Conditions d’utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	**Exposition universelle. 1900. Paris**
Titre	**Notices sur les modèles, dessins et documents divers relatifs aux travaux des Ponts et Chaussées réunis dans la classe 29 par les soins du Ministère des Travaux publics**
Adresse	**Paris : Imprimerie nationale, 1900**
Collation	**1 vol (VIII-703 p.-[36] f.de pl.) : ill ; 25 cm**
Nombre de vues	**782**
Cote	**CNAM-BIB 8 Xae 468**
Sujet(s)	**Exposition internationale (1900 ; Paris)** **Travaux publics -- 1870-1914**
Thématique(s)	**Construction** **Expositions universelles** **Matériaux** **Transports**
Typologie	**Ouvrage**
Langue	**Français**
Date de mise en ligne	**12/03/2025**
Date de génération du PDF	**12/03/2025**
Notice complète	https://www.sudoc.fr/106720120
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE468

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOTICES

SUR

LES MODÈLES, DESSINS

ET DOCUMENTS DIVERS

RELATIFS

AUX TRAVAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES

RÉUNIS DANS LA CLASSE 29

PAR LES SOINS

DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8° Xae 52 Exp. P.
8° 668
8° Xae 468

EXPOSITION UNIVERSELLE À PARIS
EN 1900

NOTICES

SUR

LES MODÈLES, DESSINS

ET DOCUMENTS DIVERS

RELATIFS

AUX TRAVAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES

RÉUNIS DANS LA CLASSE 29

PAR LES SOINS

DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS
BIBLIOTHÈQUE

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

MDCCCC

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

AVERTISSEMENT.

L'Exposition du Ministère des travaux publics dans la Classe 29 (Modèles, plans et dessins de travaux publics) comprend une série de modèles, dessins et documents divers relatifs aux travaux, aux services administratifs et à l'École des ponts et chaussées [1].

Le choix des objets admis a été préparé par une commission d'organisation [2], qui s'est attachée à n'accepter que des œuvres n'ayant encore figuré à aucune Exposition universelle.

[1] Le service des phares, dont les travaux et le matériel se rapportent pour la plus grande part à la Classe 28 (Matériel, matériaux et procédés du génie civil), a organisé, au Dépôt même des phares, son exposition particulière, à laquelle est joint un catalogue spécial. Les services des mines et du nivellement général exposent séparément dans leurs classes respectives.

[2] Cette commission, placée sous la présidence de M. le Directeur du personnel et de la comptabilité, a été constituée comme il suit :

MM. le Directeur des routes, de la navigation et des mines; le Directeur des chemins de fer; le Directeur de l'École nationale des ponts et chaussées; le Directeur de l'École nationale supérieure des mines; l'Inspecteur de l'École nationale des ponts et chaussées; l'Inspecteur de l'École nationale supérieure des mines; le Directeur du service des phares et balises; le Directeur de la Carte géologique détaillée de la France; Eyriaud-Desvergnes, inspecteur général des ponts et chaussées; Choisy, ingénieur en chef des ponts et chaussées; Lallemand, ingénieur en chef des mines, Directeur du service du nivellement général de la France; Résal, ingénieur en chef des ponts et chaussées; le Chef de la division du personnel, secrétaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'intervention administrative s'est renfermée d'ailleurs dans un rôle de simple organisation ; il est bien spécifié que chaque exposant conserve en entier la responsabilité aussi bien que le mérite de son travail.

Le présent catalogue contient la description sommaire des objets exposés dans la Classe 29. Les documents y sont classés comme il suit :

1re *Section.* — Travaux de routes et de ponts.

2e *Section.* — Travaux de navigation intérieure.

3e *Section.* — Travaux de navigation maritime.

4e *Section.* — Travaux de chemins de fer.

5e *Section.* — Administration centrale. Documents relatifs à la navigation, aux chemins de fer et aux moyens de transport en général.

6e *Section.* — École nationale des ponts et chaussées [1]; services annexes de l'École; Travaux des membres de l'Association des élèves externes de l'École.

MM. les élèves externes de l'École des ponts et chaussées ont exprimé le désir, comme ils l'avaient déjà fait en 1889, d'associer à l'exposition de l'École celle des principaux ouvrages exécutés par eux, soit en France,

[1] Les livres et documents relatifs à l'enseignement donné à l'École nationale des ponts et chaussées appartiennent à la Classe 3 (Enseignement supérieur — Institutions scientifiques), dans le local de laquelle ils sont représentés par quelques volumes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soit à l'étranger. L'Administration a été heureuse d'accéder de nouveau à leur demande.

La préparation de l'exposition du Ministère des travaux publics dans la Classe 29 a été faite en partie par les services intéressés, en partie par les soins de l'École des ponts et chaussées, dont l'inspecteur, délégué à cet effet par la Commission d'organisation, s'est occupé, avec le concours de M. l'ingénieur en chef Choisy, de la préparation et de l'installation des modèles et des dessins, ainsi que de la publication du catalogue. Une très utile assistance leur a été prêtée par M. Rose, chef du bureau des dessinateurs, aidé de MM. Milliasseau, dessinateur principal, et Daniel, conducteur des ponts et chaussées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PREMIÈRE SECTION.

ROUTES ET PONTS.

I

PONT MIRABEAU,

SUR LA SEINE, À PARIS.

Un cadre de photographies.

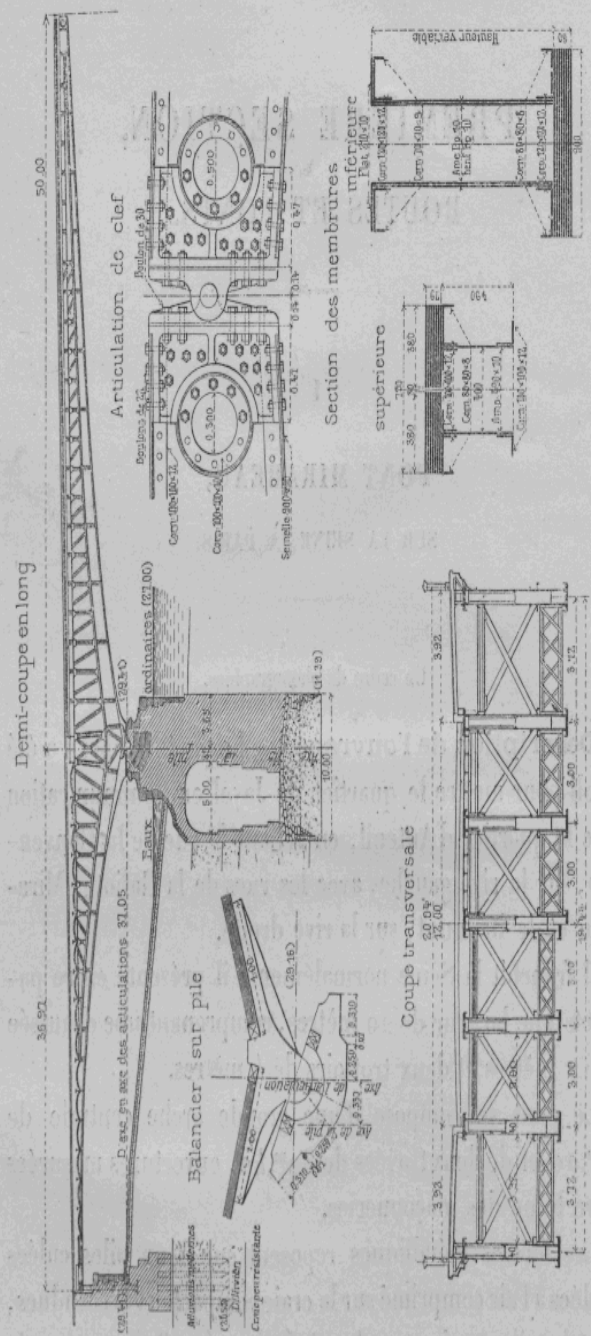
Description de l'ouvrage. — Le pont Mirabeau a été établi pour mettre le quartier de Javel en communication avec le quartier d'Auteuil, en reliant la rue de la Convention, sur la rive gauche, avec les rues de la Galiote, Mirabeau et de Rémusat, sur la rive droite.

