sont de grands omnibus à impériale contenant 50 voyageurs, 24 à l'intérieur, 26 au dehors. Elles sont montées sur deux trucks à quatre roues, dont l'un porte le moteur décrit au chapitre I-A.

Bien que sa puissance nominale soit de 15 chevaux, il est appelé souvent à en déployer une vingtaine et parfois plus de 25. Les engrenages présentent une résistance remarquablement faible : elle ne dépasse pas 10 p. c. Vitesse maxima autorisée, 13 kilomètres à l'heure; vitesse moyenne, 10 kilomètres.

Le poids de la voiture se décompose ainsi :

Caisse, châssis, roues	4 tonnes.
Moteur et engrenages	1 ½ —
Accumulateur { Primitif, 2 ½ tonnes / Actuel, 3 — }	3 —
Voyageurs	3 ½ —
Total en charge	12 tonnes.

Connexions. — Pour régler la marche du courant, les 96 éléments de l'accumulateur forment quatre groupes de 24 éléments, ce groupement résultant de la disposition des prises de contact au moment de l'introduction des batteries dans la voiture.

L'appareil distributeur, indépendamment de la rupture du courant, permet encore les combinaisons suivantes :

a) Quatre batteries en parallèle reliées au moteur, pour le démarrage;

b) Deux en parallèles, deux en séries;

c) Deux en parallèles, en série avec chacune des deux autres, ce qui donne les ¾ de la force électro-motrice;

d) Les quatre en série à 180 volts;

e) Combinaison supplémentaire maintenant les quatre groupes en parallèle, sans communication avec le moteur, en vue de permettre, pendant les trajets en pente, de *rétablir l'équilibre entre batteries inégalement déchargées.*

Coût de premier établissement. — Le stock est de 14 voitures, les unes à 48 places, les autres à 50 places. La dépense d'installation avait été répartie comme suit :

Machines, chaudières et dynamos	98,000 francs.
Appareils hydrauliques, élévateurs et compresseurs	50,000 —
Voitures	136,150 —
Accumulateur valeur du stock	131,400 —
Total	415,550 francs.

Une voiture coûte :

Caisse, châssis, roues	6,250 francs.
Moteur, transmission et accessoires	3,475 —
Batteries	3,650 —
Total	13,375 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exploitation. — Le service, assuré ordinairement avec 6 ou 7 voitures, comporte des départs de 10 en 10 minutes et peut être doublé aux jours d'affluence.

Voici les dépenses pour les quatre derniers exercices se clôturant au mois de juin.

Années	**1891.**		**1892.**		**1893.**		**1894.**	
Recette totale	218,302 francs.		260,556 francs.		240,574 francs.		243,357 francs.	
Parcours kilométrique	221,434 kilomèt.		302,016 kilomèt.		225,589 kilomèt.		222,597 kilomèt.	
Locomotion.	*Dépenses par voiture-kilomètre (en centimes).*							
Salaires. (Usine génératrice, conduite et nettoyage des voitures motrices.)	0.1650		0.2199		0.2192		0.2174	
Combustible	0.1078		0.1079		0.1147		0.1245	
Matières de graissage et autres	0.0474		0.0428		0.0439		0.0343	
Eau et éclairage	0.0043		0.0063		0.0080		0.0082	
Divers	0.0060		0.0059		0.0113		0.0067	
		0.3305		0.3828		0.3971		0.3911
Entretien et réparation des chaudières, machines et appareils électriques.								
Salaires-matériaux	0.0180		0.2622		0.2928		0.2416	
Réparation des voitures.								
Salaires-matériaux	0.1250		0.0723		0.0644		0.0431	
		0.1430		0.3345		0.3572		0 2847
Dépenses de la traction	...	0.4735	..	0.7173	...	0.7543	...	0.6758
Charges générales.								
Fournitures de bureau et imprévus, salaires, indemnités, droits, taxes, assurances, charges professionnelles, divers	...	0.0680	...	0.0786	...	0.0934	...	0.1641
Voies et bâtiments.								
Salaires-matériaux	...	0.0088	...	0.1119	...	0.1059	..	0.0034
Dépenses de trafic.								
Recettes-contrôle, eau, lumière, matériaux, etc.	...	0.0870	..	0.0937	...	0.1236	...	0.1135
Total des dépenses d'exploitation	...	0.6373	...	1.0015	...	1.0772	...	0.9568

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4. — La Haye a Scheveningen.

a. — *Installations fixes.*

Voie. — Cette ligne s'étend du centre de la Haye, le Plein, au Kurhaus de Scheveningen, sur un parcours de 4,970 mètres, non compris le raccordement à l'usine, 500 mètres, le tout à double voie, sauf à l'étranglement du Witte Brugg.

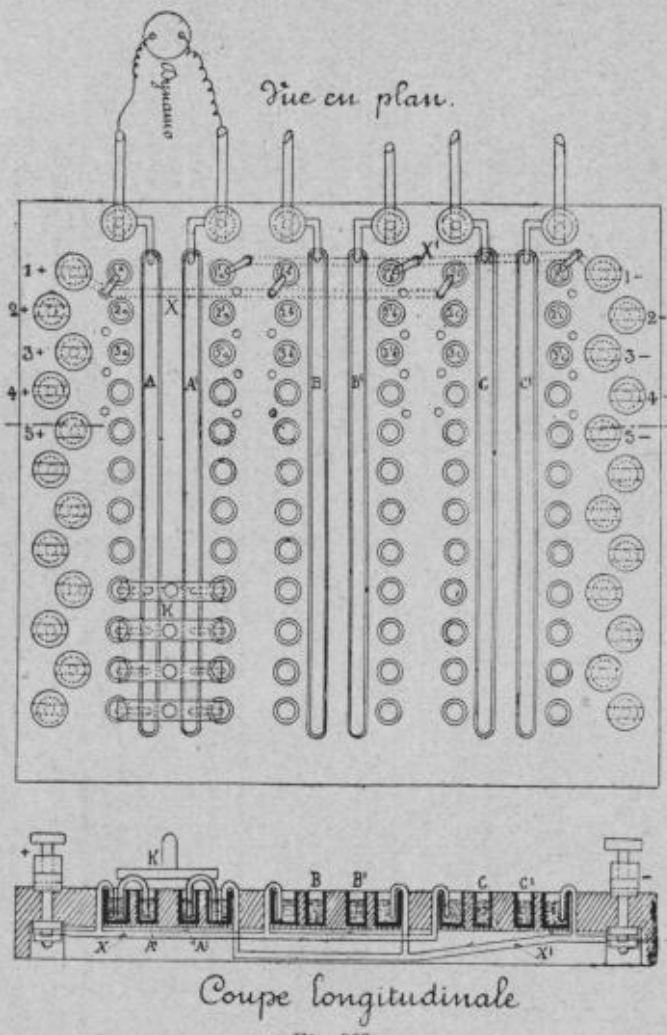


Fig. 508.

Le profil en long peu accidenté (fig. 507) présente cependant quelques passages difficiles aux dos d'ânes formés par les ponts, coïncidant avec des courbes de 25 à 30 mètres de rayon.

Usine. — Salle des machines. — Deux machines à vapeur à condensation de 210 chevaux sont couplées à volonté par manchon, sur un contre-arbre intermédiaire commandant quatre dynamos de Sylvertown, dont l'une peut fournir, à elle seule, 200 ampères à 475 volts, les autres ensemble donnant à peu près ce débit.

Distributeur du courant. — Un *commutateur suisse*, à mercure, placé dans la salle des machines, sert à distribuer le courant des dynamos aux batteries; la figure 508 en montre le dispositif.

Les barres transversales, telles que X, X′, sont en réalité répétées autant de fois qu'il y a de bornes terminales 1, 2, 3, 4, 5 allant aux batteries.

Les règles A, A′ — B, B′ — C, C′ correspondent, par paire, à chaque dynamo, et les cavaliers K, transportés aux points voulus, complètent les circuits. Lorsque ces cavaliers ne sont pas en circuit, on les laisse dans des godets à mercure sans courant, afin d'en éviter l'oxydation.

Halle de charge. — Nous décrirons ici en détail l'appareil de chargement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

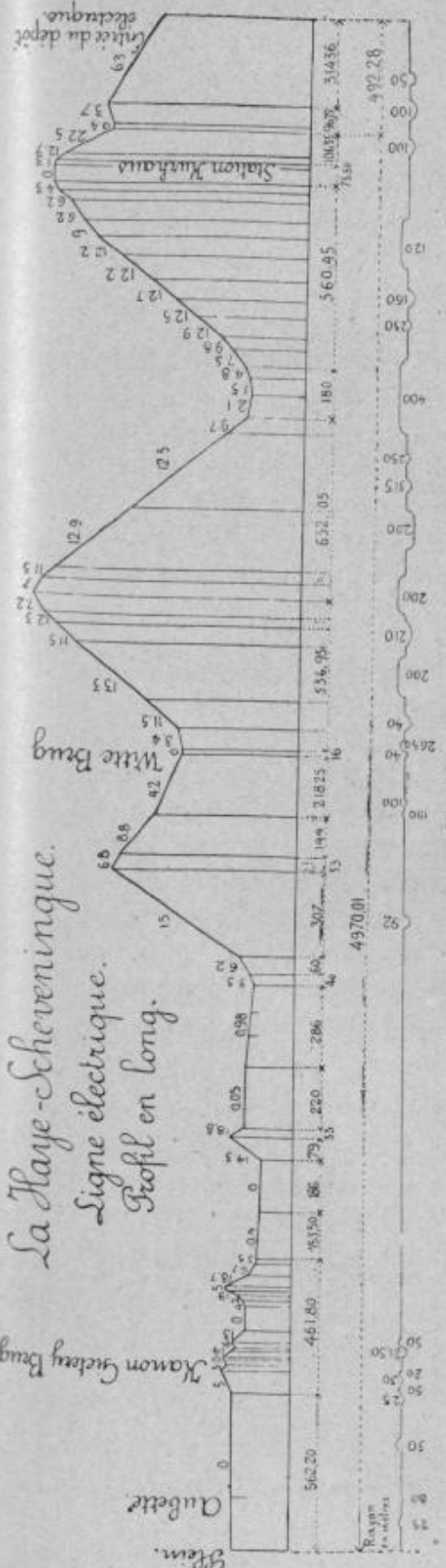


Fig. 507.

Fig. 509.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du système *Van Vloten*, qui avait déjà fait ses preuves pendant les essais de Bruxelles.

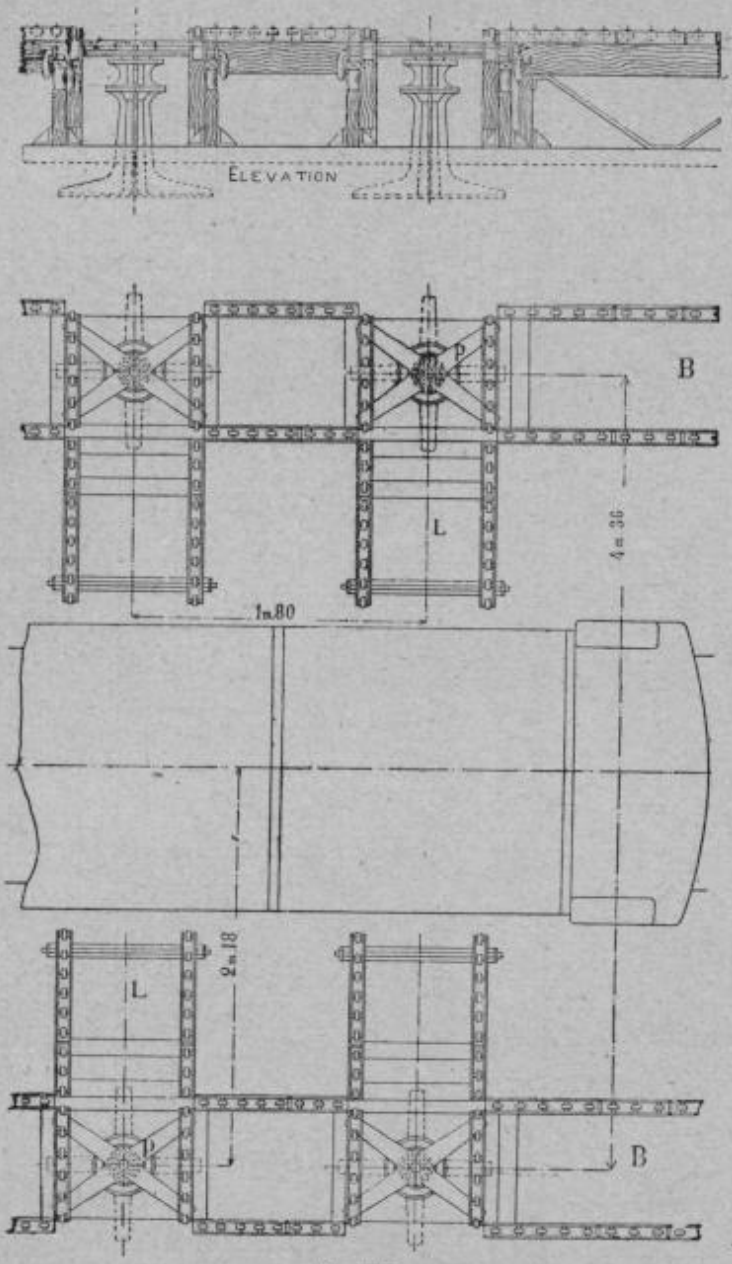


Fig. 510.

La figure 509 est une vue d'ensemble de la halle de charge et de manipulation des accumulateurs.

Les voies de cette halle présentent une légère déclivité, du fond vers l'entrée : lorsqu'une voiture a déposé ses batteries sur les appareils de déchargement des accumulateurs, elle redescend, par la seule gravité, vers l'entrée, où se trouvent les appareils de chargement.

Dans l'intervalle entre ces deux postes, stationnent, sur les bancs, les batteries en charge.

Appareils de manipulation. — Ces appareils sont groupés par huit, quatre de chaque côté de la voiture, ainsi qu'on le voit figure 509, afin de pouvoir enlever d'une fois les huit batteries qu'elle contient.

La figure 510 représente en élévation et en plan un demi-groupe d'appareils.

Chacun d'eux comprend un pont-levis L et une plate-forme tournante P, de telle sorte que chaque batterie puisse, aussitôt extraite de la voiture, faire un quart de révolution avant d'être poussée sur le banc de charge B.

Ces appareils de manipulation sont détaillés dans les figures 511, 512 et 513.

Pour le chargement (fig. 511), le pont-levis s'abaisse légèrement, grâce à un mouvement de rotation du support excentrique E.

Pour le déchargement, l'inverse a lieu, comme le montre la figure 512. Au chargement, les plates-formes sont de 5 centimètres plus élevées qu'au déchargement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

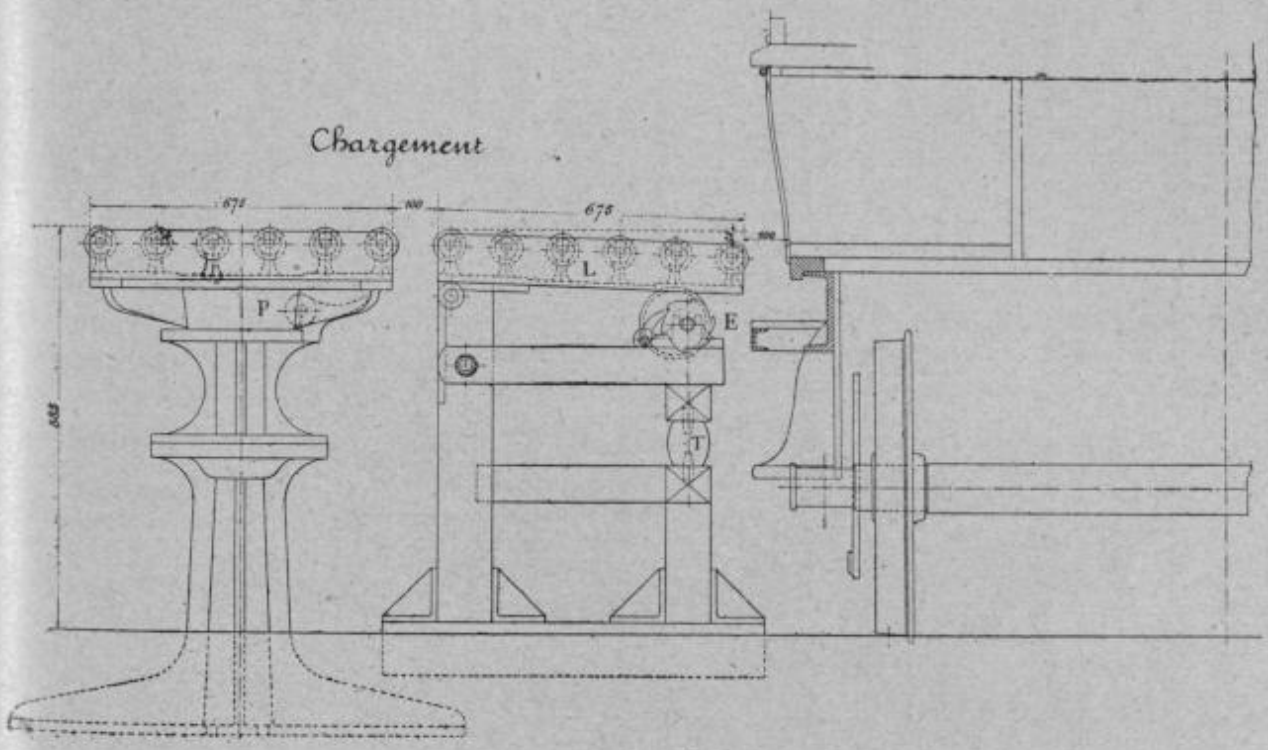


Fig. 511.

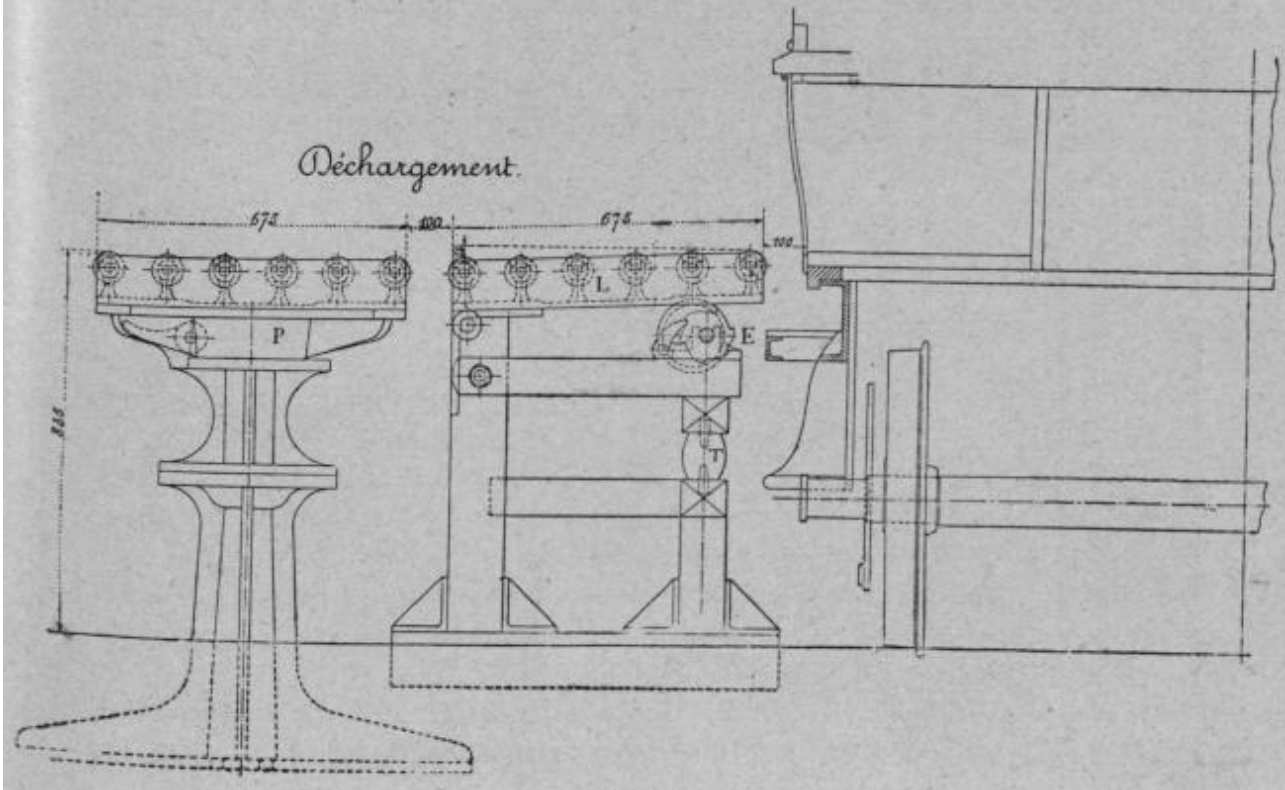


Fig. 512.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

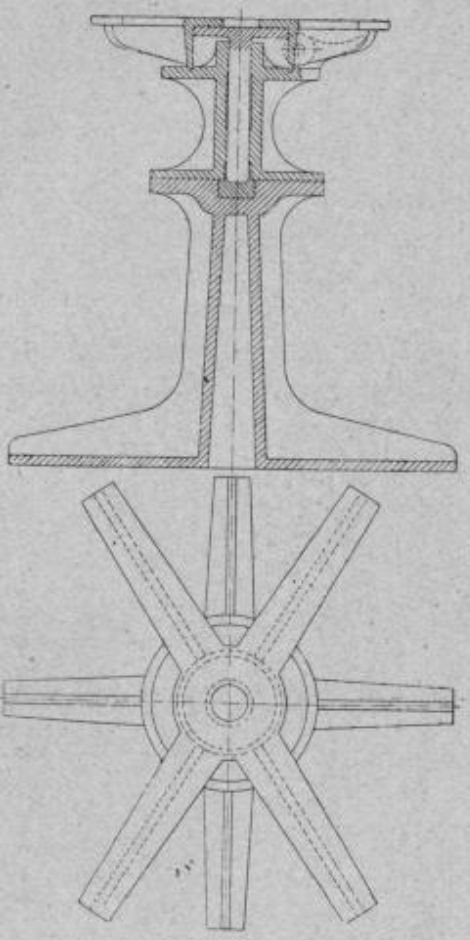


Fig. 513.

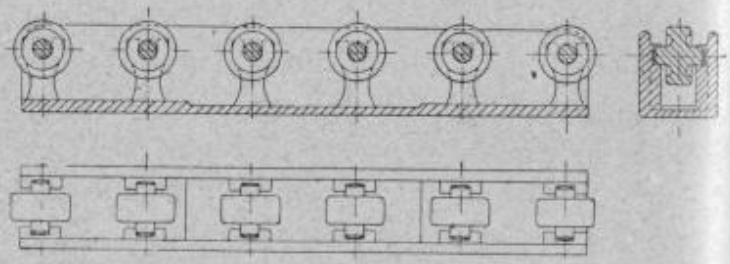


Fig. 514.

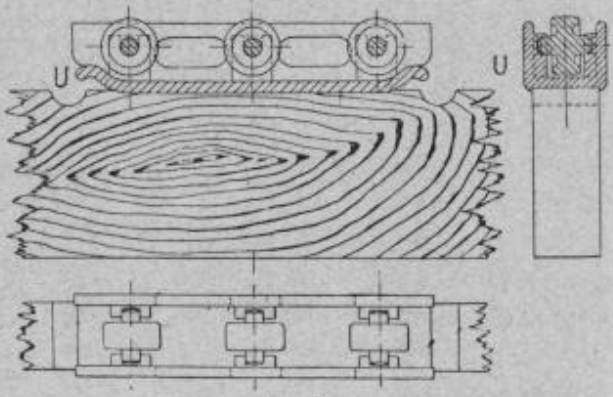
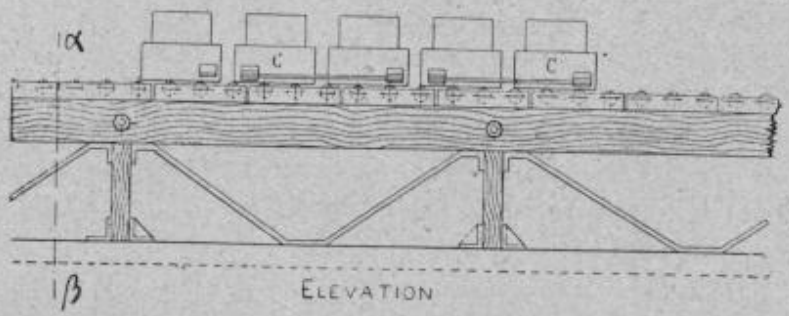
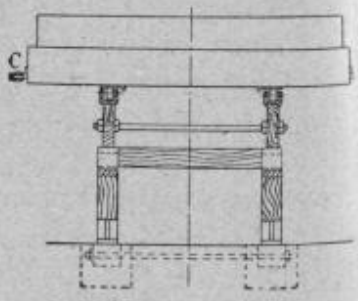


Fig. 515.





Coupe γβ.

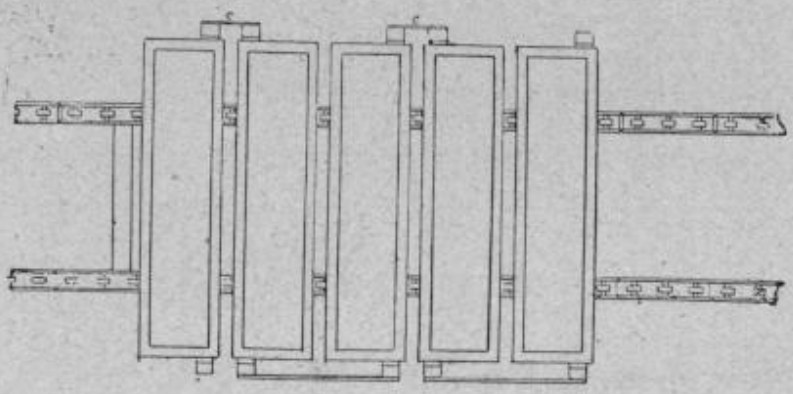


Fig. 516.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Des tampons en caoutchouc T amortissent les chocs que reçoivent les ponts-levis pendant l'extraction des accumulateurs.

La figure 513 représente, en coupe, le piédestal de la plate-forme.

Bancs de charge. — Les bancs, sur lesquels sont trainées les boîtes d'accumulateurs et où ils reçoivent leur charge électrique, sont pourvus de rouleaux dont les supports diffèrent selon leur situation, soit aux points de passage, soit aux points où s'opère la charge électrique.

Les premiers (fig. 514) sont uniformes sur toute leur longueur et jointifs sur les bancs. Les autres supports (fig. 515), en forme de cuvettes U, sont discontinus et séparés, de trois en trois rouleaux, par des rigoles creusées dans les longrines en bois, pour éconduire l'acide sulfurique ruisselant des accumulateurs et qui compromettrait l'isolement.

Pendant la charge, les batteries sont accouplées en série comme le montre la figure 516.

Les tringles mobiles C et *c*, connectant les bornes de l'un et l'autre côté, sont de longueurs différentes, celles de même longueur étant toujours affectées au même côté du banc. Cette précaution a pour but *d'éviter les erreurs de connexions* qui pourraient résulter d'une fausse orientation des bornes de l'une des batteries; ces bornes, qui sont fixées hors d'axe, ne viendraient plus, en ce cas, se placer en regard des pinces terminant les tringles mobiles.

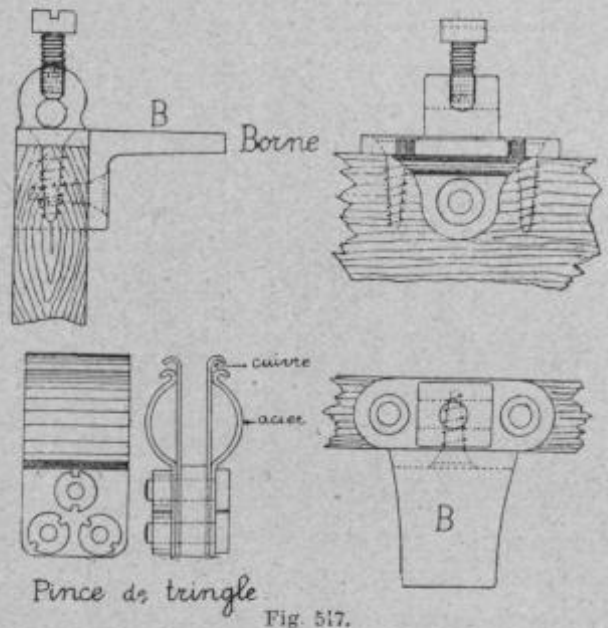


Fig. 517.

Une de ces pinces est détaillée dans la figure 517, en même temps que la borne ou oreille B sur laquelle elle s'adapte et que nous retrouverons dans la figure 518 montrant les tiroirs contenant les batteries.

Accumulateurs. — Ils sont du système Julien à plaques conjuguées d'un élément à l'autre, au nombre de neuf positives et neuf négatives par élément, du poids de 1 kilogramme chacune, mesurant 0m205 de hauteur, 0m175 de largeur, 0m005 d'épaisseur et contenant 33 p. c. de matière active seulement (1).

(1) Ce rapport entre le poids de la matière active et le poids total de la plaque est d'autant plus remarquable qu'il s'agit de plaques à pastilles pleines. Les plaques à pastilles perforées, dans un essai fait à la Haye, n'avaient pas réussi pour la traction. Depuis lors, la société *l'Électrique* en a modifié la fabrication et les emploie avec succès dans certaines applications. (Voir plus loin : *Mines.*)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les récipients sont en ébonite. Les éléments sont rangés par vingt-quatre dans des bacs ou tiroirs en bois (fig. 518).

Le tiroir en bois, lorsqu'il est introduit dans la voiture, glisse et se pose sur deux tasseaux en gaïac T fixés sur le plancher.

Le glissement des cornières C sur les tasseaux est facilité par un graissage quelconque.

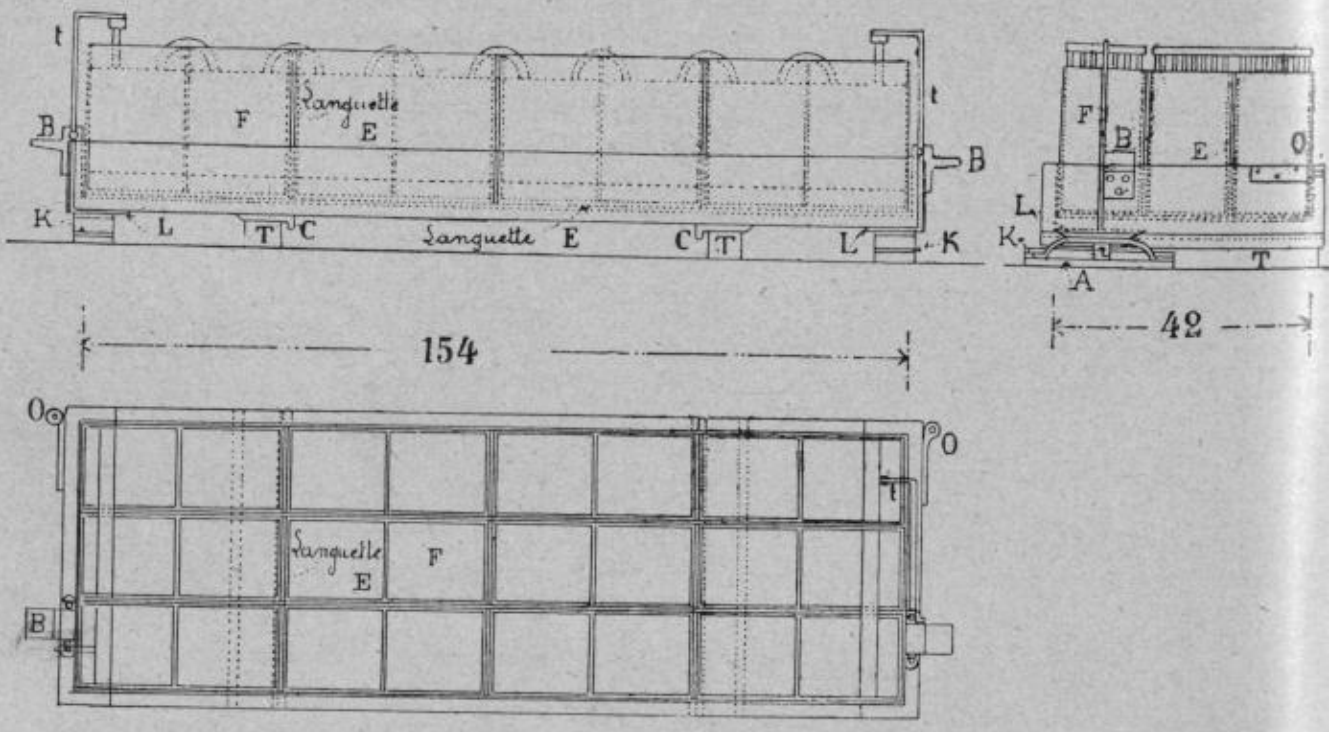


Fig. 518.

Les éléments extrêmes, en diagonales, sont reliés par des tringles *t* à des lames de cuivre rouge L vissées sous le fond du tiroir et destinées à être mises en contact avec d'autres lames K fixées sur des pièces de bois dur A reposant sur le plancher de la voiture. Les lames sont bandées par des ressorts tampons en caoutchouc *r*. Les tringles *t* sont en même temps reliées aux oreilles B en laiton qui servent de bornes, lors de la charge, aux conducteurs externes du courant. (Voir fig. 516 et 517.)

Des languettes E, en bois paraffiné ou en caoutchouc, passant sous les récipients et entre eux complètent l'isolement.

Les œillets O servent à tirer le tiroir au moyen de crochets.

Ainsi disposées, les batteries étant amenées sur les galets des bancs de charge, ont leurs organes de contact de marche entièrement dégagés, visibles et faciles à entretenir. Chacune pèse 500 kilogrammes, y compris les tiroirs. L'accumulateur est formé de 8 batteries logées sous les banquettes de la voiture.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

b. — *Voitures et remises.*

Voitures. — Les voitures motrices, dont la figure 519 donne la vue en élévation, en plan et en coupe, sont portées sur deux bogies conditionnés de telle sorte qu'elles peuvent tourner aisément dans une courbe de 18 mètres de rayon. Elles mesurent 10 mètres de longueur et offrent 54 places.

Le bogie moteur, le moteur, l'appareil régulateur de la marche et les connexions font l'objet d'une description très explicite au chapitre I-A (fig. 11, 12, 13, 141, 142).

Telles qu'elles sont actuellement construites, les nouvelles voitures sont de 2 tonnes plus lourdes que les primitives, qui pesaient 16 tonnes.

Poids des nouvelles voitures.

Caisse, châssis	3,900	kilogrammes.
Bogie moteur	5,500	—
Bogie porteur	1,750	—
Accumulateur	4,000	—
Voyageurs	3,500	—
	18,650	kilogrammes.

Service, charge et débits. — Le service est établi entre le mois de mai et le mois d'octobre, saison de Scheveningen. Actuellement, il y a 16 voitures. Le nombre de celles qu'on met en marche varie considérablement, suivant le nombre des voyageurs :

Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Septembre.	Octobre.
4,000	42,000	91,000	119,000	93,000	7,000

Il est rare que le service exige plus de 12 voitures.

Les départs sont espacés, selon les époques et les jours, de 15 minutes, de 7 $^1/_2$ minutes et exceptionnellement de 5 minutes.

La vitesse en ville, c'est-à-dire sur 2,000 mètres, est de 10 à 12 kilomètres; à l'heure, hors ville, 18 à 20 kilomètres sur 3,000 mètres.

En y comprenant les stationnements, une course aller et retour demande exactement une heure.

On charge les accumulateurs proportionnellement au nombre de courses de la voiture, et en raison inverse de leur usure. Ils demandent environ une heure de charge par course, et font en moyenne cinq courses, non encore épuisés, bien entendu.

L'habitude est de charger à 19 ampères par accumulateur et voltage variable, batteries en série. A la décharge, le débit est extrêmement variable, depuis *o* dans les pentes supérieures à 12 millimètres, jusqu'à 72 ampères en rampe et en courbe, et 90 à 100 dans les démarrages.

Aux endroits où l'accumulateur travaille, son débit le plus courant flotte entre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

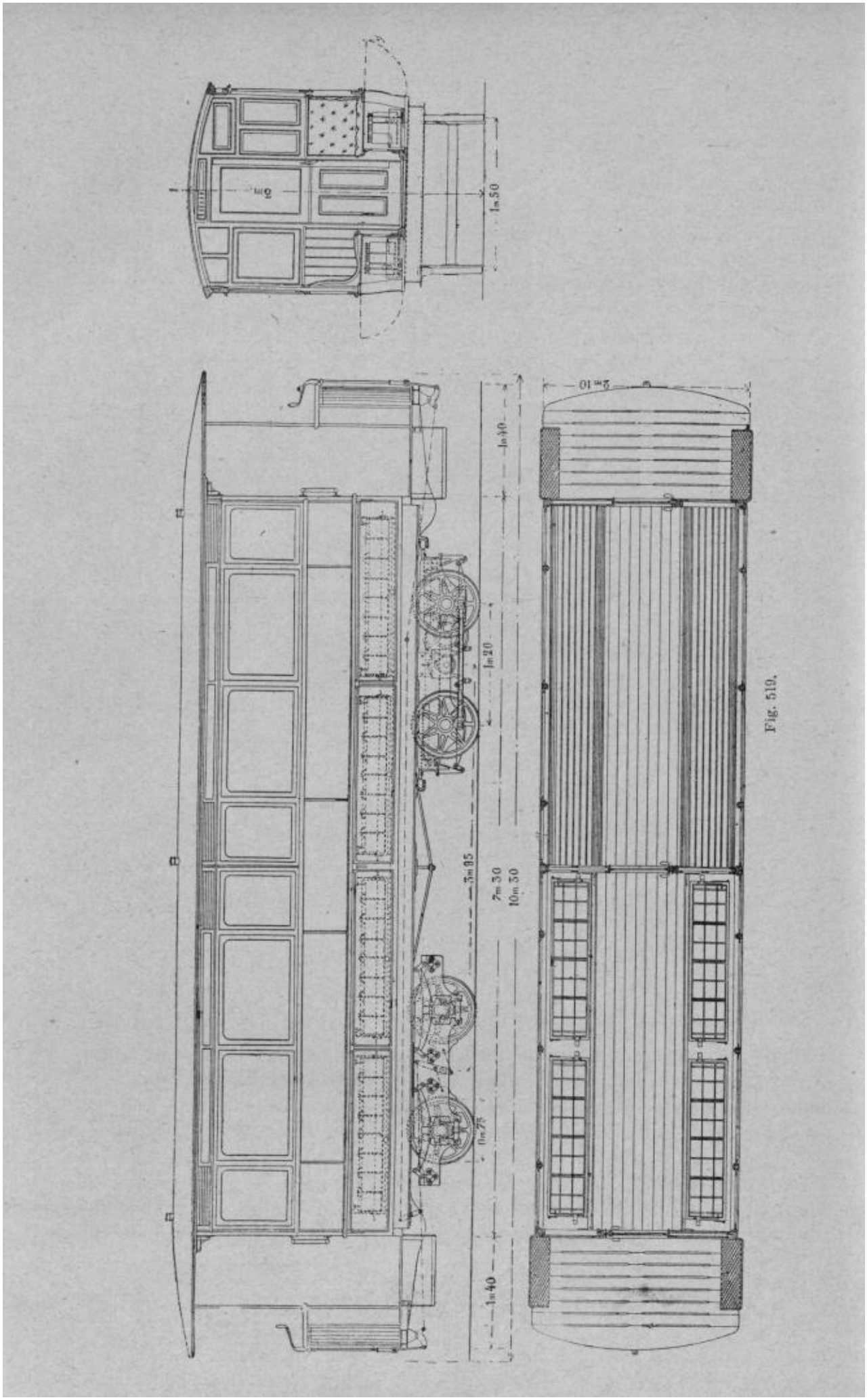


Fig. 519.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

35 et 44 ampères; il reste cependant parfois plus de deux minutes entre 57 et 70.

Toutefois, il y a lieu de tenir compte de la différence d'allure en deçà et au delà du Witte Brugge, par la mise en série des batteries; de sorte que sur les deux cinquièmes du parcours ces débits, rapportés au kilogramme de plaques, à raison de 18 kilogrammes par élément, sont réduits de moitié, ainsi que la vitesse.

Ainsi le débit normal pendant les trois cinquièmes du temps sur les deux cinquièmes du parcours, est compris entre 1 et 1 $^1/_4$ ampère, puis, pendant les deux cinquièmes du temps sur les trois cinquièmes du parcours, entre 1 et 2 $^1/_2$ ampères au kilogramme, mais il atteint souvent 3 ou 4 ampères et même plus pendant de courts instants surtout aux démarrages.

c. — *Coût d'établissement et résultats d'exploitation.*

Coût de premier établissement. — Ayant débuté dans des conditions qui avaient plutôt le caractère d'un essai en grand, l'établissement des installations ainsi que la construction du matériel ont dans la suite subi des modifications importantes.

On peut néanmoins chiffrer approximativement la valeur de l'équipement électrique et mécanique, non compris les fondations.

Machines, chaudières.		68,300 francs.
Dynamos, une de 200 ampères 475 volts . . .	15,500	
— trois de 40 ampères 150 volts . . .	7,300	
		22,800 —
Bancs et appareils de chargement des accumulateurs . .		26,884 —
Gros équipement électrique fixe. . .		117,984 francs.
Par voiture, on compte :		
Caisse, châssis, roues et engrenages.		11,800 francs.
Moteur électrique		5,800 —
Accumulateurs (sans acide)		7,000 —
		24,600 francs.

Restent les appareils accessoires, l'acide et le montage, environ 1,000 francs.

Si la longueur des bancs, pour manipulation des batteries et mise en charge, ne change pas avec le type de voiture, il n'en est pas de même des appareils à plates-formes tournantes qui se simplifient pour voitures à 4 batteries. Il y aurait à rabattre près de 8,000 francs si les 16 voitures étaient à 4 batteries au lieu de 8.

Résultats d'exploitation. — Durée des accumulateurs. — Le point le plus intéressant est le chiffre représentant *le maintien* en bon état des accumulateurs, y compris celui des connexions, des caisses et le renouvellement de l'acide.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A ce poste, la société exploitante avait alloué, depuis 1891, une somme représentant *dix centimes* par voiture-kilomètre. Or, les comptes détaillés tenus ultérieurement ont prouvé que ce chiffre est trop élevé, ce qui étonnera peut-être ceux qui, considérant le poids de 16 à 18 tonnes de ces voitures à bogies et à 54 places, perdraient de vue que la voie publique n'a pas de rampe supérieure à 15 millimètres, et qu'elle est formée de rails à bourrelets, bien plus favorables au roulement que les rails à ornière.

Certaines batteries, à l'exception de quelques plaques défectueuses, avaient à leur actif, en octobre 1894, un parcours de 19,000 kilomètres, et aucune de celles qui n'ont pas péri par suite de malfaçon ou d'accident n'a effectué moins de 15,000 kilomètres, de sorte que la dépense moyenne de renouvellement était de 5.5 centimes après quatre ans sans préjuger, d'une part, la durée du service dont ces batteries sont encore capables, ni, d'autre part, le coût ultérieur de leur remplacement à la mise hors d'usage.

Charge des accumulateurs. — Ces frais, comportant la dépense de combustible et de graissage, le salaire du personnel des chaudières des machines et des dynamos, varient entre 8 et 10 centimes par voiture-kilomètre.

Manipulation des accumulateurs. — Pour le personnel seul par voiture-kilomètre, 2 centimes.

Entretien du matériel roulant. — Caisse, châssis, roues 3.6 centimes en moyenne, moteur mécanisme et accessoires, 2.4 centimes(1), soit donc 6 centimes.

Il s'agit, ne l'oublions pas, d'une exploitation a durée limitée, *mai-octobre*.

M. Van Vloten, qui a étudié de très près le service de cette ligne, a présenté, au Congrès des tramways de 1894, l'évaluation suivante du prix de revient de la traction *dans l'hypothèse d'un service de douze mois*.

« Coût de la traction par accumulateurs. — Ligne de la Haye à Scheveningen : service de « 10 à 12 voitures, faisant ensemble 36,000 kilomètres par mois.

« Ligne peu accidentée possédant des rampes de 10 à 15 millimètres par mètre seulement, « mais beaucoup de courbes ; prix de la tonne de charbon : 19 à 20 francs.

Personnel :	*Par voit.-kilom.* (Centimes.)	
Direction technique	2.05	
Électriciens, mécaniciens, chauffeurs	2.61	
Manutention des accumulateurs	2.00	
Personnel pour l'entretien des trucks	1.40	
Veilleur de nuit, nettoyeur	0.44	
Magasinier, comptable	0.28	
	—	8.78
A reporter	...	8.78

(1) Ce poste est détaillé au chapitre « Puissance et résistance » (§ B-2, p. 155).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

		Par voit.-kilom. (Centimes.)
Consommation : Report. . .	...	8.78
Charbon : 2k350 par voiture-kilomètre, à 19 fr. 80 c	4.65	
Huile, graisse, coton	0.42	
Divers.	0.04	
Entretien et renouvellement du mécanisme des voitures	2.15	
— — des machines et chaudières	0.67 (1)	
— des installations de chargement.	0.10	
— des dynamos et tableau	0.28	
— des accumulateurs.	5.50	
	——	13.81
		22 59

« Les frais peuvent paraître élevés, mais il s'agit de voitures de 14 à 16 tonnes. Dans ces conditions, la voiture-kilomètre n'a plus la même signification que dans les exploitations ordinaires de tramway. Si l'on compare cette traction avec celles à fil aérien, en prenant comme base la tonne-kilomètre, le prix n'est pas beaucoup plus élevé.

« Le coût de traction ci-dessus suppose que l'exploitation fonctionne *toute l'année*. En réalité, elle ne dure que quatre ou cinq mois, après lesquels on est obligé de démonter et de remiser les accumulateurs et les voitures. Cette main-d'œuvre augmente le prix de revient ; ces frais supplémentaires ne sont pas comptés ici. »

5. — Essais de Francfort, en 1891.

a. — *Voiture d'Œrlikon. — Accumulateur Schoop.*

Pendant l'Exposition d'électricité de 1891, un service de voyageurs fut assuré, pendant plusieurs mois, sur une ligne extérieure par une voiture de la Société d'Œrlikon, munie d'accumulateurs *Schoop à liquide immobilisé*. Cette voiture avait, en 1890, exécuté déjà un grand nombre de trajets à Hildbrughausen. L'accumulateur, dont les plaques peuvent être d'un type quelconque et, en réalité, étaient du type E. P. S., se distingue par la nature *gélatineuse* de l'électrolyte.

Cet électrolyte s'obtient par un mélange d'acide sulfurique dilué de densité 1.22, de silicate de soude de densité 1.20, et de fibre d'amiante désagrégée à chaud dans l'eau acidulée.

L'électrolyte gélatineux est destiné à maintenir la matière active contre les supports et, en cas de chute, à l'empêcher de former court circuit entre deux plaques.

Cet avantage semblait permettre un travail plus intense des plaques et, par conséquent, une réduction du poids nécessaire des éléments. Néanmoins, nous y retrouvons une batterie de même poids que celles de Bruxelles, pour une voiture de même capacité, c'est-à-dire 16 places assises et 14 debout, soit 30 places; poids à vide, 7,500 kilogrammes, dont 1,600 kilogrammes pour la batterie et

« (1) Les machines à vapeur d'une construction défectueuse ont été modifiées, des travaux importants ont dû être faits à la transmission. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

750 kilogrammes pour le moteur, lequel actionnait l'essieu par une vis sans fin.