Il franchit la Seine normalement; il présente entre parapets une largeur de 20 mètres, comprenant une chaussée de 12 mètres et deux trottoirs de 4 mètres.

Le pont se compose d'une grande arche centrale de $93^{m},20$ et de deux travées de $32^{m},42$, ouvertures mesurées entre le nu des maçonneries.

Les fermes métalliques reposent sur deux piles culées fondées à l'air comprimé sur la craie compacte et descendues, pour la pile de rive gauche, à la cote (11,39) et, pour la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pile de rive droite, à la cote (10,98) du nivellement général de la France, niveau du bief de Paris (27,00).

Les deux culées sont fondées sur pilotis. Les maçonneries des piles sont faites entièrement au mortier de ciment de Portland avec parements en granit de Cherbourg; celles des culées sont au mortier de chaux hydraulique, les parements sont en pierre calcaire.

L'ossature métallique de l'ouvrage se compose de sept fermes en acier laminé espacées de 3 mètres d'axe en axe, pour les fermes sous chaussée, et de $3^{m},72$ pour les fermes sous trottoirs.

Chaque ferme se compose de deux moitiés symétriques reposant sur les piles par des rotules, reliées à la clef par une articulation et maintenues sur les culées par des ancrages à bielles.

Chaque demi-ferme ou cantilever comprend une volée de $49^{m},67$ mesurée de l'articulation de pile à celle de clef et une culasse de $37^{m},30$, mesurée de l'articulation de pile à l'extrémité. La distance verticale de l'articulation de pile à celle de clef est de $6^{m},17$ et à celle des culasses de $4^{m},615$.

La partie supérieure du cantilever ou longeron est rectiligne avec une inclinaison sur l'horizontale de $0^{m},02$ par mètre; la partie inférieure ou arc affecte à l'intrados la forme de deux demi-paraboles à axe horizontal dont les sommets se trouvent à l'aplomb du couronnement de chaque côté des piles.

Sur les reins des volées, les arcs paraboliques se raccordent avec des éléments rectilignes qui viennent se couper à la clef sous un angle obtus. La hauteur de chaque demi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ferme est $0^m,84$ à la clef, de $0^m,50$ au bout de la culasse et de $5^m,35$ sur les piles.

Le longeron et l'arc sont confondus aux abouts de clef et de culasse en un même panneau plein; dans la partie intermédiaire, ils sont reliés par des montants verticaux espacés de deux en deux mètres et par des barres de treillis de sens opposés sur la culasse et la volée; seul le panneau sur pile est à croix de Saint-André. Le longeron et l'arc sont des poutres à caisson, les treillis et les montants des doubles T. Le longeron est continu au-dessus de la pile; les semelles des arcs, au contraire, sont interrompues et leurs extrémités sont fixées à une rotule en acier moulé, ou balancier.

Le balancier comprend deux tables sur lesquelles les semelles des arcs sont boulonnées et un noyau central portant à la partie supérieure un double talon sur lequel les abouts des semelles viennent s'appuyer par l'intermédiaire de clavettes en coin, et, à la partie inférieure, un demi-cylindre tourné, qui repose sur les pièces de retombée.

Celle de ces dernières pièces sur laquelle la rotule porte directement est un coussinet en acier moulé, tourné comme elle et engagé dans un sommier en fonte reposant directement sur des libages en granit.

L'articulation de la clef est formée par une double série de pièces d'acier moulé; les unes sont de simples plaques d'appui rivées aux caissons d'about de volées; les autres sont des flasques mâles et femelles, dont les unes portent, venu de fonte en relief, un tourillon tourné et les autres un coussinet avec des portées et un collier; cet ensemble constitue un verrou.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Entre ces flasques et les plaques d'appui ont été interposées des plaques de réglage. L'assemblage des plaques d'appui, des plaques de réglage et des flasques est à boulons.

Les ancrages des abouts des culasses sont constitués par des bielles verticales reliées au moyen de goujons ou tourillons à la partie supérieure avec la poutre à caisson de la culasse et, à la partie inférieure, avec un coussinet de fonte fixé à la culée par quatre boulons.

Ces boulons traversent tout le massif de la culée et sont ancrés, à leur partie inférieure, dans un cadre en fer noyé dans la maçonnerie.

Les sommiers des piles, les coussinets des culées sont scellés au ciment.

Les fermes sont entretoisées par des poutres à treillis, au niveau des arcs, par des croix Saint-André en fer à ⊐ au droit des montants verticaux et par des poutres à ⌶ formant pièces de pont à la partie supérieure.

Le tablier des culasses est formé de voûtes en briques de Bourgogne hourdées en mortier de ciment.

Le tablier des volées est constitué par des tôles d'acier de 10 millimètres d'épaisseur, rivées sur des longerons en ⌶ ou en ⊐ portés par les pièces de pont.

La chaussée est en bois sur forme de béton.

Les trottoirs sont supportés sur les culasses par un plancher en tôle renforcé par des cornières doubles noyées dans une couche épaisse de béton; sur les volées, par un plancher en tôles rivées sur des fers Zorès. Ces planchers reposent directement sur deux garde-grèves, dont l'un est fixé sur l'arc de rive et l'autre sur l'arc voisin. Le premier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ces garde-grèves porte, à l'extérieur, des corbeaux auxquels sont attachés les éléments de la corniche; le second sert de butée aux rebords de trottoirs par l'intermédiaire de ressorts spirales.

L'intervalle entre les poutres qui relient la partie supérieure des longerons et le plancher des trottoirs a été laissé libre pour servir de galerie de passage aux canalisations d'eau et de gaz.

Les corniches et les garde-corps sont en fonte moulurée ainsi que les consoles qui surmontent les montants verticaux sur les arcs de rive. Les sculptures qui ornent les piles du pont sont en bronze ainsi que les écussons placés à la clef des arcs de rive.

Conditions de stabilité de l'ouvrage. — L'équilibre des fermes métalliques est facile à comprendre. Les deux volées s'arc-boutent et la réaction mutuelle, sous l'action de charges symétriques, est une poussée horizontale. Sous l'action de la charge permanente seule, cette poussée est faible, environ 500 tonnes, parce que le poids porté par les culasses équilibre en grande partie le poids porté par les volées. Grâce à cette compensation, malgré le surbaissement considérable de l'arche centrale, il a été possible de donner aux piles culées une dimension transversale raisonnable de 10 mètres. Sous l'effet des charges de la volée, la poussée augmente et elle peut atteindre une valeur quatre fois supérieure à celle qui est produite par la charge permanente seule.

La température a aussi pour effet de modifier les poussées, de les augmenter lorsqu'elle s'élève, de les diminuer en cas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contraire. Ce résultat tient au jeu de l'ancrage. Si le pont était dépourvu d'ancrage, sous l'effet d'une élévation de température, l'articulation de clef s'élèverait verticalement pendant que l'about de la culasse s'abaisserait en s'éloignant de l'axe du pont, chaque ferme tournant d'une quantité minime autour de l'articulation de pile; un abaissement de température produirait un mouvement en sens contraire.

Le mouvement vertical de l'about de la culasse ayant pour effet de couper la chaussée du pont, les bielles d'ancrage ont pour objet de s'y opposer en ne permettant que le déplacement dans le sens horizontal de l'about de la culasse; l'effet de l'ancrage est donc celui d'une force verticale, tantôt dirigée dans un sens, tantôt dans le sens contraire, selon que la température est au-dessus ou au-dessous de celle pour laquelle la longueur des bielles a été calculée.

Quand la température s'élève au-dessus de la température de réglage, la réaction de l'ancrage est une force dirigée de bas en haut et la poussée augmente; quand elle s'abaisse, l'ancrage exerce, au contraire, une traction de haut en bas et la poussée diminue.

La pression sur le sol de fondation sous l'effet de la charge permanente seule est de 5 kilogrammes par centimètre carré au point le plus fatigué. Dans l'hypothèse la plus défavorable, qui est celle où les volées seules sont chargées et la température maximum 40° centigrades, cette pression s'élèverait à 14 kilogr. 5.

Les différentes parties des fermes métalliques de l'ouvrage ont été calculées de manière que le travail de l'acier ne dépassât pas 10 kilogrammes par millimètre carré dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les parties les plus fatiguées et dans les hypothèses les plus défavorables de charge et de température combinées.

Les calculs ont d'abord été établis pour les fermes supposées chargées symétriquement et libres à l'extrémité des culasses. Ces calculs n'offrent aucune difficulté dans le cas de charges symétriques, la réaction mutuelle des fermes se réduisant uniquement à une force horizontale.

Pour tenir compte de l'effet de l'ancrage, on a calculé d'abord l'effet produit par un poids de 10,000 kilogrammes placé à l'extrémité de la culasse et, en comparant le déplacement de l'about de la culasse produit par ce poids à celui qui résulte des diverses combinaisons de charges envisagées, on a évalué dans chaque cas la réaction de l'ancrage sur les fermes et l'effet produit par cette réaction; il ne restait plus qu'à additionner cet effet avec les résultats obtenus dans l'hypothèse des fermes libres.

L'effet de la température a été établi d'après la même méthode, en supposant d'abord les culasses libres et en évaluant ensuite la réaction de l'ancrage.

La même marche générale de calcul peut être suivie pour la recherche des effets de charges dissymétriques. On évalue d'abord le relèvement et l'abaissement des abouts de culasse et de la clef de chaque demi-ferme supposée isolée sous l'action des forces qui la sollicitent, puis la correction à introduire pour tenir compte de la liaison des fermes.

D'autre part, on évalue les relèvements ou abaissements produits par un poids unique de 10,000 kilogrammes placé à l'about d'une culasse. Pour passer de là à la connaissance des réactions des ancrages, il suffit d'écrire que l'effet combiné de ces réactions et de la charge dissymétrique sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les fermes isolées produit un déplacement nul des abouts de culasse. On détermine ainsi les réactions des ancrages dont il suffit d'ajouter les effets à ceux calculés pour les fermes supposées libres.

Dans ces calculs, on n'a pas fait entrer en ligne de compte la rigidité des planchers, qui améliore dans une proportion difficile à définir, mais très notable, les conditions de résistance de l'ouvrage.

Exécution des travaux. — La construction du pont Mirabeau dont les premières études, comportant un ouvrage à trois arches, remontent à l'année 1884, a été déclarée d'utilité publique par décret du 12 janvier 1893. Le projet définitif a été approuvé par l'Administration supérieure le 7 avril suivant et les travaux de maçonnerie (piles et culées), adjugés le 29 avril de la même année, ont commencé dans le courant de juin.

Les caissons métalliques ont été montés sur le port de tirage de Javel et mis à flot par lancement; ils ont été ensuite, par flottaison, amenés à l'emplacement qu'ils devaient occuper entre deux files de pieux portant un pont de service, puis lestés et échoués; lorsque le lest de maçonnerie a été suffisamment lourd, l'air comprimé a été envoyé dans la chambre de travail dont les parois ont été garnies de maçonnerie et le fonçage a commencé. Chaque caisson était muni de quatre sas ou écluses à air dont deux pour le passage des ouvriers et deux autres pour les déblais; les premiers étaient du système Montagnier, les autres du système Zschokke et Terrier. L'intérieur des caissons était éclairé à la lumière électrique; l'évacuation des déblais était faite au moyen d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moteur à air comprimé. Lorsque les caissons sont arrivés sur la craie compacte, le fonçage a été arrêté et la chambre de travail remplie de béton de ciment bourré avec soin jusque sous le plafond, de manière à prévenir les tassements.

Le fonçage du caisson et les maçonneries étaient conduits de manière que le niveau de celles-ci fût très voisin du niveau de l'eau, les hausses présentant peu de rigidité par elles-mêmes, sauf à la partie supérieure.

Les derniers rangs de ces hausses renforcés par des cornières ont servi de batardeaux pour l'exécution de la partie supérieure des piles; ils ont été ensuite déboulonnés par panneaux.

Le premier caisson a été lancé le 8 août; le fonçage, commencé le 25 août, a été achevé le 24 octobre; la première pierre de taille granitique a été posée le 30 octobre 1893. Le fonçage du second caisson a suivi immédiatement celui du premier; les installations de machines n'ont pas été déplacées, mais la canalisation a été suspendue à des câbles tendus en travers de la rivière.

Le fonçage du second caisson, favorisé par une saison d'hiver très douce, a duré du 10 novembre au 30 décembre 1893.

La compression de l'air était produite dans une machinerie installée sur la rive droite de la Seine et comprenant : 4 locomobiles pouvant développer ensemble 60 chevaux-vapeur; 4 compresseurs d'air dont 2 du système Sautter et Lemonnier, à basse pression, pour l'alimentation de la chambre de travail, un troisième, du système Roy, pour l'alimentation des moteurs à air comprimé, et un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quatrième, du système Burkhardt, en réserve; enfin, une petite dynamo avec un moteur spécial à chaudière verticale pour l'éclairage.

Pour éviter les condensations ou les obstructions par la glace dans les conduites traversant la Seine pendant le fonçage du caisson de la pile R. G., l'air destiné à la chambre de travail était réchauffé à son passage sur la pile R. D. et l'air destiné à la marche des moteurs était mélangé à de la vapeur d'eau.