Nous avons fourni (chap. I-B-3) des renseignements concernant les essais auxquels cette voiture (moteur et accumulateur) a été soumise à Francfort. Ajoutons que la résistance interne du liquide gélatineux, bien qu'excédant celle du liquide ordinaire des accumulateurs au plomb, se rapproche de celle de l'électrolyte des accumulateurs au zinc (sulfate de zinc). Dans la batterie essayée à Francfort, elle variait entre 0.046 et 0.111 ohm, selon l'état de la charge électrique. On a donc à tort prétendu que cette résistance était un obstacle pratique à l'emploi de ce type d'accumulateurs (1).

b. — *Voiture de la Société Tudor.*

La Société Tudor, de l'époque, exposait également une voiture munie d'un accumulateur de système mixte : les plaques positives du type *Tudor*, les négatives du type E. P. S.

La plaque Tudor est en plomb pur et striée (fig. 520) de façon à augmenter la surface active. Sa formation est accélérée par le dépôt d'une couche mince d'oxyde de plomb qui tombe tôt ou tard, tandis que le support lui-même s'oxyde par l'usage. Toutefois, normalement, cette oxydation reste superficielle. L'épaisseur de la plaque, qui en assure la solidité et la conductibilité, la garantit aussi contre les déformations dues aux excès de charge ou de décharge. En revanche, son poids la rend peu propre à l'emploi dans la locomotion; c'est pourquoi dans la batterie de la voiture exposée à Francfort se trouvaient des plaques négatives à grillage empâté, genre E. P. S. ou Julien. Cette batterie de 162 éléments pesait 1,800 kilogrammes. La voiture, à deux trucks, était d'une capacité de 40 places et munie d'un moteur à engrenages et chaîne de la maison Siemens et Halske.

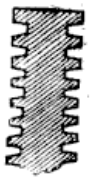


Fig. 520.

Nous retrouvons ce genre d'accumulateur avec certaines modifications dans des installations plus récentes, à Hagen, à Hanovre, à Vienne et à Paris. (Voir les renseignements fournis sous ces noms de villes.)

6. — Liége.

a. — *Accumulateur Tommasi.*

α. — Une société s'était constituée à Liége pour l'exploitation de l'accumulateur Tommasi.

---

(1) Mentionnons à ce propos le liquide sirupeux de l'accumulateur *Lambotte*, de Bruxelles. Cet inventeur immobilise l'électrolyte en y mélangeant à forte dose de l'oxyde de plomb pulvérulent. La résistance interne n'en est presque pas affectée. Les plaques sont du système quadrillé avec matière active adhérente; l'oxyde libre ne prend pas part aux réactions. On peut tenir un élément couché assez longtemps sans en épancher le contenu. Il est question d'essayer cet accumulateur à la traction sur une ligne des environs de Charleroi.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En l'appliquant à la traction, elle était entrée résolument dans la voie d'un allégement très important de la batterie.

La plaque de ce système n'est pas formée d'un simple support métallique et d'oxyde de plomb; elle est composée d'une âme conductrice en plomb antimonieux, en forme de grille, plongeant dans un empâtement de matière active, au sein d'une gaine, primitivement en plomb, plus tard en celluloïde perforée d'une infinité de petits trous (fig. 521).

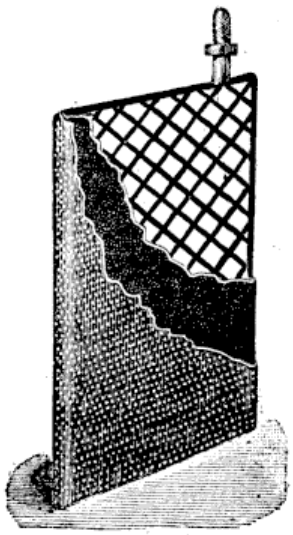


Fig. 521.

β. — Dans le montage de ces plaques, la *Compagnie industrielle d'accumulateurs*, de Liége, les sépare l'une de l'autre par des baguettes en celluloïde collées sur l'enveloppe au moyen d'une solution de même substance. Enfin, les boîtes sont également en celluloïde à parois de 2 ou 3 millimètres d'épaisseur.

La quantité de matière active atteint 70 p. c. Si elle ne peut, en totalité, prendre part aux réactions électrochimiques, elle joue par sa masse un rôle mécanique, grâce à l'élasticité de la gaine, en noyant incessamment toutes les parties internes du support conducteur. Telle est l'idée qui avait dicté ce dispositif.

b. — *Essais sur les lignes des tramways liégeois.*

Description. — La voiture employée aux expériences de Liége était un véhicule de la Compagnie des tramways liégeois transformé à cette fin.

Elle était munie d'un moteur de la Société d'Œrlikon à simple réduction, et portait les accumulateurs sous les banquettes.

Le poids à vide de la voiture sans voyageurs était de 4,500 kilogrammes et 6,500 kilogrammes avec 30 voyageurs. Dans ce chiffre, la batterie, en 8 caisses de 12 éléments (180 volts), entre pour un poids total de 1,000 kilogrammes, y compris celui des caisses en bois. Les plaques pèsent 672 kilogrammes.

C'est à peu près *la moitié* du poids des plaques des batteries employées à Bruxelles et à Hambourg pour des voitures de même contenance, mais un peu plus courte.

En tenant compte du poids des voitures, dans les deux cas, celui de la batterie Tommasi *serait diminué de 40 p. c. et son volume réduit dans une semblable proportion.*

Résultats. — Cet allégement est-il obtenu au détriment de l'effort réalisable, de la quantité d'énergie emmagasinée?

La Compagnie industrielle répond négativement à ces questions dans un document public, en commentant les faits acquis durant ses essais.

Elle relate notamment que la voiture a franchi des rampes de 45 millimètres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par mètre avec des débits de 40 à 70 ampères, lesquels au démarrage sur ces rampes ont atteint 125 à 150 ampères, ce qui correspondait à des régimes de 10 à 20 ampères au kilogramme. Avec les 672 kilogrammes de plaques, la capacité permettait de parcourir 70 kilomètres.

Nous devons à la vérité d'ajouter, qu'après un usage d'une certaine durée, les plaques de ce genre perdent leur activité première, à cause des phénomènes de sulfutation : faute de contact intime avec le support, le sulfate de plomb ne se réduit pas complètement. Les gaines en matière organique ne supportent pas les surcharges électriques nécessaires à la destruction des sulfates ainsi formés. La résistance interne due à ces gaines est notable.

c. — *Accumulateur transformé.*

Élément Bloc. — La Compagnie industrielle a donc étudié un type nouveau de plaques épaisses (8 millimètres) à oxydes adhérents sur âme en plomb, matricée de façon à présenter des saillies en formes de griffes ; la chemise en celluloïde est réduite à deux feuilles perforées de trous nombreux ; des baguettes de même matière y sont soudées verticalement et maintiennent l'espace entre deux plaques. Un ensemble de ces plaques se trouve serré par des boulons inoxydables passés dans des tubes de caoutchouc et forment un « bloc ».

Les essais de ce type à la traction n'ont pas été publics.

On peut se demander jusqu'à quel point, et pourquoi, les résultats fournis par une *surépaisseur* de matière active seraient en contradiction avec ceux qui ont été trouvés lors des essais d'Anvers, Bruxelles et Hambourg (§ 2).

7. — Lyon et Nice.

a. — *Lyon.*

Nous ne parlerons pas des essais de courte durée effectués, pour l'édification de la Société des tramways de Lyon, avant qu'elle adoptât le système du fil aérien.

Voitures Averly. — Mais nous devons décrire succinctement, comme présentant une élégante solution du problème de la traction par accumulateurs *sur voie étroite*, le type de voiture qui faisait le service à l'intérieur de l'Exposition de Lyon en 1894, et construite par la maison *Averly* de cette ville.

Cette voiture ouverte est représentée figure 521*bis*. Les essieux sont articulés à cause de la raideur des courbes. Les accumulateurs sont glissés latéralement sous les banquettes. Ils étaient du type Laurent Cely, fournis par la Société pour le travail électrique des métaux, semblables à ceux des lignes Paris-Saint-Denis. Le moteur de 4 kilowatts était du type Manchester à simple réduction, marchant à 970 tours à 110 volts.

Les accumulateurs étaient retirés latéralement sur des bancs, où ils recevaient une charge qui leur permettait de parcourir environ 120 kilomètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

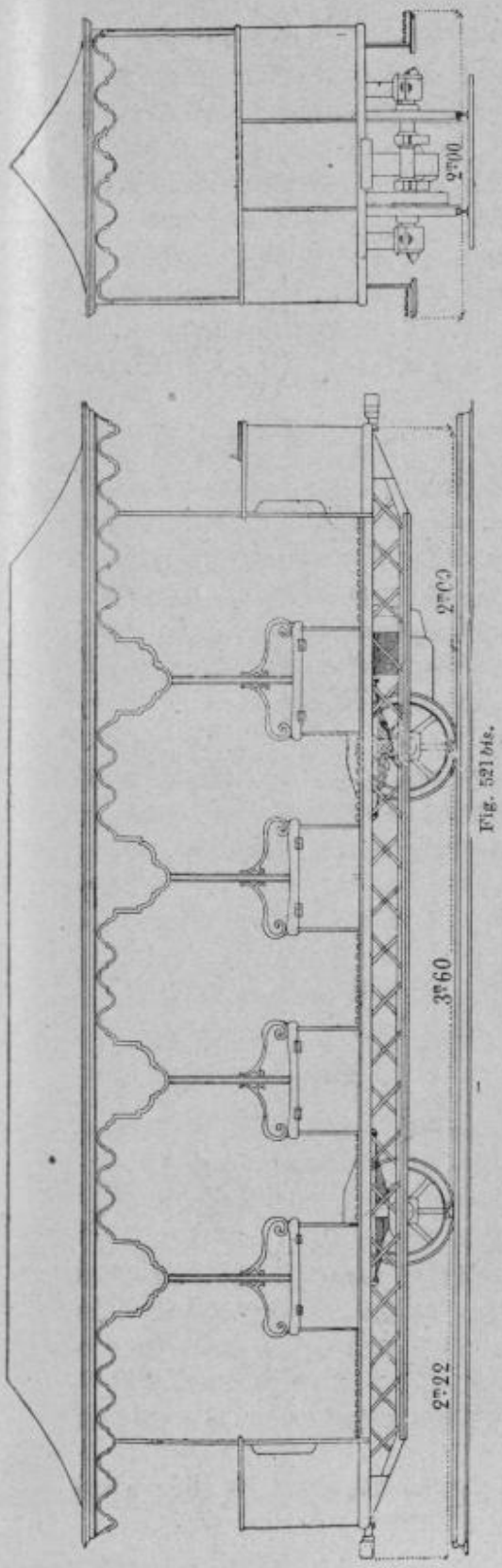


Fig. 521 bis.

Ligne parcourue : longueur, 3,876 mètres ; largeur de la voie, 60 centimètres ; inclinaisons modérées, mais courbes nombreuses de 12 à 15 mètres de rayon.

Poids d'une voiture :

Accumulateur, 54 éléments répartis sous les banquettes en six caisses de 9 éléments. . .	1,600
Caisse, châssis, roues, poids	2,650
Moteur	350
Poids de la voiture sans voyageur. . .	4,600
Voyageurs	2,500
Poids total. . .	7,100

b. — *Nice.*

Nice à Cimiez. — Au moyen de voitures d'un type semblable de la maison Averly, les tramways de Nice, pendant la saison 1894-95, ont organisé à titre d'essai un service de traction par accumulateurs, sur une ligne de 4 kilomètres, de Nice à Cimiez, présentant sur la moitié du parcours des rampes variant entre 40 et 60 millimètres par mètre.

Ultérieurement, il y fut essayé des batteries d'accumulateurs Julien.

8. — Berlin.

a. — *Anciens essais.*

En fait d'essais surannés exécutés à Berlin, on ne mentionne guère que ceux qui furent organisés en décembre 1885, à l'initiative de feu A. Reckensaun.

La voiture à bogies qui pesait 6,000 kilogrammes, y compris les voyageurs, portait 1,250 kilogrammes d'accumulateurs. Elle était mue par deux électro-moteurs pesant 190 kilogrammes seulement, actionnant les essieux par vis sans fin et capables d'une puissance de 4 à 9 chevaux, sous une force électro-motrice de 120 volts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les essais, de courte durée, n'eurent d'autres suites que de brillants rapports de théoriciens.

Reckensaun transporta son champ d'action ailleurs. Nous avons eu déjà et aurons encore l'occasion de citer ses intéressantes expériences.

b. — *Essai sur le tramway Berlin-Charlottenbourg.*

Accumulateur Schäfer et Heinemann. — En mars 1896, il a été mis en service sur la ligne du tramway de Berlin-Charlottenbourg une nouvelle voiture chargée d'accumulateurs du système *Schäfer et Heinemann*, de la « Neue Berliner Electricitätswerke & Accumulatorenfabrik Aktien Gesellschaft ». La ligne, de 2,550 mètres de long, n'est accidentée que sur la rampe du Spandauerberg, de 36 millimètres par mètre en courbe de 550 mètres.

La batterie se compose de 124 éléments au plomb qui sont placés sous les banquettes. La charge s'opère sur la voiture même.

Un élément complet pèse 26 à 27 kilogramme. Il se compose de 5 lames positives et 5 (et non 6 comme d'habitude) lames négatives de 350 millimètres de hauteur, 200 millimètres de largeur et 3 à 4 millimètres d'épaisseur. La surface active de chaque électrode composée de 5 lames est donc de $(5 \times 2 - 1) \times 7 = 63$ décimètres carrés.

Une lame pèse environ 1.8 kilogramme et contient autant de métal massif que d'oxyde de plomb (plomb spongieux). Ce sont des lames striées à stries horizontales alternantes sur les deux faces et renforcées par des nervures verticales. Chaque vase contient 6 à 7 kilogrammes d'acide sulfurique dilué à 26° Baumé.

Le vase en celluloïde, d'une épaisseur de 1 ½ millimètre et fermé par une plaque en celluloïde, est protégé par une boîte en bois.

On charge à 52 ampères pour 5 à 6 heures jusqu'à 2.5 volts.

Voici des résultats de décharges prolongées jusqu'à 1.8 volt :

Intensité en ampères	17.5,	35.0,	52.0,	70.0
Capacité en ampères-heures	420,	332,	280,	210
Rendement en ampères-heures	98.6 p. c.		95 p. c.	
Densité du courant par décimètre carré en ampères	0.28,	0.55,	0.82,	1.11
Capacité par kilogramme d'un élément	16.0,	12.6,	10.6,	8.0

La voiture pèse à vide 9.7 tonnes et sous charge 11.87 tonnes, dont 3.4 tonnes pour le châssis y compris le moteur, les régulateurs, 3.0 tonnes pour la caisse de la voiture, 3.3 tonnes pour les accumulateurs au plomb et 2.7 tonnes pour le poids des 31 personnes, dont 20 assises.

Moteur bipolaire 15 H. P. à engrenages, simple réduction (4 : 1), excitation série, 250 volts.

Le débit moyen est de 17 ampères avec des maxima de 35 et de 50. Le parcours est d'environ 110 kilomètres par charge électrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

9. — Hagen (Westphalie) et Vienne.

Des essais très sérieux ont été simultanément organisés à Hagen, en Westphalie, et à Vienne, par la société qui fabrique l'accumulateur Tudor, *Accumulatorenfabrik*, de Hagen.

D'abord ils ont porté sur l'emploi de l'élément à oxyde de cuivre et solution potassique d'oxyde de zinc.

Ensuite on y est revenu à l'accumulateur au plomb, à charge rapide, qui depuis est appliqué également à Paris, à Hanovre et à Dresde.

a. — *Accumulateur à oxyde de cuivre.*

Élément Commelin, Demazures, Baillache. — L'accumulateur au peroxyde de cuivre employé à titre d'essai, depuis le 7 janvier 1895, jusqu'aux derniers mois de la même année, sur l'une des lignes des tramways de la ville de Hagen, avait été importé des États-Unis en Europe, sous le nom de *Waddel-Entz*, par *M. Müller*, qui dirige l'importante fabrique d'accumulateurs Tudor dans la même ville.

L'accumulateur Waddel-Entz n'est pourtant pas, en principe, une invention américaine, mais bien française.

Cette pile secondaire, dénommée aussi *Alkaline accumulator* aux États-Unis, est connue en Europe sous le nom de système *Commelin, Demazures, Baillache*. On sait que ce dernier élément est le secondaire de la pile primaire *Lalande-Chaperon*, où l'oxyde de cuivre sert de dépolarisant, l'électrode négative étant du zinc qui s'oxyde et se dissout dans la potasse ou la soude caustique. En faisant passer un courant en sens inverse de celui que fournit cette pile, on la régénère, c'est-à-dire que le zinc se dépose et le bioxyde de cuivre, ou du moins un composé d'oxydes, se reforme en accumulant l'énergie électrique.

Dans l'élément Commelin-Demazure, les plaques positives sont formées de cuivre pulvérulent obtenu de battitures réduites, puis comprimé sous haute pression à l'intérieur d'un cadre en cuivre. Elles sont enveloppées de parchemin végétal qui s'oppose plus ou moins à leur désagrégation. Les négatives sont des toiles métalliques de fer étamées, puis amalgamées qui se recouvrent de petits cristaux de zinc pendant la charge. L'électrolyte est une solution à 30 p. c. de potasse ou de soude caustique. Le récipient est en fer étamé et relié à l'électrode négative. Le liquide est soustrait à l'absorption de l'acide carbonique de l'air au moyen d'une couche d'huile minérale.

Nous retrouverons cet élément primitif dans la « navigation électrique » à propos du torpilleur français « le Gymnote ». Mais, à notre connaissance, il n'avait pas été, sous cette forme, appliqué en Europe à une exploitation de tramway avant de l'être aux États-Unis.

Élément Waddel-Entz. — MM. Waddel, Entz et Phillips, en le modifiant, ont cherché à éviter certains défauts du dispositif précédent : détérioration de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

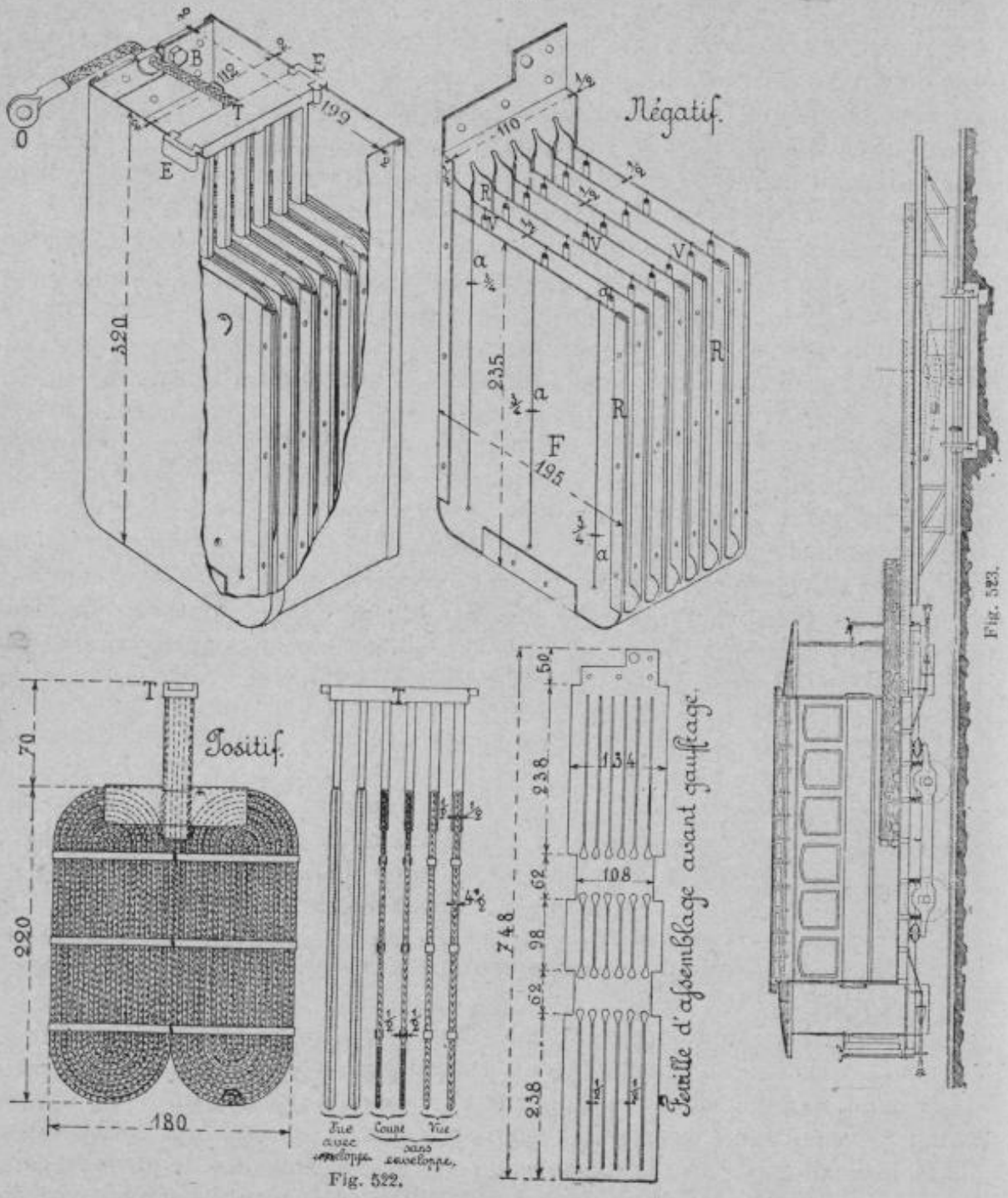


Fig. 522.

Fig. 523.

chemise de parchemin, désagrégation de la plaque positive, manipulation assez délicate de ces dernières, imperceptibles courts circuits occasionnant le déchargement à circuit ouvert.

L'électrode positive (fig. 522) est faite au moyen d'un câble en cuivre ainsi obtenu : Autour d'un fil de cuivre central d'un diamètre de 1 $^1/_2$ millimètre, se fait un premier guipage non serré de fils de cuivre très fins destinés à retenir un composé pâteux d'oxyde et de sulfure de cuivre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chauffé au rouge, ce mélange, par suite de la réaction du soufre sur l'oxygène, donne du cuivre poreux. Puis la même opération est réitérée, tresse de fils de cuivre, empâtement d'oxysulfure, réaction à chaud et passage dans une flamme réductrice. On obtient ainsi un câble de 4 $^1/_2$ millimètres. En repliant sur eux-mêmes quatre bouts de ce câble, on en fait une sorte de natte maintenue plane au moyen de trois bandelettes de cuivre de 5 millimètres sur $^1/_2$ d'épaisseur, et d'une chape en tôle de même épaisseur, à travers laquelle passent les quatre bouts de câble qui vont se souder à la traverse T réunissant les six plaques positives. Une chemise de coton est cousue sur chaque plaque. Un peu large, lors de la confection, elle se contracte sous l'action de l'alcali. L'électrode négative est formée de 7 feuilles de tôle d'acier F de $^1/_2$ millimètre d'épaisseur, assemblées dans les rainures R que forment les replis multiples d'une même feuille d'acier, dont on voit, sur la figure, le développement après matriçage et avant gaufrage. C'est aux feuilles négatives que sont attachés par des fils de fer *a* les tubes de verre V qui maintiennent l'écartement, entre plaques de noms contraires (1).

Dans le montage, le négatif repose sur le fond du récipient en tôle, tandis que le positif est suspendu aux parois du même récipient par sa traverse T dont les extrémités en queue d'aronde se logent dans les blocs en ébonite E. De cette traverse, part un cordon souple qui passe également dans un anneau isolant et se termine à l'œillet de connexion O. L'œillet de l'élément voisin est mis en connexion au moyen du boulon B.

Le poids d'un élément se décompose comme suit :

Six plaques positives.	4.80 kilogrammes.
Sept plaques négatives et assemblage.	1.80 —
Boîte	1.00 —
Électrolyte.	6,25 —
Total. . .	13.85 kilogrammes.

L'eau seule de l'électrolyte s'évaporant, est de temps à autre remplacée en petite quantité.

Une couche d'huile minérale empêche la carbonatation de l'alcali.

Pendant la charge, on entretient sous les batteries une température de 50°, utile à la circulation de l'électrolyte, et partant à une meilleure répartition du dépôt de zinc. Ce chauffage s'opère au moyen d'un serpentin en fer à circulation d'eau.

La charge effectuée au régime de 5 ampères par kilogramme de plaques, commence à la tension de 0.92 volt par élément et doit être considérée comme complète à 1 volt. Le régime de décharge en ampères peut être aussi élevé qu'on veut, sans nuire à la conservation de l'accumulateur, mais en affectant naturellement le rendement.

(1) A New-York, au lieu d'une chemise enveloppant toute la plaque, on guipait un tissu de coton sur le câble même, avant de le contourner en natte pour former la plaque. Les plaques négatives en tôle étaient perforées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La décharge s'opère à une tension qui varie avec le nombre d'éléments et le débit demandé, circonstances avec lesquelles varie la résistance interne : ainsi au débit de 8 ampères au kilogramme de plaques, une batterie de 88 éléments fonctionne à une tension moyenne de 66 volts, 71 au début de la décharge, 62 à la fin.

Tel est l'accumulateur Waddel-Entz.

Essais à Hagen. — Disons, en quelques mots, dans quelles conditions il fut essayé par la fabrique de Hagen, sur les lignes de la Compagnie des tramways de cette ville.

Ligne. — La ligne mise à sa disposition était celle de Hagen-Marché-Kueckelhausen, mesurant en longueur 3,250 mètres.

Rampe maxima	33 millimètres par mètre sur 150 mètres.
Rayon de courbure minimum	16 —

Voitures. — Il y avait trois voitures en service. Elles sont d'ailleurs employées à présent à d'autres essais. Il est à noter qu'ayant été équipées successivement, à titre expérimental, par la fabrique d'accumulateurs, elles sont de types distincts et munies chacune d'un seul moteur. Voici la répartition du poids, avec l'accumulateur au cuivre :

Caisse, châssis, roues, frein, accessoires	4,170 kilogrammes.
Moteur.	830 —
Accumulateur, bacs de batteries, connexions . . .	1,500 —
	6,500 kilogrammes.

La modération de la marche s'obtient au moyen d'un régulateur approprié à la subdivision de l'accumulateur en quatre séries, et à l'excitation séparée prise sur une portion des batteries. Nous l'avons décrit en détail dans le chapitre I-A-2 (p. 131).

Batteries. — L'accumulateur, formé de 88 éléments, était divisé en deux groupes partagés à leur tour en deux séries. Chaque groupe de 44 éléments était logé dans un long bac, ou tiroir, pesant 132 kilogrammes et mesurant $3^m00 \times 0^m50 \times 0^m30$. Dans chaque groupe, 6 éléments, soit 12 en tout, fournissent le courant au circuit inducteur.

Ces tiroirs étaient glissés sous les banquettes des voitures, où ils étaient introduits longitudinalement par des portières pratiquées dans les parois extrêmes et dans les garde-corps. Cette manœuvre s'opère, comme l'indique la figure 523, au moyen d'une chaîne Gall mue par manivelle et tirant sur un crochet mobile cramponné au tiroir. La manœuvre continuait ensuite pour pousser le tiroir sur la table de charge chauffée par des tuyaux à 50°. La charge durait 7 heures ; sa durée était donc supérieure à celle du service équivalant à une charge, qui était de 6 heures, en y comprenant les stationnements et les arrêts, correspondant à $3\,^1/_2$ ou 4 heures de parcours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exploitation. — La vitesse maxima autorisée est 15 kilomètres à l'heure, la moyenne réalisée, 12 kilomètres.

Les voitures changeaient de batteries après avoir parcouru 40 kilomètres; elles en faisaient 100 par jour.

Après une durée de neuf mois, ces essais, faits sous les yeux de l'inventeur, révélèrent les côtés faibles de l'accumulateur Waddel-Entz. Soit que des décharges spontanées résultant de courts circuits intérieurs réduisissent le rendement bien au-dessous de celui que donnait l'accumulateur sortant de fabrication, soit que les chemises des plaques se détériorassent rapidement, soit que l'oxyde ne se maintînt pas suffisamment sur les supports, on dut reconnaître que ce système ne donnait pas les résultats qu'on en attendait au point de vue du rendement, de la durée des électrodes et de l'entretien.

Essais à Vienne. — Les constatations faites à Hagen furent confirmées par des essais simultanément organisés à Vienne, sous la surveillance d'une commission officielle.

La voie choisie a 5,840 mètres de longueur à double voie, où la plus forte déclivité est de 36 millimètres par mètre. Les deux voitures, à 32 places, étaient chargées de 136 éléments Waddel-Entz, comme à Hagen, lesquels étaient d'ailleurs soumis au même régime. L'excitation absorbait l'énergie fournie par 8 de ces éléments.

Poids des voitures, caisse, châssis, roues	4,700	kilogrammes
Moteur et régulateur	800	—
Accumulateur.	1,800	—
Voyageurs et personnel (32 personnes)	1,920	—
	9,220	kilogrammes.

b. — *Accumulateur au plomb à charge rapide.*

Dans les deux exploitations de Hagen et de Vienne, l'accumulateur Waddel-Entz a été remplacé par un accumulateur Tudor d'un type spécial à plaques striées résistant à des régimes de charge et de décharge violents, mais présentant une capacité restreinte.

Nous avons indiqué plus haut (voir Francfort, 1891) la caractéristique de l'accumulateur Tudor, plaque positive épaisse en plomb, oxydée très superficiellement.

Ici l'on emploie rationnellement ces plaques solides en ne leur demandant qu'un emmagasinage d'énergie limité aux besoins d'un ou deux trajets, quitte à recharger rapidement la batterie. Les plaques négatives, de capacité ordinaire, ne reçoivent qu'un complément de charge. (Voir Paris, § 1-*c*.)

Hagen. — L'installation des voitures de Hagen a subi des remaniements, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les moteurs, au lieu d'être excités par une petite batterie indépendante, fonctionneront en série, sous une tension de 250 volts.

Vienne. — A Vienne, l'accumulateur Tudor pèse 1,900 kilogrammes, dont 1,200 kilogrammes de plaques.

Les plaques positives mesurent 260 sur 200 millimètres et sont du type « Tudor » à formation naturelle, sans oxyde; ces plaques sont à très grandes surfaces.

La batterie fonctionne sous 100 volts; il y a de plus quatre éléments qui servent uniquement à l'excitation du moteur qui est bobiné en dérivation; ces quatre éléments fournissent 25 ampères; la batterie fournit un courant très variable, vu le profil accidenté de la voie.

Le moteur, d'une puissance nominale de quinze chevaux, peut aller sans inconvénient jusqu'à 25.

La charge s'effectue après chaque voyage aller et retour, 11 $^1/_2$ kilomètres, et ne dure qu'un *quart d'heure* environ sous un courant de *deux cents ampères.*

Comme on ne dispose pas d'une f. e. m. suffisamment élevée, on charge à Vienne les batteries en deux moitiés.

La batterie de chaque voiture est chargée et déchargée environ quinze à vingt fois par jour.

10. — Hanovre, Dresde. — Accumulateur et fil aérien.

a. — *Hanovre.*

Définition du système. — Le mode spécial d'emploi simultané de l'accumulateur et du fil aérien en cours d'essai depuis 1895 à Hanovre, est l'application d'un système étudié par M. Tudor et M. Muller, directeur de l'Accumulatorenfabrik de Hagen i. W., relativement à une combinaison d'accumulateurs établis sur des voitures alimentées par moment par un fil aérien, au moyen du trolley. La batterie se charge, en même temps que l'énergie électrique est fournie aux moteurs; la voiture ne rentre donc jamais à l'usine pour être rechargée, si ce n'est le soir, lorsque le service est fini, pour recevoir une recharge complète.

Accumulateur. — Il n'est pas nécessaire que l'élément choisi présente une grande capacité; mais il doit subir des régimes de charge et de décharge incalculables. La résistance des plaques est donc la qualité essentielle à en exiger.

On emploie à Hanovre l'accumulateur Tudor, décrit plus haut à propos des essais de Francfort, de Hagen (i. W.) et de Vienne (§ 5 et 9).

Ligne. — La longueur totale de la ligne exploitée à Hanovre est de 7.4 kilomètres. Le fil aérien est établi sur une longueur de 3.4 kilomètres, et la voiture fonctionne donc avec accumulateurs seuls sur une ligne de 4 kilomètres de longueur. Toute la ligne est en palier, mais il existe plusieurs fortes courbes d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rayon de 8 à 10 mètres. Le réseau en construction comprendra 21 kilomètres alimentés par fil aérien et 17.7 kilomètres par accumulateur seul.

Voitures. — Chaque voiture porte un moteur en série fonctionnant sous une force électro-motrice de 400 à 500 volts et capable de développer 15 chevaux. Le poids d'une voiture avec accessoires, mais sans les accumulateurs ni les voyageurs, est de 6 tonnes.

Batteries. — La batterie pèse 2 $^1/_2$ tonnes et se compose de 208 éléments. Les plaques positives et négatives mesurent $^{260}/_{200}$. Le poids des plaques par élément est de 7 $^1/_2$ kilogrammes environ ; la capacité de chaque élément est de 20 A. H. lorsque la décharge dure une heure; le courant de charge peut atteindre 75 ampères et celui de décharge peut monter sans inconvénient à 100 ampères par moments; la vitesse des voitures est de 10 à 15 kilomètres. La capacité des nouveaux éléments sera de 25 A. H. Une batterie coûte 6,250 francs.

Fonctionnement. — Au démarrage, le moteur absorbe 20 à 30 ampères, suivant qu'il y a ou non une voiture remorquée ; en marche normale, le moteur ne prend guère qu'un courant de 5 à 6 ampères; d'après les chiffres qui ont été relevés, il faut compter pratiquement que la variation du courant s'étend de 0 à 50 ampères. Le rendement pratique est de 70 p. c.

Résultats. — Les résultats sont satisfaisants. On trouvera, concernant l'exploitation des tramways de Hanovre, des renseignements plus explicites à propos de la traction par fil aérien (chap. IV-C-2, p. 401). Pour l'entretien des batteries et le renouvellement des plaques, on n'y a dépensé, en 1896, que 1.64 centime par voiture-kilomètre de parcours en décharge.

b. — *Dresde.*

Le même système mixte a été plus récemment adopté à Dresde, sur une ligne de la « Dresdener Strassenbahn Gesellschaft ».

Sur 7.8 kilomètres, 5.9 sont appareillés à fil aérien, et le reste, soit 1.9 kilomètre, parcourus au moyen d'accumulateurs seuls. Il y a 15 automotrices, à deux moteurs, équipées de la sorte. Les batteries comportent 200 éléments d'une capacité de 40 ampères-heures.

11. — États-Unis.

a. — *Coup d'œil sur l'ensemble des essais.*

Premier car à accumulateurs. — En 1886, un car à *storage battery* fut introduit par feu *Edmond Julien* à New-York, sur les rails de la Fourth Avenue et de la Madison Avenue, mais c'est un peu plus tard qu'une exploitation sérieuse fut organisée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tentatives diverses d'exploitation. — D'accord avec les autres auteurs américains, MM. Crosby et Bell écrivaient en 1892 :

« Durant les trois dernières années, des essais sur échelle commerciale ont « été entrepris sous les auspices de la Compagnie Julien, qui pendant un temps « considérable eut en service 10 ou 12 voitures dans la 4e Avenue, ainsi qu'à « Philadelphie, à New-Orleans, à Washington et ailleurs.

« A présent, à New-York les voitures sont hors d'usage, à Philadelphie et à « New-Orleans elles ont été abandonnées ; celles de Washington passent par « une étape expérimentale de services, et les seules lignes actuellement exploi- « tées par accumulateur aux États-Unis sont au nombre de deux : l'une « employant deux cars à Milford, Massachusetts, l'autre tractionnant neuf cars à « Dubuque, Ia. Il y a, en outre, nombre de cars à l'essai, de toute espèce de « systèmes, mais non en service régulier. »

Depuis 1892, il a surgi d'autres séries d'essais plus ou moins suivis.

Il est utile de retracer succinctement, en remontant à l'origine, les caractères propres aux expériences et aux essais notoires d'exploitation entrepris aux États-Unis, au moyen des principaux types d'accumulateurs.

b. — *Accumulateur Julien, à New-York.*

Batteries. — Après une certaine période de parcours préliminaires remontant, comme il vient d'être dit, à 1886, un service régulier fonctionna, depuis 1888 jusque 1892, dans Madison avenue. Dix cars furent équipés par la Compagnie de l'accumulateur Julien ; ils pesaient chacun 6.5 tonnes, dont 2.5 pour la batterie complète.

Chargement. — L'appareil de chargement des batteries était une sorte de monte-charge (1) représenté figure 524.

Résultats. — On n'a pas publié de résultats d'exploitation. Dans le principe, les écoles portèrent autant sur les moteurs que sur les accumulateurs.

Une évaluation de M. F.-L. Pope portait à 35 centimes le coût de la production de la force motrice nécessaire par car-kilomètre, indépendamment de l'entretien, alors que la transmission directe n'en exigeait que 16 centimes.

c. — *Chloride accumulator à Philadelphie et à Dubuque.*

Philadelphie. — Le tramway de la *Lehigh Avenue*, à Philadelphie, fut spécialement construit, en 1890, pour être exploité au moyen de voitures munies d'accumulateurs électriques. Cette ligne, de 5 kilomètres de longueur environ, présentait de fréquentes rampes de 5 p. c. et des courbes raides.

---

(1) Crosby et Bell, *The Electric Railway.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Six voitures, dont quatre en service quotidien munies d'accumulateurs *Laurent-Cely*, y circulèrent de mai 1890 à janvier 1891.

Batteries. — Les éléments pesant chacun 15 kilogrammes contenaient 10.5 kilogrammes de plaques, dont 6 kilogrammes de matière active dans 4.5 kilogrammes de grillage. Elles mesuraient 0.15×0.14. Capacité, 20 ampères-heures au kilogramme.

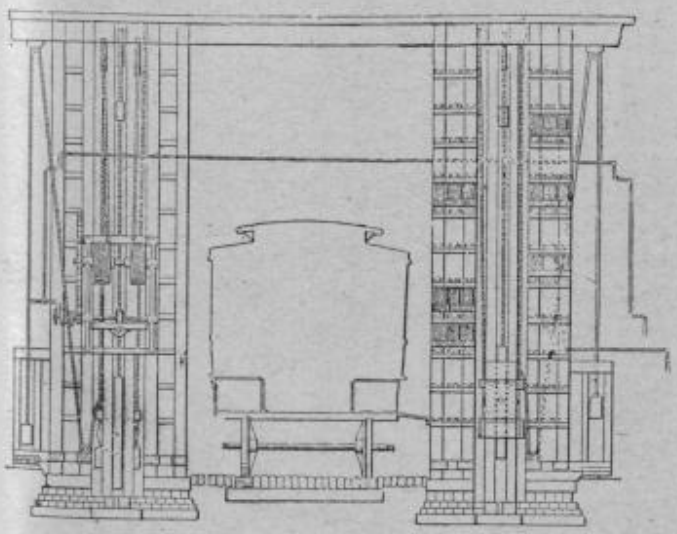


Fig. 524.

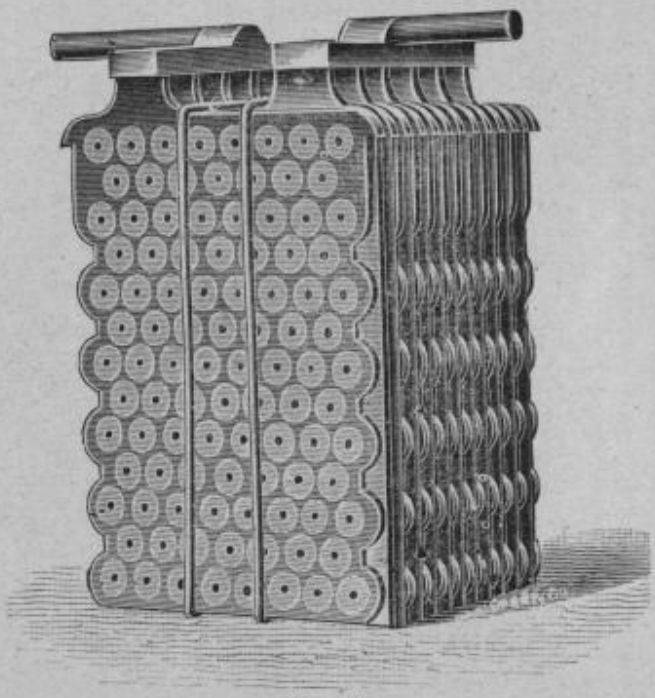


Fig. 525.

Ainsi que nous l'avons dit à propos de Birmingham, ce type de batterie secondaire (fig. 525) porte aux États-Unis le nom de *chloride accumulator*, emprunté à l'état de chlorure par lequel passe le plomb, avant d'entrer sous celui d'oxyde dans les pastilles, ainsi qu'on l'a vu au paragraphe concernant les tramways de Paris (§ 1).

Voitures. — Les voitures étaient de deux grandeurs différentes et présentaient les poids suivants :

PARTIES.	Petites voitures.	Grandes voitures.
Caisse, châssis, roues	2,500 kilogrammes.	3,620 kilogrammes.
Moteurs et transmissions	980 —	1,140 —
Accumulateur	1,770 —	2,450 —
Voyageurs	2,230 —	3,600 —
Totaux.	7,480 kilogrammes.	10,810 kilogrammes.
Nombre d'éléments des batteries.	84	116

M. Reckensaun, qui avait étudié ces voitures, y employait la transmission par *vis sans fin*. (Voir I-A, p. 58.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Résultats. — Nous n'avons guère trouvé de données sur les résultats commerciaux de cette exploitation, qui fut suspendue le 19 janvier 1891. Il fut transporté 336,454 voyageurs, en 8 $^1/_2$ mois, par quatre cars en service; parfois les voitures portaient jusqu'à 100 voyageurs; cette circonstance et le profil tourmenté de la ligne furent désastreux pour les accumulateurs.

Dubuque. — A Dubuque, « The Accumulator Company », de Philadelphie, entreprit un essai sur 6 voitures munies d'accumulateurs de 80 éléments pesant 1,500 kilogrammes, y compris les tiroirs, astreintes à un service relativement intense, étant mues chacune par deux moteurs de 15 chevaux et marchant à une vitesse moyenne de 16 kilomètres à l'heure.

Chargement. — Une originalité de l'installation de cette petite ville, c'est que le chargement des batteries dans la voiture s'opérait dans le sens *longitudinal*, après ouverture du panneau d'about sous le niveau des banquettes et de la portion correspondante du garde-corps. L'accumulateur était composé de deux batteries de 40 éléments portés dans des tiroirs de 3 mètres de longueur. La table sur laquelle on tirait les batteries épuisées portait aussi les batteries fraîches; après retrait des premières, par un déplacement latéral suffisant de la table, on amenait les secondes dans l'axe de leur logement sous les banquettes, et l'espace entre ce logement et la table était franchi de chaque côté de la voiture sur un petit pont mobile muni de rails. Ces opérations duraient 2 $^1/_2$ minutes. Les mouvements s'exécutaient moyennant des roues dentées mues par manivelles et engrenant avec des crémaillères fixées sous les tiroirs, lesquels glissaient sur des rails. On les transférait de même de la table de chargement à la plate-forme, où elles recevaient leur charge électrique. La table, montée sur quatre roues et mesurant 3 mètres sur 3^{m}60, se déplaçait sur des rails longeant la plate-forme de charge perpendiculairement aux voies fréquentées par les cars moteurs.

Résultats. — L'exploitation, qui dura de mai 1891 à janvier 1892, après avoir paru un moment un succès, se termina en *failure* par suite de la détérioration extra rapide des plaques positives. L'accumulateur était beaucoup trop léger pour le service requis. La fabrication du *chloride accumulator* pour traction a, du reste, beaucoup progressé depuis lors.

D'après l'*Electrical World* du 23 janvier 1892, les chiffres suivants avaient été recueillis pendant les sept premiers mois d'exploitation concernant les dépenses de traction :

Production du courant, comprenant : salaires, charbon, graissage, balais de dynamo, réparation, éclairage	5.63 centimes.
Accumulateur : renouvellement des plaques, des matières, des récipients. .	10.97 —
Maniement des batteries, nettoyeurs et électriciens.	5.56 —
Entretien des moteurs électriques et accessoires.	0.42 —
Total par voiture-kilomètre. . .	22.57 centimes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d. — *Accumulateur au cuivre à Philadelphie et à New-York.*

Débuts à Philadelphie. — Ce fut d'abord à Philadelphie, dans la Lehigh Avenue également, qu'eurent lieu les premiers essais d'application à la traction de l'accumulateur au cuivre de *MM. Waddel, Entz et Philipps*, dont il est longuement parlé ci-dessus à propos des tramways de Hagen en Westphalie et de Vienne (§ 9).

L'essai du premier car muni de ce type d'accumulateurs eut lieu en mai 1891, à Philadelphie, dans Lehigh Avenue.

New-York. — Une exploitation régulière fut organisée à New-York en 1892 et débuta en mai 1893 dans la seconde avenue, entre les rues n^{os} 92 et 129.

Voitures et batteries. — L'équipement électrique fixe et mobile était entièrement du type Waddel-Entz, comme les accumulateurs. C'est-à-dire que les dynamos, de même que les électro-moteurs, présentaient cette particularité d'être constitués par un anneau Gramme, enveloppant le *massif inducteur calé sur l'essieu.*

Chaque voiture, munie de deux moteurs de 20 chevaux chacun, portait 144 éléments et pesait 7 tonnes sans voyageurs.

L'accumulateur ne différait pas essentiellement de celui qui fut ultérieurement fabriqué à Hagen (§ 9). Chaque élément pesait 14 kilogrammes.

Chargement. — La manipulation présentait une particularité qui reparaîtra peut-être en Europe si d'importantes installations s'y créent: les tiroirs retirés des voitures, au lieu d'être poussés sur les tables de charge, étaient enlevés par les chaînes d'une grue sur pont roulant et portés sur l'établi chauffé par les serpentins en fer.

Résultats. — Les frais d'exploitation par voiture-kilomètre y ont été chiffrés directement à l'époque où *six* voitures étaient en service. Toutefois, l'on prétendait que si la Compagnie de la Seconde Avenue n'avait pas, à cette époque, traversé une crise financière étrangère à la question qui nous occupe, le nombre de voitures eût été porté de 6 à 18, capacité de l'usine, ce qui eût ramené les frais de traction à des facteurs bien inférieurs. Voici dans les deux hypothèses comment ils se fussent détaillés par voiture-kilomètre :

	Pour 6 voitures.	Pour 18 voitures.
Personnel :		
Usine de charge et manutention . . . . . fr.	0.110	0.041
Surveillance spéciale des batteries	0.023	0.036
Atelier d'entretien	0.023	0.013
Matières :		
Combustible	0.070	0.013
Huile, déchets, eau	0.006	0.005
Renouvellements :		
Moteurs, mécanisme, etc.	0.009	0.009
Dépréciation des batteries	0.048	0.048
Totaux par voiture-kilomètre. . fr.	0.289	0.165

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le chiffre le plus intéressant et le plus difficile à contrôler est celui de la dépréciation des batteries, ici très faible, comme le poids de ces appareils.

Mais les opérations ont dû être suspendues en 1894, et, notons-le en passant, c'est l'Allemagne qui a hérité des progrès réalisés aux États-Unis, dans la fabrication de l'accumulateur à l'oxyde de cuivre, né en France il y a quelques années. (Voir Navigation.)

Il est vrai que les espérances fondées en Europe sur le type transformé ont été déçues. (Voir Hagen et Vienne.)

e. — *Accumulateur Ford-Washburn, à Cleveland.*

Type d'élément. — Ce système emprunte à l'un des types du système de M. Tommasi, le caractère spécial de substituer aux plaques nues, des récipients perforés contenant la matière active.