Les travaux de la charpente métallique ont été entrepris peu après ceux des maçonneries.

L'adjudication des travaux a été approuvée le 6 septembre 1893; les premières commandes d'acier ont été envoyées dans les forges le 3 février 1894 et le travail à l'usine a commencé le 22 avril 1894; les premières expéditions sur le chantier ont été faites le 10 août; le montage sur place a effectivement commencé le 1er septembre de la même année.

Le montage s'est effectué sur cintres par moitié : le programme des travaux comportait l'exécution d'une première moitié du pont avant l'hiver 1894-1895, de telle sorte qu'au cas de grosse crue ou de glace, les culasses pussent être chargées et les fermes métalliques rendues indépendantes des cintres.

Cette opération a dû être réalisée au moment des glaces de février 1895.

Le montage a été fait au moyen d'une grue roulante de 26 mètres de portée embrassant toute la largeur du pont. On a procédé en partant de l'articulation de pile et en établissant d'abord les culasses avec une partie des volées,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puis la fin de celles-ci. Les semelles des arcs ont d'abord été boulonnées sur les balanciers; les clavettes de serrage n'ont été introduites dans leur logement que lorsque les fermes ont été établies sur la plus grande longueur. Ces clavettes ont été rabotées à la demande et serrées à grands coups de masse.

Le rivetage sur place a été fait, en partie à la main, en partie au moyen de riveuses hydrauliques portées par un tréteau roulant sur la même voie que la grue de montage. Une pompe à compression et un accumulateur étaient installés sur le port de Javel.

Le montage de la première moitié du pont a duré du 1er septembre 1894 à janvier 1895.

La démolition et la reconstruction des cintres ont duré du 26 février au 23 avril 1895; le montage de la seconde moitié, entrepris le 13 avril, a duré jusqu'au 24 août 1895.

Lorsque les deux moitiés ont été montées, on a procédé au réglage. Cette opération a consisté à amener les deux extrémités du pont en face et au niveau projeté, à mesurer sur chaque arc l'épaisseur des calages entre les pièces d'articulation et les fermes. Une fois les calages préparés, les abouts du pont ont été relevés avec des vérins, les calages mis en place et les vérins desserrés; les abouts du pont se sont mis d'eux-mêmes en contact pendant la descente des vérins.

Le pont étant clavé, on a procédé successivement à la mise en place des diverses parties du plancher, à la confection des voûtes en briques, du béton, du pavage, à la pose des corniches et des détails décoratifs, les abouts des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

culasses restant libres; on a ainsi placé sur le pont l'intégralité de la charge permanente, en remplaçant par du lest les parties du garde-corps décoratif qui n'étaient pas fournies et on a procédé au réglage des ancrages de culasses.

A cet effet, on a observé les variations de hauteur de la culasse avec la température et mesuré sur place la longueur à donner à chacune des bielles à la température choisie pour le réglage, soit 14 degrés; lorsque les bielles ont été usinées, on les a posées, on a serré les écrous des boulons pour amener à leur niveau les plaques d'ancrage, puis on a coulé au ciment le joint resté libre entre les plaques et les maçonneries des culées.

L'opération s'étant faite à une température voisine de celle choisie pour le réglage n'a présenté aucune difficulté.

Les abouts du pont étant devenus fixes dans le sens vertical, on a terminé la construction par la pose des garde-grèves des abouts de culasse.

La circulation des piétons a été établie sur le pont aussitôt après la pose des bielles d'ancrage, le 5 décembre 1895.

Les travaux de parachèvement des maçonneries, de pose du garde-corps, de confection des trottoirs ont duré jusqu'au printemps de 1896 et les épreuves réglementaires, retardées par une crue de la Seine, ont eu lieu du 11 au 19 avril. Le pont a été mis en service le 20 avril 1896.

La construction du pont a duré, à proprement parler, du 22 juin 1893 au 5 décembre 1895, date à laquelle, s'il y avait eu nécessité, l'ouvrage aurait pu être livré à la circulation des voitures avec quelques dispositions provisoires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les conditions imposées pour les épreuves des différentes sortes de métaux mis en œuvre et les résultats obtenus aux essais sont donnés ci-après :

DÉSIGNATION.	RÉSISTANCE MINIMUM à la rupture par traction.		ALLONGEMENT MINIMUM.	
	Cahier des charges.	Moyenne des essais.	Cahier des charges.	Moyenne des essais.
			p. 100.	p. 100.
Acier laminé	45,42	44,4	22	24,3
Acier moulé	45	49,6	8	7,85
Fer laminé	32	56,6 (1) 37,1	8	18,9 (1) 13,8
Acier pour rivets	38	39,7	28	30,7
Fer pour rivets et boulons	36	38,6	16	26,1

Nota. — Longueur des éprouvettes : 200 millimètres.
(1) Éprouvettes prélevées sur l'acier recuit tel qu'il a été mis en œuvre.

Le poids total des métaux entrant dans la construction du pont est de 2,744,000 kilogrammes se subdivisant de la manière suivante :

Acier laminé	2,077,000^{k}
Fer laminé	385,000
Acier moulé ou forgé	82,000
Fontes d'appui	48,000
Fontes d'ornementation	152,000

Le cube des maçonneries mises en œuvre a atteint 10,800 mètres cubes, savoir :

Piles	7,900
Culées	2,900

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La dépense s'est élevée en chiffres ronds au total de 2,090,495 fr. 81, se décomposant de la manière suivante :

Maçonneries, abords du pont, etc.....	728,200f 00
Tablier métallique.....	1,220,826 95
Bronzes décoratifs.....	141,468 86

Les travaux ont été exécutés sous la direction de M. Rabel, ingénieur en chef des ponts et chaussées, assisté de M. Résal, ingénieur en chef des ponts et chaussées, auteur du projet; de M. Alby, ingénieur ordinaire, et de MM. Boucher, Lavallez, Grimaud, conducteurs des ponts et chaussées.

Les entrepreneurs ont été MM. Letellier pour les maçonneries, Daydé et Pillé pour la partie métallique.

Les sculptures sont l'œuvre de M. Injalbert; elles ont été fondues par MM. Thiébaut frères.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

PONT DE BLÉRÉ,

SUR LE CHER.

Un panneau de dessins.

Description. — Le pont de Bléré, qui fait franchir le Cher à la route nationale n° 76 de Nevers à Tours, remplace un pont du moyen âge, élargi en 1836 et partiellement reconstruit en 1857. Sa longueur est de 160 mètres entre les parements intérieurs des culées et de 180 mètres entre les extrémités de celles-ci. Il se compose de six arches en maçonnerie en anse de panier, à neuf centres, de 24 mètres d'ouverture.