Les électrodes négatives sont formées de boîtes rectangulaires allongées en alliage de plomb inattaquables à l'acide, mais perforés de trous nombreux par lesquels il peut atteindre la matière active. A l'intérieur est placé un vase poreux dont les parois ont 3 millimètres d'épaisseur et contenant l'électrode positive noyée dans la matière active et disposé de façon à permettre un certain foisonnement de cette matière. Les électrodes négatives se touchent extérieurement et sont, en outre, soudées *au bas;* les électrodes positives sont connectées par le haut. Un élément, placé dans une boîte en ébonite de 0^m25 de hauteur sur 0^m18 et 0^m10, pèse 16 kilogrammes et possède une capacité de 150 ampères-heures. Aux essais, la force électro-motrice passe de 2.3 volts à 2 volts, au débit constant de 25 ampères, en trois heures; après quoi la force électro-motrice s'abaisse à 1.9 volt après une heure, le débit tombant à 23 ampères; puis la force électro-motrice tombe de 1.8 à 1.2 volt après 2 heures, donnant en moyenne 18 ampères. La charge s'opère au taux de 25 ampères par élément.

La résistance interne est environ de 0.006 ohm.

Application. — Un premier essai de traction eut lieu en 1892 à Cleveland. Depuis octobre 1893, une ligne de 16 kilomètres, reliant cette ville à celle de Berea, fut parcourue longtemps par un car d'essai. A part deux courtes rampes de 4 p. c. sur 200 mètres et 5 p. c. sur 275 mètres, la ligne présente peu d'inclinaisons. Le car, mû par un moteur en série du type Ford-Washburn de 35 chevaux, porte 168 éléments. Il remorquait souvent un trailer. Les deux véhicules étaient fréquemment surchargés. Les essais, régulièrement conduits pendant plusieurs mois, avaient fourni des résultats encourageants.

f. — *Accumulateur Acme, à New-York.*

Élément Acme. — C'est encore un dérivé du principe consistant à retenir la matière active sur un support central en alliage de plomb, au moyen de feuilles perforées ou grillagées en matière non conductrice.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il a été essayé, en 1893, dans la 9e Avenue de New-York, sur un car muni d'un moteur de 30 chevaux portant 144 éléments, pesant 1,600 kilogrammes. Les 5 plaques positives de chaque élément présentent ensemble une surface active de 1,259 centimètres carrés.

g. — *Accumulateur Elieson, à Mont-Vernon.*

Type d'élément. — Dans la petite ville de Mont-Vernon, État de New-York, a été organisé l'essai d'un accumulateur pour traction construit sur le principe Planté par *M. Elieson.*

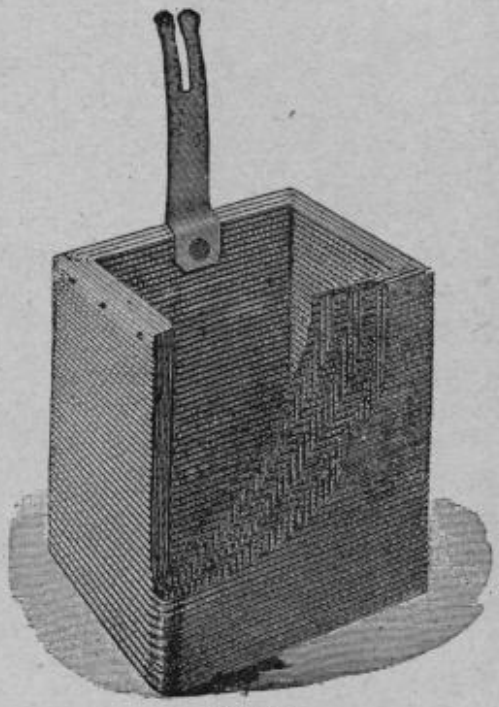


Fig. 526.

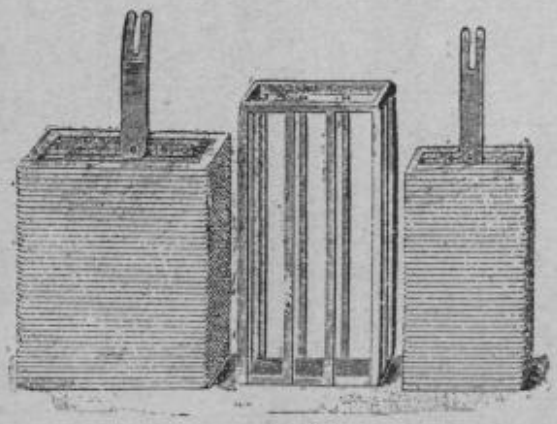


Fig. 527.

Les deux électrodes (fig. 526 et 527), en forme de boîtes rectangulaires placées l'une dans l'autre, la positive à l'intérieur de la négative, sont séparées par une cage en matière non conductrice ; elles sont formées de feuilles multiples minces, plissées et perforées, les plis d'une feuille étant croisés sur ceux de la voisine, formant une paroi de 11 millimètres d'épaisseur avec 2.6 mètres carrés de surface active à l'électrode positive, pour des dimensions de 0^m20 en hauteur sur 0^m125 et 0^m08 en plan. Les poids des deux électrodes est de 5.66 kilogrammes ; celui de l'élément complet, 10.42 kilogrammes, avec une capacité de 80 à 100 ampères-heures, selon l'état de formation plus ou moins avancé.

Application. — Le car d'essai porte 200 de ces éléments travaillant sur un seul moteur, en deux batteries parallèles ou en série, selon le degré de vitesse, ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

celui de l'énergie demandée, commandés, d'ailleurs, par un commutateur assez simple décrit au chapitre I-A-2 (p. 134).

Durant les expériences qui eurent lieu pendant l'été de 1893, sur une ligne présentant des rampes de 3 ½ et 6 ½ p. c., on observa un débit moyen de 40 ampères pour une force électro-motrice variant entre 180 et 315 volts.

h. — *Accumulateur Silvey, à Dayton.*

Après avoir été appliqué avec succès, pendant trois ans, à l'éclairage, sur le « Cincinnati and Ohio Railroad », où cinquante-cinq cars en étaient pourvus, l'accumulateur Silvey fut essayé à la traction, en 1893-94, à Dayton (Ohio).

Type d'élément. — Dans cette pile secondaire, dont l'aspect rappelle celui de l'accumulateur Atlas présenté, en 1891, par M. Picou, à la Société Internationale des Électriciens, les plaques sont horizontales et maintenues à distance convenable l'une de l'autre par des écrous de plomb réunissant celles de même signe et traversés par des barres de connexion, dont les extrémités forment bornes.

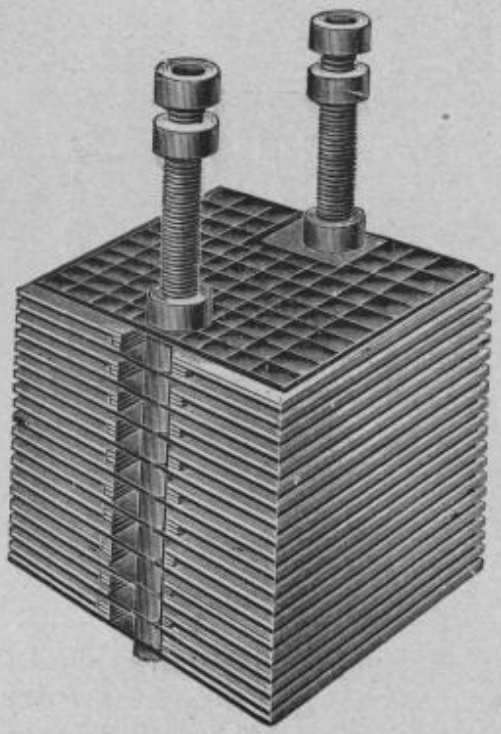


Fig. 528.

Des soudures autogènes assurent une conductibilité parfaite des plaques aux écrous, soudures qui cèdent aisément, d'ailleurs, au cas de démontage.

Ces plaques sont des grillages en alliage inattaquable, remplis d'un mélange d'oxyde et de plomb granulé superficiellement oxydé, mélange traité de façon à former une masse dure fortement adhérente au grillage.

Intercalées entre les plaques, se trouvent des tranches d'une substance légère, spongieuse, capable d'absorber cinquante fois son poids d'acide, pratiquement indestructible dans l'électrolyte. Les bords de ces tranches sont saturés d'une substance neutre préservative.

La figure 528 donne une vue d'ensemble des plaques montées.

Application. — Il s'agissait principalement d'établir que ce type d'accumulateur était susceptible d'endurer sans détérioration coûteuse tous les efforts mécaniques ou électro-chimiques rencontrés dans la locomotion.

Le car employé portait 108 éléments pesant chacun 12.23 kilogrammes, soit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour l'accumulateur et les tiroirs, 1,360 kilogrammes. La manœuvre d'enlèvement des tiroirs s'opérait dans le sens longitudinal, comme nous l'avons vu en d'autres exploitations américaines, et en Europe à Hagen.

Le car, du type dit de 16 pieds, était mû par un moteur, dont l'axe était parallèle à l'axe de la voie et qui attaquait les deux essieux par engrenages coniques. Ce moteur, également étudié par M. Silvey, a été décrit chapitre I-A. Il pèse 906 kilogrammes, y compris les engrenages, leurs supports et enveloppes, et peut développer une puissance de 40 chevaux (voir p. 52).

Résultats. — Les essais ont permis de constater que cette voiture pouvait parcourir en 35 minutes une ligne de 14 kilomètres, présentant deux rampes de 4 1/2 p. c. sur 500 mètres chacune et 16 traversées de chemins de fer.

M. Silvey nous écrit que, durant la période d'expériences, on n'a rien dépensé pour la réparation des batteries, l'entretien du truck seul ayant demandé quelques dollars. Il ajoute que la voiture remisée, après avoir effectué un parcours de 16,000 kilomètres, se trouvait en état de recommencer immédiatement le service et fonctionner comme auparavant.

i. — *Accumulateur et trolley, à Chicago.*

Système. — Le « North Side Passenger Railway Company », de Chicago, a eu recours à l'accumulateur, pour franchir, au moyen de cars munis de trolleys, une partie de la ville où sont interdits les fils aériens en usage sur le reste du parcours. Mais à l'inverse du procédé appliqué à Hanovre (§ 10), où les voitures restent toujours chargées de l'accumulateur, ce fardeau est porté sur des trucks distincts, en dépôt au point voulu, et qui viennent s'atteler en guise de *trailers* à la voiture. Munis pour leur propre mouvement d'un petit moteur, ils fournissent par câbles le courant à ceux de la voiture. Le chemin parcouru ainsi, aller et retour, est de 2 kilomètres.

Le type d'accumulateurs en service est le *chloride accumulator* de la *Electric Storage Battery Company*, de Philadelphie, dont nous avons parlé plus haut (§ *c*). La batterie devant être chargée au moyen du courant de 500 volts emprunté à la ligne comporte 240 éléments. Il faut 40 batteries pour desservir 25 voitures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B. — Transports industriels et locomotion sur route.

1. — Railways industriels et miniers.

a. — *Industrie.*

En fait de petits railways industriels où fonctionne un accumulateur se déplaçant avec le locomoteur électrique, nous n'avons à citer que des exemples surannés, mais intéressants par divers côtés.

Locomoteur Dupuy-Reynier. — En 1882, la première application de l'accumulateur aux transports industriels fut réalisée en France, à Breuil-en-Auge (Calvados), dans la blanchisserie de M. Duchesne-Fournet. Ce locomoteur, arrivé en certains points des prairies, sur des voies de 80 centimètres d'écartement, changeait de fonction et servait à l'étendage ou au ramassage de la toile.

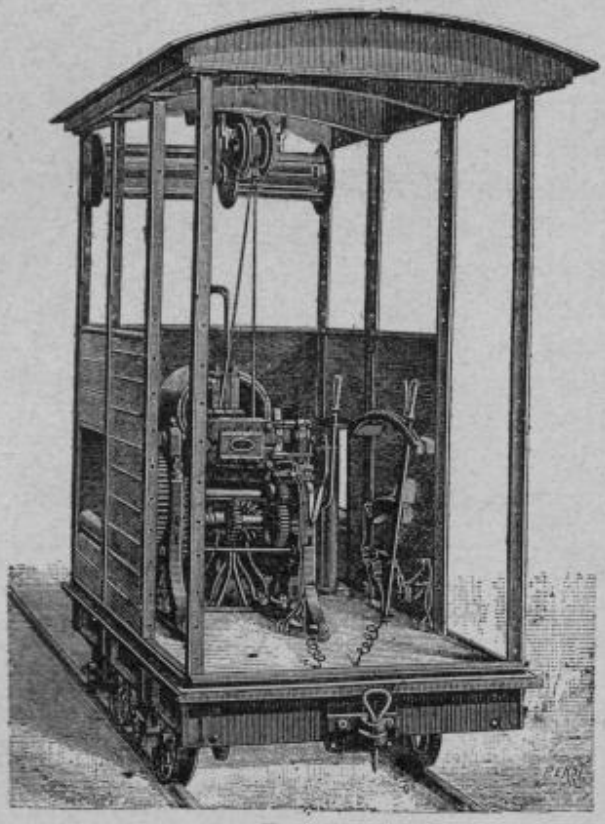


Fig. 529.

Véhicules. — C'est, à notre connaissance, le premier cas de mise en service d'un *tender d'accumulateurs*. Le recours à cet intermédiaire est très rare. Il en existe un autre cas à Chicago (§ A-11).

Ce tender suivait une plate-forme roulante portant les appareils électromécaniques.

L'électro-moteur, en effet, actionnait un treuil qui, à volonté, produisait le déplacement du locomoteur en transmettant le mouvement aux essieux, ou bien, à l'arrivée aux points voulus, sur commande d'un embrayage, communiquait le mouvement au rouleau destiné aux opérations de ramassage.

Batterie. — Les éléments du type Faure, modifié par Reynier, pesaient 8 kilogrammes; ils reposaient sur des touffes de crin placées au fond des récipients en verre; une poignée de laine par dessus s'opposait au déversement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du liquide; enfin, ils étaient placés par six en des paniers d'osier. L'accumulateur comportait 60 éléments qu'on chargeait à l'usine au moyen d'une machine Gramme à lumière.

Chaque élément avait une capacité de 3,000 kilogrammètres par kilogramme.

L'électro-moteur était du type Siemens, pesait 105 kilogrammes et pouvait développer environ 1 $^1/_3$ cheval. La marche en était modérée au moyen du singulier appareil à *chaîne d'argent* plus ou moins tendue, que nous avons signalé chapitre I-A-2 (p. 119).

La réduction de vitesse par engrenage de l'arbre de l'électro-moteur aux essieux ou au tambour d'enroulement de la toile, était de $^1/_9$. La figure 529 représente la plate-forme locomotrice. Elle pesait avec treuil, moteur, tambour et accessoires, 935 kilogrammes; dimensions, 2^m36 sur 1^m12.

Poids du tender avec accumulateur, 700 kilogrammes; dimensions, 1^m83 sur 1^m17; diamètre des roues, 0^m40 (1).

Masnuy-Saint-Pierre. — Un intelligent propriétaire de ce village belge, M. Delelienne, ayant en 1890 installé dans sa ferme et sa demeure l'éclairage électrique par accumulateurs, imagina d'utiliser cette installation au chargement d'une batterie destinée à des transports, dans l'étendue de son exploitation agricole parcourue à cette époque par une voie ferrée à petit écartement.

La locomotive employée avait été fournie par la Société *l'Électrique*, de Bruxelles, et portait des accumulateurs système Julien.

Son moteur transmettait le mouvement de rotation par deux pignons à deux engrenages calés sur un même arbre intermédiaire, d'où deux roues dentées attaquaient les essieux par deux chaînes. Ce type de locomotive se retrouve (un peu amélioré) sous la rubrique « Charbonnage d'Amercœur » ci-après.

Elle remorquait plusieurs wagonnets, épargnant l'emploi d'un certain nombre de chevaux.

Son fonctionnement dura deux ans et demi, à la satisfaction du propriétaire, et ne cessa que lors de la suppression du petit railway à travers champs, par suite de la création d'une route.

Baïenfurt. — En 1892, une locomotive électrique, munie d'accumulateurs, fut mise en service aux papeteries de Baïenfurt prés de Ravensburg, en Wurtemberg, pour effectuer les transports entre l'usine et la station de Niederbiegen, distantes de 4 kilomètres. C'était en même temps une voiture automotrice munie de deux tonnes d'accumulateurs Œrlikon-Schoop à électrolyte immobilisé (voir § A-5). Sur voie de niveau, elle traînait un wagon pesant 20 tonnes en charge.

La voie sur route, assez négligée en hiver, n'est guère propice à la remorque

(1) Nous empruntons ces intéressants détails au *Portefeuille Économique des Machines* de septembre 1882

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une forte charge au moyen d'accumulateurs, c'est pourquoi on a renoncé à leur emploi après dix-huit mois de marche.

b. — *Mines. — Charbonnage d'Amercœur.*

En 1892, M. F. Gilleaux, directeur gérant du charbonnage d'Amercœur, à Jumet, Belgique, fut amené à chercher une solution spéciale, susceptible d'accroître la rapidité du transport de la houille, entre les deux extrémités d'une galerie.

Voie. — Cette galerie, de 1,600 mètres de longueur, présente entre points extrêmes une différence de niveau de 36m18, donnant une pente moyenne de 2.3 millimètres par mètre; le transport en charge s'effectue en pente; les wagonnets vides sont ramenés à la montée. L'écartement des rails est de 50 centimètres; ils sont du type Vignoles de 12 kilogrammes au mètre courant.

La figure 530 montre l'allure en plan et en profil de la voie, avec quelques sections transversales de la galerie, faisant ressortir les difficultés, résultant du défaut d'espace, rencontrées dans l'étude du dispositif d'une locomotive chargée d'accumulateurs.

Cette solution a cependant été préférée à la transmission directe du courant, laquelle ne permet guère d'éviter les étincelles en certains points de la conduite aérienne, tandis que l'on peut, moyennant certaines enveloppes hermétiques, abriter un simple moteur contre l'accès des gaz grisouteux.

Les locomotives ont été construites par la Société *l'Électrique*, de Bruxelles.

Batteries. — α. — Les accumulateurs sont du système Julien, type E (fig. 531), à perforation au centre des pastilles *positives*, genre Huber modifié. Les plaques ont une épaisseur de 6 $^1/_2$ millimètres et une surface de 300 sur 200; elles sont au nombre de 6 positives et 7 négatives, contenues dans des boîtes en ébonite mesurant 325 millimètres de longueur, 155 de largeur et 280 de hauteur. Le poids total des plaques par élément est actuellement de 34 kilogrammes, celui d'un élément complet avec acide, 42 kilogrammes. La capacité par kilogramme de plaque s'élève à 15 ampères-heures; lorsque le taux de la décharge est modéré, 2 ampères environ.

β. — En 1897, on emploiera également le nouveau type de la Société *l'Électrique*, à feuilles festonnées, décrit plus loin, § 2-*a* (fig. 538, 539, 540).

Une locomotive porte 36 éléments. Chaque boîte d'élément est fermée par un couvercle en ébonite, traversé par la tige de connexion, destiné à éviter les projections d'acide. Ces boîtes sont rangées par 9 dans quatre tiroirs. La caisse de la locomotive est close par des couvercles abritant les accumulateurs, mais est, en outre, aisément démontable, de même que les autres parties de ces engins, en vue de leur transport par les puits de la mine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

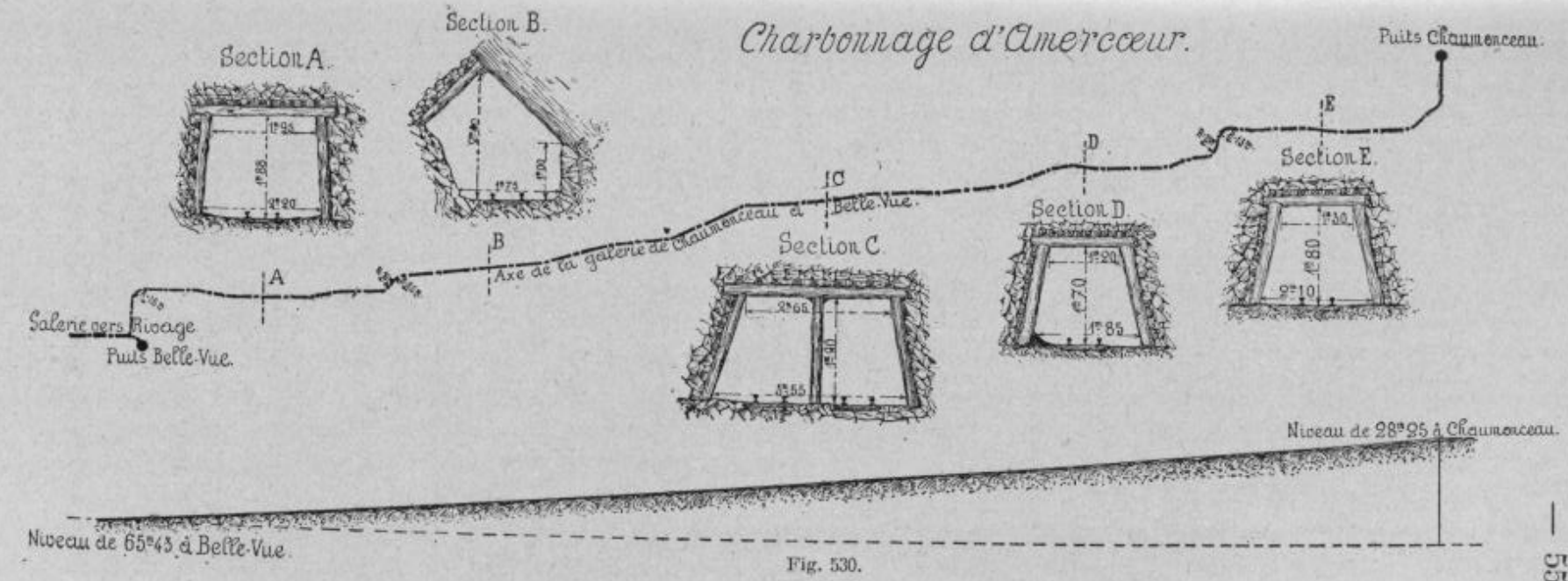


Fig. 530.

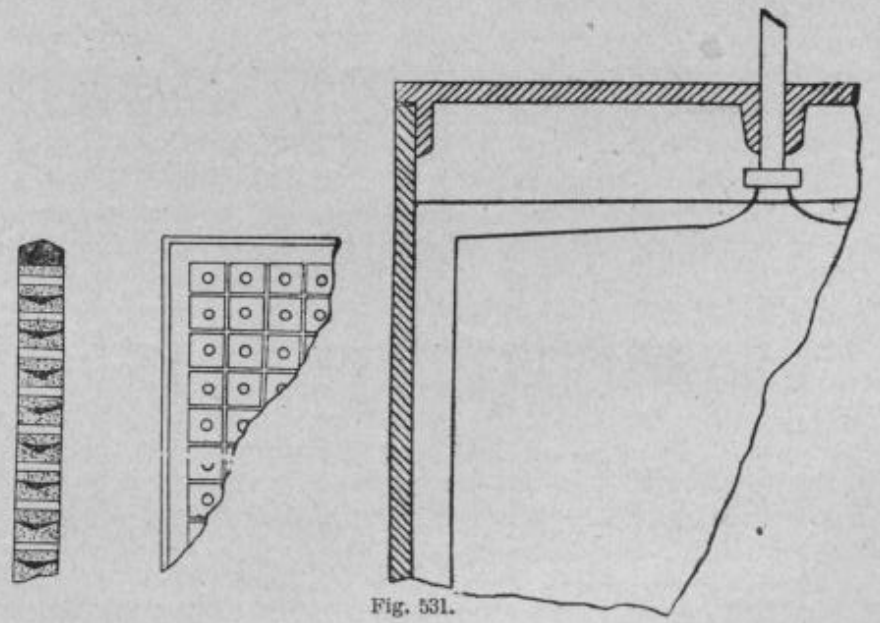


Fig. 531.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Locomotives. — Trois locomotives, à peu près de la même puissance absolue, se présentent sous des types différents comportant des améliorations successives. Elles portent 36 éléments d'accumulateurs, faisant un poids total de 1,640 kilogrammes, un peu moindre cependant, 1,540, dans la plus ancienne actuellement en réserve. Toutes trois sont entièrement démontables pour la descente par puits. Les parties en bois sont bien goudronnées, et celles de métal enduites de vaseline ou d'huile minérale.

Elles se distinguent l'une de l'autre principalement par le châssis et par le genre de transmission mécanique entre le ou les électro-moteurs et les essieux. Le diamètre des roues est pour les trois de 50 centimètres; elles doivent faire environ 85 tours par minute, la vitesse moyenne étant 8 kilomètres à l'heure.

I^er^ type. — Déjà expérimenté en pratique, ainsi que nous l'avons dit, dans une exploitation agricole de Masnuy-Saint-Pierre (§ *a*), le type primitif de locomotives représenté figure 532 comporte un électro-moteur dont l'axe, par deux pignons, attaque deux engrenages calés sur un arbre intermédiaire; au milieu de cet arbre sont deux autres pignons qui, par chaînes Gall, transmettent le mouvement aux essieux. Le rapport de réduction de vitesse est de 12 à 1. Dimensions principales : longueur, 3^m^97; largeur, 1^m^20; hauteur, 1^m^15. Longueur de la caisse, 2^m^85.

Poids : Caisse, châssis, roues	1,200	kilogrammes.
— Moteur et transmissions	560	—
— Accumulateur et tiroirs	1,540	—
Total. . .	3,300	kilogrammes.

II^e^ type. — Dans la deuxième locomotive, le châssis est monté sur bogies à 4 roues chacun (fig. 533 et 534), constituant deux trucks moteurs, où la transmission se fait par double réduction de la vitesse dans le rapport de 8 à 1, au moyen de deux paires de roues dentées fixées extérieurement aux longerons.

La caisse à accumulateurs est portée sur galets montés sur tampons de caoutchouc.

Dimensions principales : Longueur totale, 4^m^56; largeur, 1 mètre; hauteur, 1^m^325. Longueur de la caisse, 3^m^26. On a donc allongé l'ensemble en le rétrécissant et gagnant un peu en hauteur, afin de pouvoir monter la caisse sur bogies. Les boîtes d'accumulateurs sont ici placées dans le sens transversal, au lieu de l'être dans le sens longitudinal comme dans la précédente. Enfin, les parois latérales de la caisse se rabattent et celles du dessus se soulèvent, ce qui facilite l'accès et le maniement des accumulateurs.

Poids : Caisse, châssis, roues	2,160	kilogrammes.
— Moteurs et transmissions	800	—
— Accumulateur et tiroirs	1,640	—
Total. . .	4,600	kilogrammes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

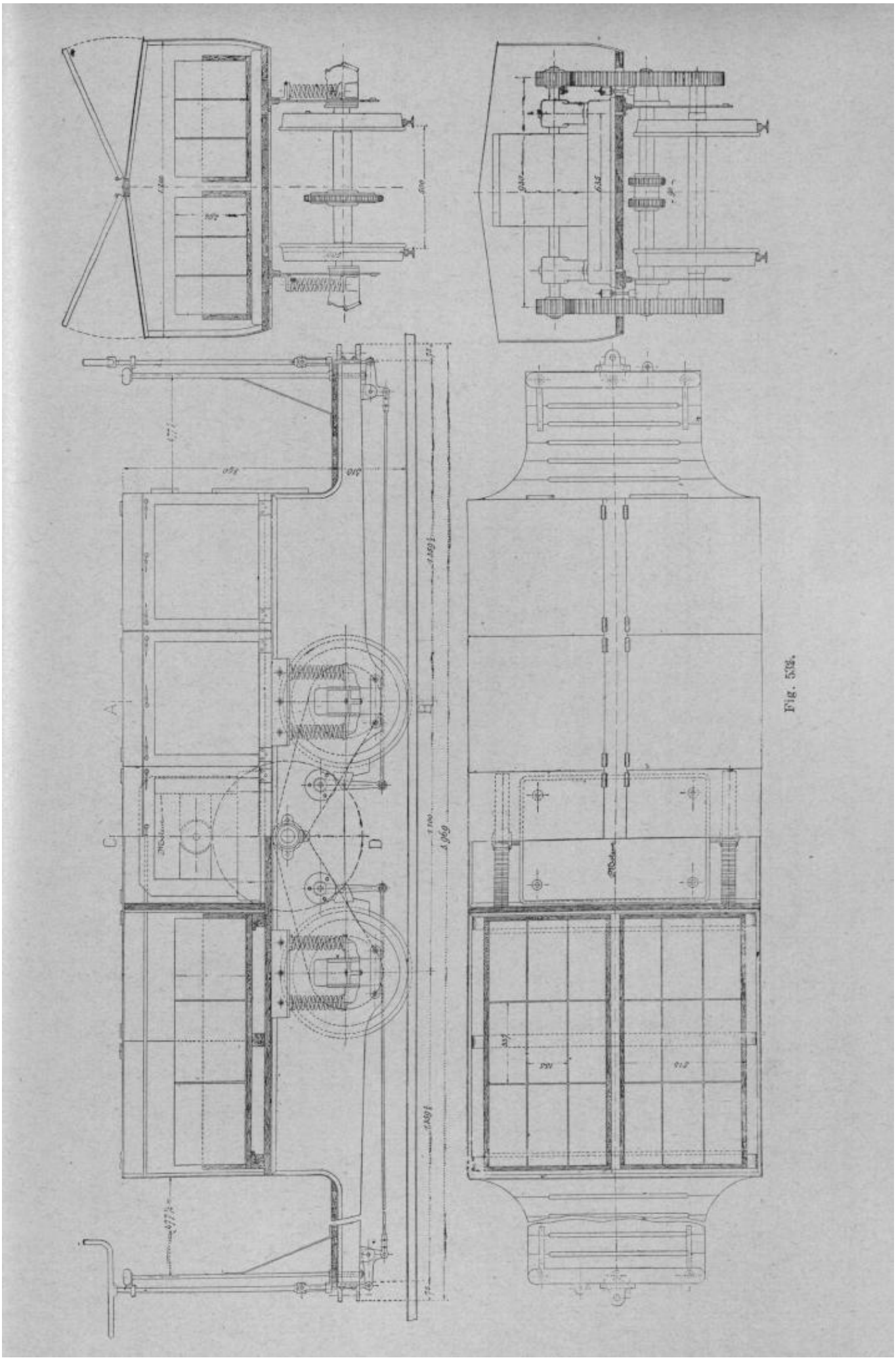


Fig. 578.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

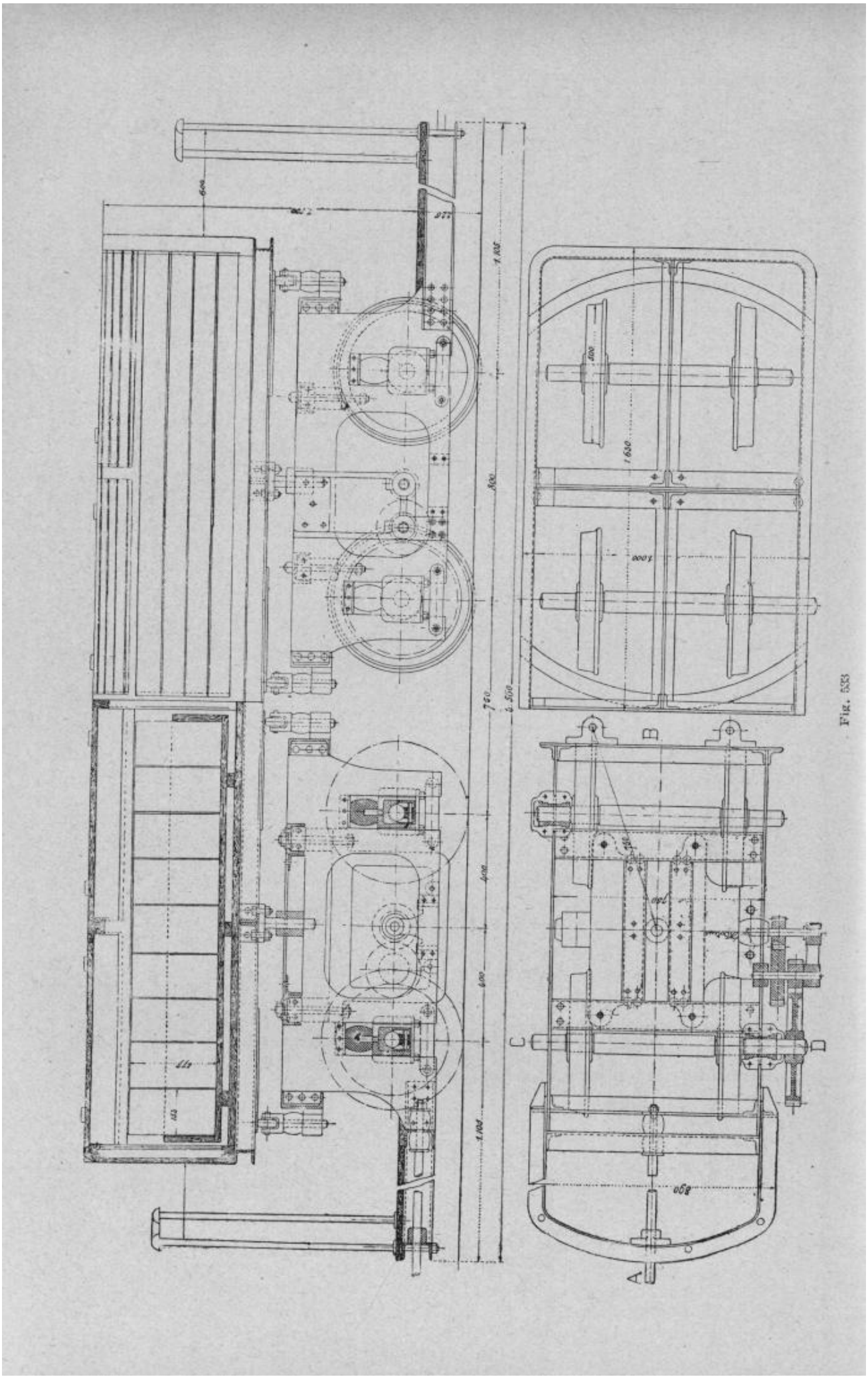


Fig. 533

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

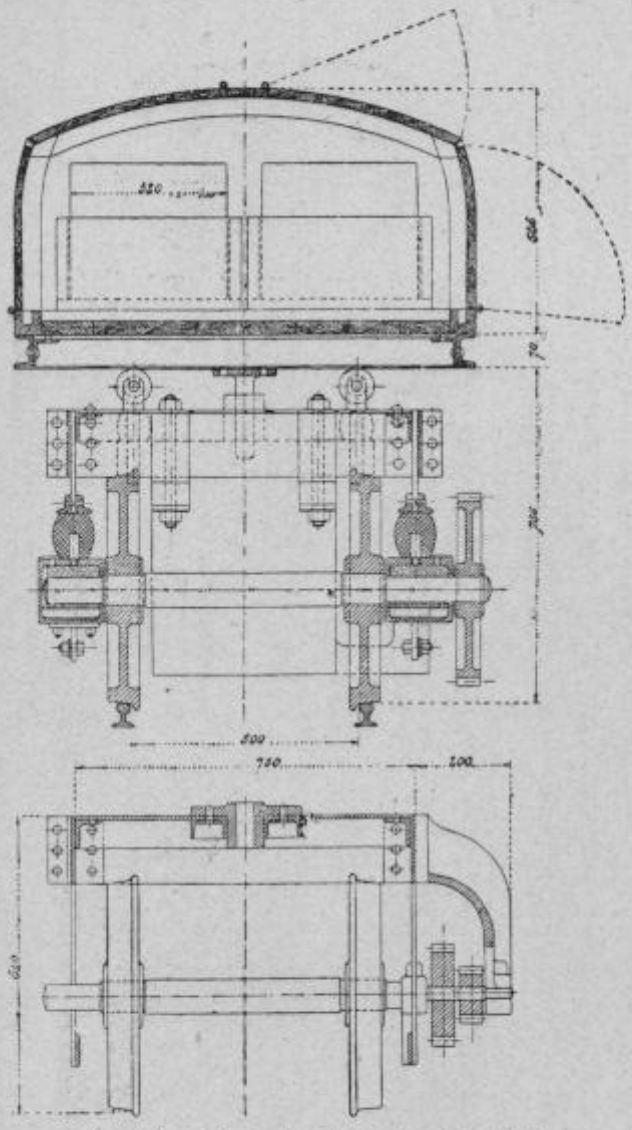


Fig. 534. — Coupe de la locomotive figure 533.

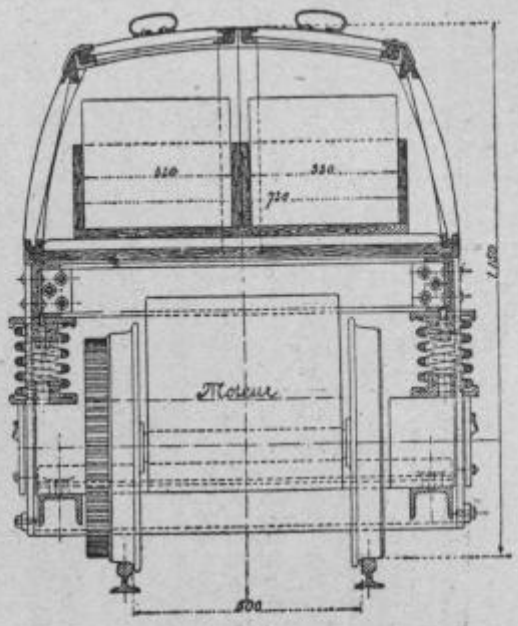


Fig. 536. — Coupe de la locomotive, figure 535.

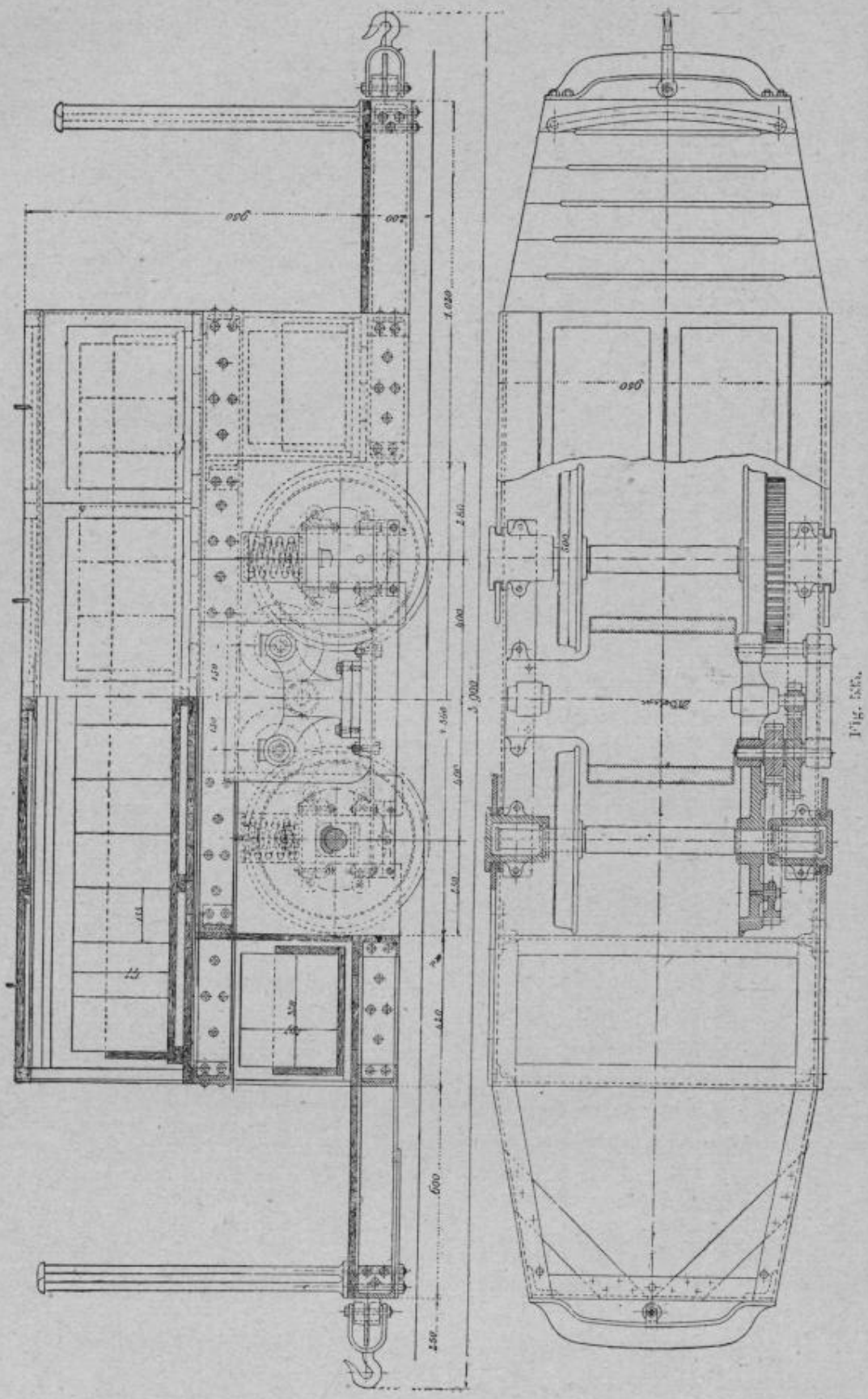
III[e] type. — La troisième locomotive, après avoir figuré à l'Exposition d'Anvers en 1894, a été mise en service la même année. On y revient au moteur unique attaquant les deux essieux, par deux jeux de roues dentées à double réduction de vitesse, dans le rapport de $^1/_9$ (fig. 535 et 536).

Nous avons donné au chapitre I-A (p. 16) la description du type d'électromoteur commun aux trois locomotives, ainsi que les appareils régulateurs de la marche employés dans les différents dispositifs (fig. 148 et 149).

Exploitation. — La première locomotive ne remorquait que 300 wagonnets dans chaque sens, transportant ainsi 120 tonnes de houille, du puits Chaumonceau au puits Belle-Vue.

La deuxième et la troisième locomotive peuvent transporter chacune

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

160 tonnes par jour ou 400 wagonnets dans chaque sens, et l'on compte bien élever ce nombre à 450 au moyen du type III.

Voici quelques chiffres relatifs à la quantité d'énergie fournie et consommée.

On fait remorquer par une des locomotives type II ou type III, soit 20 wagonnets par voyage, soit 23; en diminuant le nombre de trajets, on augmente le rapport entre la charge utile et la charge totale.

Le maximum est 25 wagonnets chargés de 400 kilogrammes de houille et d'une tare de 250 à 280 kilogrammes; le poids remorqué peut donc atteindre 17,000 kilogrammes en pente de 2.3 millimètres, soit de 20 tonnes de poids brut, et 10 tonnes à la montée.

Pour une journée de 400 wagonnets, on charge à 87 volts et 40 ampères pendant 10 heures, la décharge a lieu à 70 volts et 40 ou 42 ampères. Le parcours dure 11.5 minutes en moyenne en chaque sens, à quoi il faut ajouter le temps des manœuvres. Il faut compter aussi l'éclairage d'une lampe à incandescence pour le disque.

Le rendement des moteurs est de 80 p. c. en moyenne. On a calculé que dans le III[e] type, le rendement, des bornes de l'accumulateur aux essieux, est de 72 p. c., ce qui supposerait une perte de 8 p. c. dans les engrenages.

Coût d'établissement. — Il consiste uniquement dans le prix des locomotives, l'installation d'éclairage électrique de la surface étant utilisée à la charge, moyennant un double câble de faible longueur descendant par le puits de 28 mètres. On peut estimer entre 8,500 et 9,000 francs le coût d'une locomotive toute équipée, la batterie montée en ordre de marche.

Dans le cas qui nous occupe, on a évité la construction d'une écurie évaluée à une dizaine de mille francs. Toutefois, un garage spécial est nécessaire lorsque l'une des locomotives doit recevoir une visite ou une légère réparation.

Frais de traction comparés. — On transporte actuellement de 600 à 800 wagonnets *chargés* par jour. Soit en moyenne 700 wagonnets, et par an 210,000 wagonnets.

Le service s'effectue par deux locomotives électriques, la troisième étant en réserve.

Les dépenses se chiffrent ainsi :

Entretien et renouvellement des accumulateurs, à raison de 5 francs par jour et par locomotive	3,000 francs.
Conducteurs, deux hommes à 3 francs	1,800 —
Amortissement et renouvellement des locomotives, caisse, châssis, roues, électromoteur et transmission en sept ans, soit 15 p. c.	2,700 —
Intérêt du capital locomotives 5 p. c. sur 3 fois 9,000 francs	1,350 —
Chiffons, graisse, etc., 1 franc par locomotive et par jour	600 —
Total	9,450 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Avant de répartir ce chiffre, on observera qu'il ne comporte pas de dépense spéciale pour la fourniture du courant.

C'est que tout un ensemble d'engins, machines d'exhaure, d'extraction, de ventilation, d'une puissance globale de 13,000 chevaux, sont alimentés par un même massif de chaudières, où se brûle le poussier de rebut. La dynamo d'éclairage est mue par une courroie qui prend son mouvement à l'arbre d'un ventilateur de 120 chevaux; elle partage le courant qu'elle engendre la nuit, entre les lampes et les accumulateurs, en tout 20 chevaux. Le salaire du préposé à l'éclairage reste identique. Ainsi, un peu plus d'huile, une usure en plus inappréciable des coussinets, telles seraient les causes de dépenses supplémentaires à chiffrer, car ces 20 chevaux, sur les 1,300 de l'ensemble, n'ont pas affecté la consommation générale de houille.

Ce cas se présente souvent dans les mines.

S'il était nécessaire de supputer une dépense de ce chef, on l'établirait, comme la pratique générale le démontre, en partant du chiffre de 9 centimes par kilowatt-heure dans l'hypothèse d'un charbon pris sur le carreau de la mine, et 12 centimes ailleurs, en moyenne.

Les 32 kilowatts-heures nécessaires à la charge de chaque locomotive se compteraient à raison de $2 \times 32 \times 300 \times 0.12$, soit 2,304 francs.

Rapprochons de ces chiffres le coût de la traction par cheval telle qu'elle est évaluée au siége en question pour le transport de 600 à 800 wagonnets par jour dans chaque sens.

Fourrage de 11 chevaux, par an, $2.25 \times 11 \times 360$ jours	fr.	9,033 75
Conducteurs, sept hommes, $2.25 \times 7 \times 300$ jours		4,725 00
Palefreniers, $2.25 \times 2 \times 365$		1,642 50
Harnais, maréchal ferrant, vétérinaire, etc.		880 00
Amortissement en sept ans de la différence de prix des chevaux, $\frac{700 \times 11}{7}$ . . .		1,100 00
Intérêt du capital différentiel, chevaux, 5 p. c. sur 8,000 francs		400 00
Total. .	fr.	17,781 25

L'écurie des chevaux correspond, avons-nous dit, au point de vue des installations de traction électrique, à un refuge pour entretien et réparation des locomotives. Ce poste n'entre donc pas en ligne de compte dans la comparaison.

Indépendamment des avantages hygiéniques ou autres, qu'il appartient aux ingénieurs des mines d'apprécier, on voit, au tableau suivant, que l'économie résultant de l'emploi de la traction électrique se traduit ici par des coefficients de 35 et de 45 p. c.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses de traction comparées en 1895.

OBJET DE LA RÉPARTITION.	TRACTION PAR CHEVAUX.	TRACTION ÉLECTRIQUE	
		Le courant fourni aux accumulateurs étant compté.	Le courant fourni aux accumulateurs étant supposé gratuit.
	Fr. C.	Fr. C.	Fr. C.
Dépense totale annuelle	17,781.250	11,754.000	9,450.000
Par jour de service (300 jours)	59.270	39.100	31.500
Par wagonnet *chargé* à 700 wagonnets . .	0 085	0.056	0.045
Par tonne de charbon transportée, chaque wagonnet contenant 400 kilogrammes de houille.	0.213	0.140	0.113
Par tonne-kilomètre utile sur 1,575 mètres.	0.134	0.089	0.072
Par wagonnet-kilomètre, 700 wagons aller et retour ou 2,305 wagons-kilomètres par jour.	0.026	0.017	0.014

La direction du charbonnage d'Amercœur estime qu'en 1896 elle aura réalisé, en fait, sur les dépenses qu'eût exigées la traction chevaline, une économie notablement supérieure à 50 p. c. et se propose d'étendre la traction électrique à d'autres voies.