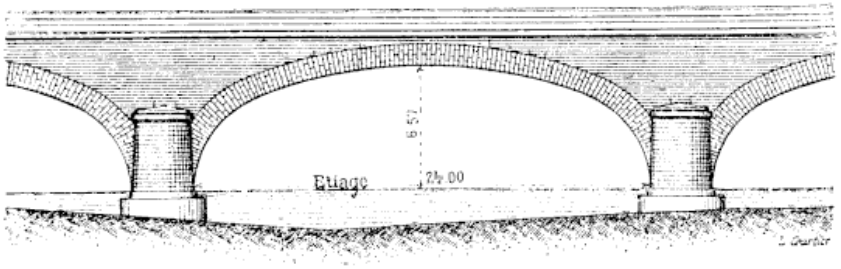


Fig. 2. — Élévation d'une arche du pont de Bléré.

La chaussée comporte deux pentes en sens contraire de $0^{m},01$ par mètre, raccordées par un arc de parabole. Les voûtes étant toutes égales et leurs sommets suivant la pente de la chaussée, les naissances, tenues au même niveau sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaque pile, s'élèvent de $0^m,27$ d'une pile à la suivante. La courbe d'intrados se trouve ainsi dissymétrique. Les demi-anses de panier qui la composent mesurent l'une $6^m,57$ et l'autre $6^m,30$ de flèche.

Les piles ont $3^m,20$ d'épaisseur aux naissances des voûtes; elles se terminent par des avant et arrière-becs circulaires montés en tronc de cône au fruit de $0^m,05$ par mètre. Elles sont couronnées d'un cordon avec chaperon dont le sommet se trouve placé, pour les cinq piles, à $4^m,45$ au-dessus de l'étiage.

L'extrados du bandeau, dissymétrique comme l'intrados, formé d'arcs de cercle tangents, donne une épaisseur de $1^m,10$ à la clef et une épaisseur variable de $1^m,25$ à $1^m,35$ au droit des chaperons des piles.

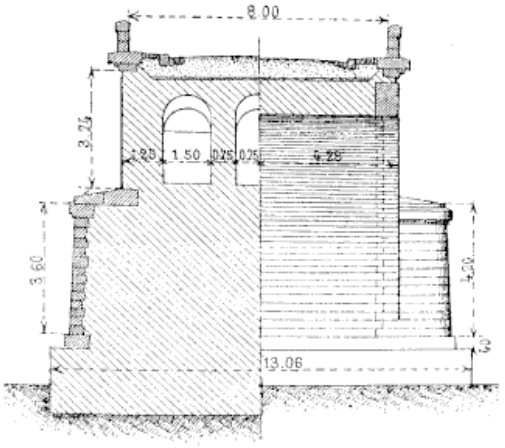


Fig. 3.

Demi-coupe transversale sur une pile. Demi-coupe transversale sur une arche.

La largeur entre les parapets est de 8 mètres d'une culée à l'autre; chacune des culées forme avant-corps de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

0m,20 de saillie sur les tympans et se raccorde en quart de cercle avec les rives.

La chaussée empierrée a 5m,50 de largeur et chacun des trottoirs 1m,25.

Le dessus de la chaussée est établi à 0m,55 au minimum au-dessus de la chape.

L'épaisseur de la voûte à la clef est de 1m,10, non compris la chape.

Tout le parapet, la plinthe, la sous-plinthe, les cordons et chaperons des piles ainsi que leurs socles sont en pierre de taille; les bandeaux des voûtes, les parements circulaires des piles sont en moellons piqués; le reste des parements est en moellons têtués avec bossage rustique par assises régulières.

Les voûtes sont maçonnées avec de la chaux du Teil. Les chaux hydrauliques de Trogues ou de Beffes sont employées dans les autres parties de l'ouvrage.

Fondations. — Toutes les fondations ont été faites par épuisement, en maçonnerie de blocage posée à sec. Pour chacune des piles, l'enceinte était formée par des batardeaux en argile, maintenue par des vannages en bois, retenus eux-mêmes par des pieux en fer enfoncés jusqu'au tuf dur. L'épaisseur des batardeaux variait de 1 mètre à 1m,50; l'espacement des pieux en fer était de 1 mètre. Un dragage préalable du sable et des blocs errants du fond du lit permettait d'asseoir le coffre d'argile sur le tuffeau tendre recouvrant le tuf dur sur lequel on fondait. Les fouilles des culées ont pu être faites sans batardeaux, et celle du côté La Croix n'a même donné lieu qu'à des épuisements à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'écope. Les épuisements des piles et de la culée Bléré ont nécessité l'emploi d'une ou de deux pompes Letestu à deux corps de $0^m,30$ de diamètre, mues par une seule machine à vapeur.

Les travaux préparatoires des fondations ont été commencés en régie à la fin de juin 1898. Les travaux à l'entreprise ont commencé le 1er juillet. Les fondations ont été terminées le 1er octobre et ont ainsi demandé environ trois mois. Pendant cette période, on a profité de l'abaissement des eaux dû au chômage de la navigation, pour fonder les piles 2 et 3 correspondant à la plus grande hauteur d'eau dans le lit. La profondeur des fouilles au-dessous du niveau de l'eau, au moment de l'exécution, a varié de $2^m,22$ à la culée Bléré à $2^m,70$ à la pile n° 1.

Les fondations, encastrées à $0^m,50$ au moins dans le tuf dur, descendent au maximum à $2^m,45$ au-dessous de l'étiage.

La dépense totale, en y comprenant les maçonneries jusqu'au niveau de l'étiage, s'est élevée à 35,000 francs, dont 11,700 francs de dépenses en régie pour tous travaux de batardeaux, épuisement et accessoires, y compris la surveillance.

Le volume des maçonneries étant de 1,065 mètres cubes, le prix du mètre cube ressort en moyenne à 33 francs.

Voûtes et cintres. — Du 1er octobre au 10 novembre 1898, les maçonneries des piles, culées et retombées de voûtes ont été élevées jusqu'au niveau qu'il a été possible d'atteindre sans le secours des cintres. Les maçonneries des voûtes ont été reprises le 1er avril 1899, avec le secours

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des cintres, dont cinq en premier emploi et un en deuxième emploi.

Sauf pour l'arche marinière dont le cintre, retroussé dans la partie centrale, comportait six points d'appui, les cintres avaient quatre points d'appui. Les palées étaient portées par une double rangée de pieux battus au refus dans le tuf dur. Chaque cintre était composé de six fermes.

L'exécution des six voûtes a duré du 1er avril au 19 août, soit 140 jours. Le temps écoulé entre le clavage et le décintrement n'a jamais été inférieur à 32 jours. L'abaissement à la clef a été, au maximum, de 53 millimètres pour le cintre et de 16 millimètres pour les maçonneries. Le surhaussement donné à l'avance était de 50 millimètres.

Les maçonneries au-dessous de la plinthe, y compris la chape en asphalte, étaient terminées le 5 novembre 1899.

On espère que le pont pourra être livré à la circulation aux premiers jours de juin 1900, soit après 23 mois de travail.

Abords du pont. — En dehors du pont, les travaux comprennent des rectifications de rive avec terrassements importants, des revêtements en perrés, un ponceau de $1^{m},20$ d'ouverture et de 25 mètres de longueur, les raccordements du nouveau pont avec les parties de routes non terminées, des acquisitions de terrains et immeubles de peu de valeur.

La démolition de l'ancien pont, conservé jusqu'à l'ouverture à la circulation du nouveau, fera l'objet d'un projet spécial.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Renseignements et dépenses pour le pont proprement dit.

Longueur totale	180m,00
Largeur entre les parapets	8 ,00
Largeur entre les parements extérieurs des tympans	8 ,50
Ouverture de chacune des six arches	24 ,00
Ouverture totale	144 ,00
Hauteur moyenne de la chaussée au-dessus de l'étiage	8 ,34

PRESSION PAR CENTIMÈTRE CARRÉ.

A la clef (pression maxima)	16k,58
Au joint de rupture (pression maxima)	11 ,24
Aux naissances (pression moyenne)	6 ,43
A la base de la pile, dessous du socle (pression moyenne)	5 ,98
Sur le sol de fondation (pression moyenne)	5 ,12

Superficie en élévation entre l'étiage et le niveau de la chaussée	Vide	775m
	Plein	726
	Ensemble	1,501m

Rapport du vide au plein	1.07m
Superficie en plan entre parements extérieurs des parapets	1,621
Volume des maçonneries, ensemble	6,000

Dépenses totales	pour les fondations	35,000f
	pour l'élévation	302,000
	Ensemble	337,000

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Prix par mètre linéaire.	pour les fondations..	194f
	au-dessus des fondations.....	1,678
	Ensemble.....	1,872
Prix par mètre superficiel en plan.....	au-dessus des fondations.....	186f
	fondations comprises.	208
Prix moyen du mètre cube de maçonnerie..	au-dessus des fondations.....	61f
	fondations comprises.	56

La dépense nécessitée par les différents travaux aux abords du pont, en y comprenant tous les accessoires, sera de 42,000 francs.

Personnel.

	MM.
Ingénieurs en chef.....	Faure, jusqu'au 1er juillet 1899.
	Leroux.
Ingénieurs ordinaires...	Gauthier, avant-projet.
	Prince, projet et exécution.
Conducteur.....	Russaouën.
Entrepreneur.....	Bellegy, aidé de M. Fonteix.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III

RECONSTRUCTION DU PONT D'ARGENTAT,

SUR LA DORDOGNE.

Un panneau de dessins.

Un pont suspendu fut jeté, en 1829, par l'ingénieur en chef Vicat pour permettre à la route nationale n° 120 de franchir la Dordogne à Argentat, chef-lieu de canton situé à 30 kilomètres de Tulle.

A raison de sa largeur restreinte et de son excessive flexibilité, l'ouvrage ne répondait plus, depuis longtemps, aux nécessités de la circulation. De plus, le système d'amarrage, qui n'était ni visible ni amovible, pouvait inspirer des craintes, et sa réfection s'imposait. Les modifications profondes à apporter au pont suspendu eussent été très coûteuses, de sorte que son remplacement par un pont en maçonnerie fut décidé.

Le nouveau pont est à deux voies; il se compose de trois arches en maçonnerie de $32^{m},64$ d'ouverture et de $5^{m},47$ de flèche; sa longueur entre culées est de $108^{m},85$ et sa largeur entre parapets de 7 mètres. Les voûtes ont une épaisseur de $2^{m},55$ aux naissances et de $1^{m},20$ à la clef. Les piles ont $2^{m},55$ à hauteur des naissances qui sont placées au niveau des plus hautes eaux connues, soit à $6^{m},90$ au-dessus de l'étiage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les travaux ont été exécutés de 1892 à 1893. La fondation des piles a été faite au moyen de caissons à doubles parois montés sur place et garnis de terre glaise. La fondation de celle de rive gauche a présenté de sérieuses difficultés à raison des crues survenues, de la mauvaise saison pendant laquelle elle a dû être effectuée et aussi de la rencontre fortuite d'une poche profonde entre les bancs de la roche schisteuse qui constituait le sol de fondation.

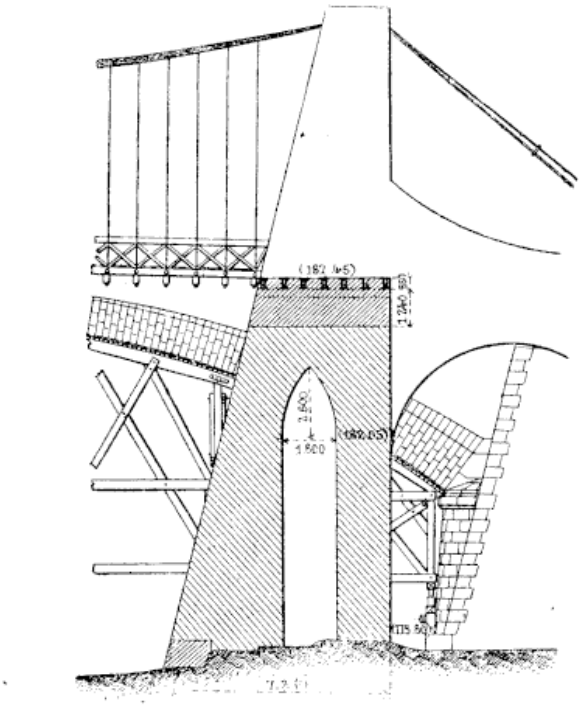


Fig. 4. — Rescindement du pylone de rive droite du vieux pont d'Argentat.

Le clavage des voûtes a été fait aux naissances. Les coffrages en charpente, s'appuyant sur la première assise des voussoirs posés à sec avec joint de plomb, supportaient la maçonnerie des voûtes, qui ont été construites avec du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mortier de ciment. Les voûtes une fois terminées au-dessus des coffrages, les joints de l'assise des naissances furent remplis avec un mortier de ciment pulvérulent, et les coffrages remplacés par petites fractions par la maçonnerie. Aucun tassement n'a été constaté lors du décintrement.

La circulation a pu être maintenue par l'ancien pont suspendu presque jusqu'à la fin des travaux, bien qu'une des voûtes ait dû traverser le pylône de rive droite qui a été évidé, puis ensuite complètement démoli (fig. 4).

Les projets ont été dressés par MM. Houbre, ingénieur en chef, et Charron, sous-ingénieur. Les travaux ont été exécutés par MM. Houbre, Marchat (intérimaire) et Le Secq Destournelles, ingénieurs en chef, par M. Charron, sous-ingénieur, et par MM. les conducteurs Soulié et Guasson.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV

PONT BOUCICAUT,

SUR LA SAÔNE.

Un panneau de dessins.

Le pont Boucicaut, établi sur la Saône, entre Gergy et Verjux, à 15 kilomètres environ au nord de Chalon, a été construit aux frais de Mme Boucicaut, de 1888 à 1890 [1].

Il se compose de cinq arches en maçonnerie, de 40 mètres d'ouverture chacune et de 5 mètres de flèche (surbaissement de 1/8).

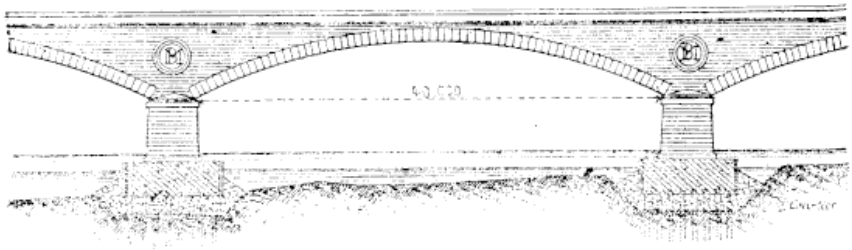


Fig. 5. — Élévation d'une arche du pont Boucicaut.