2. — Locomotion sur route.

a. — *Automobiles privées.*

Sources d'énergie comparées. — Si l'on fait abstraction du confort pour envisager surtout la question pécuniaire, le véhicule privé ne semble guère en voie d'emprunter la puissance mécanique à l'électricité de préférence; témoin les résultats du concours ouvert en 1894 par le *Petit Journal,* avec un programme, il est vrai, assez peu propice à l'emmagasinage par accumulateurs, notamment l'*exigence de 100 kilomètres de parcours ininterrompus.*

La course Paris-Bordeaux, organisée en 1895, a conduit aux mêmes conclusions : au point de vue du poids et de l'économie de consommation, on trouve dans la vapeur fournie par le coke et dans les hydrocarbures des sources d'énergie avantageuses.

Leurs désagréments restent sérieux et inévitables : gaz, fumées, odeurs, bruit des moteurs à mouvement alternatif.

Par contre, des voitures électriques de fantaisie ont apparu de loin en loin, réputées marcher à la satisfaction de leurs propriétaires, souvent leurs inventeurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les uns ont recouru aux accumulateurs, d'autres en sont revenus à la pile primaire, se contentant des progrès apportés par l'électrotechnique à la construction du moteur, sans trop chercher un excès d'économie du côté de la source de courant.

Consommations relatives des piles primaires et secondaires. — Rappelons les chiffres de *consommations et de dépenses par cheval et par heure d'une pile primaire* avantageuse pour la locomotion, la pile au bichromate de potasse :

SUBSTANCES.	Dépense théorique.		Dépense pratique.	
	Poids.	Francs.	Poids.	Francs.
Zinc amalgamé	0.447	0.447	0.463	1.463
Acide sulfurique	0.572	0.118	7.200	0.86
Bichromate de potasse.	0.667	0.667	2.400	2.40
Totaux. . .		1.232		4.723

En mettant à profit les sous-produits, on arriverait à 2 fr. 50 c. par cheval-heure.

La pile de M. le commandant *Renard* n'est pas moins coûteuse que la pile ordinaire au bichromate de potasse, mais elle est de loin la plus légère connue. Dans cette pile, l'acide sulfurique est remplacé par l'acide chlorhydrique et le bichromate par l'acide chromique libre, substance relativement chère. L'énergie de cette pile est telle qu'elle fournit le cheval-heure sous un poids de 24 kilogrammes et la puissance d'un cheval sous un poids brut de 40 kilogrammes, ce qu'aucun accumulateur ne donne sous des poids doubles, moyennant des débits non compromettants pour leur rendement et leur conservation.

Au surplus, l'emploi de la pile primaire évite la nécessité de posséder les moyens de fournir la charge électrique par dynamo génératrice.

Si l'on prend, au contraire, la charge d'un accumulateur sur le circuit d'un réseau public d'éclairage ou de distribution de force, on payera de 50 centimes à 1 franc le kilowatt-heure; une bonne moyenne est 70 centimes. C'est le prix du K. W. H. *distribué*. Mais une compagnie qui fournirait la charge *à l'usine* abaisserait le tarif de plus de moitié.

A côté de cette dépense, celle qui résulte de la détérioration des accumulateurs est minime, surtout si l'on prend soin de les tenir bien chargés au repos et d'éviter, en service, un régime de décharge excessif, ainsi que l'épuisement de la capacité. Toutefois, ces désidérata s'accommodent mal de la légèreté réclamée dans le cas de véhicules de l'espèce.

Voici quelques exemples variés d'applications.

Tricycle Magnus Volk. — L'une des premières tentatives de locomotion sur route, au moyen d'accumulateurs, fut faite vers 1887 à Brighton, par M. Magnus Volk, avec une voiture à trois roues, qui roulait sur l'asphalte de la jetée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Elle portait une batterie d'accumulateurs, activant un moteur Immish de 17 kilogrammes qui transmettait son mouvement à un contre-arbre par une chaîne sans fin et de là à l'essieu, par une seconde chaîne passant sur des blocs fixés à la roue motrice. Cette sorte de tricycle courait à une vitesse de 12 à 14 kilomètres à l'heure.

Dog-car Immish. — Le dog-car construit par la maison *Immish* en 1888, pour le Sultan de Turquie, pesait environ 520 kilogrammes, dont 300 pour la batterie formée de 24 éléments E. P. S.

Le moteur de 22 ampères, 48 volts, réalisait $^3/_4$ de cheval à 1,440 tours, correspondant à une vitesse de 16 kilomètres à l'heure. Son axe commandait, au moyen d'une chaîne, l'une des roues d'arrière, d'une circonférence de 3 mètres, portant des blocs sur le flanc comme dans le tricycle précédent.

Le train de roues d'avant était guidé moyennant un secteur denté horizontal et un pignon calé sur l'axe d'une manivelle à la main du conducteur.

Tricycle de Graffigny. — Le tricycle de *M. de Graffigny*, construit à Paris en 1891, était d'une légèreté remarquable pour sa puissance. Son poids se décomposait ainsi :

Tricycle seul, roues à caoutchoucs pleins, moyeux à billes.	18.40	kilogrammes.
Coffre, siège, tablier	14 85	—
Pile Renard modifiée, 36 éléments chargés	21.75	—
Moteur et transmissions, une paire d'engrenages, puis une chaîne . .	15.00	—
Acide et approvisionnements pour un jour.	7.00	—
	77.00	kilogrammes.
Poids du conducteur	63.00	—
Total en charge. . .	140.00	kilogrammes.

La caisse contenant pile et moteur servait de siège; elle reposait sur l'essieu moyennant deux coussinets à billes, et ne prenait qu'un léger appui sur la roue guide d'avant. Les roues motrices avaient 1 mètre de diamètre.

Pile. — La pile employée était du type Renard modifié en ce sens que les récipients tubulaires en argent platiné étaient remplacés par des tubes en tôle plombée d'un diamètre de 54 millimètres, et les tubes en charbon agglomérés par des baguettes de charbon à lumière. La composition du liquide différait légèrement. La force électro-motrice était au début de 1.5 par élément.

Mouvement. — Pour 2,400 révolutions du moteur, les roues motrices en faisaient 120 à la minute, grâce à une double réduction de vitesse, la première par engrenages, la deuxième par chaîne d'acier transmettant le mouvement de l'arbre intermédiaire à l'essieu.

Résultats. — On a atteint des vitesses étonnantes : 22 kilomètres en palier,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

10 kilomètres en rampe, 45 kilomètres en pente, à l'heure. Le moteur, genre Gramme, était coté à la puissance de $^1/_3$ de cheval-vapeur. M. H. de Graffigny, admettant qu'un vélocipédiste déploie un travail de 7 kilogrammètres par seconde, estime que son tricycle développe une puissance moyenne de $^1/_3$ supérieure à celle du vélocipédiste touriste, tout en marchant beaucoup plus rapidement. Il ne s'agit pas, bien entendu, des efforts extraordinaires de coureurs. Il parcourait 95 kilomètres sans recharger les piles.

Voiture Reckniewski. — En 1893, une voiture étudiée pour M. P. Pouchain, d'Armentières, par M. Reckniewski, fut chargée d'un accumulateur de 54 petits éléments Dujardin. La marche du moteur de 2 kilowatts, système Reckniewski, s'opérait par groupements divers des 6 batteries de 9 éléments. La voiture, qui pesait 1,350 kilogrammes, portait jusqu'à 6 voyageurs.

Voiture Carli. — Accumulateur Verdier. — Une voiture de M. le comte *Joseph Carli*, député au Parlement italien, décrite dans le numéro du 10 mars 1894 de la *Nature*, présente des traits intéressants. C'est un tricycle à deux places ménagées sur un siège spécial à ressorts, indépendant de la caisse contenant l'accumulateur et le moteur. Cette caisse est portée sur trois points d'appui, l'un à la douille de la roue guide, les deux autres à des boîtes à coussinets posant sur l'essieu d'arrière.

Batterie. — Elle comprend 10 éléments *Verdier*, possédant l'énorme capacité de 20 ampères-heures au kilogramme. Les plaques horizontales sont séparées par des tranches d'un *tissu de jute paraffiné* et maintenues à distance par des baguettes d'ébonite. Elles pèsent 1 kilogramme chacune et sont au nombre de 5 par élément de 7 kilogrammes. Le débit doit en être modéré, car s'il monte de 1 à 2 ampères au kilogramme, le rendement tombe de 97 à 63 p. c. en quantité.

Mouvement. — Le moteur modérable par rhéostat attaque par un train d'engrenages différentiels l'essieu des roues d'arrière. En renversant ce mouvement par adaptation d'une manivelle, on charge l'accumulateur. Poids du moteur, 20 kilogrammes; rendement, 80 p. c.; puissance, un cheval-vapeur. Poids total du tricycle à vide, 140 kilogrammes; dimensions, 1^m80 de longueur, 1 mètre de large, 1^m20 de hauteur. On marche 10 heures à régime modéré.

Voitures Jeantaud. — Récemment ont paru dans les rues de Paris des voitures de différentes capacités étudiées par M. Jeantaud, constructeur.

Premier type. — La première en date, à quatre roues et à deux places, est décrite par la revue *la Nature*, du 26 janvier 1895, à laquelle nous empruntons la figure 537.

Batterie. — L'accumulateur comporte 21 éléments du type Fulmen nouveau, nom d'une espèce d'accumulateur Tommasi analogue à celui que nous décrivons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à propos des essais de traction effectués à Liége (voir § A) : un support en plomb antimonieux est noyé dans la matière active et le tout enveloppé d'un étui à parois minces perforées forme une des plaques. Leur capacité pour un élément de 13.3 kilogrammes de plaque est de 200 à 300 ampères-heures selon le régime de décharge exigé, 5 ampères au kilogramme au minimum allant momentanément jusqu'à 15.

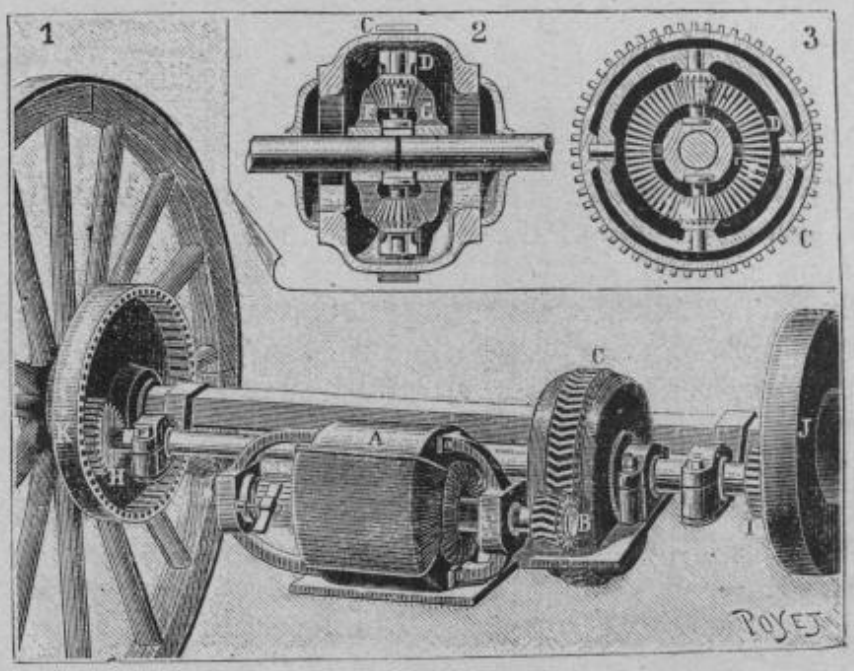


Fig. 537.

Mouvement. — L'électro-moteur, construit par la Compagnie de Fives-Lille, produit 2.6 à 4.4 chevaux en tournant à 1,200 et 1,300 tours, avec des rendements respectifs de 74 et de 70 p. c.

Sur la figure 537, on voit, en 1, l'ensemble du mouvement, en 2 et en 3, des coupes du différentiel C.

Le mécanisme est combiné en vue d'obtenir, d'une part, la rotation indépendante des deux roues motrices aux tournants, et d'autre part, permettre la suspension du moteur à la caisse de la voiture par un ressort fixé à l'une de ses extrémités. Cette double fin se trouve atteinte par la disposition de l'organe intermédiaire entre le pignon B de l'électro-moteur et les deux tronçons (1) de l'arbre intermédiaire dont les pignons H, I attaquent les tambours K, J fixés aux moyeux. Cet organe comporte un train différentiel EFG qui réalise le premier

(1) Nous avons, d'après une information de l'inventeur, complété sous ce rapport le dessin en coupant l'arbre intermédiaire entre les deux roues d'angle du train différentiel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

désidératum, et une liaison de l'engrenage C par joint à la cardan, pour réaliser le second but.

Poids du véhicule et des transmissions	490 kilogrammes.
Accumulateurs : plaques, 280 kilog.; boîtes et liquide, 140 kilog. . .	420 —
Électro-moteur	110 —
Voyageurs	150 —
Total. . .	1,170 kilogrammes.

Cette voiture a pu marcher pendant 1 h. 30 m. à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure sur une route macadamisée présentant deux rampes de 3 à 4 p. c. sur 800 mètres de longueur.

Deuxième type. — Une autre voiture, combinée pour faire 60 kilomètres d'un trait, a pris part au concours Paris-Bordeaux organisé en 1895. Construite sur le même principe, elle pèse 3,200 kilogrammes, dont 850 kilogrammes pour la batterie et 225 pour le moteur.

La batterie, de 38 éléments de 15 kilogrammes d'électrodes, débite normalement 70 ampères, mais peut donner des coups de collier allant jusqu'à 200 ampères.

Le moteur a son maximum de rendement à la puissance de 6.5 H. P., 92 p. c., donne encore 89 p. c. à 10.4 H. P. et seulement 68 p. c. à 2.4 H. P.; il s'agit d'essais de réception aux usines de la Société Postel-Vinay. La vitesse de 24 kilomètres en palier correspond à 6.5 H. P. environ (70 ampères et 70 volts).

Résultats. — La voiture accomplit ainsi 70 kilomètres. Sur rampe, elle en fait de 40 à 60, selon l'inclinaison; sur pente, on récupérait l'énergie en faisant frein, moyennant excitation comparée. Bien qu'elle n'ait pas eu de succès apparent au concours, cette voiture a néanmoins accompli, sur la route de Bordeaux, 600 kilomètres sans avarie au moteur ni au mécanisme; un essieu a chauffé tout le temps. Le remplacement de la batterie après un parcours moyen de 50 kilomètres demandait 10 minutes. On faisait faire aux batteries le voyage de Paris pour les recharger.

Voitures Darracq. — Moteur spécial. — Ce coupé, à 4 roues en bois munies de bandages en caoutchouc, porte un accumulateur Fulmen de 40 éléments, capacité 125 ampères-heures, au débit de 25 ampères.

Le moteur, à quatre pôles excité en dérivation, présente *un double enroulement induit où le courant est admis en série ou en parallèle.* Le régulateur rappelle, en petit, celui des voitures du tramway Paris-Saint-Denis. L'attaque de l'essieu d'arrière se fait par train différentiel.

Une autre particularité du mouvement consiste en ce que la liaison entre l'arbre intermédiaire et l'essieu s'établit moyennant des ressorts, dont le jeu est assez ample pour permettre au moteur de se lancer sans à-coup.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On marche pendant 5 heures à la vitesse de 12 kilomètres à l'heure sur route de profil facile.

Voitures de la Société l'Électrique. — Accumulateurs à feuilles festonnées. — La Société *l'Électrique*, de Bruxelles, a essayé sur des voitures automobiles ses nouveaux accumulateurs à positifs parallélipipédiques.

Dans la construction de cet élément, la Société s'est départie complétement du principe même de l'accumulateur Julien à grillage (§ A-2 et § B-1, *b*) pour en revenir à la formation Planté des positives.

La figure 538 montre l'ensemble de l'élément.

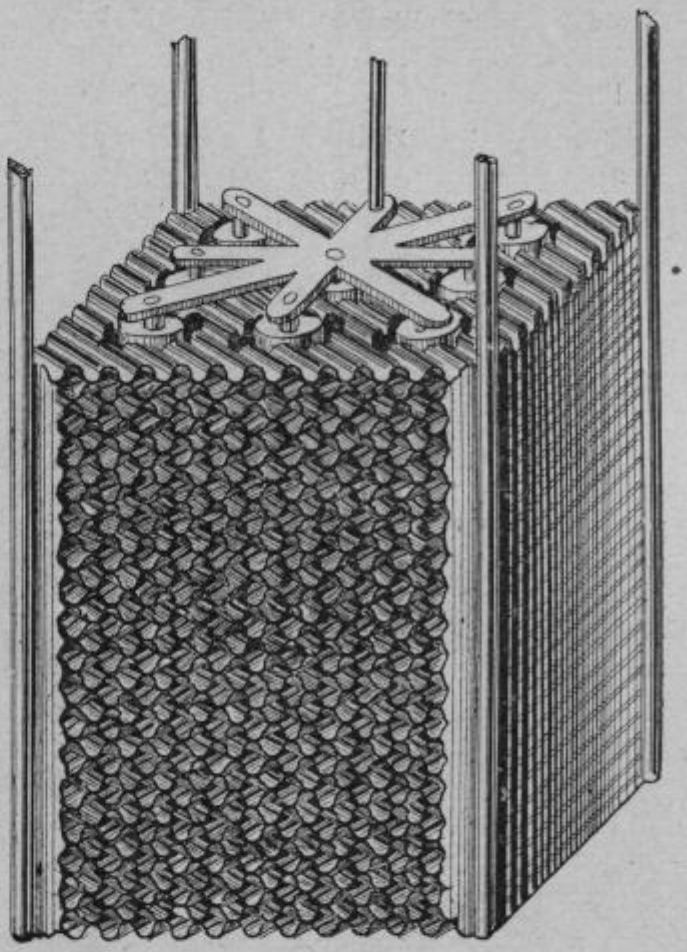


Fig.538.

Électrode positive. — Le positif (fig. 539) est formé d'un empilage de feuilles de plomb de $^3/_{10}$ de millimètre, festonnées au cylindre, après perforation à l'emporte-pièce d'un certain nombre de trous qui serviront de logement aux parties du négatif. Les feuilles croisent leurs festons; elles sont soudées entre elles aux angles.

Électrode négative. — α. — Dans l'un des types, le négatif est composé de cylindres en oxyde moulés, superposés et portant au centre un trou vertical, dans lequel se coule le bâton de plomb antimonieux qui les assemble.

β. — Dans d'autres éléments, le négatif est en partie soluble; cette électrode comporte un précipité cristallin de *zinc* sur supports en cuivre amalgamé, plongeant par le pied dans des petits godets en bois paraffiné, recueillant le mercure à la décharge. L'électrolyte est du sulfate de zinc, qui, après la charge, est transformé en acide. A circuit ouvert, l'attaque de l'électrode est négligeable.

La force électro-motrice de l'élément zinc-plomb s'élève à 2.65 volts. Cette combinaison était préconisée par feu Reynier pour régulariser le travail des dynamos à poste fixe, la décharge, près du point de saturation, présentant des variations moins brusques de force électro-motrice que celle du type ordinaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voitures. — L'une à quatre roues et quatre personnes, ancienne automobile à pétrole transformée, pèse 1,230 kilogrammes en charge, avec une batterie de 280 kilogrammes type nouveau à négatif au plomb, de 120 volts et 12 ampères. Le moteur, d'une puissance nominale de 1.4 K. W., est excité en série, à enroulement inducteur fractionné en trois bobines, mises en circuit ou retirées à volonté. Sur route de niveau en asphalte, on roule à la vitesse de 18 kilomètres à l'heure en consommant 7 ampères à 120 volts; sur pavé, on consomme 10 ampères; en rampe, 12 ampères et plus. Chaque élément contient 2.8 kilogrammes d'électrode. Le moteur attaque par roues dentées un arbre intermédiaire portant un train différentiel et conduisant par chaînes l'essieu moteur solidaire des roues.

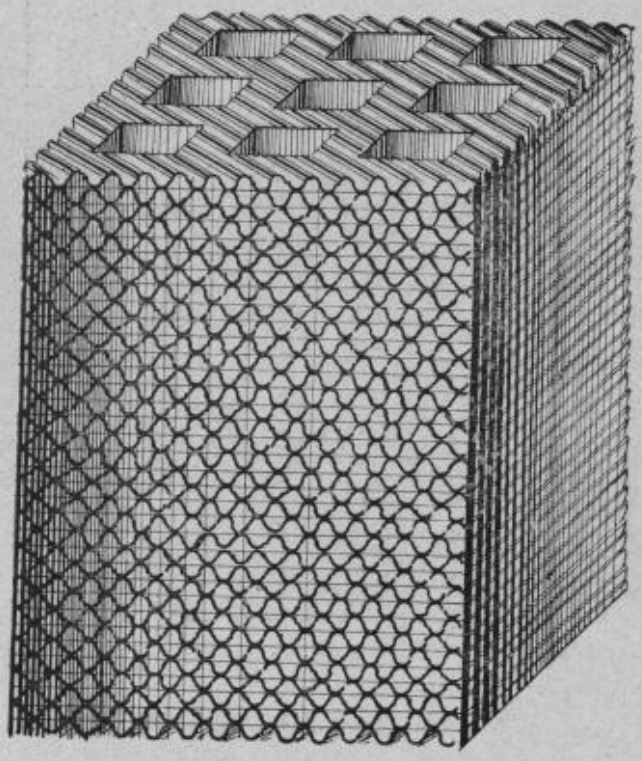


Fig. 539.

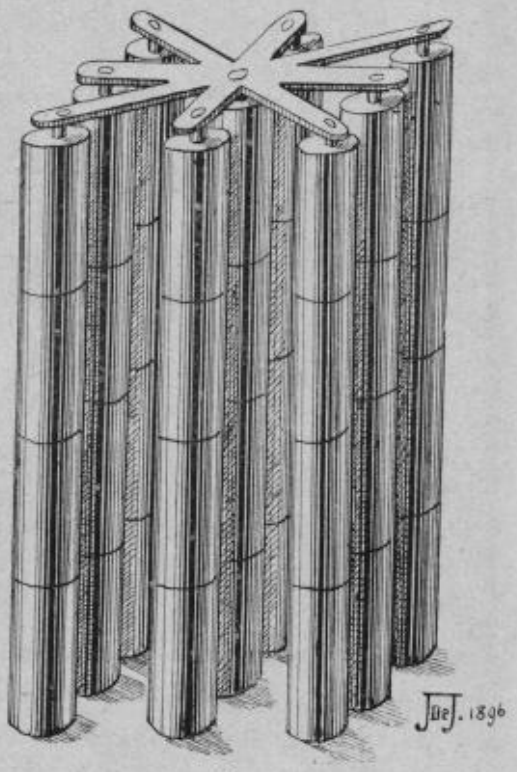


Fig. 540

D'autres voitures plus légères, 820 kilogrammes en charge, genre dog-cart à quatre personnes dos à dos, sont cependant munies d'accumulateurs et de moteurs plus puissants. La batterie comprend 48 éléments de 7 kilogrammes d'électrodes, pèse en tout 430 kilogrammes et débite 18 ampères sous 90 volts. Le moteur, de 1.6 K. W., pèse 65 kilogrammes. La vitesse est de 18 kilomètres sur bonne route.

États-Unis. — Aux États-Unis, la transmission du mouvement entre électromoteur et roues par train différentiel a été appliquée, en 1895, à une voiture de route étudiée par la Compagnie électrique Holtzer-Cabot, de Boston. La

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

description illustrée qu'en donne *The Electrical Engineer*, de New-York, du 27 juillet 1895, n'en fait pas ressortir d'autres traits originaux. Elle pèse 2,300 kilogrammes chargée de 44 éléments du type « chloride accumulator » ou Laurent-Cély. Son moteur, de 4 H. P., attaque le train différentiel par l'intermédiaire d'une chaîne. Elle porte trois sièges à six places. Les constructeurs sont MM. Chauncey Thomas et Cie, de Boston.

D'autres automobiles plus récentes ne s'écartent guère des types européens.

b. — *Transports publics.*

Omnibus. — Il n'existe, à notre connaissance, aucune organisation commerciale de l'exploitation de voitures automotrices électriques à voyageurs sur routes ordinaires, et la tentative faite en 1890 par MM. Ward et Radcliffe d'établir à Londres un service public d'omnibus chargés d'accumulateurs, si elle en a prouvé la praticabilité, fut sans doute un insuccès financier, car on n'en parle plus depuis longtemps.

Un essai antérieur d'un omnibus portant 700 kilogrammes d'accumulateurs au cuivre Commelin-Desmazure-Baillache, n'avait pas eu d'autre suite.

Camion Bersey. — En ces derniers temps, quelques solutions pratiques ont mérité une attention plus soutenue dans la propulsion des voitures de commerce.

Un fourgon de rue, ou *camion*, construit sur les plans de M. Walter C. Bersey, a parcouru dans les rues de la cité de Londres environ 1,600 kilomètres en 1894 et 1895 (1).

Ce véhicule est mû par deux moteurs attaquant les roues d'arrière par chaîne sans fin, tendue sous l'action de vis de rappel, moyennant un glissement des moteurs sur leurs supports.

La timonerie, montée sur support sphérique, obéit aisément aux mouvements directeurs du conducteur.

L'accumulateur, composé de 40 éléments, est logé sous le plancher du fourgon et monté dans un tiroir facile à manœuvrer.

Deux tonnes de marchandises se placent aisément dans l'intérieur.

Coût comparatif. — Un fourgon, chargeant 2 tonnes, à deux chevaux, coûte, cavalerie comprise, en y ajoutant un cheval de réserve, 6,250 francs. Le fourgon électrique coûte le même prix, mais, moyennant rechargement des accumulateurs, il peut continuer le travail de deux chevaux supplémentaires ainsi épargnés.

Frais de locomotion. — Si l'on compte pour un chariot chargeant 2 tonnes et effectuant 40 kilomètres par jour, une dépense hebdomadaire de 6 fr. 75 c. en

(1) *The Railway Supplies Journal*, 13 février 1895.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nourriture et réparations, la dépense serait réduite de 50 p. c. dans la traction par électricité, en tenant compte de l'entretien et de la dépréciation de la machinerie.

C. — Navigation.

1. — Canotage.

a. — *Emploi des piles primaires.*

Essais primitifs. — Les essais de navigation de plaisance, par emploi de la pile, avaient été abandonnés depuis ceux de *Jacobi* sur la Néva, en 1834, essais effectués au moyen d'une pile de 120 éléments Grove, et d'un moteur électromagnétique tournant, de trois quarts de cheval de puissance

Après la découverte du principe de la dynamo contemporaine et de sa réversibilité, *M. Marcel Deprez*, l'un des premiers, exécuta des modèles de canots électriques.

Canots Trouvé. — Piles — M. Trouvé, le constructeur bien connu de Paris, procéda, en 1881, à des expériences publiques et équipa plusieurs batelets de plaisance portant des piles *Trouvé* au bichromate, ou des piles *Bunsen-d Arsonval* (1).

Ces piles, logées sous les banquettes, sont aménagées de telle sorte qu'au repos les zincs puissent être aisément soustraits à l'action de l'électrolyte.

A cette fin, toutes les électrodes d'une batterie sont pendues à des traverses soulevées ou abaissées par un petit treuil.

Gouvernail-moteur — Un point intéressant à noter dans la construction des canots Trouvé, c'est la disposition de l'organe propulseur et du moteur, disposition que son inventeur appelait *gouvernail-moteur propulseur*.

La figure 541 qui le représente est extraite d'une brochure signée Georges Dary, *La Navigation électrique*, datant de 1883.

---

(1) Dans les piles au bichromate de *M. Trouré*, le liquide excitateur contient :

Bichromate de potasse pulvérisée	1.00 kilogramme.
Eau	8.00 —
Acide sulfurique.	3.06 —

Force électro-motrice, 1.9 avec une résistance de 0.08 ohm.

Les éléments *Bunsen-d'Arsonval* diffèrent du Bunsen ordinaire par le liquide dépolarisant formé de deux parties d'eau : une d'acide azotique, une d'acide chlorhydrique, en contact avec le charbon dans le vase poreux, le liquide dissolvant du zinc étant l'eau acidulée au dixième d'acide sulfurique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le moteur Trouvé était formé d'une ou plusieurs bobines Siemens se mouvant entre les branches de forts électro-aimants et attaquant simultanément, chacune par un pignon, un engrenage calé sur le même arbre qu'une roue dentée, mise en relation par une chaîne avec l'arbre de l'hélice.

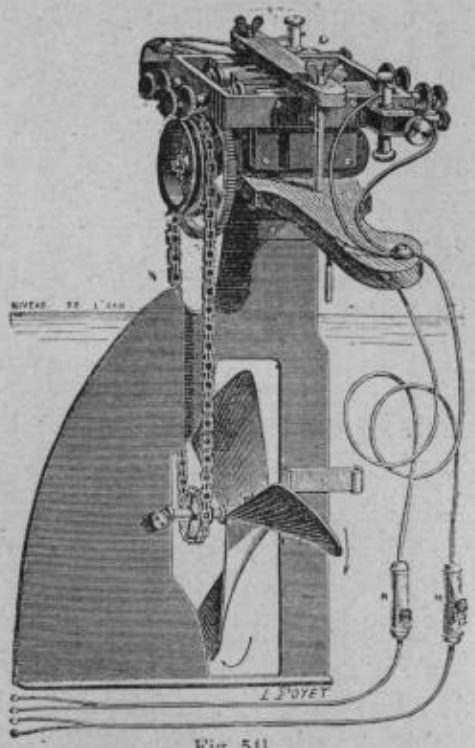


Fig. 541.

Résultats. — Un moteur de 20 kilogrammes mû par une pile de 8 batteries pesant 120 kilogrammes imprimait à un canot de promenade une vitesse de 2 mètres à la seconde à la montée, et 3 mètres dans le sens du courant, en Seine. La consommation de zinc était de 1 gramme pour 100 kilogrammètres.

Détail à noter, les tire-veilles destinées à faire manœuvrer le gouvernail servaient en même temps de câbles conducteurs allant de la pile au moteur : en leur milieu, ces tire-veilles portaient des poignées M, N pourvues chacune d'un contact à verrou, l'une pour la marche avant, l'autre pour la marche arrière.

Dans des embarcations plus importantes, l'hélice, indépendante du gouvernail, est attaquée directement par le moteur.

b. — *Emploi d'accumulateurs.*

Disposition générale. — Pour de grands canots de plaisance, on adopte généralement la disposition consistant à placer l'hélice sous l'étambot, de manière que le moteur agisse directement sur son axe, les batteries étant rangées au fond, parallèlement à la quille.

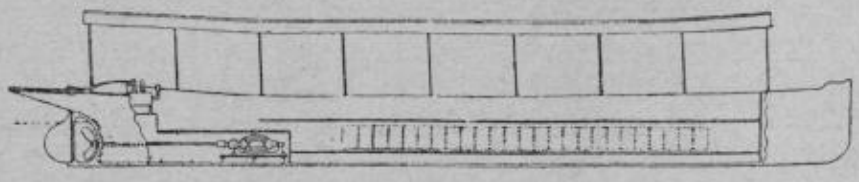


Fig. 542.

La figure 542 représente cette disposition telle qu'elle a été appliquée en Angleterre et sur le continent.

Essais publics à Vienne. — Pendant l'exposition d'électricité de Vienne, en 1883, évoluait sur le Danube une embarcation de 12 mètres de longueur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur 1m80 de largeur, mue par un moteur Siemens alimenté par une batterie de 80 accumulateurs. Elle pesait 5 tonnes et contenait 40 personnes.

Angleterre. — Premiers essais. — La navigation de plaisance s'est grandement développée en Angleterre, grâce surtout aux efforts de feu *A. Reckenzaun* et de *M. Immish.*

Le premier étant affilié à *The Electrical Power Storage Company*, monta, en 1882, le *launch* « Electricity » sur la Tamise, canot de 7m62 sur 1m52, portant une batterie de 40 éléments et une dynamo Siemens attaquant directement l'arbre de l'hélice.

Le Volta. — L'un des canots les plus remarquables, le *Volta*, étudié par MM. Immish et Reckenzaun, fit, sous la conduite de ce dernier, le 13 septembre 1886, la traversée de Douvres à Calais en 3 h. 51 m. et effectua le retour en 4 h. 23 m. sans avoir rechargé ses accumulateurs.

Construction. — Le *Volta*, construit en tôle d'acier de 1.65 millimètre d'épaisseur, mesurait 11m28 sur 2m08 et jaugeait 6 tonneaux. Il était armé de deux moteurs pesant ensemble 331 kilogrammes, dont les induits étaient enfilés sur l'axe d'une hélice à trois branches de 51 centimètres de diamètre; d'un pas de 28 centimètres, tournant à 600, à 800 ou à 1,000 tours, selon la manœuvre du rhéostat et l'accouplement des moteurs; pour la petite vitesse, ils marchaient en série; pour la moyenne, un seul recevait le courant; pour la grande vitesse, ils étaient attaqués en parallèle. (Voir un moteur Immish primitif, p. 81.)

Batterie. — L'accumulateur de 61 éléments E. P. S. pesait 2 tonnes et fournissait normalement 28 ampères, mais cette intensité était doublée et même triplée pour certaines manœuvres, la puissance des moteurs étant susceptible d'atteindre 16 chevaux.

Flottilles de la Tamise. — Mais c'est principalement sur la Tamise que la « General Traction Company » et la *Maison Woodhouse et Rawson* ont fait, de la navigation de plaisance, une affaire industrielle, en établissant de véritables petites flottilles de canots qui trouvent, dans des stations de charge, le moyen de renouveler leur provision d'électricité. M. Jacquin les a décrites en détail dans une conférence à la Société internationale des électriciens (*Bulletin* de novembre 1891). A cette époque, la première de ces flottilles comprenait douze canots; la seconde, sept.

Disposition. — Ces canots sont en bois. Le moteur excité en série, enroulé en tambour, à quatre pôles, assis sur la cale, attaque directement l'hélice. (Voir fig. 542.)

Batteries. — Leurs accumulateurs sont du type E. P. S., logés sous les banquettes qui contournent l'intérieur du bateau. A cette fin, pour les petites

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

embarcations, les récipients et les plaques des éléments sont taillés en forme de trapèze. Ils reposent sur des godets à couvercle en faïence contenant de l'huile minérale.

Types divers. — Les longueurs varient entre 9 et 21 mètres. Le type le plus répandu est celui de 10m50 et le plus remarquable est la *Viscountess Bury*, mesurant 19m50 de long sur 3 mètres de large, muni d'une hélice à deux ailes de 49 centimètres de diamètre et 45 centimètres de pas.

Voici quelques données extraites des études de M. Jacquin et de M. Bennett sur les types les plus intéressants :

LONGUEUR.	LARGEUR.	CONTENANCE EN PERSONNES.		MOTEUR.			ACCUMULATEUR.							VITESSE AUTORISÉE EN KILOMÈTRES.
				PUISSANCE ET VITESSE EN TOURS.		POIDS EN KILOGRAMMES.	NOMBRE D'ÉLÉMENTS.	PLAQUES DES ÉLÉMENTS.				POIDS TOTAL EN KILOGRAMMES.	CAPACITÉ EN AMPÈRES-HEURES.	
								Nombre.		Dimensions : Épaisseur, 3 millim.				
		Totale.	Cabine.	Grande vitesse.	Petite vitesse.			+	—	Hauteur.	Largeur.			
19m50	3m00	70	25	1,700 tours. 10 chev.	1,100 tours. 4 chev.	500	180	11	12	0.30	0.20	5,400	300	9.5
12m20	1m82	40	...	750 tours. 5 chev.	...	159	50	7	8	0 30	Trapèze 0.25 – 0 19	1,200	120	9.5
10m50	...	20	12	750 tours. 3.5 chev.	510 tours. 1.35 chev.	159	44	7	8	0.30	Id.	1,000	105	9.5
9m00	...	15	12	Id.	Id.	...	44	7	8	0.30	Id.	1,000	105	9.5

On trouvera plus loin des renseignements sur le coût des canots et les dépenses d'exploitation des flottilles.

Marche. — Tous ces canots ont été étudiés pour marcher pendant 6 ou 7 heures, accomplissant ainsi environ 60 kilomètres sans repasser par la station de charge. Le moteur en est simple et robuste; l'appareil de changement et de modération de la marche se manœuvre aisément, même par une main inexpérimentée. (Voir p.135.)

La charge dure de 3 à 4 heures. Sept stations permanentes et six flottantes, échelonnées sur la Tamise, comportent chacune une puissance d'une quarantaine de chevaux actionnant des dynamos Shunt de 50 à 70 ampères et de 150 à 200 volts.

Cette industrie s'est répandue en d'autres parties de l'Angleterre, notamment sur les lacs du Lancashire, où une chute d'eau fournit la puissance initiale.

France. — Canots de la marine. — La marine française possède, depuis 1887, des canots électriques affectés surtout aux services de visite Les premiers étaient munis d'accumulateurs au cuivre *Commelin-Desmazures-Baillache*,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont il a déjà été question à propos des essais de Hagen et de Vienne (§ A), et dont le type usité par la marine française est décrit plus loin, comme ayant servi aux essais du bateau sous-marin *le Gymnote* (§ 2).

Le plus ancien de ces canots, construit par MM. de Zédé et Krebs, mesurait 8m85 sur 2m10, pesait 5 tonnes et filait 6 nœuds à l'heure. Il portait 132 éléments pesant 3,200 kilogrammes et un moteur de 12 H. P.

Au lieu d'attaquer directement l'hélice, l'électro-moteur lui transmettait son mouvement par un pignon et un engrenage, de sorte que pour 1,000 ou 1,200 tours de l'induit, l'hélice en faisait 300.

La marine française a essayé également d'autres accumulateurs.

Canot de plaisance. — Élément Gadot. — Le *Génie civil*, du 3 mars 1894, décrit un canot muni d'un moteur à engrenages comme celui du premier canot de la marine, actionnant une hélice de 55 centimètres de diamètre à trois ailes. Il mesure 8 mètres de longueur sur 1 mètre de profondeur. L'accumulateur est formé de 52 éléments *Gadot*.

L'accumulateur Gadot, type primitif, ne diffère de l'accumulateur Faure-Sellon-Volkmar que par la grille qui est dédoublée, de telle sorte que les deux demi-grillages maintiennent entre eux les pastilles d'oxyde.

Cette embarcation est équipée par la Société Boulet, de Paris. Aux essais publics, le moteur demandait 30 ampères, à 100 volts, pour rendre une puissance moyenne de 3.25 chevaux et marcher à une allure de 10 à 14 kilomètres à l'heure en Seine. Ce canot, en ordre de marche, pèse 4,500 kilogrammes.

Francfort. — A l'exposition d'électricité de Francfort, en 1891, la Compagnie d'Œrlikon avait mis à flot, sur le Main, une embarcation de promenade, le *Zurich*, mesurant 16 mètres sur 3m10 et portant 56 éléments *Schoop à électrolyte gélatineux* (voir § A-5), contenant chacun 63 kilogrammes de plaques; elle pesait 15 tonnes.

Avec un moteur de 10 à 12 chevaux, on marchait à la vitesse de 2m70 par seconde, pendant 8 heures. On a même, au cours d'essais spéciaux, en agissant sur le champ magnétique, atteint 13.9 chevaux et une vitesse de 3m04 par seconde. Ce bateau portait aisément 45 personnes.

États-Unis. — Lac Michigan. — En 1893, à Chicago, les différents points du lac Michigan, sur les bords duquel se tenait la *World's Fair*, étaient desservis par une flottille de 52 embarcations de 11 mètres, à 30 places, portant des accumulateurs de 66 éléments qu'on chargeait la nuit.

Dans la plupart de ces embarcations, on retrouve l'induit du moteur directement enfilé sur l'arbre de l'hélice.

Moteur sur gouvernail. — En certains cas, on est revenu à la disposition Trouvé, c'est-à-dire au gouvernail-moteur-propulseur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous reproduisons, figure 543, un agencement du moteur sur gouvernail construit par M. W. S. Salsbury, de Chicago. Le moteur M attaque, par pignon et engrenage enfermés sous enveloppe, un arbre flexible logé dans un tuyau et relié à l'hélice à travers un stuffing-box. Le tout fixé sur une planchette s'accroche en place du gouvernail. M. Trouvé avait déjà indiqué l'usage du câble flexible.

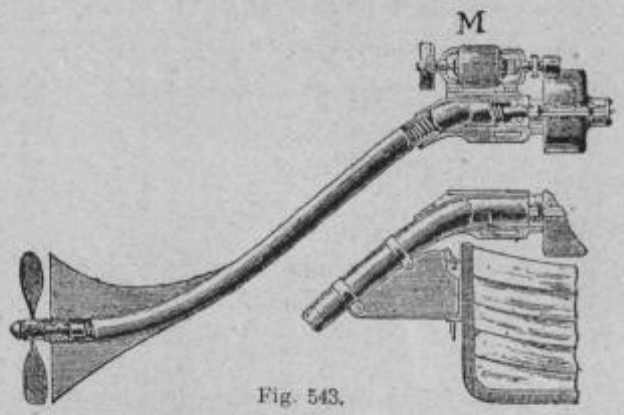


Fig. 543.

Coût de construction des canots. — Frais d'exploitation des flottilles. — L'accumulateur et parfois la pile primaire sont d'un emploi rationnel dans la navigation de plaisance; il est utile de réunir des données commerciales concernant les embarcations existantes et l'exploitation des flottilles, comme celles de la Tamise ou du lac Michigan.

Coût de construction. — Un petit canot électrique contenant 10 ou 12 personnes coûterait 6,000 francs, accumulateurs compris. Les données n'abondent pas et nous extrayons les suivantes d'un livre récent de MM. Thomas Commerford Martin et J. Sachs, intitulé : *Electrical Boats and Navigation*.

Une évaluation fournie à ces auteurs par M. Reckenzaun, en 1890, estimait ainsi le coût de 12 canots de 8^m45 sur 1^m80 chargés d'une tonne d'accumulateurs pouvant accomplir 96 kilomètres à la vitesse, 9.6 kilomètres avec une seule charge, et portant 20 passagers :

12 coques, cabines, bancs, etc.	33,000 francs.
12 tonnes accumulateurs, capacité 16,240 watts-heures par tonne	33,600 —
12 moteurs à 2,000 francs	24,000 —
12 hélices avec arbres, accouplements, paliers et stuffing-boxes	6,000 —
Commutateurs, connexions, lampes (4 par bateau)	2,400 —
Acide et montage	6,000 —
Coussins, cordages, ferrés, agrès, outils, pompes	1,500 —
Total. . .	106,500 francs.

Soit 8,875 francs par canot complet en ordre de marche.

Pour la station de charge, il comptait :

Terrain et bâtiment hors ville	20,000 francs.
Chaudière et machine à vapeur placées	20,000 —
Dynamo de 40 kilowatts et accessoires, montée	10,000 —
Circuits de charge et connexions.	1,250 —
Plate-forme d'amarrage, outillage, etc.	2,500 —
Total. . .	58,750 francs.

Ailleurs, nous trouvons que les canots de la « World's Fair » de Chicago (40 personnes) ont coûté en moyenne 15,000 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses d'exploitation. — Les mêmes auteurs fournissent les données recueillies concernant les opérations de la flotte de 54 canots de la « World's Fair » :

Nombre total de tours de 4.8 kilomètres		56,207 tours.
Parcours kilométrique moyen par canot		41 kilom.
Frais de charge électrique par jour et par bateau, à 15 centimes le cheval-heure.	fr.	2 78
Dépense moyenne par jour et par bateau pour soin et réparation des hélices, de 54 moteurs, de 162 boîtes à bourrage, 3,524 éléments d'accumulateurs; main-d'œuvre pour surveiller la charge, par bateau et par jour		2 15
Entretien et renouvellement des plaques des batteries.		2 05
Tout autre entretien au bateau		0 45
Soit par canot et par jour.	fr.	7 43

Ce qui fait ressortir le canot-kilomètre à 29.4 centimes.

Les canots accomplissaient leur service journalier de 12 à 40 heures moyennant une seule charge des accumulateurs.

Chaque canot faisait 8 à 10 tours de 4.8 kilomètres, rapportant environ 2 fr. 50 c. chacun. C'est une moyenne journalière de 22 fr. 50 c.

A Londres, la location des canots, abstraction faite des plus grands qu'on paye très cher, s'établit ainsi : pour bateaux de 30 personnes, 17 shillings ou 21 fr. 25 c. par jour; pour canots de 24 personnes, 18 fr. 75 c.; de 15 personnes, 16 fr. 75 c.; de 10 personnes, 14 fr. 25 c. par jour. Ces prix sont rémunérateurs.

2. — Navigation sous-marine.

Nous sortirions autant de notre rôle que du cadre de cette étude, si nous exposions les différents engins sous-marins mobiles, auxquels s'applique l'électricité, à l'usage des navires de guerre et des ports fortifiés.

Ne pouvant qu'effleurer ici un objet qui n'est guère de notre compétence, nous nous contenterons d'indiquer les ressources que les *organes propulseurs* ont empruntées à l'électricité.

a. — *Bateaux sous-marins.*

Bateaux Goubet. — Les petits bateaux sous-marins de M. Goubet, destinés à être portés par des navires, pour être lancés au moment de l'action, en vue du placement des torpilles, étaient mus de diverses façons. Ils reçurent un perfectionnement dans l'application de la propulsion électrique.

L'un d'eux, construit pour la marine russe, mesurant 5 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur et $1^{m}78$ de hauteur, portait un officier et un matelot. Son équipement consistait en 30 accumulateurs au plomb de $0.30 \times 0.30 \times 0.18$ et une dynamo Siemens de 48 volts 9 ampères, pesant 200 kilogrammes. L'éclairage et les mires sont électriques.

Il manœuvrait dix ou douze heures, à des vitesses variables atteignant parfois 5 nœuds.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Bateau Tuck. — Le bateau construit, en 1884, par le professeur américain Tuck, était du même genre, à la longueur près. De plus, les torpilles retenues, par des électro-aimants sur la coque, s'en détachaient par rupture du courant.

Le Gymnote. Accumulateur Commelin-Desmazures. — L'un des plus importants bateaux sous-marins connus est le *Gymnote*, construit par MM. Krebs, Zédé et Romazzetti, pour le compte de l'amirauté française.

Moteur. — Mesurant 20 mètres de longueur, 1m80 de diamètre, ce bateau jauge environ 30 tonneaux. L'hélice à quatre ailes a 1m50 de diamètre; elle est mue, à la vitesse de 200 tours, par un moteur à 16 pôles de 60 chevaux, 220 ampères, 220 volts, pesant 2,000 kilogrammes. Ce moteur permet une vitesse de 10 à 11 nœuds à l'heure. Résistance intérieure, 0.16 ohm à 40°; champ magnétique, 3,000 unités C. G. S.

Batterie. — L'accumulateur *Commelin-Desmazures-Bailhache* comprend 564 éléments formés chacun : de plaques positives en cuivre poreux ayant une densité de deux tiers de celle du cuivre laminé, serties dans un cadre de même métal, puis enveloppées de chemises en parchemin végétal; de négatives en tissu métallique de fer étamé et amalgamé, plongeant dans une électrolyte de zincate de potasse à 50° Baumé contenu dans un récipient en tôle étamée. (Voir aussi, concernant l'élément à oxyde de cuivre, le § A [Hagen et Vienne].)

Poids par élément :	Plaques	8 kilogrammes.
— —	Liquide	9 —
— —	Boîte et isolants	3 —
	Total. . .	20 kilogrammes.