La largeur entre parapets est de 8 mètres, dont 5 mètres pour la chaussée et 1m,50 pour chaque trottoir.

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1892, 2e semestre, et *Portefeuille de l'École*, t. III.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

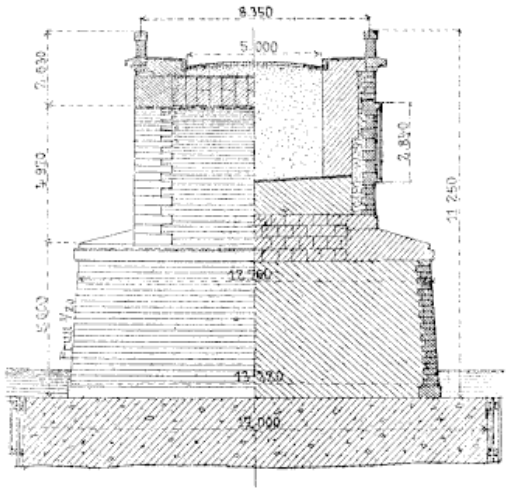


Fig. 6.
Demi-coupe transversale d'une arche. Demi-coupe transversale d'une pile.

Les voûtes ont leur intrados et leur extrados en forme de chaînette.

Les raisons qui ont conduit l'auteur du projet à adopter la voûte en chaînette sont les suivantes :

1° On peut y tracer une courbe de pression qui passe à très peu près par les milieux de tous les joints, et qui donnerait, si elle était réalisée, une pression à très peu près uniforme en tous les points de la voûte.

2° Cette courbe de pression moyenne ne sera pas en général réalisée, avec les procédés habituels de clavage et de décintrement; mais les autres courbes de pression qu'on peut tracer, par exemple celle qui passe par le tiers supérieur du joint de clef et par le tiers inférieur du joint de naissance, restent régulièrement confinées dans la région moyenne de la voûte. Dans la voûte en arc de cercle, au contraire, la courbe de pression se rapproche plus ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins de l'extrados vers les reins, ce qui montre bien qu'il y aurait intérêt à relever un peu l'arc vers les reins; c'est précisément l'effet de la chaînette.

L'épaisseur des voûtes du pont Boucicaut ($1^{m},05$ à la clef; $1^{m},24$ aux naissances) est sensiblement plus faible que celle adoptée pour les grandes arches de dimensions comparables. La faible épaisseur admise est motivée par cette considération que, dans les grandes arches surbaissées, on ne réduit pas sensiblement les pressions en augmentant l'épaisseur au delà d'une certaine limite, qui correspond à l'utilisation convenable des matériaux.

Ainsi la pression moyenne calculée à la clef, qui est de $19^{k},9$ par centimètre carré avec l'épaisseur de $1^{m},05$ adoptée, serait de $17^{k},3$ avec une épaisseur de $1^{m},50$ et de $15^{k},8$ avec une épaisseur de 2 mètres.

Fondations. — Le lit de la Saône est formé en majeure partie, au point où est établi l'ouvrage, de couches de sable fin facilement affouillables, s'étendant à une grande profondeur. On a fondé le pont sur pilotis.

Le fond a été dragué à une cote variable suivant la profondeur de l'eau à chaque pile; on a battu des pieux de $0^{m},35$ de diamètre à une fiche d'environ 8 mètres au-dessous du fond dragué. Entre ces pieux, au nombre de 136 pour chaque pile, et tout autour de la fouille, on a immergé des enrochements jusqu'à la cote prévue pour le dessous des massifs de béton, soit (168, 19), la cote de la retenue de navigation étant (172, 03).

L'épaisseur des enrochements au-dessous du béton est de 2 mètres environ à la pile n° 1; de $1^{m},50$ à la pile

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n° 2; de 1 mètre à la pile n° 3. A la pile n° 4, le massif de béton repose directement sur le terrain dragué dans les intervalles des pieux.

Les pieux ont été recépés, au moyen d'une scie oscillante, à $0^m,50$ environ au-dessus des enrochements.

On a alors apporté, à l'emplacement de chaque pile, un caisson sans fond, en charpente, mesurant 17 mètres de long sur 8 mètres de large et $4^m,20$ de hauteur. Le béton a été coulé dans le caisson au moyen d'un tube composé de tronçons démontables et muni d'un entonnoir à la partie supérieure. Ce tube était suspendu à un treuil roulant dans le sens transversal au caisson, à la partie supérieure d'une grue roulante, qui se déplaçait elle-même dans le sens longitudinal, sur des rails fixés aux longs côtés du caisson. On versait le béton dans l'entonnoir du tube au fur et à mesure qu'il s'écoulait par le bas, de manière que le niveau du béton dans le tube fût toujours supérieur à celui de l'eau.

En opérant convenablement, on coule ainsi le béton par couches très régulières, de $0^m,40$ à $0^m,50$ d'épaisseur, sans aucune production de laitance.

Le dessus du béton était arasé à la cote (171,19), soit à $0^m,84$ au-dessous du niveau de la retenue. A l'intérieur du caisson, on avait ménagé un bordage calfaté s'étendant de la partie supérieure jusqu'à $0^m,60$ environ au-dessous du niveau du béton. Lorsque le massif de béton avait fait une prise suffisante, on épuisait dans le caisson au moyen d'une pompe à vapeur rotative, montée sur bateau; on posait le socle et on montait les maçonneries de la pile.

Les fondations des culées, étant à l'abri des affouille-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ments, ont été établies à un niveau supérieur à celles des piles. Elles sont également sur pilotis; mais le béton y a été immergé à talus coulant.

Dans les piles, chaque pieu porte environ 33 tonnes. Si l'on considère l'ensemble de l'assiette de fondation constituée par le sol lardé de pieux, la pression par centimètre carré n'y dépasse pas $3^k,3$. La pression sur les massifs de béton des piles est de $6^k,7$ par centimètre carré; elle est de $6^k,5$ au niveau du cordon.

Appareil des piles et culées. — Dans les piles, les socles, sommiers et cordons sont en pierres de taille; tous les autres parements sont en moellons simplement smillés, et l'intérieur en maçonnerie ordinaire avec mortier de chaux hydraulique. Entre les sommiers qui reçoivent l'appui des voûtes, la maçonnerie est exécutée avec de gros moellons posés debout et maçonnés au mortier de ciment.

Dans les culées, les angles, sommiers et cordons sont en pierres de taille, le reste en maçonnerie ordinaire pour l'intérieur, et en moellons smillés pour les parements. Toutefois, en arrière du sommier, on a disposé, pour répartir la poussée des voûtes sur une grande surface, sept assises de gros moellons régulièrement taillés, et assemblés au mortier de ciment.

Voûtes. — Chacune des voûtes a été construite en six tronçons, dont la construction était menée de front, laissant ainsi sept intervalles vides, trois aux naissances et à la clef, les quatre autres au-dessus des poteaux du cintre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La fermeture était commencée par la clef, et terminée par les naissances.