Il résulte de renseignements officiels, que la capacité d'un tel élément est de 450 ampères-heures, soit 60 ampères au kilogramme de plaque, et 22.5 ampères-heures par kilogramme de poids brut. Mais la force électro-motrice, qui ne dépasse pas 0.9 volt, tombe successivement à 0.75. Quant au régime normal de décharge de 5 ampères au kilogramme de poids brut, il peut être largement dépassé et être porté à 20 ampères au kilogramme pendant de courts instants, sans compromettre la durée de l'élément.

On marche à 10 ou 11 nœuds pendant six heures.

Le rendement sur lequel on peut compter en énergie électrique est 70 p. c. (1).

Les torpilleurs construits depuis l'apparition du *Gymnote*, entre autres le *Waddington* anglais, lui empruntent ses principaux caractères.

---

(1) Ce rendement varie selon la rapidité de la décharge, modifiant ainsi le poids brut requis par cheval-heure, lequel est compris entre 28 et 38 kilogrammes Un seul accumulateur donne un poids moindre, c'est l'accumulateur à plaque d'argent, ne différant du précédent que par la substitution de l'argent au cuivre. Force électro-motrice : 1.60 volt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

b. — *Torpilleur semi-électrique.*

Ce système mixte, imaginé par M. Holland et essayé par la marine américaine, en 1895, porte des machines à vapeur pour la navigation à fleur d'eau, et un moteur électrique alimenté par accumulateurs, quand il s'enfonce entre deux eaux. Voici ses principaux éléments : forme allongée en cigare, longueur 24 mètres, diamètre 3m30; deux machines à vapeur à quadruple expansion de 500 chevaux, actionnant deux hélices à la vitesse de 16 nœuds, descendant à 15 nœuds à fleur d'eau. Sous eau, ces machines sont remplacées par deux moteurs électriques pouvant lui imprimer une vitesse de 8 nœuds à la profondeur de 21 mètres, répondant à la pression maxima que puisse supporter la coque. L'accumulateur permet seize heures de marche.

C'est sur le même principe qu'est construit, à dimensions réduites, le torpilleur *Baker* à hélices latérales (1).

c. — *Torpilles automobiles.*

L'électricité a été appliquée à la propulsion d'un genre de torpilles automobiles qui, auparavant, empruntaient leur mouvement de progression à d'autres agents.

La plus remarquable est la torpille *Nordenfeldt*, essayée, en 1888, dans la Tamise. Elle a la forme d'un cigare de 10m64 sur 736 millimètres, pèse 3,000 kilogrammes, y compris une charge d'explosif de 200 kilogrammes.

Son moteur développant 18 chevaux à la vitesse de 18 nœuds, ses gouvernails et ses amorces sont en relation avec le navire, ou la côte, au moyen d'un câble à conducteurs multiples se déroulant sur une longueur de 4 kilomètres.

Dans d'autres types de torpilles entraînant également des fils électriques, le courant n'agit pas sur un moteur électrique de propulsion, mais seulement sur des organes directeurs. Ce n'est plus de la locomotion électrique.

3. — Bateaux du commerce.

Propulseur Gaillot.

L'accumulateur a servi de source d'électricité dans une expérience exécutée pendant les premiers jours d'octobre 1894, près Paris, sur les canaux reliés à la Seine.

L'accumulateur *Laurent Cely* (voir § A, Paris), fourni par la Société pour le travail électrique des métaux, était installé sur une péniche longue de 38 mètres, chargée de 180 tonnes.

---

(1) Voir *Génie civil* du 2 mars 1895.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le propulseur étudié par M. Gaillot, ingénieur des Ponts et Chaussées, rappelle la disposition Trouvé, en ce sens qu'il est installé sur le gouvernail, mais l'ensemble en est simplifié. Nous le reproduisons d'après l'*Industrie électrique* du 10 octobre 1894.

L'électro-moteur M (fig. 544) attaque, par une tige munie d'un pignon conique p, une roue dentée b calée sur l'arbre de l'hélice.

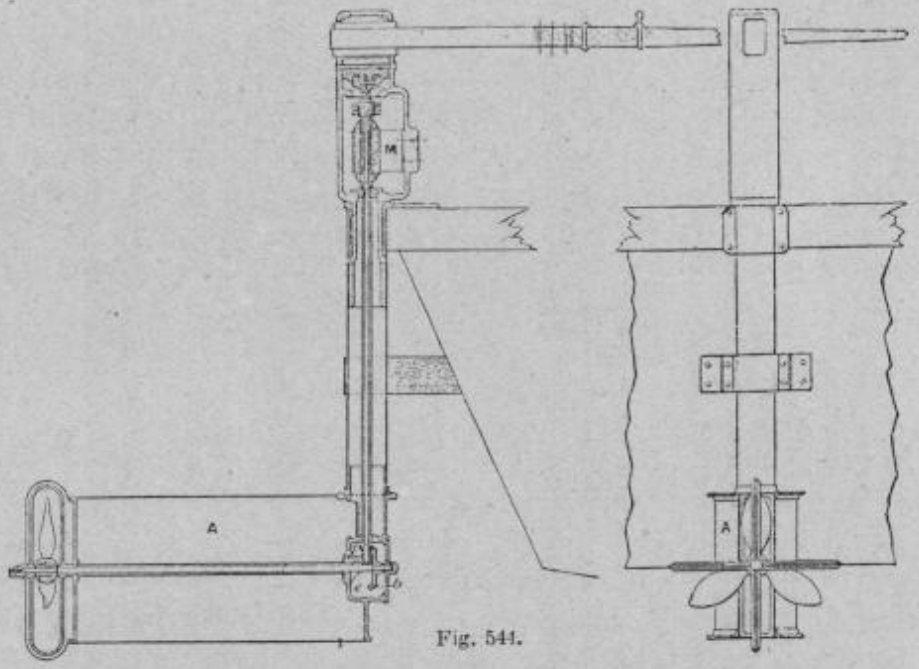


Fig. 544.

Ce pignon et cette roue tournent dans une boîte à l'huile hermétique c; leurs révolutions sont dans le rapport $^{11}/_{37}$.

Sur toute sa hauteur, la tige verticale est enveloppée d'un double fourreau formant l'axe creux du gouvernail A, et se trouve, à son extrémité supérieure, équilibrée par l'attraction d'un électro-aimant. L'hélice fait 300 tours.

Le moteur, développant 4.6 chevaux, imprimait au bateau une vitesse de 85 centimètres par seconde, « supérieure de 40 p. c. à celle que peuvent lui imprimer deux chevaux tirant à plein collier ».

Dans ces conditions, la comparaison des prix de revient de la propulsion électrique et de la traction animale emprunterait d'utiles données aux exploitations de tramways décrites dans le présent chapitre, au § A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VII. — Locomoteurs spéciaux pour grands railways.

A. — Expériences sur voie ordinaire.

1. — Questions a résoudre.

En tant qu'il ne s'agisse pas de l'organisation de trains de tramways et de voitures de capacité ordinaire, la technique de l'électro-traction se trouve en présence de problèmes distincts pour chaque application, et d'autant plus difficiles à résoudre que les solutions n'ont pas seulement à porter sur les électro-moteurs, mais encore sur les moyens spéciaux de leur fournir le courant, abstraction faite de la nature du trafic et de la question de dépense.

Dans la substitution de l'électricité à la vapeur sur les grands railways, la plus sérieuse difficulté se présente dans l'étude de la constitution électrique et mécanique du moteur; elle subsiste toujours, quel que soit le mode de transmission du courant, et c'est à bon droit qu'elle s'est offerte aux ingénieurs des railways comme devant faire l'objet de leurs préoccupations primordiales, la formation du circuit à distance étant le problème de la seconde étape.

C'est, en effet, dans le dispositif même du moteur que s'est trouvée la pierre d'achoppement où s'est buttée la Compagnie qui entreprit l'un des premiers essais notables ayant pour objet la comparaison de l'électricité avec la vapeur en vue de substituer la première à la seconde sur son railway.

Nous verrons dans cette comparaison (§ 3), portant sur le rendement, le rôle qu'y jouait le moteur.

2. — Locomotive Field.

L'une des premières locomotives électriques qui circula sur un railway fut celle de M. Stephen, D. Field, dont les débuts dans la traction électrique aux États-Unis avaient été presque contemporains de ceux de Werner Siemens en Europe.

Cette locomotive, essayée en 1888 sur l'une des branches du chemin de fer surélevé de New-York, a été décrite au chapitre I-A-*h* (p. 66).

Après quelques semaines d'essais, M. Field considéra comme bien démontrée la praticabilité d'un service effectué au moyen de moteurs de ce genre sur les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

railways, mais porta plutôt son attention vers les applications plus immédiatement réalisables aux street railways.

3. — Essais du Manhattan Railway de New-York.

a. — *Conditions de l'essai et description.*

Objet. — Succédant à plusieurs tentatives de halage électrique des trains du chemin de fer aérien de New-York, dues principalement à l'initiative de deux électriciens, MM. Daft et Field, une expérience plus importante fut entreprise, en 1889, sur le « Manhattan Elevated Railway » de New-York, et fut conduite par les ingénieurs du service de la traction de cette Compagnie.

Une somme d'environ 150,000 francs fut dépensée en frais d'établissement.

Installations fixes. — Elles comportaient une machine avec chaudières, d'une puissance totale de 400 chevaux; quatre dynamos d'un débit total de 200 chevaux; trois conducteurs positifs en cuivre de 15 $^1/_2$ millimètres de diamètre, fixés à des isolateurs attachés aux poutrelles de la voie et régnant le long de trois voies longues de 2,832 mètres chacune. La force électro-motrice était entretenue à 500 volts environ. Le retour du courant s'opérait par les rails convenablement reliés entre eux. Les inclinaisons variaient entre 10 et 18 millimètres par mètre.

Locomoteur. — La locomotive, pesant 10 tonnes, avait été étudiée pour développer 120 chevaux et atteindre une vitesse de 40 kilomètres à l'heure; elle était portée sur quatre roues motrices de 1^m20 de diamètre accouplées par bielles et présentant un entraxe de 1^m80. (Voir chapitre I, fig. 15.)

Sur l'un des essieux moteurs étaient calés, près des roues, deux engrenages mus par deux pignons symétriquement disposés sur l'arbre de l'induit du moteur. Cet arbre tournait dans les paliers d'un support en partie formé par les inducteurs et articulé, d'un côté, au bâti général et, de l'autre, à l'écrou d'une vis qui en réglait la position relative.

Un détail intéressant est encore à noter : on avait laissé un petit jeu aux roues motrices par rapport au bâti moyennant des ressorts en caoutchouc, de sorte que les dents des pignons se mouvaient dans le sens vertical entre les dents des roues d'engrenage lorsqu'il se produisait des oscillations (1).

---

(1) Nous avons quelque raison de reproduire à cet égard le texte même de la *Railroad Gazette* du 11 juillet 1890 : « The driving wheels were allowed to play in the pedestals a trifle by means of rubber springs, and the teeth of the pinions consequently moved up and down between the teeth of the gear wheels when vibration took place. »

Avant d'employer les engrenages, M. Daft avait essayé la transmission par galets de friction sur roues cannelées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

b — *Résultats publiés.*

Voici, en résumé, les résultats publiés en 1890 par M. Lincoln Moss, dans la comparaison à laquelle il procéda entre cette locomotive électrique et une locomotive à vapeur d'un poids adhérent de 17 tonnes à cylindres de 28 sur 37 centimètres timbrée à 9 $^1/_2$ atmosphères.

	Locomotive électrique.	Locomotive à vapeur.
Puissance indiquée en chevaux aux cylindres de la machine à vapeur, moyenne	176 (à l'usine)	25.92
Puissance nette en chevaux sur la barre d'attelage, moyenne . . .	26.7	21.95
Rendement moyen, pour cent.	15.1	85
Vitesses en kilomètres à l'heure : maximum	32	37
— — — moyenne	15	27

Nous allons dire un mot de ces coefficients.

c. — *Discussion.*

Rectifications. — Dans une étude datant de 1890 (1), nous avons établi que le chiffre de 85 p. c. ne pouvait pas représenter le rendement d'une locomotive à vapeur, sur la barre d'attelage, par rapport au travail indiqué, et que les chiffres les plus favorables pouvaient osciller entre 51 et 66 p. c. au grand maximum; tandis qu'un écart considérable de vitesse et de charge affaisse le rendement jusqu'à 39 p c. dans ce genre d'engins.

Par contre, envisageant la transformation de l'énergie mesurée aux bornes de l'électro-moteur et la transmission entre l'axe de l'électro-moteur et l'essieu, par pignon et engrenage, et nous basant sur les résultats d'autres essais, nous leur avons assigné, dans ce cas spécial, un coefficient de perte d'énergie considérable. Cette perte s'élève surtout, quand la vitesse et la charge normales prévues dans le choix des proportions des éléments électro-magnétiques et mécaniques ne sont pas respectées. Nous avons reproduit des tableaux d'expériences montrant que c'est principalement dans le jeu des roues dentées, que les variations d'allure et d'efforts introduisent des changements importants de la résistance nuisible. *Cette influence du mécanisme s'accentue en raison de la diminution de la charge et de l'accroissement de la vitesse.*

L'absence de mesures électriques, dans le rapport de M. Moss, n'avait pas permis de chiffrer la disproportion entre les constantes du moteur et l'importance de l'installation fixe. Le champ est resté ouvert aux hypothèses concernant la mauvaise utilisation de la puissance produite qui aurait pu être répartie sur plus d'un train ou réglée avec plus de souplesse. Mais en admettant des pertes excessives de ce chef, il restait indubitable que les plus sensibles provenaient *d'un vice d'ordre cinématique au moteur*. Sans quoi le rendement moyen eût

(1) Voir *Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, janvier 1891.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pu atteindre au moins le taux constaté sur les tramways où fonctionnent des moteurs à simple réduction, *single reduction motors*, c'est-à-dire 37 p. c. à la jante du travail indiqué aux cylindres, soit 30 p. c. sur la barre d'attelage.

Conclusions. — Nous concluions que, « sur les railways, la vitesse possible, « les démarrages moins fréquents, l'admission d'un poids plus élevé des organes « électro-magnétiques, tout en justifiant l'absence d'organes de réduction de « la vitesse angulaire de l'induit et en éliminant leur influence nuisible, permet- « traient un rendement sur la barre d'attelage ne s'écartant guère des chiffres « trouvés pour la locomotive à vapeur, soit 39 à 50 p. c. Il en résulterait un « rendement économique final plus élevé, puisqu'il bénéficierait des avantages « réalisables sous ce rapport dans des installations fixes. »

Ainsi, à moins de conditions spéciales autorisant une marche très lente, le moteur électrique des railways sera du genre « Gearless », s'il s'agit de trains fréquents ayant une vitesse de trains de voyageurs.

Forcé, en certains cas, de limiter la vitesse au profit de la charge, on a quand même adopté le moteur Gearless dans des circonstances permettant de compenser le surcroît d'énergie dépensée sous forme électrique par l'abaissement du coefficient général de frottement qu'eût entraîné un mécanisme, indépendamment des autres inconvénients.

Les exemples qui suivent montrent autant de faits acquis à cette thèse.

4. — Expériences de MM. Crosby et Weems.

a. — *Description.*

En 1891, MM. Crosby et Weems, pour compte d'une Compagnie organisée par ce dernier, ont procédé à un premier essai de l'espèce à Laurel, aux États-Unis. Dans ces expériences, un car automobile de 82 centimètres de haut sur 70 centimètres de large et 3m08 de long, portant deux moteurs dont les armatures étaient calées directement sur les essieux et pesant environ 2 1/2 tonnes, était lancé sur une voie circulaire de 71 centimètres et de 3,200 mètres de circonférence. Il atteignit une vitesse finale d'environ 184 kilomètres à l'heure. Ce car, terminé en pointe aux deux bouts, prenait son courant sur une tringle en fer soutenue par une charpente tout le long de la voie, au-dessus du locomoteur (fig. 545).

L'armature de chacune des dynamos se composait de 100 sections de deux tours en fil n° 12 B. W. G. (2.8 millimètres) et les inducteurs 120 tours de fil n° 4 (6.10 millimètres). Le courant arrivait du rail supérieur par des balais en cuivre appliqués par des ressorts, et revenait par les roues et les rails avec une très faible résistance, 0.25 ohm, au travail du locomoteur.

La génératrice était une dynamo Edison de 70 chevaux, mue par une machine Ball de 90 chevaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

b. — *Marche des expériences.*

On abaissa d'abord la tension à 400 volts par l'interposition d'une résistance de 12 ohms; quant à l'intensité, on la faisait varier de 0 à 150 ampères au moyen d'un rhéostat liquide excessivement simple, constitué par une couche d'eau salée au fond d'un tonneau pourvu d'une plaque de fer de 200 millimètres environ de côté, et dans laquelle on faisait plus ou moins plonger un conducteur terminé par une plaque de même dimension.

Des observateurs placés en cinq ou six points de la circonférence de la voie notaient les heures de passage du locomoteur; on relevait à la station — située à 60 mètres à l'intérieur du cercle — et en deux points de la voie, l'intensité et la tension du courant.

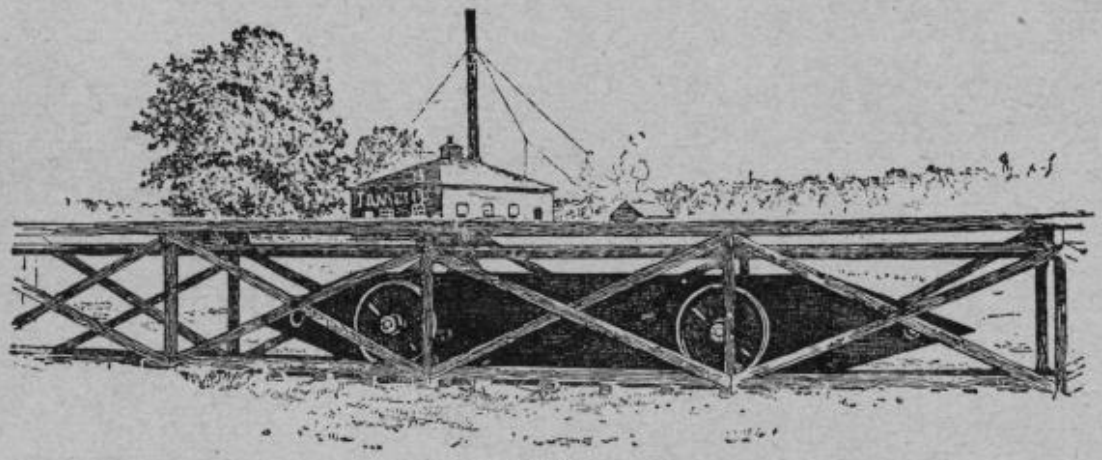


Fig. 545.

Le locomoteur démarrait en général avec une intensité de 20 à 40 ampères. On ne pouvait guère maintenir longtemps sans danger pour les armatures une intensité de 90 ampères — 45 pour chaque dynamo — que l'on atteignait presque toujours au bout de 700 à 800 mètres. A la vitesse de 120 à 160 kilomètres, la tension était, en général, de 450 volts, avec les plaques du rhéostat au contact.

La marche du locomoteur n'a jamais été interrompue ni limitée que par la faiblesse de la voie. Il y eut trois déraillements aux vitesses de 70, 130 et 184 kilomètres à l'heure, les deux premiers à l'intérieur du cercle.

La surélévation du rail extérieur, ou le dévers de la voie, était de 100 millimètres. On s'apercevait facilement à la station de l'imminence d'un déraillement par l'agitation violente de l'ampéremètre, due aux ruptures du circuit occasionnées par les trépidations du locomoteur. Cette agitation augmentait avec le temps, à chaque tour de voie, et avec la vitesse, et indiquait nettement la nécessité d'arrêter l'expérience.

On ne fonctionna jamais plus de 22 minutes sans avoir à réparer quelque point de la voie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La plus grande vitesse que l'on ait atteinte, avec déraillement, a été d'environ 184 kilomètres. Ce déraillement démolit la voie sur une longueur de 300 mètres, lança le locomoteur à une dizaine de mètres et mit fin aux expériences.

c. — *Conclusions.*

A la suite de ces essais, MM. Crosby et Weems conçurent un projet de locomoteur (fig. 546) rationnellement établi, d'après les données de leurs expériences, pour fonctionner sur railway à voie normale à grande vitesse.

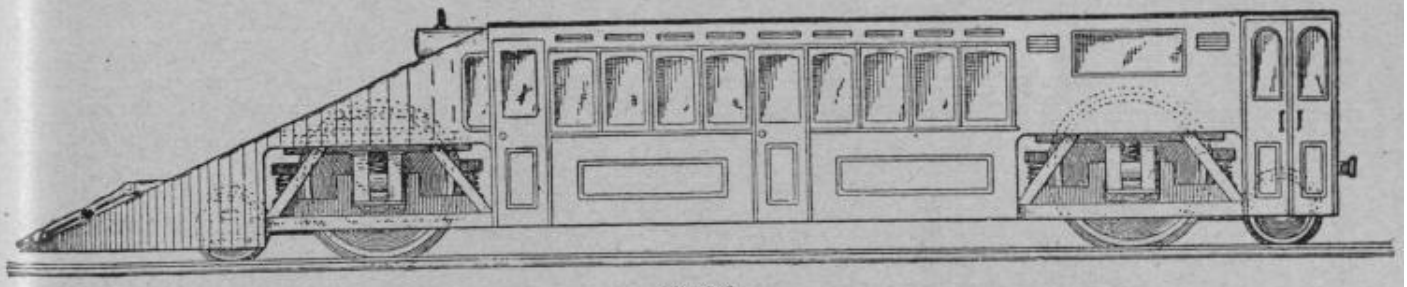


Fig. 546.

Au fond, c'est l'idée de la voiture automotrice avec ou sans remorque.

Bien que resté sans suite, ce projet a inspiré, comme nous le verrons, d'autres chercheurs.

5. — Essais de traction électrique de la Compagnie du chemin de fer du Nord (France).

La Compagnie du chemin de fer du Nord (France) est la première du continent qui ait procédé à des essais de traction électrique dignes d'attention, sur un réseau de railways.

Ces essais ont été faits, en 1893, avec une locomotive électrique à trois essieux, dont un porteur, celui du milieu, et les autres moteurs.

La source d'électricité employée était une batterie d'accumulateurs de 80 éléments, portée par la locomotive.

Le poids total de celle-ci atteignait 46 tonnes.

Les considérations générales qui ont amené la Compagnie du Nord à entreprendre ces essais, son programme technique, ainsi que la description sommaire de la locomotive essayée, font l'objet d'une note de la Compagnie du chemin de fer du Nord, présentée au Congrès des chemins de fer, en 1895, et dont voici les principaux passages :

a. — *Considérations générales.*

« Lorsque la Compagnie du Nord a dressé les projets de prolongement de ses lignes dans Paris pour être soumis à l'enquête d'utilité publique, au conseil municipal et aux pouvoirs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

publics, elle s'est préoccupée des conditions spéciales à employer pour la traction de ses trains dans les parties souterraines qui relieront la gare du Nord, d'une part, avec les Halles centrales, et, d'autre part, avec le boulevard des Capucines.

« Ces prolongements doivent être établis sous les voies publiques et, par conséquent, avec des profils à fortes déclivités. Ils seront parcourus par deux sortes de trains : les uns, métropolitains, ne quittant pas les prolongements; les autres, allant de la banlieue sur les prolongements et réciproquement. Ces trains seront composés avec le matériel remorqueur et remorqué en usage sur le réseau, et, par suite, la voie sera établie comme les voies ordinaires de chemin de fer excluant la possibilité de la traction électrique par câble ou par frotteur.

« Lorsque la question de l'établissement de ces prolongements s'est posée vis-à-vis la commission d'enquête, le conseil municipal, le conseil général des ponts et chaussées, etc., ces diverses assemblées se sont préoccupées, comme la Compagnie elle-même, des moyens à employer pour ventiler convenablement les galeries souterraines, afin d'en chasser la vapeur et la fumée des machines et assurer le transport des voyageurs dans des conditions de salubrité complètes.

« La Compagnie du Nord a pensé que le meilleur moyen de ventiler ces souterrains était de faire en sorte que la ventilation devînt inutile en se servant de machines de traction spéciales, évitant l'introduction de vapeur ou de fumée dans ces galeries.

« Une étude de machine à vapeur spéciale fut faite. Cette machine fonctionne aujourd'hui à titre d'essai, et il semble que le problème soit déjà résolu de cette manière. Cependant, et pour éviter tout mécompte, la Compagnie crut nécessaire d'étudier en même temps un type de locomotive électrique répondant aux conditions spéciales de l'exploitation d'un métropolitain, c'est-à-dire d'une locomotive marchant à une vitesse assez modérée, mais pouvant franchir les rampes aussi rapidement que les pentes, sans cependant donner aux appareils générateurs et moteurs des dimensions exagérées. »

b. — *Programme technique.*

« C'est en se plaçant dans cet ordre d'idées que la Compagnie du Nord a entrepris l'étude d'une locomotive électrique et qu'elle a adopté le programme suivant :

« 1° Prendre comme appareils moteurs des machines-dynamos à courants continus calées sur les essieux, attaquant directement chaque roue et disposées de telle sorte que la vitesse puisse être réglée par le mécanicien, indépendamment des déclivités. On étudiera successivement deux dispositions : l'une avec des machines ordinaires pourvues de leur collecteur accolé, mais avec une excitation indépendante à l'aide d'accumulateurs portés par le train; l'autre avec des machines réceptrices débarrassées des commutateurs et balais, l'action de ces appareils étant remplacée par celle d'un unique distributeur de courant alimentant les dynamos réceptrices indépendamment les unes des autres et placé sous la main du mécanicien;

« 2° Choisir comme source d'énergie des générateurs mobiles de courant transportés avec le train en communication constante avec des batteries d'accumulateurs également portés par le train et destinées à régulariser la puissance dépensée par la traction, de telle sorte que les dynamos et les accumulateurs puissent agir simultanément au moment des démarrages et en franchissant des rampes, c'est-à-dire au moment du plus grand travail, et isolément en palier ou sur les pentes, les dynamos rechargeant les accumulateurs dans ces périodes de moindre travail; en un mot, choisir et composer l'usine génératrice du courant de manière à pouvoir proportionner à chaque instant la dépense de courant au travail, c'est-à-dire avoir une dépense constante, si, comme cela se pratique avec les locomotives ordinaires, on a un travail sensiblement constant avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des vitesses variables, soit, ce qu'il est désirable d'obtenir, une dépense variable correspondant à une vitesse constante, la même à la montée qu'à la descente, de manière à obtenir en fait une accélération de la vitesse commerciale sans augmenter les plus grandes vitesses de marche normale obtenues aujourd'hui avec les locomotives à vapeur ;

« 3° Enfin, et accessoirement, réaliser une disposition spéciale permettant aux dynamos réceptrices de fonctionner en génératrices à la descente des pentes, restituant alors une partie de leur charge aux accumulateurs portés par le train

« On conçoit facilement que, sauf la différence des données numériques, ce programme pourra être étendu à toutes les locomotives, et que, s'il est réalisé pour le trajet de la gare du Nord aux Halles avec des trains légers franchissant de fortes déclivités avec des vitesses modérées, il ne sera plus bien difficile de le généraliser et de l'appliquer avec de grandes vitesses aux trains lourds circulant de Paris à Calais ou de Paris à Nice sur des déclivités modérées.

« Dans ces conditions, les essais préalables présentaient divers objets :

« La résistance des induits au choc sera l'un des principaux.

« L'étude du récepteur portera sur le nombre de machines dynamos à mettre en jeu pendant le parcours d'une ligne donnée et suivant les pentes et rampes à franchir et les démarrages successifs à effectuer afin d'obtenir, d'une part, le rendement maximum économique pendant la marche, et, d'autre part, d'assurer la conservation des organes électriques, en ne leur faisant pas supporter des intensités trop grandes qui pourraient détériorer les isolants.

« L'expérience seule permettra de juger si les dispositions prévues pour le montage de la machine en dehors des roues donnera les résultats qu'on en espère.

« Les appareils de couplage des accumulateurs à une, deux et quatre batteries seront aussi l'objet d'une étude spéciale pour obtenir une grande facilité de manœuvre et devront bien se comporter pour les fortes intensités qu'ils auront à supporter. Les ruptures de courant ne devront produire aucune détérioration aux pièces de contact des organes.

« La batterie d'accumulateurs qui supportera pendant ces essais des débits essentiellement variables et exagérés pour la capacité d'énergie qu'elle emmagasine sera également soumise à l'étude la plus minutieuse concernant son rendement en énergie aux différents débits employés. L'expérience indiquera également comment se comporteront les plaques soumises aux vibrations produites par les grandes vitesses du train.

« L'étude spéciale entreprise sur les accumulateurs fonctionnant avec ce régime à outrance permettra de déterminer la part d'énergie qu'ils devront emmagasiner dans les parcours en pente pour la restituer ensuite dans les parcours en rampe. »

c. — *Description.*

« La locomotive d'essai (fig. 547) se compose d'un bâti ou châssis proprement dit, de la source d'électricité, des machines électriques, des commutateurs et accessoires, et enfin du frein et du sifflet.

« *Châssis.* — Par raison d'économie, toute la partie constituant le châssis, les longerons, les essieux et les roues ont été empruntés à une locomotive n° 3668, type Mammouth, arrivée à sa limite d'usure. Ce type est à mouvement intérieur aux longerons ; l'essieu du milieu est moteur, les ressorts de suspension sont en dessus et les roues n'ont qu'un diamètre de 1^{m}410 avec boîtes à graisse intérieures. Les fusées des deux essieux extrêmes ont été, l'une et l'autre, prolongées de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

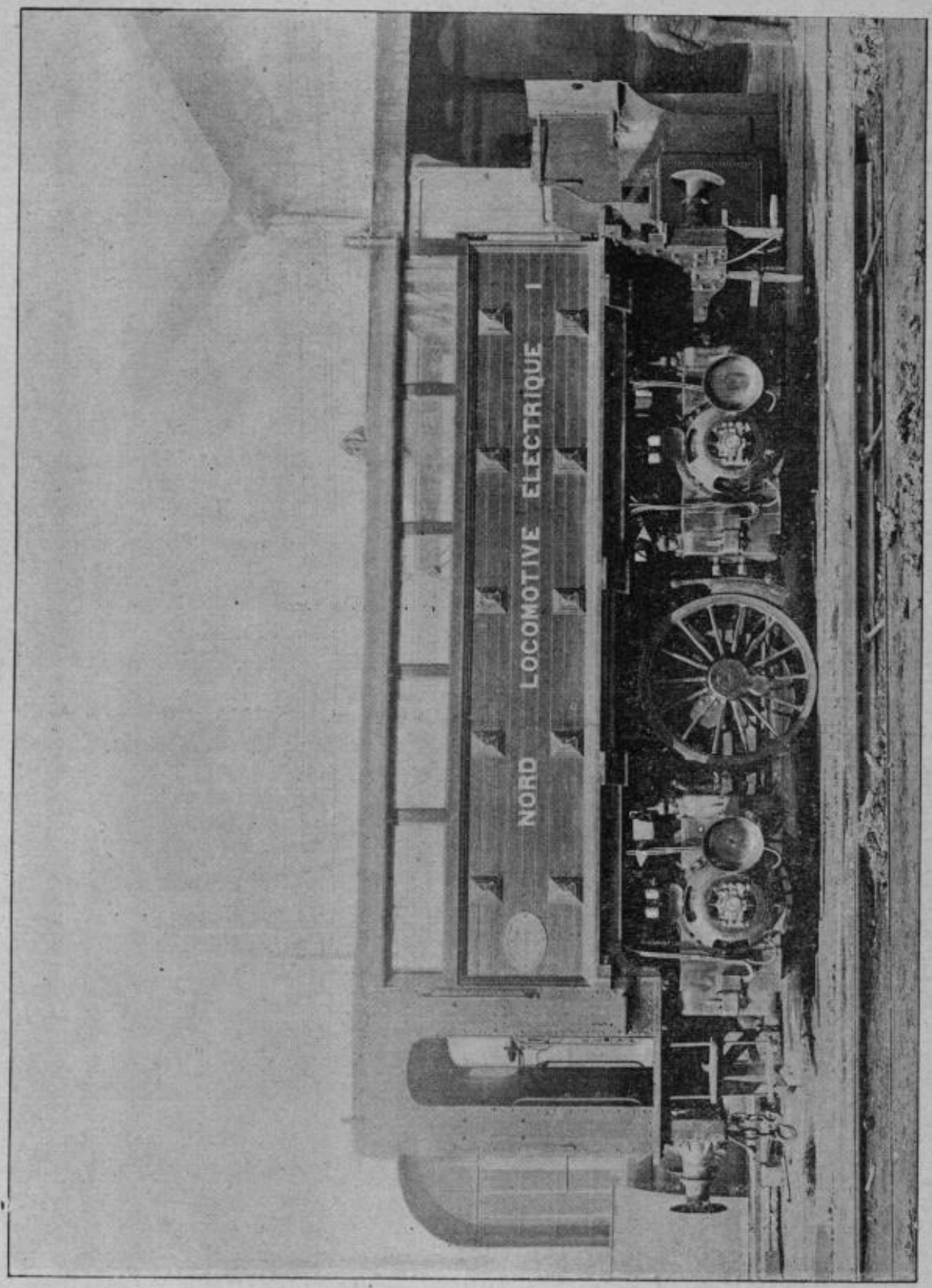


Fig. 547.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

0m665 depuis le moyeu et en dehors des roues pour recevoir, comme nous l'expliquerons plus loin, les machines dynamos motrices. La plate-forme de ce châssis est divisée en deux parties : dans la première et la plus importante, sont les accumulateurs; dans la seconde, se trouvent placés les commutateurs, les leviers du frein et du sifflet, et les mécaniciens conducteurs de la locomotive. Les essieux sont capables de supporter individuellement un poids de 15 tonnes.

« *Source d'électricité.* — La locomotive électrique n'est, quant à présent, et pour les premiers essais, munie que d'un seul générateur constitué avec des accumulateurs. C'est aux accumulateurs robustes et à grande capacité, du type de la Société du travail électrique des métaux, que la Compagnie du Nord a eu recours. Ils sont au nombre de quatre-vingts.

« Quatre éléments servent exclusivement à l'alimentation variable de l'excitation des inducteurs. Les 76 autres éléments sont divisés en 4 batteries de 19 accumulateurs; l'une d'elles fournit, en outre, le courant à la dynamo de 40 volts qui commande le compresseur d'air pour le sifflet et le frein, dont nous parlerons tout à l'heure. La dépense supplémentaire de ce courant est, du reste, très faible.

« Les accumulateurs, dont la capacité est d'environ 13 ampères-heures par kilogramme de plaque sous un régime de décharge de 2 A, sont composés de 11 plaques de 800 sur 400 millimètres avec 6 millimètres d'épaisseur, soit 143 kilogrammes par élément et 11,440 kilogrammes pour les 80 éléments. Ils sont renfermés dans des bacs en amiante et ébonite, et le poids total des 80 accumulateurs avec tous leurs accessoires est sensiblement de 19,000 kilogrammes.

« Pour éviter que les plaques pèsent sur le fond du vase et puissent se voiler et occasionner des courts-circuits, chaque plaque est munie dans la partie supérieure de deux oreilles, par lesquelles elles sont suspendues et sont tenues de chaque côté dans un râtelier, à l'instar des plaques photographiques dans la chambre noire.

« La batterie, constituée comme nous venons de le dire, a une capacité totale de 143 kilogrammes $\times$ 13 = 1,859 ampères-heures. A la vitesse de 46 kilomètres à l'heure, et en supposant un effort des dynamos de 52 chevaux, la batterie serait déchargée en 6 heures 30 minutes environ, fournissant un parcours total de 300 kilomètres à la locomotive sur une ligne en palier et droite.

« La résistance de la locomotive à la traction est, en effet, de 46,000 $\times$ 6k30 par tonne = 290 kilogrammes; sur la courbe des efforts, ces 290 kilogrammes correspondent à 2A de débit par kilogramme de plaque des accumulateurs; la vitesse correspondante à cet effort est de 12m80 par seconde, soit 46 kilomètres à l'heure. La durée de la décharge est donc de :

$$\frac{13^{A}}{2} = 6 \text{ h. } 50$$

et le parcours de 6 h. 50 $\times$ 46 kilomètres = 298 kilomètres, soit 300 kilomètres.

« Dans les pentes, les accumulateurs sont en partie rechargés par les dynamos qui, au même moment, forment un frein plus énergique que le frein à main et même à air.

« *Machines motrices.* — Les machines électriques motrices, construites par la maison Bréguet, sont au nombre de quatre, montées en porte-à-faux sur le prolongement des fusées des essieux extrêmes. Elles développent normalement 30 chevaux et sont capables de donner une puissance double dans les rampes à gravir; dans les démarrages, le couple moteur, pour un temps très court, atteint une valeur correspondante à celle d'une dynamo de 100 chevaux. Les inducteurs à quatre pôles permettent d'obtenir, avec une vitesse angulaire faible, une grande vitesse de déplacement des fils des anneaux dans les champs magnétiques. C'est, d'ailleurs, une condition nécessaire pour bien utiliser les dynamos. Comme nous l'avons indiqué plus haut, les anneaux sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

calés directement sur les essieux. Ce montage est des plus simples et tout à fait nouveau. Il permet la visite facile des balais du collecteur, en même temps qu'il facilite l'enlèvement rapide de l'induit en cas d'avarie.

« Le système inducteur est soutenu par des ressorts fixés aux châssis. Il porte des coussinets dans lesquels tourne l'arbre de l'anneau. Grâce à cette suspension, le poids des inducteurs ne porte pas sur la fusée et les coussinets ne servent pour ainsi dire qu'à assurer le centrage de l'anneau dans l'alésage des pièces polaires.

« Les inducteurs des deux dynamos placées d'un même côté de la locomotive avaient été primitivement reliés par une entretoise, de manière à éviter la rotation des inducteurs par suite de la réaction du champ magnétique sur les induits. On s'est assuré expérimentalement que les barres supprimées, il n'y avait pas de rotation, le couple étant équilibré par les ressorts de suspension. Avec le couple maximum (au démarrage), l'extrémité des électros se déplaçait de 10 millimètres seulement. Ce faible déplacement a été supprimé en fixant les extrémités de chaque inducteur au châssis.

« En vue de se rendre compte de leur valeur, les balais sont moitié en charbon et moitié en toile métallique; ils sont à calage fixe à cause des changements de marche et chaque anneau est pourvu de quatre balais réunis diamétralement, deux à deux, par des toiles métalliques souples.

« Enfin, pour protéger toutes les parties délicates des moteurs contre les intempéries des saisons, la poussière, les pierres, etc., ils ont été recouverts d'une enveloppe en zinc, dans laquelle on a ménagé des ouvertures à charnières qui rendent facile la visite des organes intéressants.

« *Commutateurs et accessoires* — La locomotive électrique porte actuellement un seul appareil de couplage qui agit sur les accumulateurs. Les inducteurs des dynamos sont alimentés séparément par quatre accumulateurs spéciaux. En les ajoutant séparément à l'aide d'un réducteur, on obtient une excitation variable qui permet de régler à chaque instant la vitesse; en les supprimant, on évite de faire frein avec les dynamos lors de la marche en pente, et, en rampe, l'excitation complète permet d'avoir le couple moteur maximum.

« Le coupleur d'accumulateurs permet trois combinaisons qui réalisent 40, 80 ou 160 volts environ, donnant des vitesses dans le rapport 1, 2, 4. Un inverseur qui agit seulement sur le courant des anneaux sert de changement de marche.

« Il y a, en outre, un gros interrupteur destiné à faire frein énergique; il permet, le courant étant coupé sur les anneaux, de mettre ceux-ci en court-circuit dans le champ magnétique des inducteurs : l'arrêt devient presque instantané.

« *Frein et sifflet.* — Le frein et le sifflet sont actionnés par un réservoir à air de 500 litres que remplit une pompe de compression système Thirion, mue par un moteur électrique monté en dérivation sur les accumulateurs; une disposition spéciale est ajoutée au manomètre, de manière que le moteur s'arrête lorsque le réservoir est plein en coupant le courant et se remette en marche automatiquement dès que la pression du réservoir baisse sensiblement.

« L'ensemble de cette locomotive a un poids total de 46,000 kilogrammes, y compris le châssis et les essieux. Ce poids serait, bien entendu, notablement réduit en construisant un châssis spécial approprié aux dispositions définitives indiquées par la pratique.

« Les expériences vont commencer dans quelques jours; elles nous diront comment se comportent les organes moteurs qui ont été construits; elles seront suivies d'autres expériences sur les moteurs avec distributeur unique de courant placé sous la main du mécanicien.

« C'est après toutes ces études et toutes ces expériences que l'on pourra aborder la question beaucoup plus simple de la génération de courant, telle que la comprend la Compagnie, puisque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce générateur se composera d'éléments connus dont la proportion des différentes parties entre elles restera seule à déterminer suivant les conditions du trafic imposé pour chaque ligne à parcourir, et conduira très probablement à adopter différents types de locomotives, comme cela a été fait pour les locomotives actuelles à vapeur. »

La Compagnie du Nord n'a pas publié les résultats de ces premiers essais. Mais elle continue à étudier de près ce problème.

6. — Locomotive Heilmann.

a. — *Programme de l'inventeur.*

Définition du système. — M. Heilmann vise à la fois le côté mécanique et le côté électrique, dans son locomoteur spécial.

Engendrer l'électricité sur le train même, afin d'alimenter les moteurs actionnant le locomoteur de tête, et au besoin, de transmettre le courant à d'autres moteurs agissant directement sur les roues d'une partie des voitures, telle est l'idée dans son ensemble.

Remplacer les bielles dans la transmission de l'énergie aux essieux moteurs, par un courant électrique, afin de substituer à un mouvement alternatif la rotation et d'assurer l'indépendance de chaque essieu-moteur, tel est l'objectif essentiel au point de vue mécanique.

Conception générale. — Sur une grande plate-forme formant bâti, se trouvent installées une machine à vapeur à grande vitesse avec sa chaudière et une dynamo-génératrice. Le tout repose sur deux trucks articulés, chacun à quatre paires de roues. Chaque essieu porte l'induit d'un électro-moteur. Il y a donc huit électro-moteurs.

Avantages présumés. — Dans la conception de l'auteur, cette machine, comparée à une locomotive ordinaire, offre les avantages suivants :

1° Plus grande élasticité, le bogie étant articulé;

2° Douceur de roulement parfaite, les roues n'ayant point de contrepoids et le mouvement étant produit par un effort uniforme;

3° Absence de trépidation résultant de l'équilibre parfait du mécanisme de la machine à vapeur;

4° Adhérence totale permettant de remorquer des trains lourds sur fortes rampes;

5° Démarrages rapides résultant de la possibilité de faire tourner rapidement la machine à vapeur et d'utiliser sa puissance totale pendant les démarrages;

6° Meilleure répartition des charges sur la voie, aucun essieu n'étant chargé à plus de 11 tonnes (1);

(1) En fait, ce chiffre a été largement dépassé par les constructeurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

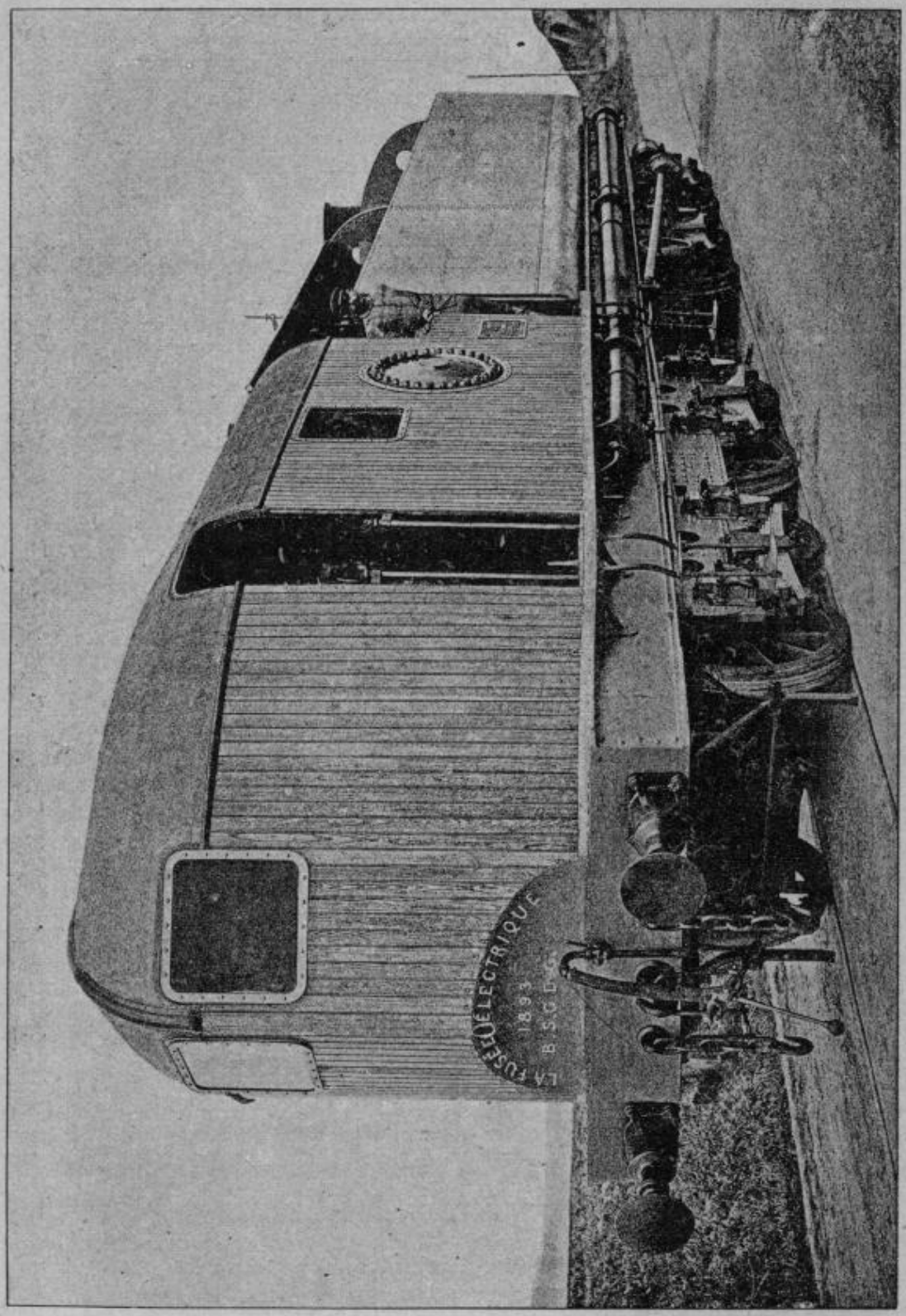


Fig. 548.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

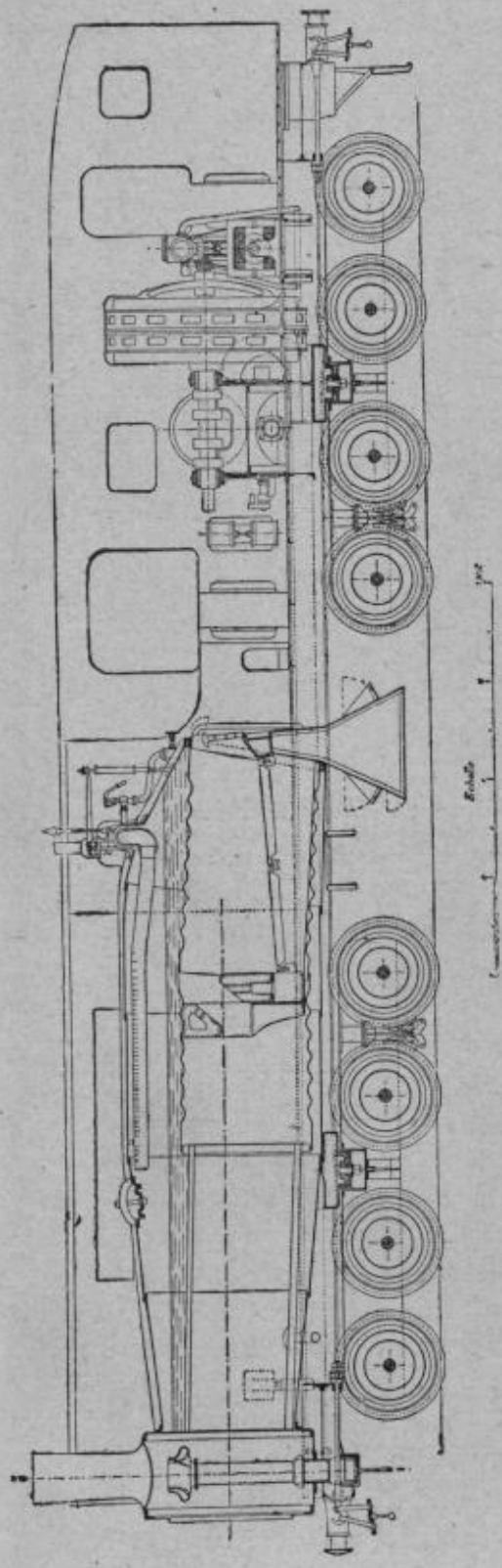


Fig. 549.

7° Possibilité d'atteindre des vitesses élevées par suite de la douceur du roulement et de l'indépendance entre le mouvement de la machine à vapeur et celui des essieux;

8° Facilité de manœuvre, toute la locomotive étant commandée électriquement;

9° Économie résultant de l'emploi d'une machine à vapeur perfectionnée et de la diminution des frais d'entretien.

b. — *Description de la première locomotive Heilmann.*

Vue d'ensemble. — La figure 548 montre l'aspect extérieur du premier locomoteur Heilmann. La caisse est terminée en pointe aux deux bouts, afin de diminuer la résistance de l'air.

Dispositifs : La chaudière est placée à l'arrière du véhicule; elle marche cheminée en arrière, ce qui facilite le tirage. Cette chaudière est du système Lentz; sa surface de chauffe est de 140 mètres carrés environ (fig. 549).

La machine à vapeur est du type Ch. Brown; c'est une machine horizontale compound, exactement équilibrée, afin d'éviter toute trépidation et tout mouvement perturbateur. Cet équilibre est obtenu de la façon suivante : Les cylindres ont leurs axes sur la même ligne et agissent, le premier, sur une manivelle centrale à l'aide d'une seule bielle, le second à l'aide de deux bielles sur deux manivelles latérales à 180° avec la première. Les parties animées de mouvements alternatifs, ayant le même poids, s'équilibrent à chaque instant. La puissance normale de cette machine est de 600 chevaux, à la vitesse de 360 tours; mais cette puissance peut être portée à 800 chevaux (fig. 550, 551 et 552).

Le bâti de la machine, très léger, est fait avec des tôles d'acier et des entretoises en acier coulé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

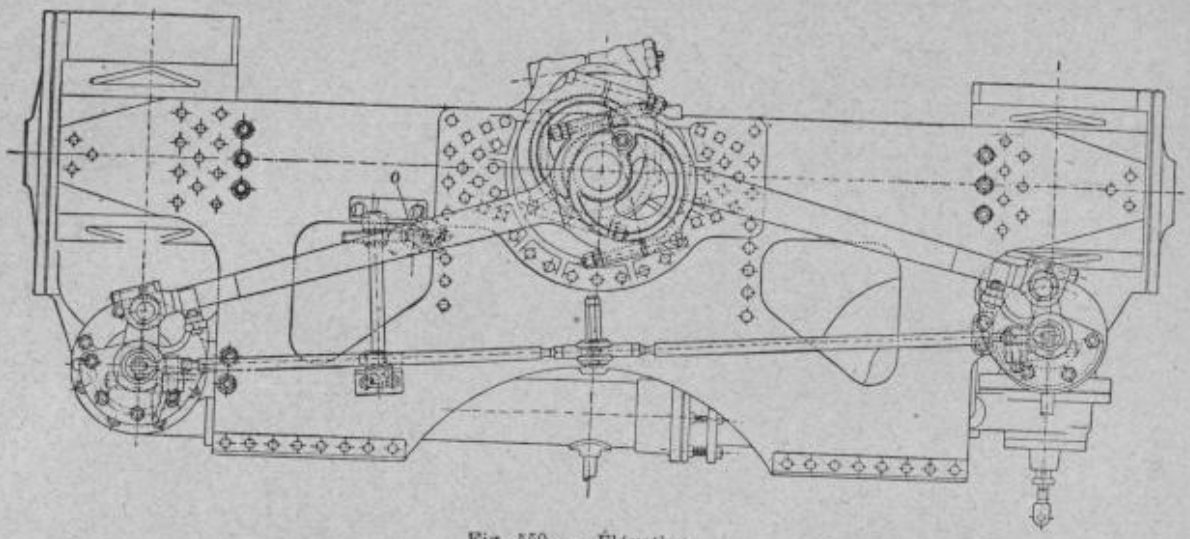


Fig. 550. — Élévation.

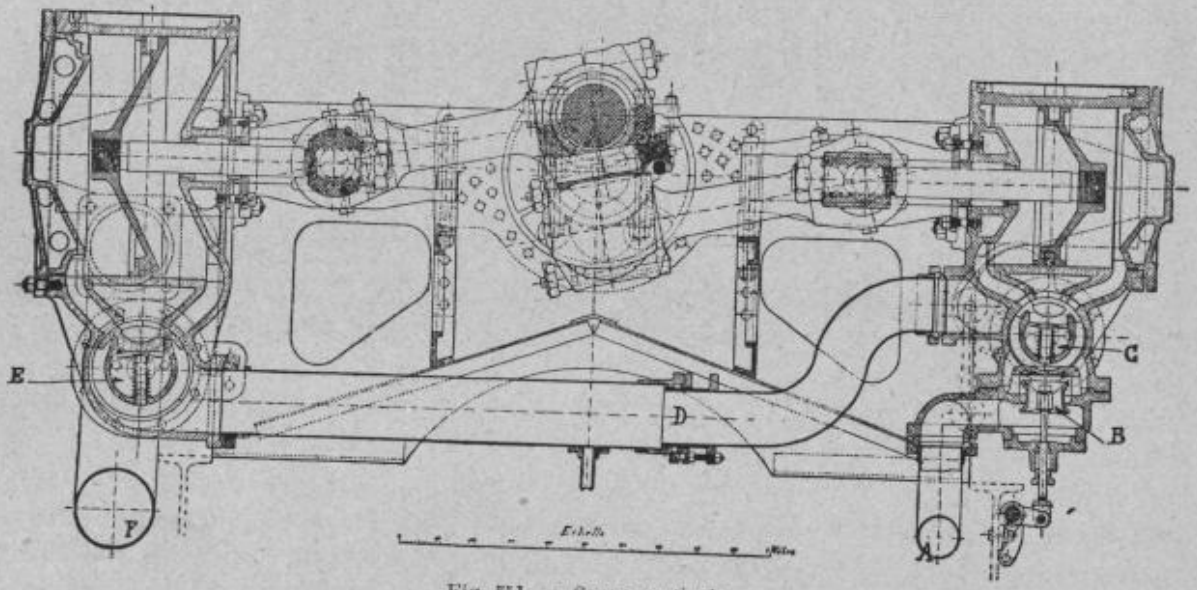


Fig. 551. — Coupe verticale.

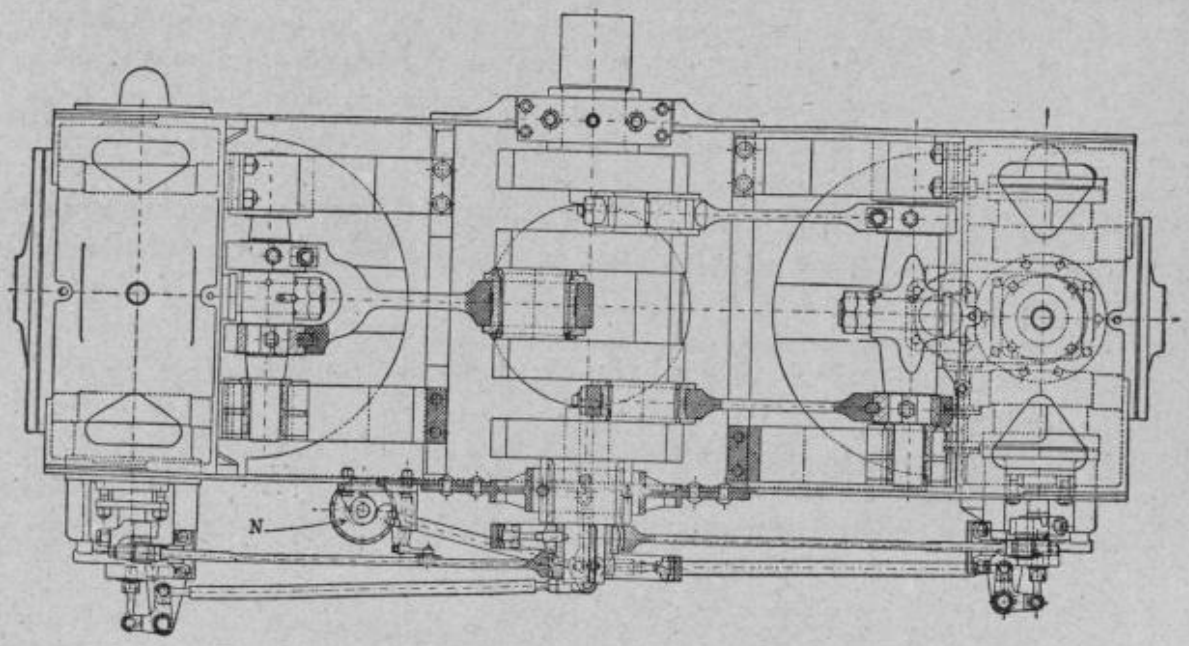


Fig. 552. — Plan.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dimensions principales de cette machine et les conditions de marche sont :

Course des pistons	300 millimètres.
Diamètre du petit cylindre	430 —
— du grand cylindre	625 —
Vitesse normale à la minute	360 tours.
Introduction constante :	
Petit cylindre	60 centimètres.
Grand cylindre	60 —

Châssis. — L'ensemble des appareils, chaudière, machines à vapeur, machines électriques (génératrice et excitatrice), etc., sont montés sur un châssis en acier de 15m150 de longueur (fig. 548 et 549), formé par deux profilés en double T de 0.400 de hauteur d'âme, formant longerons. Outre la machinerie et la chaudière, ce châssis porte, de plus, les deux caisses à eau et les caisses à combustible placées le long de la chaudière et une cabine en menuiserie dans laquelle se trouve toute la machinerie.

Cette cabine est arrondie, en forme de coupe-vent, du côté avant.

Contenance des caisses à eau	12 tonnes.
— — à combustible	4 —

Bogies. — L'ensemble de la machine repose sur deux bogies comprenant chacun quatre essieux (fig. 553 et 554).

Le châssis de chaque bogie est constitué par deux longerons réunis par une entretoise en acier coulé qui porte le pivot, et deux entretoises en tôle et cornières placées de chaque côté de la première. Chaque longeron est formé par deux tôles jumelles de 12 millimètres, distantes de 40 millimètres et rivées sur un cadre en acier forgé.

On a voulu, par cette disposition, assurer la rigidité des longerons et éviter l'emploi de glissières de boîtes à graisse dont les côtés du cadre tiennent lieu.

Dans le but d'obtenir une égale répartition des poids entre les essieux d'un même bogie, on les a réunis deux à deux par des ressorts longitudinaux qui tiennent lieu de balanciers.

Le ressort transmet la charge à la fusée par l'intermédiaire de la partie inférieure de la boîte à graisse, ce qui fait travailler cette pièce en acier coulé à l'extension.

Partie électrique. — Le principe du fonctionnement de la locomotive, au point de vue électrique, est le suivant :

La machine à vapeur principale actionne directement la génératrice, qui est une machine à courant continu. Cette génératrice est excitée par le courant provenant d'une dynamo mise en mouvement *par un second moteur*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

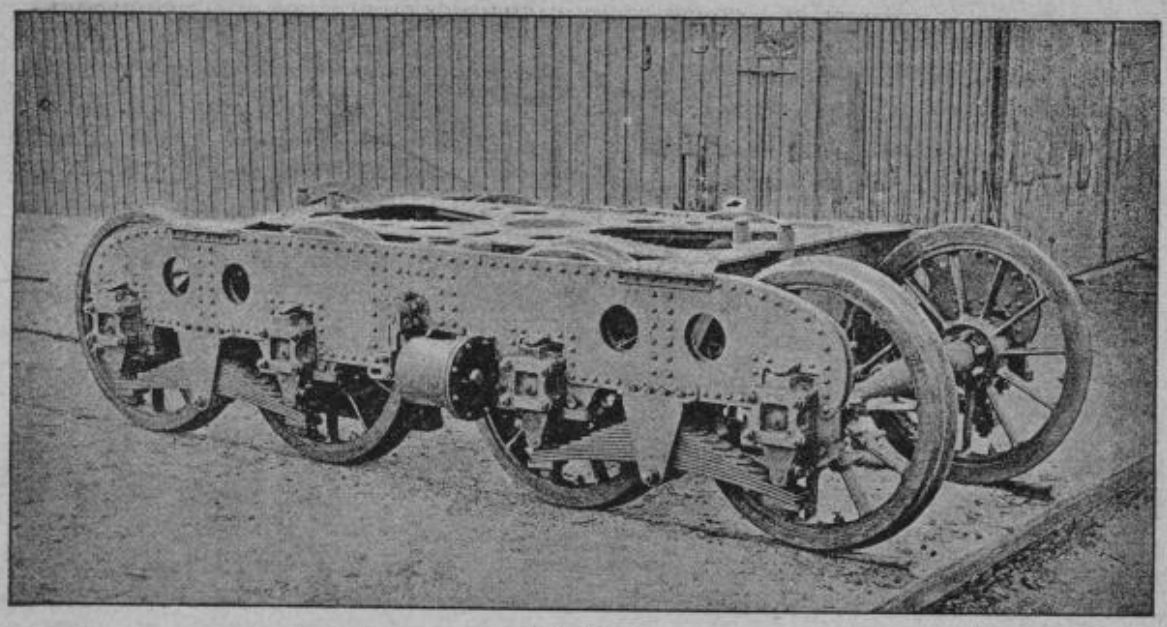


Fig. 553.

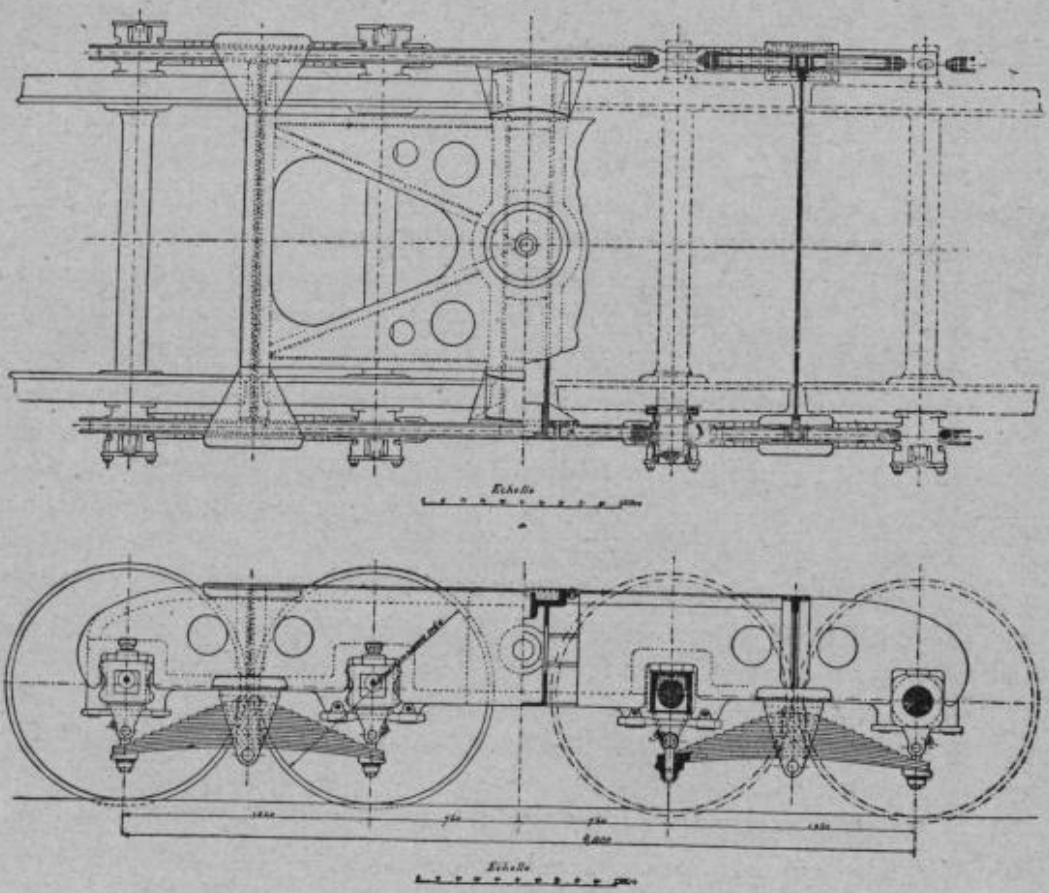


Fig. 554.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le courant produit par la génératrice est envoyé en dérivation à chacune des réceptrices dont l'inducteur et l'induit sont montés en série.

Afin de permettre de multiplier les essais, on a fait aboutir au tableau de distribution tous les conducteurs des diverses machines, de manière à pouvoir isoler ou grouper au besoin une ou plusieurs des réceptrices et faire varier par suite, momentanément, soit le nombre des essieux moteurs, soit leurs groupements.

L'excitatrice fonctionne à vitesse constante et, comme elle est auto-excitatrice, on peut régler sa marche de façon à avoir une force électro-motrice sensiblement constante, et par suite le courant peut être utilisé pour l'éclairage.

Pour faire varier l'excitation dans la génératrice, il existe un rhéostat interposé dans le circuit de l'excitatrice et des inducteurs de la génératrice, au moyen duquel il est facile de régler l'intensité du courant envoyé dans les inducteurs, et par suite le champ de la génératrice.

Afin de faire varier dans les limites convenables, au point de vue à la fois de l'intensité et de la force électro-motrice, le courant produit par la génératrice, les variations de vitesse de la génératrice et de sa machine à vapeur peuvent être combinées avec celles de l'intensité du champ. Le mécanicien a donc à faire usage, pour modérer ou accélérer la vitesse de la locomotive et régler l'effort de traction, de la valve à vapeur de la machine principale et du rhéostat du circuit de l'excitatrice. (On verra plus loin qu'il y a intérêt à ne se servir que du rhéostat.)

Le courant ainsi produit est envoyé aux réceptrices qui mettent les essieux en mouvement. Il est facile de concevoir que comme l'intensité et la force électro-motrice du courant peuvent varier dans des limites relativement considérables, il soit possible de faire produire à chacun des essieux un travail qui varie lui-même en fonction du produit de ces deux quantités.

Au démarrage, par exemple, alors que la force contre-électro-motrice des réceptrices est à peu près nulle et que par suite la force électro-motrice à produire est faible, la génératrice peut, au contraire, fournir un courant très intense, ce qui permet de démarrer avec grand effort de traction. La force contre-électro-motrice des réceptrices augmentant avec la vitesse, l'intensité du courant diminue progressivement.

Au moment du démarrage, on règle l'intensité du courant et on évite qu'elle ne dépasse les limites imposées par la construction des dynamos en agissant sur le courant d'excitation.

Pour augmenter momentanément l'effort de traction sans fatiguer la génératrice, le tableau de distribution est disposé de manière à permettre de coupler en série deux à deux les réceptrices, ce qui diminue de moitié l'intensité du courant dans la génératrice pour un même couple.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Mazen rend compte de l'influence de l'excitation sur la marche de la génératrice, en faisant remarquer que si l'on appelle :

H l'intensité du champ;
I l'intensité du courant produit;
C le couple résistant de la génératrice,

on a :

$$HI = KC \qquad (K \text{ constante}).$$

Or, ici, par suite de l'admission invariable, le travail par tour est constant, donc C est constant.

Si donc l'excitation augmente et par suite H, l'intensité du courant produit est diminuée, et par là même l'effort de traction; réciproquement, en diminuant l'excitation, on augmente l'intensité du courant produit et par suite l'effort de traction. En un mot, l'effort de traction disponible variera en sens inverse de l'excitation.

En résumé, le conducteur, pour régler la marche de sa machine, a à sa disposition la valve d'admission de vapeur et le rhéostat du circuit d'excitation de la génératrice.

Toutefois, au point de vue économique, il y aura intérêt à ne se servir pendant la route que du rhéostat pour éviter le laminage de la vapeur par la soupape d'admission.

Le changement de marche s'effectue en inversant le courant dans les inducteurs des réceptrices.

Dynamo-génératrice. — La dynamo-génératrice (fig. 555 et 556) est commandée directement par la machine à vapeur principale, son arbre est accouplé à celui de la machine à vapeur au moyen d'un manchon à plateau, et l'autre extrémité tourne dans un coussinet à rotule sphérique porté par un bâti à trois bras fixé sur l'armature de l'inducteur qui est en acier doux.

L'inducteur est circulaire et à six pôles.

L'induit calé sur l'arbre est du genre annulaire lisse. Il a un diamètre de 1^{m}240.

La prise de courant est faite par six balais en charbon.

Les conditions normales de fonctionnement de cette dynamo sont :

Vitesse normale		360 tours.
Courant produit . .	Force électro-motrice	400 volts.
	Intensité	1,025 ampères.
Courant d'excitation.	Force électro-motrice	50 volts.
	Intensité	95 ampères.

Dynamo excitatrice. — L'excitatrice est commandée directement par un moteur pilon, dont les deux cylindres ont un diamètre de 15 centimètres, course des pistons 15 centimètres, admission constante 50 p. c.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

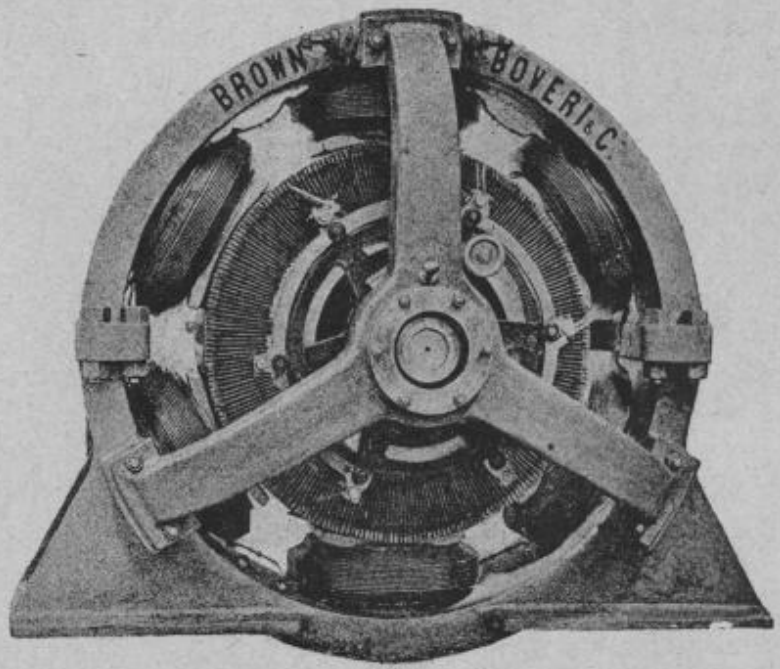


Fig. 555.

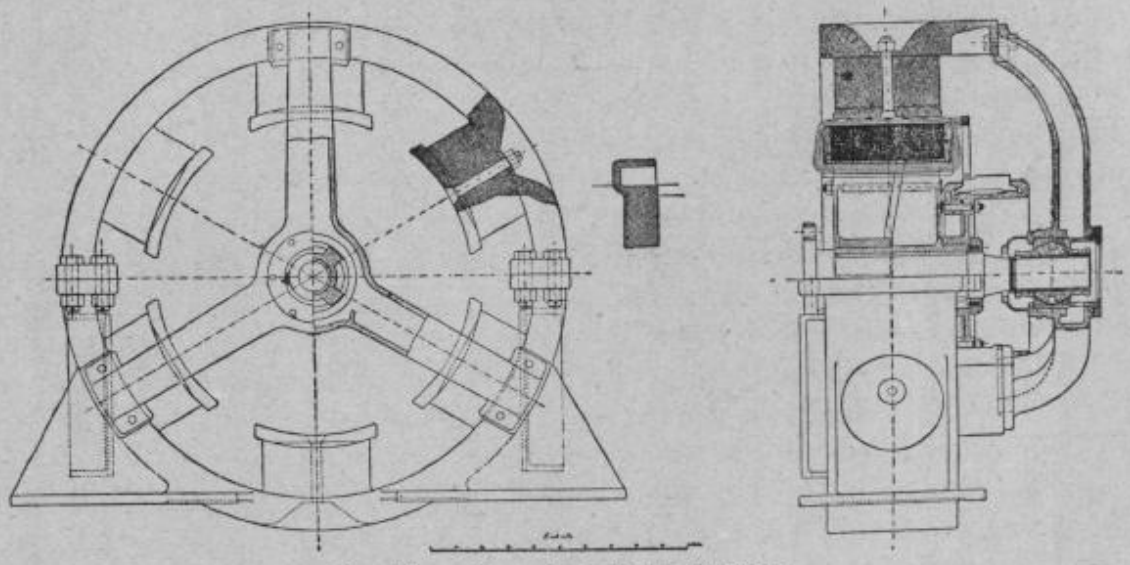


Fig. 556. — Coupes de la dynamo figure 555.

Son inducteur, à quatre pôles en acier doux, est excité par deux bobines montées en dérivation.

L'induit est du genre annulaire lisse, analogue comme construction à celui de la génératrice.

Les constantes de cette machine sont :

Vitesse normale	300 tours.
Force électro-motrice	50 volts.
Intensité normale	260 ampères.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Comme l'excitation normale de la génératrice n'absorbe que 95 ampères, cette machine sert aussi à l'éclairage de la locomotive, puisque, ainsi qu'on l'a vu plus haut, elle marche à potentiel constant.

Réceptrices. — Les huit dynamos réceptrices, identiques entre elles, ont aussi des inducteurs à quatre pôles à deux bobines.

Les induits sont disposés en anneaux dentés du genre Paccinotti.

Ces électro-moteurs sont décrits au chapitre I-A, où l'on en trouvera des coupes longitudinales et transversales (fig. 85 et 86).

Frein. — La locomotive est munie de deux freins, l'un à main, l'autre à air comprimé. Ces deux freins agissent tous les deux sur les deux essieux du milieu de chaque bogie.

Au lieu que les sabots viennent s'appliquer comme d'ordinaire sur les bandages, ils sont disposés de manière à serrer, pour chacun des essieux freinés, sur un tambour en acier coulé fixé à la roue calée sur l'essieu, en sorte que c'est par l'intermédiaire de cette roue et de l'essieu agissant par torsion, que l'action du frein est transmise à la deuxième roue de l'essieu.

La moitié seulement du poids de la machine se trouve de la sorte freiné.

Le frein à air comprimé est du système Westinghouse.

c. — *Résultats d'essais de la première locomotive Heilmann.*

Les résultats d'essai de cette première locomotive ont perdu beaucoup de leur intérêt depuis que l'on a décidé d'en construire deux autres perfectionnées, qui seront mises en service en 1897.

Nous reproduirons donc seulement le résumé de ces résultats, donné au Congrès des chemins de fer, de 1895, à Londres, par M. *Clérault*, ingénieur en chef à la Compagnie de l'Ouest. Cet exposé comprend en même temps le programme auquel répondra l'étude des nouveaux engins de l'espèce en construction.

« Je puis donner au Congrès quelques renseignements sur les expériences que nous avons faites avec la locomotive connue sous le nom de locomotive Heilmann. J'indiquerai d'abord les conditions dans lesquelles ces expériences ont été faites.

« La Société Heilmann avait construit une locomotive qui, n'étant qu'une machine d'essai, était destinée à déterminer certains coefficients nécessaires pour la construction d'autres machines. Lorsque cette locomotive qui n'avait qu'une puissance moyenne a été terminée, nous en avons autorisé l'essai sur nos lignes, et, si ce n'est pas abuser des moments du Congrès, je vous entretiendrai de cet essai pendant quelques minutes.

« Le rapport très complet et très intéressant de M. Auvert se termine par une description de la locomotive Heilmann ; il est donc inutile que je vous en donne ici une description détaillée ; mais pour ceux d'entre vous qui n'auraient pu lire le rapport que rapidement, je rappellerai que la locomotive d'essai consistait en un châssis solide monté sur deux bogies à quatre essieux dont la charge sur le rail était de 15 tonnes par essieu ; ce châssis portait une sorte de fourgon dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lequel était installé ce que l'on pourrait appeler une station centrale d'électricité, comprenant une chaudière à grande surface de chauffe et à grand foyer, une machine génératrice et une machine excitatrice. Enfin, sur les essieux étaient montées les réceptrices.

« Nous avons fait avec cette machine divers essais dont le programme a été le suivant. Comme la machine sortait des ateliers, on ne pouvait songer à la mettre immédiatement en service et nous avons fait d'abord des essais préliminaires sur les voies de garage pour voir comment elle manœuvrait des rames de 10, de 20, de 30, de 40 ou de 50 wagons. Ce n'est qu'après ces premières expériences que nous avons fait des trains d'essai sur des sections de ligne présentant des parties en palier et des parties en rampes de 9 millimètres. Dans ces essais, la machine a remorqué diverses charges dont le programme a déjà été donné plusieurs fois, et nous avons atteint des vitesses allant jusqu'à 107 et 108 kilomètres à l'heure. Il est résulté de ces essais que la machine, telle qu'elle était constituée, avait une très grande stabilité, ce qui était évident, qu'à la descente elle avait cet avantage d'offrir une résistance infiniment moindre que les machines ordinaires, en sorte que, sur une pente de 7 ½ millimètres, elle descendait sans vapeur à la vitesse de 100 kilomètres à l'heure, alors qu'une machine ordinaire à essieux accouplés est très loin d'arriver à ce résultat. Enfin, dans ces essais qui ont été d'abord poursuivis sur la ligne du Havre et ensuite sur la ligne de Paris à Nantes par Argenteuil, dont la voie est particulièrement solide, parce qu'elle est construite en rails du nouveau type, il a été constaté qu'on pouvait atteindre de grandes vitesses en toute sécurité.

« Nous avons fait ces essais avec plusieurs trains de voyageurs réglés à la vitesse de nos express et avec lesquels cette machine a chaque fois gagné du temps ; elle a fait 22,000 kilomètres sans qu'il y ait eu jamais un accroc tel que le train restât en panne sur la ligne. Je voudrais maintenant dire un mot des avantages fondamentaux qu'on peut reconnaître à la machine Heilmann, et l'on jugera si les inconvénients que présente une certaine complication de la machine peuvent contrebalancer ces avantages. Je dirai tout d'abord qu'après avoir fait ces expériences qui ont duré à peu près trois ou quatre mois, et auxquelles beaucoup de personnes nous ont fait le plaisir d'assister, nous avons fait la combinaison suivante avec la Société Heilmann. Cette société est en train de construire deux machines infiniment plus puissantes que la première, basées sur le même principe, mais étudiées d'après les coefficients relevés dans les expériences. Ces deux machines nous seront livrées vers la fin de l'année et nous les prendrons en location pour dix-huit mois, afin d'avoir un champ d'expérience suffisamment étendu ; nous comptons faire avec ces moteurs un service de trains de voyageurs. Voici maintenant ce que les essais nous ont révélé au point de vue des avantages que peut présenter cette combinaison. Il est certain d'abord qu'au point de vue mécanique, la locomotive à vapeur présente un inconvénient radical auquel malheureusement il n'a jamais été possible de remédier ; c'est la dépendance absolue du nombre de coups de piston et du nombre de tours de roue, en sorte que lorsque la locomotive ralentit sa marche, par exemple à la montée d'une rampe, le nombre de kilogrammètres à l'heure diminue et, pour compenser cette diminution de travail, on est obligé d'augmenter l'admission et, par conséquent, la consommation relative de vapeur.

« L'indépendance absolue qui existe dans la locomotive Heilmann entre le moteur et le récepteur fait que, quand on a besoin de produire plus de travail, on laisse la détente constante et on accélère le générateur. On peut par conséquent produire dans un temps donné un travail plus considérable. C'est ce qui est fait dans toutes les expériences et c'est ce qui permettra dans les nouvelles machines de porter la puissance à 1,400 chevaux au moment où il faudra développer le travail maximum, c'est-à-dire dans les rampes. L'indépendance qui donne cette souplesse est donc le caractère primordial de la locomotive Heilmann.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Nous avons ensuite mesuré les résistances propres de cette machine. Tout naturellement, cette résistance propre suit exactement la même loi que pour les véhicules ordinaires ; en ce qui concerne la vitesse, elle va en augmentant exactement suivant la même loi, la courbe est exactement parallèle à celle des véhicules ordinaires et en est très peu distante, de sorte qu'en pente on consomme infiniment moins qu'avec une locomotive ordinaire. Au contraire, en rampe, comme cette locomotive avec son tender pèse près de 120 tonnes, il faut évidemment remorquer un poids supérieur ; je parle des nouvelles locomotives qui pèsent 120 tonnes et qui sont excessivement puissantes, puisqu'elles peuvent produire 1,400 chevaux dans les conditions les plus économiques. Cette propriété de pouvoir descendre les pentes sans vapeur est très importante sur certains réseaux, notamment sur les lignes en dents de scie où l'on ne fait que monter et descendre. A la descente des pentes, on peut supprimer complètement la vapeur, arrêter la machine, la graisser, et j'ai même vu dans des voyages d'essai, alors que la machine faisait 90 kilomètres à l'heure, le mécanicien remplacer une goupille à la descente. Il y a donc un très grand avantage pour les longs trajets sans changement de machine. Le mécanicien est dans une chambre, il a une machine fixe à sa disposition, il peut l'arrêter dès qu'on descend une pente et ainsi il peut assurer le graissage.

« Enfin, il faut considérer la stabilité de la machine ; elle n'a aucun mouvement perturbateur, puisque, lorsque la machine est bien équilibrée, il n'y a plus sur route que le mouvement tournant, et il est certain qu'au point de vue de la voie, il y a là une fatigue bien moindre. Le poids de cette machine, qui est de 15 tonnes par essieu, n'est pas exagéré ; c'est le poids admis sur nos lignes. On a recherché si, à cause de son poids considérable, cette machine n'exerçait pas un effort nuisible sur les ponts. Il est certain qu'au passage des ponts, elle fait prendre aux longerons, à raison de son poids, une flèche beaucoup plus grande que les machines ordinaires. Mais, dans le sens vertical (nous n'avons pas pris de mesures dans le sens horizontal), elle donne des vibrations moindres, et certains ingénieurs de la voie m'ont affirmé que l'augmentation de flèche était compensée, au moins dans une certaine mesure sinon totalement, par cette diminution des vibrations. On peut évidemment mettre en regard de ces avantages la complication qui résulte de la présence simultanée sur la locomotive d'une machine électrique et d'une machine à vapeur, d'où la possibilité de discuter le plus ou le moins de valeur de la combinaison que je vous soumets ; il reste encore un point sur lequel je dois dire deux mots, c'est la consommation de combustible. A priori, tout le monde a cru que la consommation serait plus grande qu'avec la locomotive à vapeur, et moi-même j'étais tombé dans cette erreur. En pratique, cependant, il n'en a pas été ainsi ; comme cela arrive toujours, la consommation a été constamment en diminuant depuis le commencement des expériences jusqu'à la fin et la moyenne est très modérée ; dans les derniers essais, la consommation s'est tenue en dessous de celle de nos machines ordinaires remorquant les mêmes trains. Je ne dis pas que les machines ordinaires n'étaient pas un peu trop puissantes pour ces trains, je n'attache donc pas à cette comparaison une importance absolue et nous avons même négligé de l'insérer dans les procès-verbaux des expériences. Mais cette considération que j'ai déjà indiquée de pouvoir marcher toujours avec une détente très économique, de ne rien dépenser sur les pentes, de n'avoir qu'un petit travail supplémentaire dans les rampes, tout cela ne rend pas impossible du tout que l'on consomme la même chose ou moins que dans les locomotives ordinaires. Il est certain que les chiffres que nous avons obtenus nous ont donné un peu moins, 15 p. c. je crois ; mais je n'affirme pas que la comparaison soit rigoureuse et je me réserve, lorsque nous aurons les deux autres machines en service pendant dix-huit mois, de faire des essais plus complets ; je serai donc, au prochain Congrès, en mesure de fournir des éléments pour fixer complètement les idées. Les essais commenceront vers le mois de janvier, ils se continueront au printemps et, pour le service

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'été de l'année prochaine, nous comptons faire nos trains de voyageurs avec les locomotives Heilmann. »

Voici quelques détails complémentaires fournis par M. Mazen, inspecteur de la traction de la même Compagnie :

« A la suite d'une première série d'essais, il a été fait quelques trains d'expériences avec la machine à bogies Ouest 957, non à titre comparatif, puisque ce type de locomotive est plus puissant que la *Fusée électrique*, mais seulement pour se rendre compte de la différence existant entre une locomotive à vapeur et une locomotive électrique, au point de vue de la résistance au roulement.

« La conclusion à tirer de ces expériences est que la locomotive électrique a une résistance au roulement très légèrement supérieure à celle du train, tandis que celle de la locomotive à vapeur est de beaucoup plus élevée à grande vitesse.

« En particulier, à la vitesse de 62.5 kilomètres, on a pu constater que la résistance au roulement était :

Pour la locomotive à vapeur 957 . . .	11.2	kilogrammes	par tonne.
— — électrique	5.1	—	—
— les voitures	4.5	—	—

(Ces deux machines circulant régulateur fermé.)

« Dans tous ces essais, la locomotive électrique s'est bien comportée, le service a été assuré sans aucune avarie et pendant un parcours total de plus de 1,900 kilomètres; on n'a jamais eu besoin de la machine de secours.

« Tous les trains ont été remorqués dans de bonnes conditions et aucun retard n'a eu lieu du fait de la locomotive.

« La *Fusée* présente à toutes les vitesses une stabilité satisfaisante et comparable à celle d'une voiture à bogie, la suspension est douce et, pendant les divers parcours, on a constaté qu'il ne se produisait aucun mouvement soit de lacet, soit de galop; les entrées en courbe se font facilement et jusqu'à la vitesse de 108 kilomètres, qui a été atteinte à diverses reprises pendant les essais; les seules oscillations remarquées proviennent exclusivement des légères dénivellations de la voie.

« Cette douceur de marche est due principalement à la constance de l'effort aux jantes pendant un tour complet, ce qui donne un effort de traction constant et, par suite, une traction plus douce qu'avec les machines ordinaires.

« En outre, par suite de l'adhérence totale, le patinage est complètement évité. Enfin, pour ce qui est de la dépense de combustible, sans vouloir dès à présent porter un jugement, eu égard à la durée relativement courte des essais, nous croyons devoir faire remarquer que, malgré l'inexpérience du personnel dans la conduite de la machine, la dépense n'a été que de 5.630 kilogrammes par kilomètre en moyenne (entre Paris et Mantes).

« Nous devons dire, du reste, que depuis le premier jour des essais jusqu'au dernier, la consommation de combustible de la locomotive Heilmann a toujours

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

été en décroissant; de 6.900 kilogrammes par kilomètre qu'elle était au commencement des essais, elle est tombée à 3.730 par kilomètre.

« Cette faible dépense de combustible dépend de bien des éléments :

« Tout d'abord, il faut remarquer la grande puissance de la chaudière de la locomotive électrique d'essai, qui n'a jamais eu besoin d'être poussée pour fournir la vapeur nécessaire, ce qui fait que l'on s'est toujours trouvé dans de bonnes conditions au point de vue économique. D'un autre côté, si le poids considérable de la locomotive électrique est une gêne dans les fortes rampes, par contre, sa faible résistance au roulement fait qu'en palier, à vitesse égale, elle absorbe souvent à grande vitesse, pour se traîner, moins de puissance que les locomotives à vapeur, et qu'elle peut, en outre, descendre à grande vitesse des pentes, même très peu accentuées, sans consommation de vapeur, alors que les locomotives ordinaires sont obligées, dans les mêmes conditions, d'en consommer.

« La présente note ne parle ni du personnel, ni de l'entretien, pour lesquels les dispositions de la machine d'essai et les parcours n'ont pas permis de fixer des bases suffisamment précises.

d. — *Nouveau type de locomotive Heilmann.*

La figure 557 est une vue extérieure et la figure 558 une coupe avec vue interne de la nouvelle locomotive; la chaudière a tous les traits de celle d'une locomotive ordinaire : surface de chauffe, 185 mètres carrés; de grille, 3 34 mètres carrés; timbre, 14 kilogrammes.

La machine, d'une puissance de 1,350 H. P., est à simple effet, à 6 manivelles équilibrées. Elle commande deux génératrices à 450 volts excitées par une petite dynamo séparée, que conduit une machine de 28 H. P.

On compte sur une puissance développée à la jante de 1,000 H. P. pour un poids total de 120 tonnes environ.

7. — Essais de traction électrique de l'Administration des chemins de fer de l'État belge.

a. — *Programme.*

L'Administration des chemins de fer de l'État belge organise depuis 1892 des essais, en vue d'étudier les conditions que doit réunir un moteur électrique, ou un groupe de moteurs électriques, pour la propulsion de voitures automotrices ou de trains légers, à des vitesses de 20 à 60 kilomètres.

Le locomoteur exécuté devant être soumis à des essais successifs, sur des lignes de tracés et de profils différents, aucune section n'a été équipée pour fournir le courant par conducteur; d'ailleurs, les essais étant limités au moteur et ne portant pas sur la transmission de courant, rien n'empêchait de charger la voiture

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

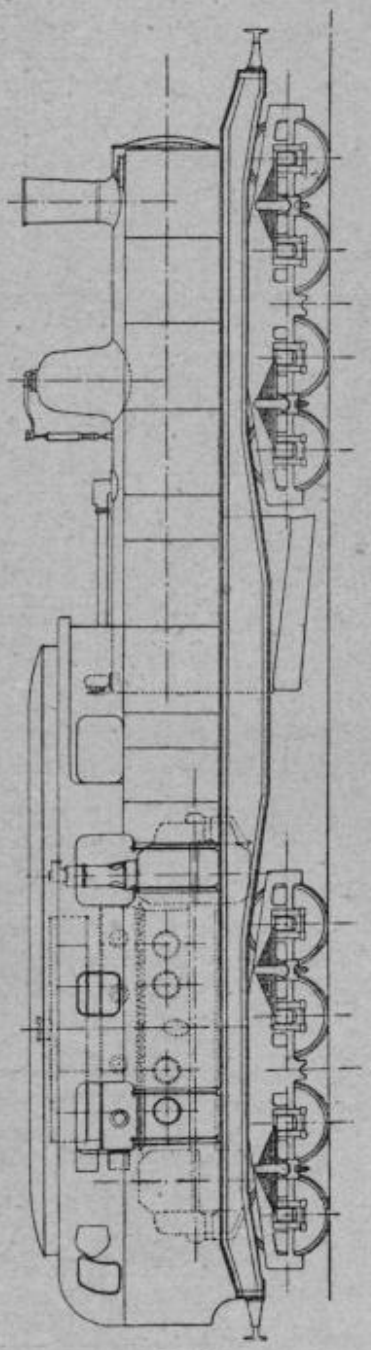


Fig. 557. — Locomotive nouvelle. Vue extérieure.

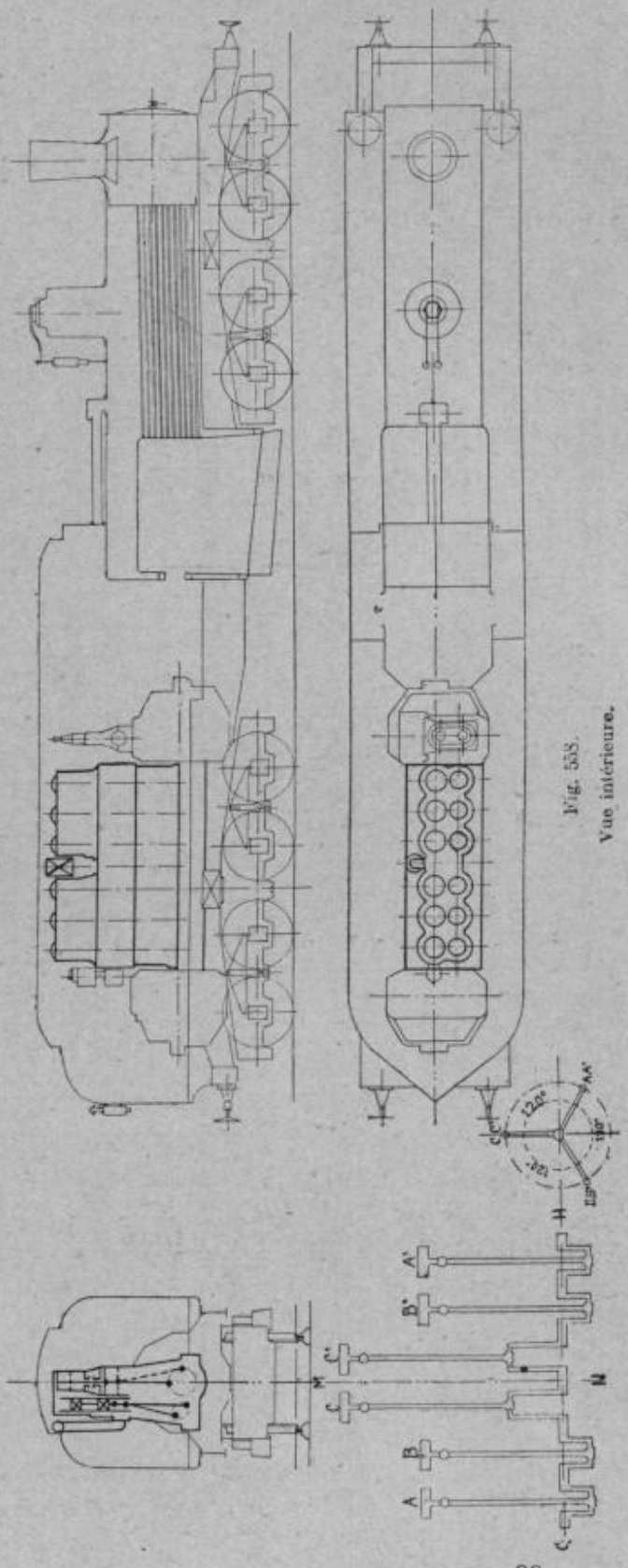


Fig. 558.
Vue intérieure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une batterie d'accumulateurs qui jouerait à la fois le rôle de station électrique d'alimentation et celui d'une charge utile à transporter; c'est ce qui a été fait.

b. — *Description du premier locomoteur d'essai.*

Voiture et batterie. — La voiture repose sur trois essieux, dont les deux extrêmes sont seuls moteurs. (Voir fig. 559 et 560.)

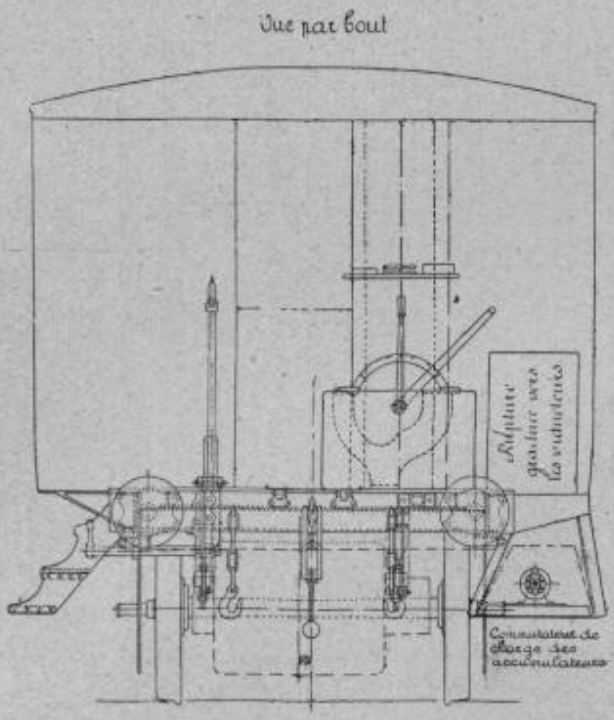


Fig. 560. — Vue en bout du locomoteur figure 559.