Les voûtes sont entièrement maçonnées au ciment Vicat artificiel à prise lente. Les têtes sont en pierres de taille de Villebois. D'après le projet, le massif des voûtes devait être exécuté en moellons de 30 à 40 centimètres de longueur, régulièrement façonnés sur toutes faces. L'entrepreneur a demandé en cours d'exécution à substituer à ce petit appareil de grands moellons que les carrières de Villebois fournissent abondamment. A chaque voussoir correspondent seulement deux assises de moellons, l'une donnant toute la hauteur du voussoir, l'autre en deux morceaux.

Dépenses. — Les dépenses de construction du pont Boucicaut, abstraction faite des chemins d'accès aux abords, se sont élevées à 486,000 francs, savoir :

Fondations	128,000^{f}
Élévation	348,000
Bornes et médaillons	10,000
TOTAL	486,000

La longueur totale du pont est de 233^{m},94. La surface couverte, entre les parements extérieurs des parapets, est de 2,072^{mq},95.

La surface en élévation, entre l'horizontale de la chaussée, les quarts de cône et le fond de la rivière, est de 2,850 mètres carrés.

Les dépenses à l'unité sont donc les suivantes :

Par mètre courant		2,077^{f}
Par mètre superficiel	en plan	234
	en élévation	171

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On se rendra compte, par la comparaison avec des ouvrages d'importance analogue, que ces prix sont peu élevés, ce qui tient, pour la majeure partie, à la grande portée des voûtes et à leur légèreté.

Le projet du pont Boucicaut a été dressé par M. Tourtay, ingénieur ordinaire, qui a aussi dirigé les travaux, sous les ordres de M. Jozon, ingénieur en chef.

M. Mühlemann, conducteur des ponts et chaussées, a surveillé l'exécution.

L'entrepreneur était M. Bruno, de Mâcon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME SECTION.

NAVIGATION INTÉRIEURE.

I

VANNES À GALETS, AVEC ROULEMENT SUR BILLES,

AU BARRAGE DE SAINT-MAMMÈS, SUR LE LOING.

Un modèle à l'échelle de $\frac{1}{10}$
Un exemplaire, grandeur d'exécution, d'une vanne.

Le système de fermeture mobile employé au barrage de Saint-Mammès, sur la rivière du Loing, constitue un simple perfectionnement des vannes glissant entre les montants amont de fermettes métalliques et adoptées par M. l'inspecteur général Boulé au barrage de Suresnes, sur la Seine. Le perfectionnement consiste uniquement dans l'adjonction de galets avec roulement sur billes, qui tendent à réduire autant que possible l'adhérence des vannes contre les montants des fermettes pendant la manœuvre, en substituant le frottement de roulement au frottement de glissement.

L'adhérence des vannes contre les appuis fixes est en effet le principal obstacle que l'on rencontre dans les opérations de mise en place et d'enlèvement, non pas seule-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment au point de vue de l'effort à appliquer, mais encore au point de vue de la régularité du mouvement. Sous l'action des forces nécessaires pour vaincre les frottements de glissement, les vannes tendent à se coïncer contre les fermettes, et l'amplitude de la déviation est d'autant plus grande que la hauteur de chaque vanne est plus faible par rapport à sa longueur. Il faut donc, avec les vannes ordinaires, si l'on veut un fonctionnement régulier, avoir des vannes de fortes dimensions, bien équilibrées, dont la manœuvre devient impraticable sans engins mécaniques et qui exigent, par conséquent, un personnel expérimenté et relativement nombreux. Or, c'est là un inconvénient sérieux pour les barrages situés en pleine campagne, dans des contrées où le manque de ressources oblige à avoir des engins rustiques, de maniement et d'entretien faciles.

On s'est proposé, dans l'application faite au barrage de Saint-Mammès, d'atténuer à tel point les frottements, qu'on puisse se servir de panneaux de très faibles dimensions, susceptibles dès lors d'être portés et manœuvrés par un seul homme, sans appareil spécial, ni treuil, ni grue, à la main et sans effort notable. Des essais dans ce sens avaient déjà été tentés avec de simples galets à axe horizontal placés aux quatre angles des panneaux ; mais la rouille envahissait vite les surfaces en contact, et bientôt la rotation ne s'effectuait plus qu'avec difficulté. Au contraire, si l'on fait tourner le galet sur son axe par l'intermédiaire de billes analogues à celles qui sont aujourd'hui d'un usage courant dans la vélocipédie, l'expérience prouve que, en se contentant d'enduire les billes d'essence minérale, aucune trace d'altération ne se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

manifeste, soit avec une vanne immergée, soit à l'air avec une vanne retirée de l'eau. Cette expérience, commencée au barrage de Marolles, sur la Seine, poursuivie au barrage de Saint-Mammès, remonte déjà à cinq années, et elle paraît aujourd'hui absolument concluante.

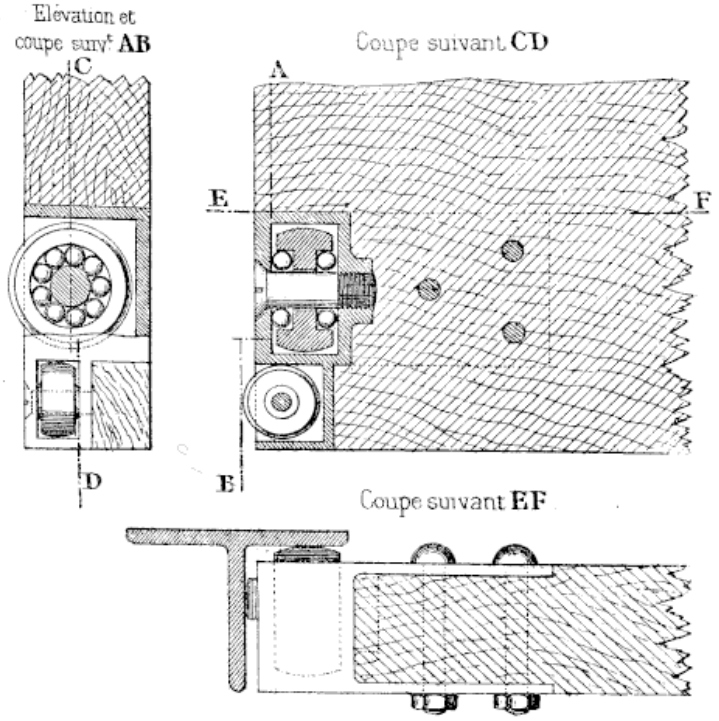


Fig. 7. — Galets avec roulement sur billes.

Quant aux facilités de manœuvre, elles sont aussi grandes que possible.

Les vannes du barrage de Saint-Mammès, exécutées au mois de septembre 1897, ont été établies de façon que leur poids n'excède pas les forces d'un ouvrier moyen. Elles ont $0^m,42$ de hauteur, $1^m,076$ de longueur, $0^m,045$ d'épaisseur, et ne pèsent que 28 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes au maximum, au moment où on les sort de l'eau. La manœuvre en est très rapide; car, pour mettre en place un panneau de 5 vannes superposées, il ne faut que 30 