Chargée, cette voiture pèse 24,500 kilogrammes, dont 10,000 kilogrammes d'accumulateurs à transformer en charge utile en cas d'alimentation par conducteur.

Il est vraisemblable qu'en utilisant une partie de ce dernier poids à allonger la voiture, le nombre de voyageurs auquel l'ensemble correspondrait serait de quatre-vingts.

La puissance, aux vitesses inférieures à 40 kilomètres à l'heure, est de 50 chevaux; à partir de cette vitesse, l'électro-moteur peut développer 100 chevaux.

Toutefois, le débit que cette puissance de 100 chevaux nécessite n'est pas compatible avec la bonne conservation de la batterie; si le courant était fourni par conducteur, rien n'empêcherait de la développer.

Moteur. — L'induit de chaque moteur est calé sur un tube enfilé sur l'essieu, porté par deux paliers de la carcasse de l'inducteur. Cet inducteur est suspendu à deux maîtresses feuilles de ressort montées au-dessus des ressorts de suspension.

Ces maîtresses feuilles spéciales sont plus courtes que celles qui supportent la voiture, afin de diminuer l'amplitude du mouvement relatif du tube et de l'essieu.

Dans le sens longitudinal, les carcasses sont maintenues par des tringles qui s'opposent au mouvement pendulaire.

Les extrémités des tubes sont pourvues d'étoiles à quatre bras, dont le bout libre des rayons est relié à la roue voisine par des ressorts à boudin.

Les moteurs sont donc à accouplement direct et présentent, sous ce rapport, quelque analogie avec le moteur Short, sauf en ce qui concerne la suspension.

Les moteurs de la voiture sont au nombre de deux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

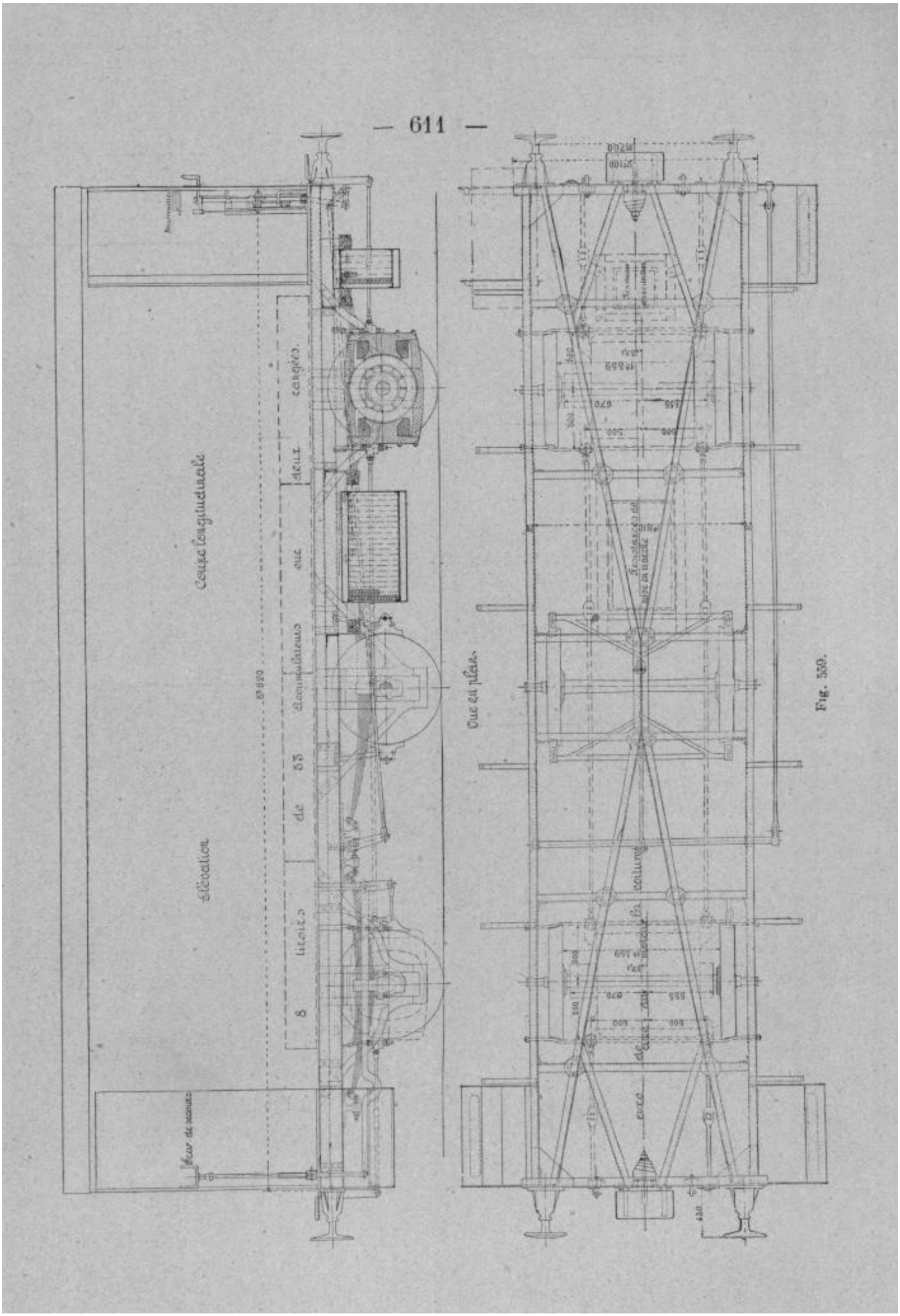


Fig. 550.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'excitation est en dérivation et les induits peuvent être alimentés en série ou en parallèle.

Le poids des moteurs est de près de 3 tonnes. On en trouvera au chapitre I-A les détails de construction (fig. 92).

Régulateur. — Des rhéostats en nickeline permettent de régler l'intensité du champ magnétique dans le rapport de 1 à $^2/_3$, au moyen d'un levier qui règle aussi la résistance insérée dans le circuit des induits.

Une extrémité du secteur correspond à l'interruption du courant des moteurs; l'autre extrémité, à la plus grande vitesse.

Un second levier opère le changement de marche et la mise en parallèle ou en série des induits. Ce levier est enclenché par le premier (celui du modérateur de courant), sauf dans la position d'interruption du courant, afin que les changements de couplage des induits se fassent toujours sans courant.

Le levier de changement de marche a cinq positions :

Au centre (levier vertical), le point mort;

A droite, la marche en avant, le premier cran couplant les induits en série, le second couplant les induits en parallèle;

A gauche, la disposition est identique et commande la marche en arrière par l'interversion du courant dans le circuit des induits.

Les dessins détaillés du régulateur avec tableau de fonctionnement se trouvent au chapitre I-A-2 (pages 113 et suivantes).

L'alimentation par accumulateurs n'étant nullement dans les conditions du problème, on s'est interdit toute solution qui fractionnerait la force électromotrice de la batterie, égale à 500 volts.

Voici les différentes manœuvres opérées pour passer de l'état de repos à une vitesse d'environ 60 kilomètres à l'heure.

Le levier du modérateur étant dans la position d'interruption, le levier de changement de marche est poussé dans le sens voulu jusqu'au cran de l'accouplement des induits en série. Le levier du modérateur est ensuite avancé progressivement jusqu'à l'obtention d'un courant de 90 à 100 ampères. En ce moment, l'excitation est au maximum.

Dès que le démarrage a commencé, il se produit une force contre-électromotrice qui réduit le courant; on continue à avancer le levier du modérateur; cette manœuvre a pour effet de réduire progressivement la résistance insérée dans le circuit des induits et de maintenir le courant à une intensité de 90 ampères environ.

Lorsque la vitesse de la marche est de 20 kilomètres à l'heure environ, toutes les résistances du circuit sont enlevées, mais le modérateur n'est pas encore à fond de course.

Les positions successives que peut prendre encore le levier du modérateur correspondent à l'insertion progressive de résistances dans le circuit d'excitation et,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partant, à la diminution du champ inducteur; la vitesse croît progressivement jusqu'à 36 à 40 kilomètres à l'heure environ. A cette vitesse, le levier du modérateur est à fond de course et l'intensité du champ inducteur est réduite aux deux tiers de sa valeur primitive.

Pour accroître encore la vitesse, on doit modifier l'accouplement.

Pour cela, on ramène rapidement le levier du modérateur au cran du repos, on pousse à fond le levier de changement de marche et on manœuvre à nouveau le levier du modérateur en le faisant avancer doucement de manière à maintenir l'intensité du courant au taux de 90 ampères environ.

La voiture est pourvue de freins à sabots qui sont serrés lorsque le modérateur est fermé.

L'excitation des inducteurs étant faite en dérivation, les moteurs sont sensiblement auto-régulateurs et sur les pentes modèrent l'allure en chargeant les accumulateurs.

c. — *Résultats.*

Au chapitre I-C (page 151), nous donnons des chiffres de rendement et de résistance à la traction trouvés dans l'expérimentation de ce locomoteur.

Un point capital à noter, c'est que ce locomoteur, lancé à 60 kilomètres à l'heure, a descendu sans courant une pente de 5 millimètres par mètre. Ce chiffre cadre assez bien avec celui qui a été trouvé dans un essai de la locomotive Heilmann, 6.5 kilogrammes par tonne à 100 kilomètres.

Ces résultats, comparés à ceux que fournirait l'emploi d'engrenages ou autres organes de réduction de vitesse, justifient bien l'adoption du moteur Gearless.

Ils concordent d'ailleurs avec ceux qui ont été obtenus au *City and South London Ry*, ainsi qu'au chemin de fer élevé de *Liverpool*, dans l'application, aux moteurs de locomotives et de voitures automobiles, du même principe de la *suppression des organes réducteurs de la vitesse de rotation*.

Or, il s'agit bien, dans ces deux cas également, de trains légers à vitesse moyenne de 35 à 40 kilomètres à l'heure.

Le chapitre I-A et B fournit, indépendamment de la description détaillée de ces moteurs, des résultats d'essais qui en font ressortir le rendement élevé.

d. — *Nouvelle série d'essais.*

Voitures. — Dans le même ordre d'idées qui a dicté les essais précédents (§§ *a*, *b*, *c*), l'Administration des chemins de fer de l'État belge entamera, en 1897, une nouvelle série d'essais au moyen de plusieurs voitures munies de moteurs Gearless de formes variées et de provenances différentes. La commande en a été remise fin de 1896.

Ces voitures, d'une contenance de 75 à 80 voyageurs, reposeront sur deux bogies pourvus chacun d'un moteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une batterie d'accumulateurs de 264 à 272 éléments sert de source d'électricité, tenant lieu d'un réseau conducteur à 500 volts, et remplaçant, en poids, une voiture remorquée de 12 tonnes. Elle sera logée en deux petits compartiments verticaux situés vers l'axe des bogies, compartiments qu'il serait facile d'affecter à d'autres usages, en supposant les voitures alimentées, à l'avenir, par transmission à distance.

On compte sur les poids suivants :

Caisse et bogies	20,000 kilogrammes.
Moteurs et régulateurs	8,000 —
Accumulateur	12,000 —
Voyageurs	5,000 —
Total. . .	45,000 kilogrammes.

Voici le programme auquel doivent répondre les moteurs :

Moteurs. — Les moteurs à courant continu seront au nombre de deux par voiture, un par bogie, montés sur les essieux intermédiaires et actionnant ceux-ci sans l'intermédiaire d'organes réducteurs de vitesse.

L'enroulement de l'excitation normale sera shunt, mais le champ magnétique sera renforcé par un enroulement en série avec l'induit. Cet enroulement constituera en partie les résistances de démarrage; il sera entièrement hors circuit lorsque la vitesse aura atteint sa valeur minima dans chacun des groupements des induits.

Sous la tension de 500 volts, les deux moteurs groupés en série tourneront à 116 tours à la minute lorsque l'intensité totale du courant atteindra 150 ampères, le champ magnétique étant excité par l'enroulement shunt seulement. Dans ces conditions, le rendement industriel ne sera pas moindre que 75 p. c.

L'affaiblissement graduel du champ magnétique, obtenu par les appareils de commande dont il est parlé plus loin, élévera la vitesse jusqu'à 173 tours par minute, le courant étant encore de 150 ampères et la tension de 500 volts. Le rendement industriel, dans ces conditions, atteindra au moins 80 p. c.

Groupés en parallèle, sous la tension de 500 volts, avec le maximum d'excitation obtenu par le shunt seul, et une intensité totale de 150 ampères, les moteurs tourneront à la vitesse de 231 tours par minute; le rendement industriel ne sera pas moindre que 80 p. c.

Le même affaiblissement du champ magnétique que dans le cas des moteurs groupés en série, permettra d'élever la vitesse des moteurs en parallèle jusqu'à 346 tours à la minute, le courant total et la tension restant respectivement à 150 ampères et à 500 volts.

L'enroulement de l'induit sera calculé pour supporter normalement un courant de 150 ampères; ce courant pourra être porté à 250 ampères pendant cinq minutes sans que l'échauffement devienne dangereux pour la conservation des organes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La vitesse maxima, obtenue par l'affaiblissement du champ magnétique, dans chacun des groupements, devra atteindre au moins une fois et demie la vitesse à pleine excitation shunt dans le même groupement.

Leur excitation shunt sera obtenue par un seul circuit.

Au démarrage, l'excitation compound étant maxima, le couple de chaque moteur sera au moins de 300 kilogrammes à 1 mètre de l'axe.

Il est loisible aux constructeurs d'adopter l'induit en tambour ou celui en anneau, de fixer à leur convenance le nombre des pôles magnétiques, et de disposer les inducteurs en boite close (waterproof) ou de leur donner une forme qui découvre partiellement l'induit.

Pour deux équipements, on fera usage d'un arbre creux pour chaque moteur, cet arbre étant enfilé sur l'essieu et relié aux roues par des attaches élastiques. L'arbre creux aura un diamètre intérieur suffisant pour que l'essieu ne soit jamais en contact avec lui.

Les deux autres équipements seront composés de moteurs dont l'induit sera calé directement sur l'essieu. On tolérera cependant l'usage d'intercalaires en matière élastique.

Régulateur. — Sur chaque plate-forme se trouvera un régulateur comportant deux appareils de commande.

A. — Un changement de marche, à quatre positions, l'une coupant les circuits d'induit, les deux voisines groupant les induits en série pour la marche en avant et pour la marche en arrière, la quatrième groupant les moteurs en parallèle pour la marche en avant, la cabine étant tournée vers l'avant. Les commutations de cet appareil devant se faire sans courant dans les induits, un enclenchement mécanique conjuguera le changement de marche avec le modérateur, pour réaliser cette condition.

B. — Un modérateur dont l'office est complexe. Il doit établir graduellement le courant d'excitation, puis graduellement aussi le courant d'induit par la suppression successive de résistances sans self induction et des enroulements en série des inducteurs, jusqu'à la mise en connexion directe des induits sur la batterie; enfin, il doit insérer progressivement la résistance dans le circuit d'excitation pour obtenir la vitesse maxima correspondant au groupement des induits réalisé.

La succession des contacts sera donc la suivante :

1° Touche isolée;

2° Touche fermant le circuit d'excitation sur une résistance d'environ mille ohms; cette touche est suivie d'autres, graduant le courant d'excitation jusqu'à sa valeur maxima;

3° Touche de rupture du circuit d'induit. C'est la véritable touche de repos que doit occuper le contact glissant, pour qu'on puisse manœuvrer le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

changement de marche. Un arrêt mobile doit empêcher que dans la manœuvre de retour de la manette ou du levier, cette position soit dépassée involontairement;

4° Touche fermant le circuit des induits à travers les résistances inertes et les enroulements en série de l'excitation. Cette touche sera assez distante de la précédente; il est recommandé de l'en séparer par un souffleur magnétique ou un appareil en tenant lieu.

Le courant admis à la première touche ne dépassera pas 60 ampères.

5° Une série de touches soustrayant les résistances inertes ou magnétisantes font suite à la précédente. Le nombre de ces touches et les résistances partielles doivent être calculées de façon que le courant puisse être maintenu entre sa valeur maxima et les cinq sixièmes de cette valeur dans les commutations successives;

6° Une touche de mise en court circuit des induits sur la batterie, le courant de l'excitation shunt étant toujours au maximum;

7° Une série de touches insérant progressivement des résistances dans le circuit du shunt. Les limites de variation du courant sont les mêmes que pour les touches 5.

Mesures diverses. — La charge électrique des accumulateurs s'opérera sur les voitures mêmes; les uns, du type Julien, seront chargés à intensité modérée; les autres, du type Tudor, à faible capacité, seront chargés rapidement en un quart d'heure environ.

Quant aux signaux, ils se feront, conformément au règlement général du railway, au moyen d'un sifflet qu'alimentera un réservoir d'air comprimé, rempli au moyen d'une pompe électrique conduisant un compresseur Westinghouse.

8. — Locomotive du Baltimore and Ohio Railroad.

Machine. — Dans le type destiné à la *Baltimore and Ohio Railroad Company*, pour la traversée en tunnel sous la ville de Baltimore, la « General Electric Company » a adopté un système d'inducteur de même forme que celui des petits moteurs Gearless de tramway de Short, dernier type, monté sur une carcasse triangulaire.

C'est la plus puissante locomotive électrique exécutée jusqu'à présent. Elle remorque des trains de voyageurs et de marchandises pouvant peser jusqu'à 1,200 tonnes, à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure, dans le tunnel de la Belt Line, qui présente sur 5 kilomètres une rampe continue de 8 millimètres par mètre.

Cette locomotive, qui pèse 95 tonnes, est formée de deux trucks portant chacun deux moteurs. La figure 90 représente l'un des deux trucks.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici les données principales :

Poids total.	95 tonnes.
Effort maximum sur la barre d'attelage.	21,518 kilogrammes.
Hauteur totale	$4^{m}34$
Longueur	$15^{m}40$
Largeur	$2^{m}90$
Empattement des roues d'un truck	$2^{m}08$
Diamètre des roues motrices	$1^{m}374$

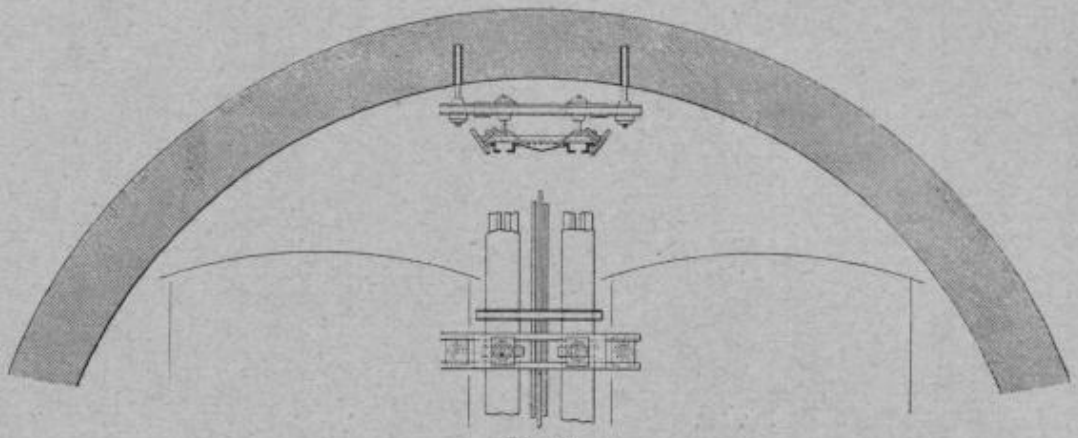


Fig. 561.

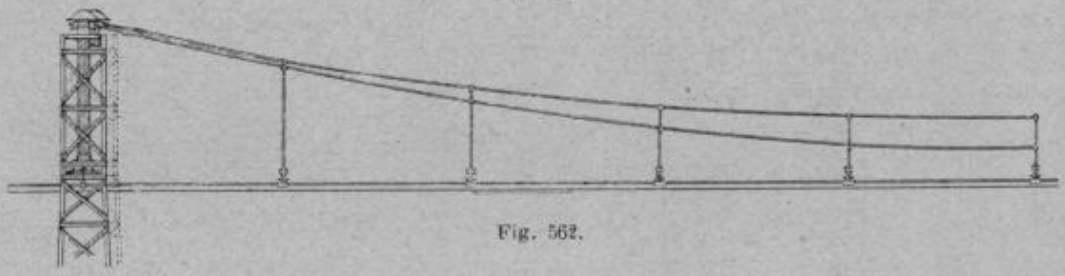


Fig. 562.

Le voltage est de 500 volts; les moteurs sont construits pour marcher à 250 volts, deux en séries. Le maximum d'effort se produit à la vitesse de 24 kilomètres à l'heure avec un débit de 2,700 ampères; elles traînent alors des trains de 1,200 tonnes.

Les trains de voyageurs de 500 tonnes sont remorqués à 40 ou 50 kilomètres à l'heure.

Ligne. — Une station génératrice de 3,000 chevaux fournit le courant au moyen de dynamos de 500 kilowatts à couplage direct.

Les feeders conduisent le courant au conducteur aérien double, en trois points : ils mesurent 506 millimètres carrés de section.

On voit (fig. 561) les conducteurs en Z fixés à la voûte du tunnel; leur hauteur est de 75 millimètres, leur épaisseur de 10 millimètres; ils pèsent 45 kilogrammes au mètre courant.

En dehors du tunnel, ils sont portés par des poutres en treillis (fig. 562).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les capteurs du courant, organes flexibles mais puissants, sont représentés figure 563, et la navette séparée, figure 564.

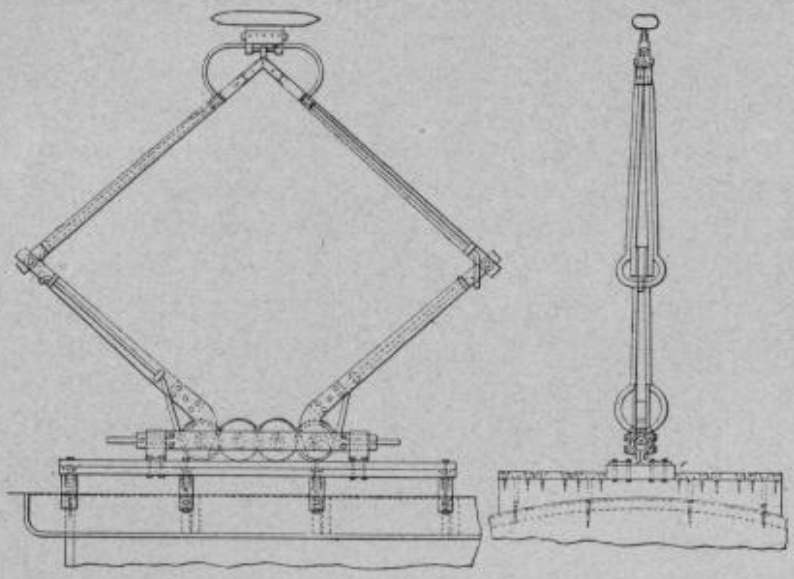


Fig. 563.

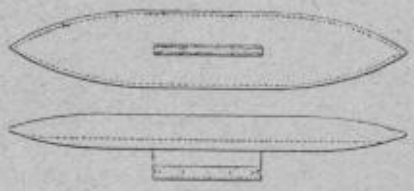


Fig. 564.

Nous avons donné au chapitre I-A des détails de construction concernant le moteur. (Voir fig. 89, 90 et 91.)

Quant aux résultats techniques d'essai de ce locomoteur puissant, les §§ B et C du chapitre I en fournissent également.

B. — Locomoteurs pour nouveaux types de voies.

---

1. — Voies diverses.

Est-il rationnel de chercher un type nouveau de voie pour la traction électrique à grande vitesse?

Avant de répondre à cette question, on doit se demander à quelle limite s'arrêterait, sans danger, la traction à vapeur.

Or, sur voie normale de 1m435 d'écartement, lors du concours de 1890 entre divers types de locomotives françaises, on a enregistré des allures de 120 à 144 kilomètres à l'heure, la vitesse moyenne, toutefois, ne dépassant pas 95 kilomètres. Depuis, il a été atteint, entre Londres et Aberdeen, une vitesse commerciale de 101.2 kilomètres à l'heure et des vitesses effectives de 120 à 130 kilomètres. En 1895, sur le « New York-Buffalo Railway », on a marché commercialement à 103 kilomètres avec des trains complets. Aux États-Unis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme en Europe, il a été effectué certains parcours d'essais en alignement droit à 150 kilomètres à l'heure.

Si la locomotive à vapeur peut marcher de la sorte sans accident, malgré les mouvements alternatifs de son mécanisme, la traction électrique permettra à fortiori de réaliser de telles vitesses, sans danger, sur une bonne voie de 1^m435.

Par conséquent, l'étude de voies présentant de nouvelles dispositions ne serait utile, à l'électro-traction, qu'en vue de dépasser de beaucoup la vitesse de 150 kilomètres à l'heure dans des courbes inférieures à 1,000 mètres de rayon.

Dans sa communication au Congrès d'électriciens de Francfort, en 1891, M. Zipernosky a exposé un projet de voiture automobile sur deux trucks, chacun à deux essieux, munis d'électro-moteurs à action directe. Le courant serait capté par de grandes roues en bronze sur deux conducteurs en cuivre fixés aux traverses. Ce serait un courant continu, mais issu de transformateurs échelonnés le long de la ligne, alimentés par un courant alternatif à 10,000 volts. Il prétendrait atteindre ainsi la vitesse de 250 kilomètres à l'heure, c'est-à-dire franchir en une heure la distance de Vienne à Buda-Pesth; mais pour cela, il estime indispensable de constituer la voie beaucoup plus solidement que la voie normale, en l'établissant sur une plate-forme construite comme un pont continu d'une largeur de 2^m50, en acier et ciment, reposant sur des piles en maçonnerie, distantes de 12 à 15 mètres, dont les plus hautes ne dépasseraient pas 6 mètres. On retrouve dans le dessin de sa voiture quelques traits de celle qu'avaient proposée MM. Crosby et Weems, figure 546.

Sans insister sur ce projet, ajoutons qu'il a été très sérieusement étudié dans ses moindres détails; ceux qui seraient amenés à reprendre semblable étude, pourront consulter le compte rendu du Congrès de Francfort, où il fut discuté.

D'autres ont préconisé un troisième rail supérieur, maintenu par des cadres en fer solidaires des traverses, et servant à la fois de guide et de conducteur électrique.

Ce dispositif avait été adopté par MM. Crosby et Weems, lors de leurs essais de grande vitesse de Laurel (§ A-4); mais dans l'étude consécutive d'une application aux railways existants, en vue d'atteindre une vitesse de 240 kilomètres à l'heure, ils parlent simplement d'une voie à l'écartement de 1^m435, « constituée toutefois de la meilleure façon que l'art puisse indiquer ».

2. — Monorail Lartigue et locomotive électrique Behr.

a. — *Système en général.*

Voie courante. — La voie monorail Lartigue, bien connue d'ailleurs, est formée d'une suite de chevalets triangulaires au sommet desquels s'appuie un rail porteur unique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur ce monorail roulent les roues motrices et porteuses de la locomotive et les roues porteuses des wagons, toutes enfilées sur une seule ligne.

Le matériel roulant, remorqueur ou remorqué, est donc symétriquement construit de telle sorte que de part et d'autre du monorail porteur se répartisse le poids en abaissant le centre de gravité aussi bas que possible.

Toutefois, un rail-guide court de chaque côté des chevalets, pour recevoir les poussées latérales du matériel roulant, à cette fin muni de galets.

Points spéciaux. — Changement de voie. — Nous ne nous attarderons pas à signaler les points spéciaux que peut présenter une voie de l'espèce, tels, par exemple, que sa transformation en poutre triangulaire formant pont au-dessus des routes.

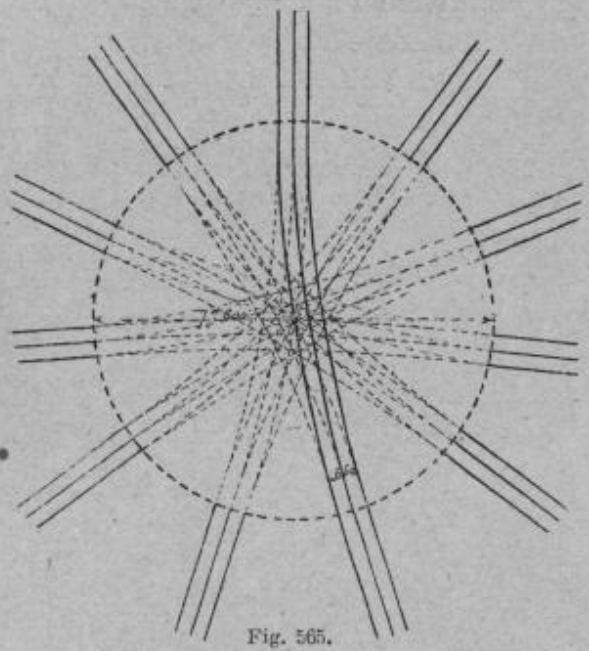


Fig. 565.

Mais nous ne pouvons passer sous silence l'ingénieux procédé substitué, dans ce système, aux aiguillages ordinaires pour changement de voie.

La figure 565 montre le principe du procédé. C'est la vue en plan d'un pont tournant distributeur, desservant une série de voies de garages, tel qu'il se trouve au terminus de la ligne de Listowel à Ballybunion en Irlande.

On voit que le pont tournant, incurvé tangentiellement à deux voies non en ligne droite, ne porte pas son pivot au centre de la poutre triangulaire qui le constitue, mais bien latéralement. Pour passer d'un tronc de voie d'un côté, à la voie adjacente à celle que le pont dessert actuellement de l'autre côté, on lui fait faire un peu plus d'un demi-tour, ce qui le place dans le prolongement de la voie à relier au tronc commun.

b. — *Ligne pour train-éclair électrique près Bruxelles.*

Système. — M. F.-B. Behr, de Londres, associé de M. Lartigues, s'est fait le promoteur d'un système de transport de voyageurs, par trains extra-rapides, roulant sur monorail et mus par l'électricité.

Dans sa pensée, ce genre de voie présenterait pour la circulation des *lightning express* les avantages suivants :

Réduire à l'extrême les chances de déraillement ;

Permettre des rayons de courbe plus petits pour des vitesses plus grandes que d'ordinaire ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Faciliter, le long des lignes existantes, l'installation de voies spécialement affectées aux trains rapides.

Voie. — La ligne établie à l'occasion de l'Exposition de Bruxelles-Tervueren, en 1897, est plutôt un champ d'expériences construit dans d'importantes proportions.

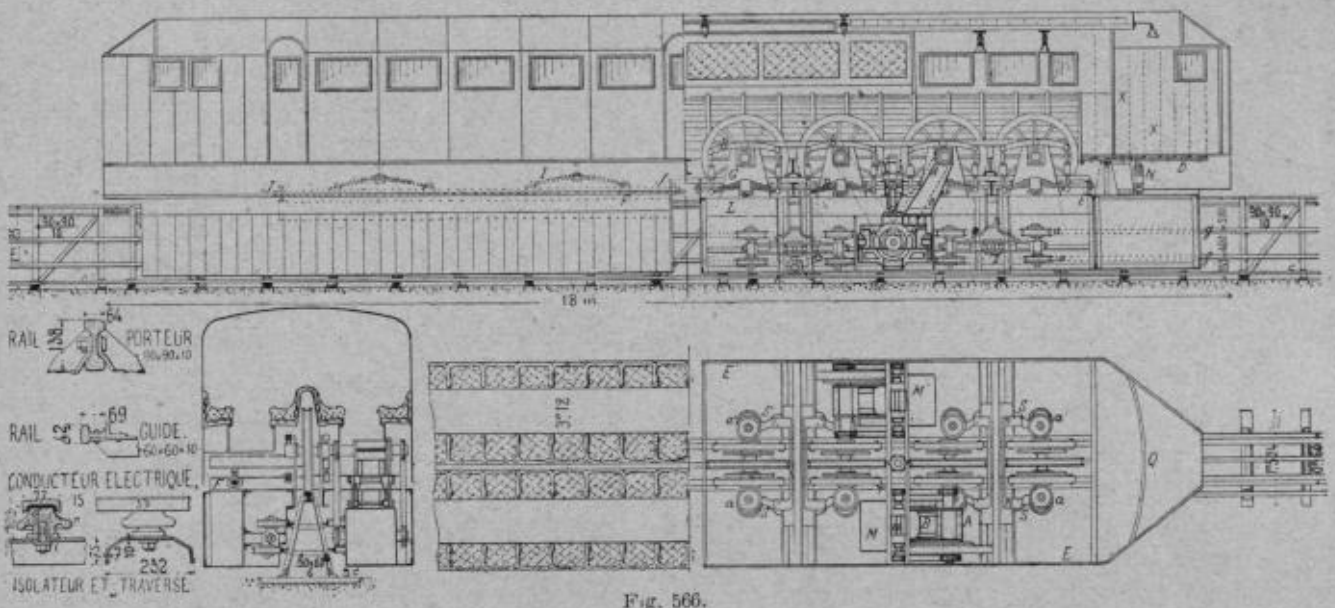


Fig. 566.

C'est une ligne ovale située en plein champ, près du parc de Tervueren. Elle mesure en longueur 4,871 mètres, est formée, en plan, de deux parties en courbe de 500 mètres de rayon raccordées par des paraboles à des parties droites, et présente, en profil, et successivement :

Un palier sur		80 mètres.
Une pente de	0.00083 sur	475 —
—	0.02120 —	640 —
—	0.01000 —	404 —
—	0.01314 —	477 —
—	0 00070 —	160 —
—	0.01000 —	225 —
Une rampe de	0.01082 —	2,410 —
	Total.	4,871 mètres.

La voie, entièrement métallique, est formée d'une suite de chevalets soutenant le rail-porteur et quatre rails-guides, comme le montre la figure 566.

Chaque chevalet consiste en deux montants obliques en fer cornière de 90 × 90 × 10 rivés sur une traverse métallique en U par l'intermédiaire de fers d'angle de 13 millimètres d'épaisseur. Les deux montants sont réunis entre eux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par deux autres cornières de 60 × 60 × 6, à l'extrémité desquelles sont boulonnés les rails-guides qui prennent aussi un appui supplémentaire contre de petites équerres rivées aux cornières.

Les rails-porteurs et les rails-guides ayant 9m50 de long assemblent entre eux 10 de ces chevalets, distants de 1 mètre, sauf aux extrémités, où les chevalets de deux tronçons de voies consécutifs ne sont distants que de 50 centimètres, longueur occupée par les éclisses.

Prés de ces extrémités sont rivés de part et d'autre des arcs-boutants en cornière de 90 × 90 × 10; au milieu du tronçon, il y a de chaque côté une cornière en écharpe de 70 × 70 × 7 boulonnée, achevant l'arc-boutant.

Les traverses reposent sur un ballast de pierrailles; elles portent rivées par dessous, au droit du point d'appui des montants, des petites cornières, dont l'une des pattes s'engage dans le ballast, pour s'opposer aux déplacements latéraux.

Comme conducteur de courant *cc*, on a adopté un fer en U renversé porté par des isolateurs fixés à une traverse sur deux.

On voit à part, sur la figure 566, une coupe du rail-porteur à double champignon dont les montants épousent la forme; une coupe d'un rail-guide avec son mode d'attache; le conducteur électrique *c* avec son isolateur en porcelaine *p* et le petit chapeau en caoutchouc durci *d* moyennant lequel le conducteur électrique est serré sur son support; enfin, la forme et les dimensions de la traverse, et l'écrou *i* fixant l'isolateur par un boulon scellé dans la porcelaine.

Usine. — L'électricité sera engendrée par une série de dynamos d'une puissance totale d'environ 1,000 chevaux, fournissant un courant à 750 volts au tableau de distribution.

c. — *Voiture électrique.*

Dans son ensemble, la voiture automotrice comprend deux trucks, supportant une longue caisse de 18 mètres de longueur pouvant contenir 100 personnes, avec des cabines aux extrémités pour le personnel et les appareils de manœuvre.

Truck. — Si l'on part du pivot P qui le réunit aux traverses inférieures de la caisse, on voit que le bâti de chaque truck est constitué par une maîtresse poutre T formée de deux fers en U et par d'autres traverses *t* rivées à des longerons intérieurs L, et raccordées, par des goussets, à des longerons extérieurs E.

Aux longerons intérieurs L sont rivées les plaques de garde G dans lesquelles jouent les boîtes à l'huile des essieux. Sur ces boîtes reposent des balanciers B aux extrémités desquels sont suspendus par des tirants les ressorts R, dont les chapes sont boulonnées aux plaques de garde; la suspension, dans le sens vertical, s'opère donc sur quatre roues et huit ressorts pendus à huit balanciers pour chaque truck.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le sens horizontal, les déplacements latéraux sont prévenus au moyen de galets *aa* roulant sur les rails guides *g*. Les trucks portent ces galets par l'intermédiaire de supports articulés SS′ aux extrémités desquels chaque paire de galets est elle-même montée sur axe horizontal. Deux supports articulés SS′ de chaque côté du truck sont reliés par des connexions *nn′* enjambant la voie, pour éviter les oscillations de ces supports du côté où les galets ne fonctionnent pas.

Afin de diminuer les frictions, les boîtes à l'huile d'essieux et les galets sont montés à rouleaux et à billes d'acier.

Les roues sont garnies, entre les rayons, de laine minérale, bourrée entre des planchettes, que des cercles en fer maintiennent de part et d'autre. Sur la figure, les roues se voient nues.

Moteurs. — Chaque truck porte deux moteurs M, M′ attaquant chacun un essieu par l'intermédiaire d'une *chaîne sans fin*. Le moteur prend appui sur son palier d'essieu au moyen d'un support en tôle AB à quatre pans, et, d'autre part, afin de permettre à l'essieu de suivre les mouvements du ressort correspondant, la caisse du moteur est suspendue par des bielles *b* dont l'axe supérieur *u* passe dans une pièce en fonte fixée à la maîtresse poutre T du bâti du truck.

Ces moteurs, d'une puissance de 150 chevaux chacun, sont tétrapolaires à deux bobines excitatrices et 2 pôles conséquents; l'armature a un diamètre extérieur de 66 centimètres, son noyau en fer une longueur de 28 centimètres. Ils effectuent 600 tours lorsque la voiture atteint sa plus grande vitesse, développant alors en tout 600 chevaux, avec une différence de force électro-motrice de 700 volts aux bornes des moteurs et une intensité de 160 ampères; ils pèsent 3,000 kilogrammes chacun. L'enroulement est formé de deux couches d'éléments Eickemeyer, comportant chacun 4 tours de lames d'une section de 6.3×2.5 millimètres, logés dans 92 rainures. Il y a donc $92 \times 4 \times 2$ lames actives à la périphérie du tambour. Le collecteur présente 184 segments et un diamètre de 45 centimètres; les quatre balais sont connectés deux à deux, en parallèle. Quant au massif inducteur, il est formé d'une carcasse en acier coulé à quatre pans, dont l'inférieur et le supérieur servent de pôles conjugués; les noyaux des bobines, boulonnés à l'intérieur des pans verticaux, mesurent : en longueur, dans le sens de l'axe d'induit, 278 millimètres; en hauteur, 228, et dans le sens des lignes de force, 139 millimètres. Ils sont bobinés de lames d'une section de 7.5×3.8 millimètres, mais en double. L'excitation est en série et présente à peu près la même résistance que l'armature.

La chaîne représentée figure 567 est formée d'une série de maillons constitués alternativement par 19 et 20 pièces plates en tôle d'acier matricée. Les engrenages, autour desquels s'enroule cette chaîne, ont 32 centimètres de diamètre.

Les capteurs du courant K sont de simples roulettes en bronze conduites par des bielles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Caisse. — La caisse contient 93 fauteuils pour les voyageurs.

Dans la cabine d'avant se trouvent le régulateur, un interrupteur de courant électro-magnétique, la manivelle de frein à main, et, en outre, la manivelle d'un frein spécial destiné à aider, aux très grandes vitesses, le freinage ordinaire : les pans obliques d'avant de la voiture sont subdivisés en une série de panneaux X pivotant sur des axes que meuvent des secteurs dentés D, conduits par autant de vis sans fin, toutes enfilées sur deux arbres communs. En imprimant un mouvement de rotation à ces arbres, on peut donc ouvrir ces panneaux d'un seul coup, de telle sorte qu'ils présentent à l'air une certaine résistance.

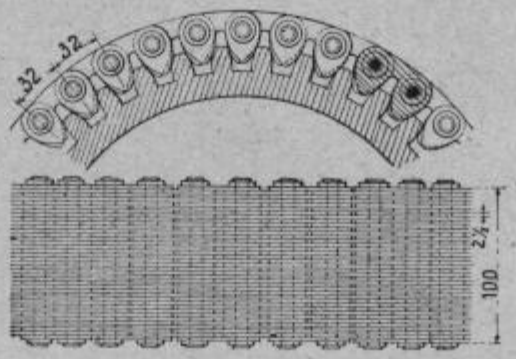


Fig. 567.

Indépendamment des pivots P, qui la relient aux deux trucks, la caisse est portée par huit ressorts longitudinaux I, soit quatre par truck, s'appuyant deux par deux sur des barres longitudinales J moyennant des menottes ovales F présentant tout le jeu nécessaire à l'indépendance des trucks.

Au surplus, à chaque extrémité un ressort transversal N s'appuie par un galet, sur une barre-guide Q.

Cette voiture pèsera en tout 50 tonnes.

La vitesse qu'elle pourrait atteindre, si l'on s'en rapporte au diamètre des roues, $1^{m}37$, à raison de 600 tours par minute, serait de 155 kilomètres à l'heure. On compte commencer les expériences en mai 1897.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre I. — Puissance et résistance.

Pages.

A. Description des moteurs et des moyens d'en régler la marche.

1. Moteurs. — *a*. Types primitifs . . . . . 1 à 5

Première locomotive Siemens, p. 1. — *Types surannés divers*, p. 2.

b. Moteurs à deux paires d'engrenages pour voitures . . . . . 5 à 16

Anciens moteurs Siemens, p. 5. — *Moteurs de la ligne Vevey-Montreux*, p. 7. — *Moteurs américains à deux paires d'engrenages. Principe*, p. 5. *Moteurs Sprague à double réduction*, p. 8. — *Moteur Thomson-Houston à double réduction*, p 9. — *Moteurs à deux paires d'engrenages de Clermont-Ferrand à Royat*, p 10. — *Moteurs du Salève*, p. 11. — *Moteurs du tramway de Birmingham (accumulateurs)*, p. 12. — *Moteur de la Haye-Scheveningen (accumulateurs)*, p. 12. — *Induit*, p. 13. — *Inducteur*, p. 15. — *Moteur des tramways de Paris (accumulateurs)*, p. 16.

c. Transmission par une seule paire d'engrenages . . . . . 16 à 50

Moteur Edison, p. 18. — *Moteurs Thomson-Houston*, p. 19. — *Premier type, S. R. G.*, p. 19. — *Deuxième type, W. P. 30*, p. 20. — *Troisième type, G. E. 800*, p. 23. — *Moteurs de 50 à 100 chevaux*, p. 29. — *Moteur Westinghouse*, p. 30. — *Moteur Short*, p. 35. — *Moteurs d'Œrlikon*, p 35. — *Moteur de l'Allgemeine E. G.*, p. 36. — *Moteur de l'Electric Construction Company*, p. 37. — *Moteur du tramway Liége-Herstal*, p. 41. — *Moteur de la Société de l'Industrie électrique de Genève*, p. 42 — *Moteur Siemens et Halske*, p. 44. — *Moteur Averly à simple réduction*, p. 45. — *Moteur Walker*, p. 46. — *Moteur Schuckert*, p. 47. — *Moteur Hillairet*, p. 49.

d. Transmissions par engrenages coniques. . . . . 50 à 54

Systèmes complexes, p. 50. — *Moteur Sperry*, p. 51. — *Moteur des Detroit Electrical Works*, p. 52. — *Moteur Sylvey*, p. 52.

e. Transmission par chaîne . . . . . 54 à 58

Moteurs Siemens à chaînes, p. 55. — *Moteur à chaînes de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée*, p. 57.

*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

f. Transmission par vis. . . . . 58 à 65

Moteurs Reckenzaun, p. 58. — *Moteur Pendleton*, p. 59. — *Moteur Holroyd Smith*, p. 61. — *Moteur à vis de la Société Électricité et Hydraulique*, p. 61. — *Locomotive des mines de Marles*, p. 63.

g. Transmissions diverses 65

h. Transmissions sans réduction de vitesse . . . . . 65 à 82

Définition, p. 65. — *Moteurs à bielles*, p. 66 — *Moteurs Short*, p 68. — *Moteur Westinghouse*, p. 70. — *Moteurs du « City and South London Electric Railway »*, p. 72. — *Moteurs du « Liverpool Elevated Railway »*, p. 72. — *Moteurs de la locomotive d'essai du Nord français*, p. 74. — *Réceptrices de la locomotive Heilmann*, p. 74. — *Moteur gearless de la « General Electric Company ». Moteur de la locomotive de 30 tonnes*, p. 76. — *Moteur de la locomotive de 96 tonnes*, p. 77. — *Moteur de la voiture d'expériences État belge*, p. 79. — *Moteur de bateau*, p. 81.

i. Moteurs triphasés . . . . . 82 à 84

2. Réglage de la marche des moteurs. — *a.* Appareils pour courant direct . 85 à 119

Procédés primitifs, p. 85. — *Système Van Depoele*, p. 87. — *Système Sprague*, p. 88. — *Systèmes « série-parallèle », « loop », « shunt »*, p. 93. — *Régulateurs Thomson-Houston*, p. 93. — *Régulateur Westinghouse*, p. 100 — *Régulateur Walker*, p. 100. — *Régulateurs Siemens et Halske*, p. 103 — *Régulateurs d'Œrlikon*, p. 105. — *Régulateurs de la Compagnie de l'industrie électrique de Genève*, p. 106. — *Régulateur Berthet*, p. 110. — *Régulateurs Schuckert*, p. 110. — *Régulateurs divers en Angleterre*, p. 112. — *Régulateur du locomoteur d'essai (État belge)*, p. 113. — *Régulateur pour courants triphasés*, p. 118.

b. Appareils pour régler le courant des accumulateurs . . . . . 119 à 136

Modes primitifs, p. 119. — *Accouplement des accumulateurs en parallèle et en séries*, p. 120. — *Régulateur des voitures Paris-Saint-Denis*, p. 121. — *Régulateur des voitures La Haye-Scheveningen*, p. 126. — *Régulateur Œrlikon, à Hagen*, p. 131 — *Régulateur Elieson*, p. 134. — *Régulateur Julien*, p. 134. — *Régulateur pour canot électrique*, p. 135.

B. Données expérimentales et commerciales relatives aux moteurs.

1. Éléments de la puissance électrique. — *a.* Définitions. . . . . 136 à 139

Rendement électrique et rendement industriel, p. 136. — *Torque, puissance à la jante*, p. 138.

b. Représentation géométrique et essai de la puissance électrique . . . 139 à 144

Caractéristiques et données diverses, p. 139. — *Méthodes d'essai*, p. 143.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

c. **Influence** du mode de réglage . . . . . 144 à 146

***Rhéostat*, p. 144.** — *Série parallèle*, p. 145. — *Mixtes*, p. 145. — *Observation*, p. 146.

2. Dépenses usuelles des moteurs. — *a.* Résistance des organes mécaniques . 146 à 149

Absence d'organes mécaniques, p. 146. — *Engrenages*, p. 147. — *Vis*, p. 147. — *Chaine*, p. 148. — *Bielles*, p. 148. — *Galets*, p. 148.

b. Coefficients de rendement usuels . . . . . 149 à 152

Moteurs à transmissions, p. 149. — *Moteurs gearless*, p. 151. — *Moteurs de mines*, p. 152.

c. Usure des organes et prix des moteurs . . . . . 152 à 157

Précautions contre l'usure, p. 152. — *Durée et frais d'entretien des organes*, p. 153. — *Prix des moteurs*, p. 156. — *Trucks*, p. 156.

3. Résistance et consommation des trains. — *a.* Résistance des trains . . . . 157 à 158

Tramways, p. 157. — *Railways. Trains. Voitures isolées*, p. 158. — *Courbes*, p. 158. — *Mines*, p. 158.

b. Consommation d'énergie par les trains . . . . . 158 à 164

En marche, p. 158. — *Démarrage*, p. 163. — *Mines*, p. 164.

C. Puissance de la transmission et de la source d'énergie.

1. Transmission a distance. — *a.* Conducteur amenant le courant . . . . . 164 à 170

Méthode d'évaluation, p. 164. — *Formules*, p. 165. — *Alimentation par le conducteur de contact. Exemples*, p. 165. — *Alimentation indirecte. Feeders*, p. 167. — *Boosters*, p. 169. — *Courants polyphasés*, p. 169. — *Isolement*, p. 170.

b. Retour . . . . . 170 à 172

Résistance des rails, p. 170. — *Chute de potentiel*, p. 170. — *Résistances des connexions*, p. 171. — *Conducteurs supplémentaires*, p. 171. — *Force électro-motrice*, p. 172.

2. Calcul du poids d'accumulateurs. — *a.* Évaluations empiriques . . . . . 172 et 173

Exemples, p. 172.

b. Formules . . . . . 173 à 176

3. Rendement et dépenses a l'usine génératrice. — *a.* Rendement à l'usine . . 176 à 178

Rendement total, p. 176. — *Dynamo*, p. 176. — *Machine*, p. 177. — *Choix des engins*, p. 177.

b. Puissances et consommations enregistrées à l'usine . . . . . 178 à 180

c. Régularisation du débit . . . . . 180 et 181

Station commune, p. 180. — *Batteries fixes*, p. 180. — *Batteries portatives*, p. 181.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chapitre II. — Rails conducteurs et troisième rail.

Pages.

A. Lignes primitives ou temporaires . . . . . 182 à 184

Essais anciens, p. 182. — *Chemins de fer Siemens et Halske*, p. 182. — *Lichterfelde. Rails seuls*, p. 183. — *Brighton*, p. 184.

B. Lignes en exploitation.

1. Tramways. — *a*. Ligne de Portrush . . . . . 185 et 186

Description. Exploitation, p. 185.

b. Ryde. Carstairs 187

2. Lignes sur siège spécial. — *a*. Besbrook à Newry . . . . . 187 à 190

Voie, p. 187. — *Trains*, p. 188.

b. City and South London Railway . . . . . 190 à 196

Voie, p. 190. — *Disposition du conducteur*, p. 191. — *Usine génératrice*, p. 192. — *Locomotives*, p. 192. — *Exploitation*, p. 194. — *Frais d'exploitation*, p. 195.

c. Railway surélevé de Liverpool . . . . . 196 à 201

Voie, p. 196. — *Disposition du conducteur*, p. 197. — *Usine génératrice*, p. 198. — *Électro-moteurs*, p. 198. — *Exploitation*, p. 200. — Dépenses d'exploitation, p. 200. — Dépenses de traction, p. 201.

d. Chemins de fer électriques du Salève (Haute-Savoie, France) . . . . 201 à 207

Voie, p. 201. — *Conducteur*, p. 202. — *Usine génératrice*, p. 203. — *Voitures. Électro-moteurs*, p. 205. — *Exploitation*, p. 206. — *Frais d'exploitation*, p. 207.

c. Embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près Saint-Étienne . . . . . 207 à 217

Voie, p. 207. — *Usine génératrice*, p. 208. — *Conducteur*, p. 208. — *Locomoteur électrique*, p. 209. — *Remarques concernant les pertes de courant*, p. 217.

f. États-Unis . . . . . 217 à 219

Chicago, p. 217. — *Nantasket Beach Railway*. — Voie, p. 218. — Voitures, p. 219. — Exploitation, p. 219.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chapitre III. — Doubles conducteurs aériens.

Pages.

A. Double tube.

1. Essais primitifs 220
Paris, p. 220.

2. Lignes existantes. — *a*. Dispositifs aériens communs . . . . . 220 à 223

b. Francfort à Offenbach . . . . . 223 à 226
Description complémentaire, p. 223. — *Exploitation*, p. 223. — *Frais d'établissement*, p. 224. — *Frais d'exploitation*, p. 225.

c. Mœdling à Hinterbrühl . . . . . 227 à 229
Description complémentaire, p. 227. — *Exploitation*, p. 228 — Frais d'établissement, p. 228. — Dépenses d'exploitation, p. 228.

d. Vevey-Montreux-Chillon . . . . . 229 à 233
Description complémentaire, p. 229. — *Exploitation*, p. 231. — *Frais de premier établissement*, p. 231. — *Frais d'exploitation*, p. 232.

B. Double fil.

1. Systèmes . . . . . 234 et 235
Fils porteurs, p. 234. — *Double trolley*, p. 234.

2. Applications. — *a*. Tramways à courants continus . . . . . 235 et 236
Avantages, p. 235. — *Cincinnati*, p. 236. — *Usines*, p. 236.

b. Tramway à courants triphasés . . . . . 236 et 237
Lugano, p. 236.

c. Application au batelage 238
Divers. — Canal de Bourgogne, p. 238.

C. Fers profilés doubles.

1. Galeries souterraines. — *a*. Lignes urbaines . . . . . 239 et 240
Railway souterrain de Budapest, p. 239.

b. Mines . . . . . 240 à 242
Premières installations, p. 240. — *Marles*, p. 241.

2. Applications diverses 242

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chapitre IV. — Conducteur aérien unique.

Pages.

A. Appareillage de la ligne aérienne 243

1. Plan des circuits. — *a*. Allure générale du courant . . . . . 243 à 246
Fil de contact, p. 243. — *Câbles auxiliaires*, p. 245.

b. Tracé en plan du fil de trolley. . . . . 246 à 250
Systèmes, p. 246. — *Méthodes*, p. 247. — *Jonctions de ligne*, p. 249.

c. Plan des fils tendeurs 250

2. Métal, dimensions, tension des fils aériens. — *a*. Métal et diamètre . . . 250 et 251

b. Flèches et tensions . . . . . 251 à 254
Tableaux, p. 251. — *Formules*, p. 253. — *Pratique*, p. 254.

3. Suspension du réseau aérien. — *a*. Poteaux, potences, rosaces . . . . . 254 à 263
Description, p. 254. — *Écartement*, p. 255. — *Hauteur des poteaux*, p. 255. — *Aspect et pose*, p. 255. — *Résistance. Conditions communes*, p. 256. — *Spécifications. Bois*, p. 256. — *Fer*, p. 256. — Tubes, p. 257. — Poteaux en treillis, p. 260. — *Rosaces*, p. 263.

b. Attache et isolation des fils aériens . . . . . 263 à 277
Isolateurs et pinces de fil de contact. Types américains, p. 263. — *Types européens*, p. 268. — *Isolateurs de sections*, p. 270. — *Joints*, p. 271. — *Liaisons et croisements de lignes*, p. 272. — *Ancrages*, p. 273. — *Isolateurs pour fils tendeurs*, p. 274. — *Isolateurs à vis*, p. 275.

4. Protection contre les chutes d'autres fils . . . . . 277 à 281
Fils de garde, p. 277. — *Tringles*, p. 278.

Chariot-échelle de montage. 281

5. Prix unitaires. — *a*. Prix des poteaux, potences, rosaces . . . . . 281 à 284
Prix des poteaux en bois, p. 281. — *Prix des poteaux en fer*, p. 282. — *Potences*, p. 283. — *Ornements. Rosaces*, p. 283.

b. Prix des fils. 283

c Prix des organes isolants 283

d. Prix d'organes divers. 283

e. Prix de la pose. 284

B. Retour du courant.

1. Historique. — *a*. Première période . . . . . 284 et 285

b. Deuxième période. . . . . 285 et 286

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

2. Recherches méthodiques concernant le retour du courant. 286

a Polarité du sol en différents points . . . . . 287 à 289

b. Résistance des circuits empruntés . . . . . 289 à 293

c. Nature du terrain et causes adjuvantes. . . . . 293 et 294

3. Règles proposées contre l'électrolyse. — *a*. Déductions générales des expériences . . . . . 294 et 295

b. Règlements spéciaux . . . . . 296 à 298

c. Conclusions. 298

4. Types de connexions entre rails. — *a*. Connexions par fils . . . . . 298 à 301

b. Connexions par masses interposées . . . . . 301 et 302

c. Autres moyens d'établir la continuité électrique des rails . . . . . 302 et 303

Soudure électrique des rails, p. 302. — *Joint en fonte*, p. 303.

5. Perturbations téléphoniques. — *a*. Question générale du fil double et du fil simple . . . . . 303 et 304

b. Rapport du Dr Wietlisbach au Congrès de Genève . . . . . 304 à 307

c. Doublement partiel des fils téléphoniques 308

d. Rapport de M. Van Vloten au Congrès de Stockholm . . . . . 308 et 309

e. Conclusions du Congrès des électriciens, tenu à Genève en août 1896, concernant les perturbations téléphoniques causées par les courants industriels . . . . . 309 et 310

C. Installations et exploitations diverses.

1. États-Unis. — *a*. Modes successifs de prise de courant . . . . . 310 à 316

Essais primitifs, p. 310. — *Dispositifs actuels*. Bases, p. 313. — Poulie, p. 314. — *Contacts divers*, p. 315.

b. Exploitations de tramways urbains américains . . . . . 316 à 325

Cincinnati Inclined Plane Company, p. 317. — *Bangor*, p. 318. — *Pittsbourg-Pa.* — *Federal Street and Pleasant Valley Railway Company*, p. 319. — *Pittsburg Citizen's Traction Company*, p. 319. — *Boston*, p. 321. — *Lowel. Courants polyphasés*, p. 325.

c. Lignes interurbaines . . . . . 325 à 329

Tramways, p. 327. — *Railway sur siège spécial. Louisville, New Albany*, p. 327. — *Nantasket Electric Railroad*, p. 328.

d. Coût de l'armement et de l'exploitation d'une ligne urbaine américaine. 329 et 330

Premier établissement, p. 329. — *Exploitation*, p. 330.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

2. Europe. — *a*. Débuts . . . . . 330 et 331

b. Installations du type Sprague . . . . . 331 à 355

Florence à Fiesole. — Voie, p. 331. — Usine génératrice, p. 332. — Voitures, p. 333. — Exploitation, p. 334. — *Halle*. — Voie, p. 335. — Usine, p. 336. — Voitures, p. 336. — Exploitation, p. 337. — *Gera. Installations communes à la traction et à l'éclairage à trois fils, avec accumulateurs fixes*. — Voie, p. 339. — Usine, p. 339. — Matériel roulant, p. 341. — Coût d'établissement, p. 341. — Exploitation, p. 341. — *Kiew*. — Voie, p. 344. — Usine, p. 344. — Voitures, p. 345. — Exploitation, p. 346. — *Lübeck. Usine à étages*, p. 348. — *Breslau*. — Voies, p. 349. — Matériel fixe, p. 349. — Matériel roulant, p. 349. — Coût d'établissement, p. 349. — Exploitation, p. 349. — *Essen*, p. 351. — Exploitation, p. 352. — *Christiania*. — Voies, p. 352. — Usine, p. 353. — Voitures, p. 354. — Coût d'établissement, p. 354. — Exploitation, p. 354.

c. Installations du type Thomson-Houston. . . . . 355 à 393

Leeds, p. 355. — Voies, p. 356. — Usine, p. 356. — Voitures, p. 356. — Exploitation, p. 356. — *Bruxelles*. — 1. *Tramways bruxellois*, p. 358. — Voie, p. 359. — Usine. Dynamos, p. 361. — Voitures, trucks, p. 367. — Coût d'établissement, p. 369. — Exploitation, p. 371. — Dépenses de traction, p. 371. — 2. *Ligne vicinale de la Petite-Espinette*, p. 374. — Voie, p. 374. — Usine, p. 375. — Matériel roulant, p. 376. — Coût d'établissement, p. 379. — Exploitation, p. 379. — *Brême*. Description, p. 381. — Coût d'établisssement, p. 382. — *Remscheid*, p. 383. — *Hambourg*, p. 384. — *Bordeaux-Bouscat au Vigean*. Description, p. 385. — Coût d'établissement, p. 386. — Exploitation. Dépenses, p. 387. — *Lyon à Oullins*. Description, p 387. — Exploitation. Frais de traction, p. 388. — *Le Havre*, p. 389. — *Bristol. Fil latéral*, p. 390. — *Dublin*, p. 392.

d. Installations du type Siemens et Halske. . . . . 393 à 403

Prise de courant par tringle, p. 393. — *Barmen*. — 1. *Tramways*. Voie, p. 395. — Voitures, p. 395. — 2. *Chemin de fer à crémaillère*, p. 398. — Usine génératrice, p. 399. — Remise et atelier des tramways, p. 400. — *Dresde*, p. 401. — *Hanovre*, p. 401.

e. Installations de la Compagnie de l'industrie électrique, à Genève . . . . 403 à 411

1. *Tube unique. Mont-Ferrand à Royat*. Description, p. 404. — Coût d'établissement, p. 405. — 2. *Fil et contact glissant*, p. 407. — *Genève*, p. 408. — Usine génératrice, p. 409. — Voitures, p. 410. — Coût d'établissement, p. 410. — Exploitation, p. 411.

f. Installations de la Maschinenfabrik d'OErlikon . . . . . 411 à 422

Ligne de Sissach à Gelterkinden. — Voie, p. 412. — Matériel roulant, p. 412. — Coût de premier établissement, p 413. — Exploitation, p. 414. — *Tramways de Marseille*, p 414. — Voie, p. 415. —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Usine génératrice, p. 416. — Sens du courant, p. 416. — Téléphone, p. 416. — Voitures, p. 416. — Exploitation, p. 417. — *Zurich. Accumulateurs fixes*, p. 418. — Exploitation, p. 421.

g. **Installations du système Dickinson** . . . . . 422 à 431

Poulie de contact sur moufle pivotante. South Staffordshire, p. 422. — Lignes appareillées, p. 426. — Profils des voies, p. 426. — Appareillage de la voie, p. 428. — Station génératrice, p. 429. — Voitures motrices, p. 429. — Coût de premier établissement, p. 429. — *Installations diverses*, p. 431.

h. **Installation de la Compagnie internationale d'électricité** . . . . . 432 à 434

Herstal. — Voie, p. 432. — Usine génératrice, p. 432. — Voitures, p. 433. — Coût d'établissement, p. 433. — Exploitation, p. 433.

i. **Installation de la maison Averly, de Lyon** . . . . . 434 et 435

Lyon-Saint-Just à Sainte-Foy, p. 434.

j. **Installations de la maison Siemens Brothers** . . . . . 435 à 439

Guernsey. Fil latéral, p. 435. — Station génératrice, p. 436. — Matériel roulant, p. 438. — Exploitation, p. 438.

k. **Installations de l'Actien-Elektricitäts-Gesellschaft, de Nurenberg** . . 439 à 441

Zwickau. — Voie, p. 439. — Usine, p. 439. — Voitures, p. 440. — Exploitation, p. 440. — *Aix-la-Chapelle*, p. 440.

l. **Installation de la Société Électricité et Hydraulique de Charleroi** . . 441 et 442

Cointe. — Voie, p. 441. — Usine génératrice, p. 441. — Matériel roulant, p. 442. — Coût d'établissement et exploitation, p. 442.

Chapitre V. — Transmissions dans le sol.

A. Grands chenaux à rainure ouverte.

1. Descriptions. — *a.* **Système Holroyd Smith** . . . . . 443 à 446

Chenal de Blackpool, p. 443. — *Grand canal sous deux voies*, p. 445.

b. **Système Siemens et Halske** . . . . . 446 à 448

Chenal de Buda-Pesth, p. 446. — *Système de Dresde*, p. 447.

c. **Systèmes américains** . . . . . 448 à 451

Système Bentley and Knight, p. 448. — *Système Love et variantes*, p. 448.

d. **Système de l'Union Elektricitäts-Gesellschaft** . . . . . 451 à 455

Caniveaux, p. 451. — *Rails de contact et isolateurs*, p. 452. — *Changements de voie*, p. 453. — *Appareil capteur du courant*, p. 454.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

e. Système de Hœrde 455

f. Systèmes divers 456

2. Résultats d'applications. — *a*. Tramway de Blackpool . . . . . 456 et 457

Description complémentaire, p. 456. — *Coût de premier établissement*, p. 456.

b. Tramway de Buda-Pesth . . . . . 457 à 459

***Description complémentaire*, p. 457.**

c. Tramways bruxellois. . . . . 459 à 461

Renseignements complémentaires, p. 459. — *Coût d'établissement*, p. 459. — *Feeders*, p. 461. — *Usine*, p. 461. — *Remises*, p. 461. — *Voitures*, p. 461.

d. Lignes américaines . . . . . 461 à 463

Washington, p. 461. — *Exploitation*, p. 462. — *New-York*, p. 463.

3. Essais techniques . . . . . 463 et 464

B. Conduites à portions élastiques externes.

1. Description. — *a*. Systèmes à surfaces longitudinales flexibles. . . . . 464 à 468

Système Van Depoele, p. 464. — *Système Brain*, p. 465. — *Conduite Irish*, p. 466. — *Conduite Booth*, p. 467. — *Conduite Perkins*, p. 467. — *Conduite Vermeiren*, p. 468.

b. Systèmes à boîtes échelonnées. . . . . 468 et 469

Système Munsie-Coles, p. 468. — *Système Stetson*, p. 469. — *Système Westinghouse*, p. 469. — *Système Behr*, p. 469.

c. Conduites à distribution série . . . . . 470 et 471

Transmission en série à Northfleet, p. 470. — *Système Cattori*, p. 470.

2. Résultats d'essais . . . . . 471 et 472

C. Conduites fermées à surface rigide.

1. Description. — *a*. Système à aimantation externe . . . . . 472 à 476

Principe Ayrton et Perry et système Lineff à contact continu, p. 472. — *Dérivés du système Lineff, Pollak, Riker, Schuckert, Brown, Hunter*, p. 473. — *Systèmes à boîtes échelonnées et barre mobile Churchill, Diatto*, p. 474. — *Système à boîtes échelonnées et barreaux affleurants Mc Laughlin*, p. 474.

b. Systèmes à aimantation interne . . . . . 476 à 488

Système Wynne, p. 476. — *Système Westinghouse*, p. 478. — *Système Johnson Lundell*, p. 479. — *Système Gordon*, p. 480. — *Système Schuckert*, p. 480. — *Système Claret-Vuilleumier*, p. 480. — *Type de Lyon*. Voie. Distribution du courant, p. 481. — Prise de courant, p. 483. — *Type de Paris*, p. 485.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

c. Systèmes à induction. 488

Devey, Boult, p. 488.

2. Résultats d'applications. — *a.* Conduites à aimantation externe . . . . 488 et 489

Conduite Lineff, p. 488. — *Système Diatto*, p. 488. — *Système Mc Laughlin*, p. 489.

b. Systèmes à aimantation interne . . . . . 489 et 490

Système Claret-Vuilleumier, p. 489. — Essais techniques, p. 490. — *Systèmes Wheless-Westinghouse*, p. 490.

Chapitre VI. — Accumulateurs électriques et piles primaires.

A. Tramways.

1. Paris. — *a.* Essais divers. . . . . 491 à 494

Premier essai de 1881. Accumulateur Faure, p. 491. — *Accumulateur Faure-Sellon-Volkmar. Essai de 1883*, p. 491. — Groupement des éléments, p. 492. — *Essais de 1888*, p. 493.

b. Tramways vers Saint-Denis . . . . . 494 à 505

Essais préliminaires. Accumulateurs Laurent Cely, p. 494. — *Lignes vers Saint-Denis. Voies*, p. 495. — *Usine génératrice*, p. 496. — Chariots, p. 496. — Tables de charge, p. 496. — Marche technique de l'usine, p. 496. — *Batteries*, p. 498. — *Voitures*, p. 501. — *Exploitation*, p. 502. — *Renseignements financiers*, p. 503.

c. Lignes desservies par l'accumulateur Tudor à charge rapide . . . . 505 à 507

Voies, p. 505. — *Installations*, p. 506. — *Fonctionnement*, p. 507.

2. Anvers-Bruxelles-Hambourg. — *a.* Essais divers . . . . . 507 à 509

Débuts à Bruxelles. Grillage Julien, p. 507. — *Expériences d'Anvers. Proportion de matière active*, p. 508. — *Hambourg. Pastilles perforées*, p. 509.

b. Voies et matériel à Anvers, Bruxelles et Hambourg. 510

c. Résultats d'exploitation à Bruxelles . . . . . 510 à 512

3. Angleterre. — *a.* Premiers essais . . . . . 512 et 513

Londres. Accumulateur E. P. S., p. 512. — *Accumulateur Elieson*, p. 512. — *Brighton. Accumulateur Roger Tatham*, p. 512.

b. North Metropolitan Tramways de Londres. . . . . 513 à 515

Description. Usine, p. 513. — Ligne, p. 513. — Batteries, p. 513. — *Résultats d'exploitation*, p. 514.

c. Birmingham . . . . . 515 à 521

Voie, p. 515. — *Installations fixes*, p. 516. — Usine, p. 517. — Manœuvre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

des batteries, p. 517. — Charge électrique. Mesure, p. 518. — *Accumulateurs*, p. 518. — Type Ellwell-Parker, p. 518. — Type Epstein, p. 519. — Chloride accumulator, p. 519. — *Voitures*, p. 520. — Connexions, p. 520. — *Coût de premier établissement*, p. 521. — *Exploitation*, p. 521.

4. La Haye a Scheveningen. — *a*. Installations fixes . . . . . 522 à 528

Voie, p. 522. — *Usine*, p. 522. — Distributeur du courant, p. 522. — Halle de charge, p. 522. — Appareils de manipulation, p. 524. — Bancs de charge, p. 527. — *Accumulateurs*, p. 527.

b. Voitures et remises . . . . . 529 à 531

Voitures, p. 529. — *Service, charge et débits*, p. 529.

c. Coût d'établissement et résultats d'exploitation . . . . . 531 à 533

Coût de premier établissement, p. 531. — *Résultats d'exploitation*. Durée des accumulateurs, p. 531. — Charge des accumulateurs, p. 532. — Manipulation des accumulateurs, p. 532. — Entretien du matériel roulant, p. 532.

5. Essais de Francfort, en 1891. — *a*. Voiture d'OErlikon. Accumulateur Schoop . . . . . 533 et 534

b. Voiture de la Société Tudor 534

6. Liége. — *a*. Accumulateur Tommasi . . . . . 534 et 535

b. Essais sur les lignes des tramways liégeois . . . . . 535 et 536

Description, p. 535. — *Résultats*, p. 535.

c. Accumulateur transformé 536

Élément Bloc, p. 536.

7. Lyon et Nice. — *a*. Lyon . . . . . 536 et 537

Voitures Averly, p. 536.

b. Nice 537

Nice à Cimiez, p. 537.

8. Berlin. — *a*. Anciens essais . . . . . 537 et 538

b. Essai sur le tramway Berlin-Charlottenbourg. 538

Accumulateur Schäfer et Heinemann, p. 538.

9. Hagen (Westphalie) et Vienne. — *a*. Accumulateur à oxyde de cuivre . . 539 à 543

Élément Commelin, Demazures, Baillache, p. 539. — *Élément Waddel Entz*, p. 539. — *Essais à Hagen*. — Ligne, p. 542. — Voitures, p. 542. — Batteries, p. 542. — Exploitation, p. 543. — *Essais à Vienne*, p. 543.

b. Accumulateur au plomb à charge rapide . . . . . 543 et 544

Hagen, p. 543. — *Vienne*, p. 544.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

10. Hanovre, Dresde. — Accumulateur et fil aérien. — *a*. Hanovre . . . . 544 et 545

Définition du système, p. 544. — *Accumulateur*, p. 544. — *Ligne*, p. 544. — *Voitures*, p. 545. — *Batteries*, p. 545. — *Fonctionnement*, p. 545. — *Résultats*, p. 545.

b. Dresde 545

11. États-Unis. — *a*. Coup d'œil sur l'ensemble des essais. . . . . 545 et 546

Premier car à accumulateurs, p. 545. — *Tentatives diverses d'exploitation*, p. 546.

b. Accumulateur Julien, à New-York 546

Batteries, p. 546. — *Chargement*, p. 546. — *Résultats*, p. 546.

c. Chloride accumulator à Philadelphie et à Dubuque . . . . . 546 à 548

Philadelphie. — Batteries, p. 547. — Voitures, p. 547. — Résultats, p. 548. — *Dubuque*. — Chargement, p. 548. — Résultats, p. 548.

d. Accumulateur au cuivre à Philadelphie et à New-York . . . . . 549 et 550

Débuts à Philadelphie, p. 549. — *New-York*. — Voitures et batteries, p. 549. — Chargement, p. 549. — Résultats, p. 549.

e. Accumulateur Ford-Washburn, à Cleveland. 550

Type d'élément, p. 550. — *Application*, p. 550.

f. Accumulateur Acme, à New-York . . . . . 550 et 551

Élément Acme, p. 550.

g. Accumulateur Elieson, à Mont-Vernon . . . . . 551 et 552

Type d'élément, p. 551. — *Application*, p. 551.

h. Accumulateur Silvey, à Dayton. . . . . 552 et 553

Type d'élément, p. 552. — *Application*, p. 552. — *Résultats*, p. 553.

i. Accumulateur et trolley, à Chicago. 553

Système, p. 553.

B. Transports industriels et locomotion sur route.

1. Railways industriels et miniers. *a*. Industrie . . . . . 554 à 556

Locomoteur Dupuy-Reynier. — Véhicules, p. 554. — Batterie, p. 554. — *Masnuy-Saint-Pierre*, p. 555. — *Baïenfurt*, p. 555.

b. Mines. Charbonnage d'Amercœur . . . . . 556 à 565

Voie, p. 556. — *Batteries*, p. 556. — *Locomotives*. — I^er^ type, p. 558. — II^e^ type, p. 558. — III^e^ type, p. 561. — *Exploitation*, p. 561. — *Coût d'établissement*, p. 563. — *Frais de traction comparés*, p. 563.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

2. Locomotion sur route. — *a*. **Automobiles privées** . . . . . 565 à 573

Sources d'énergie comparées, p. 565. — *Tricycle Magnus Volk*, p. 566. — *Dog-car Immish*, p. 467. — *Tricycle de Graffigny*. — Pile, p. 567. — Mouvement, p. 567. — Résultats, p. 567. — *Voiture Reckniewski*, p. 568. — *Voiture Carli. Accumulateur Verdier*. — Batterie, p. 568. — Mouvement, p. 568. — *Voitures Jeantaud*. — Premier type, p. 568. — Batterie, p. 568. — Mouvement, p. 569 — Deuxième type, p. 570. — Résultats, p 570. — *Voitures Darracq. Moteur spécial*, p. 570. — *Voitures de la Société l'Électrique. Accumulateurs à feuilles festonnées*. — Électrode positive, p. 571. — Électrode négative, p. 571. — Voitures, p. 572. — *États-Unis*, p. 572.

b. **Transports publics** . . . . . 573 et 574

Omnibus, p. 573. — *Camion Bersey*, p. 573. — *Coût comparatif*, p. 573. — *Frais de locomotion*, p. 573.

C. Navigation.

1. Canotage. — *a*. **Emploi des piles primaires** . . . . . 574 et 575

Essais primitifs, p. 574. — *Canot Trouvé*. Piles, p. 574. — Gouvernail-moteur, p. 574. — Résultats, p. 575.

b. **Emploi d'accumulateurs.** . . . . . 575 à 580

Disposition générale, p. 575. — *Essais publics à Vienne*, p. 575. — *Angleterre. Premiers essais*, p. 576. — *Le Volta*. — Construction, p. 576. — Batterie, 576. — *Flottilles de la Tamise*. — Disposition, p. 576. — Batterie, p. 576. — Types divers, p. 577. — Marche, p. 577. — *France*. — *Canots de la marine*, p. 577. — *Canot de plaisance*, p. 578. — *Francfort*, p. 578. — *États-Unis. Lac Michigan*, p. 578. — *Moteur sur gouvernail*, p. 578. — *Coût de construction des canots. Frais d'exploitation des flottilles*, p. 579.

2. Navigation sous-marine. — *a*. **Bateaux sous-marins.** . . . . . 580 et 581

Bateaux Goubet, p. 580. — *Bateau Tuck*, p. 581. — *Le Gymnote. Accumulateur Commelin-Desmazures*. — Moteur, p. 581. — Batterie, p. 581.

b. **Torpilleur semi-électrique** 582

c. **Torpilles automobiles** 582

3. Bateaux du commerce. — **Propulseur Gaillot** . . . . . 582 et 583

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chapitre VII. — Locomoteurs spéciaux pour grands railways.

Pages.

A. Expériences sur voie ordinaire.

1. Questions a résoudre 584

2. Locomotive Field . . . . . 584 et 585

3. Essais du Manhattan Railway de New-York. — *a.* Conditions de l'essai et description 585

Objet, p. 585. — *Installations fixes*, p. 585. — *Locomoteur*, p. 585.

b. Résultats publiés 586

c. Discussion . . . . . 586 et 587

Rectifications, p. 586. — *Conclusions*, p. 587.

4. Expériences de MM. Crosby et Weems. — *a.* Description 587

b. Marche des expériences . . . . . 588 et 589

c. Conclusions 589

5. Essais de traction électrique de la Compagnie du Chemin de fer du Nord (France). — *a.* Considérations générales . . . . . 589 et 590

b. Programme technique . . . . . 590 et 591

c. Description . . . . . 591 à 595

Châssis, p. 591. — *Source d'électricité*, p. 593. — *Machines motrices*, p. 593. — *Commutateurs et accessoires*, p. 594. — *Frein et sifflet*, p 594.

6. Locomotive Heilmann. — *a.* Programme de l'inventeur . . . . . 595 et 596

Définition du système, p. 595. — *Conception générale*, p. 595. — *Avantages présumés*, p. 595.

b. Description de la première locomotive Heilmann . . . . . 596 à 604

Vue d'ensemble, p. 596. — *Dispositifs*, p. 596. — *Châssis*, p. 599. — *Bogies*, p 599. — *Partie électrique*, p. 599. — *Dynamo génératrice*, p. 602. — *Dynamo excitatrice*, p. 602. — *Réceptrices*, p. 604. — *Frein*, p. 604.

c. Résultats d'essais de la première locomotive Heilmann. . . . . 604 à 608

d. Nouveau type de locomotive Heilmann. 608

7. Essais de traction électrique de l'Administration des Chemins de fer de l'État belge. — *a.* Programme . . . . . 608 à 610

b. Description du premier locomoteur d'essai. . . . . 610 à 613

Voiture et batterie, p. 610. — *Moteur*, p. 610. — *Régulateur*, p. 612.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

c. Résultats 613

d. Nouvelle série d'essais . . . . . 613 à 616

Voitures, p. 613. — *Moteurs*, p. 614. — *Régulateur*, p. 615. — *Mesures diverses*, p. 616.

8. Locomotive du Baltimore and Ohio Railroad . . . . . 616 à 618

Machine, p. 616. — *Ligne*, p. 617.

B. Locomoteurs pour nouveaux types de voies.

1. Voies diverses . . . . . 618 et 619

2. Monorail Lartigues et locomotive électrique Behr. — *a*. Système en général. 619 et 620

Voie courante, p. 619. — *Points spéciaux. Changement de voie*, p. 620.

b. Ligne pour train-éclair électrique près Bruxelles. . . . . 620 à 622

Système, p. 620. — *Voie*, p 621. — *Usine*, p. 622.

c. Voiture électrique. . . . . 622 à 624

Truck, p. 622. — *Moteurs*, p. 623. — *Caisse*, p. 624.

ERRATA

Page 12, *au lieu de :* « Schevening », *lisez :* « Scheveningen ».

Page 87, note, *au lieu de :* « Lichterfeld près Gand », *lisez :* « Lichtervelde (Fl. occ.) ».

Page 201, 15e ligne, *au lieu de :* « *Voie* », *lisez :* « *Lignes* ».

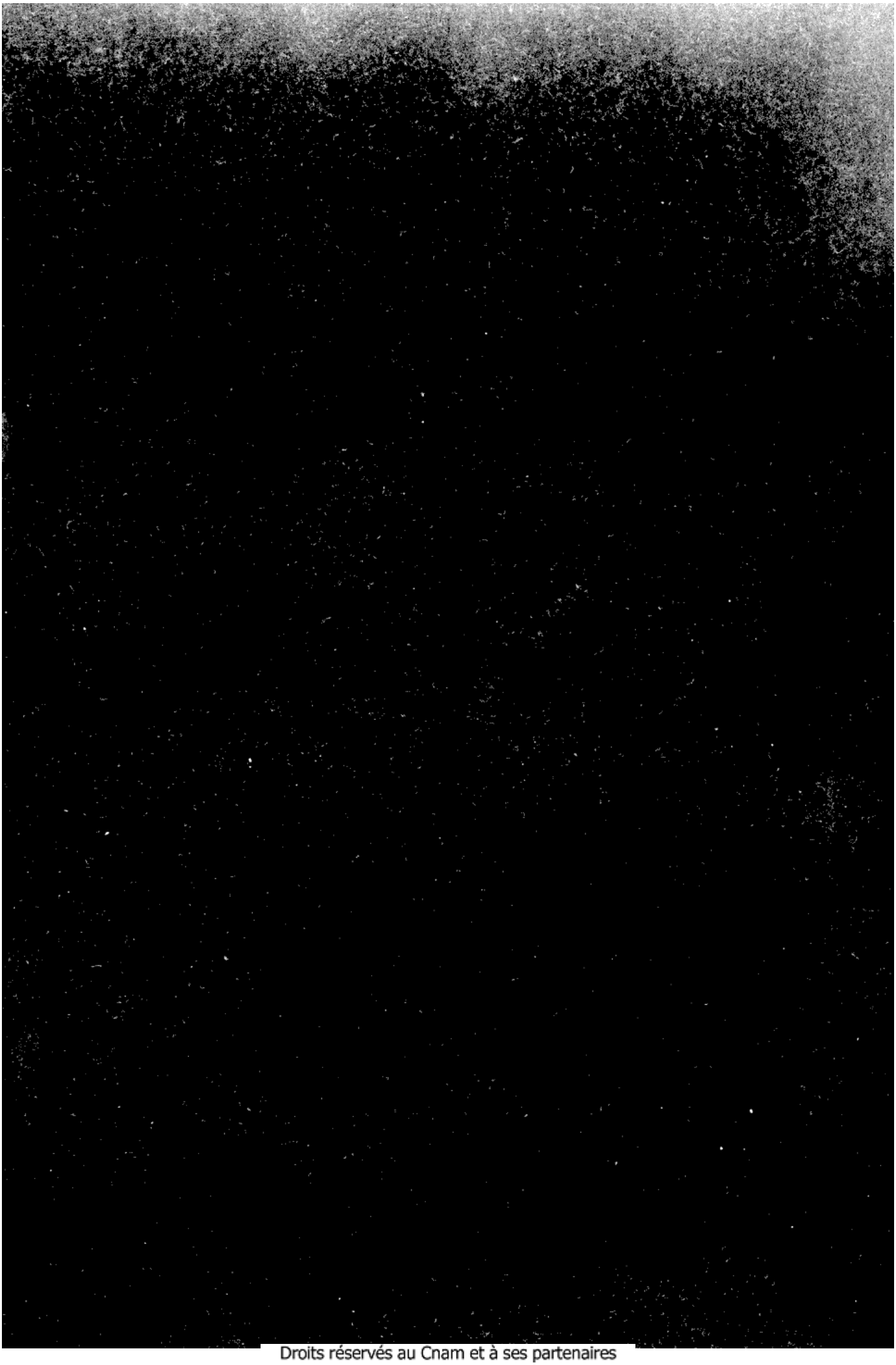
Page 222, figure 186, *au lieu de :* « Junction », *lisez :* « Jonction ».

Page 222, figure 187, *au lieu de :* « Connections », *lisez :* « Connexions ».

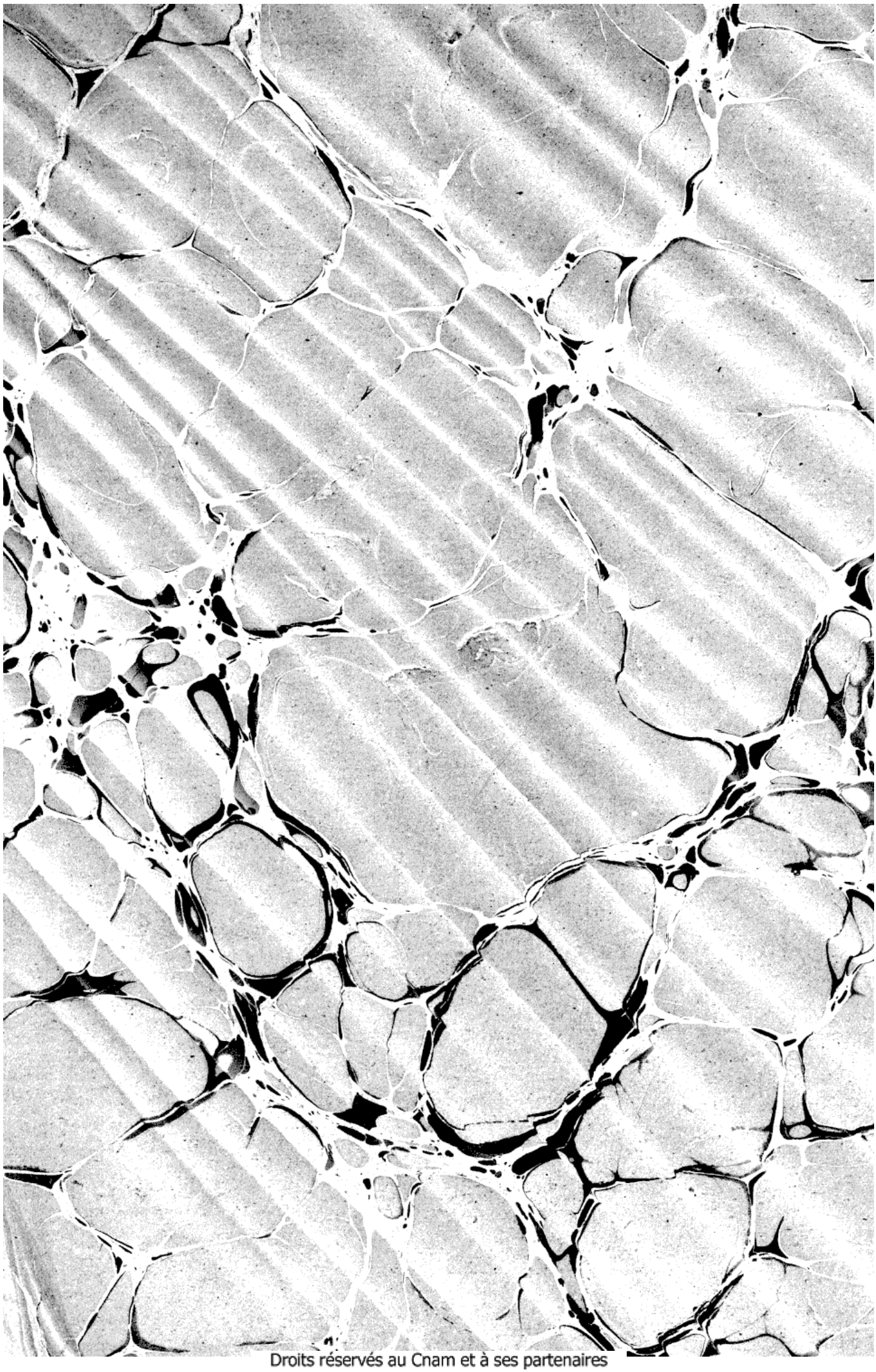
Page 391, 16e ligne, *au lieu de :* « protection », *lisez :* « projection ».

Page 465, 13e ligne, *au lieu de :* « dessous », *lisez :* « dessus ».

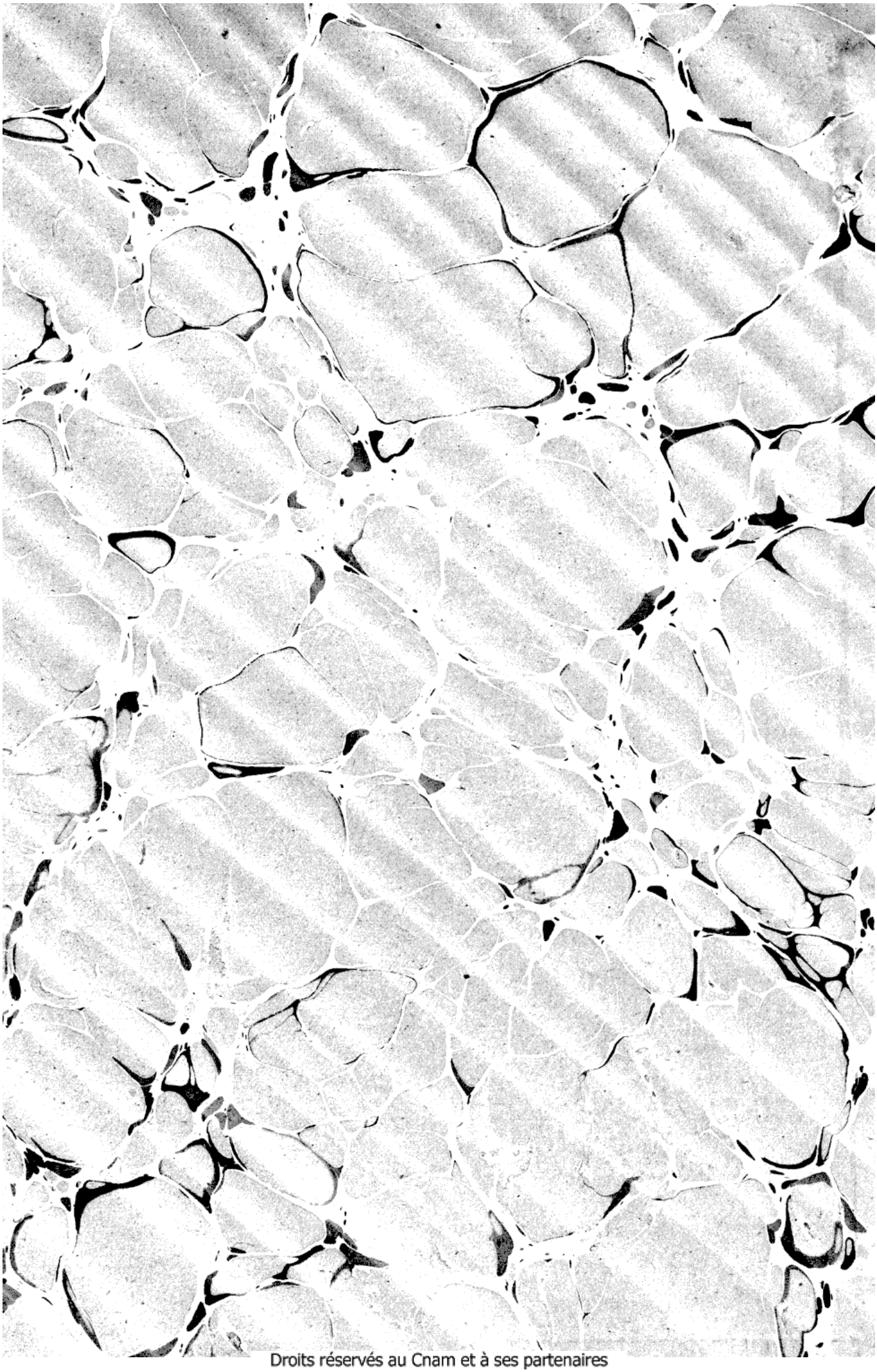
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



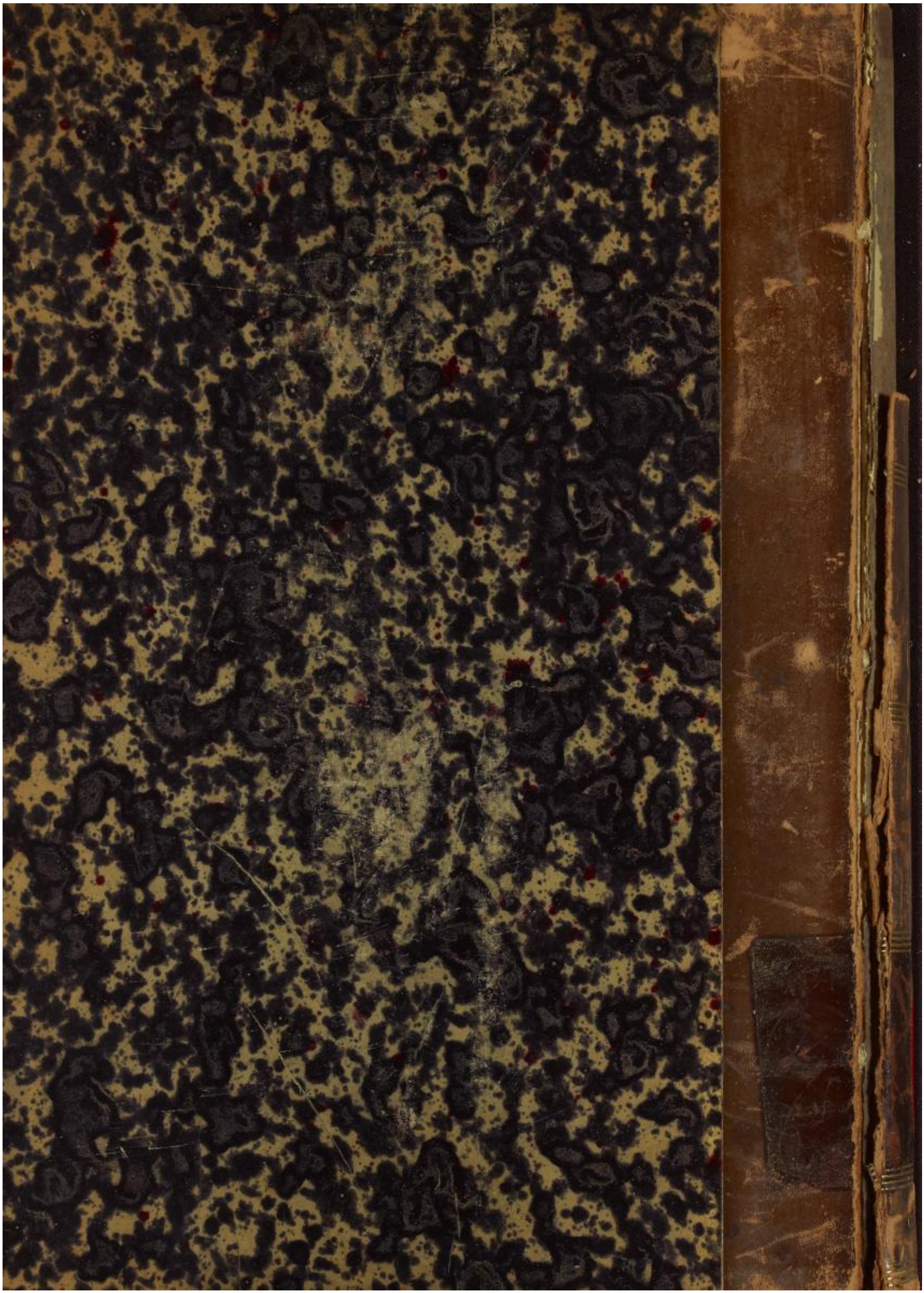
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires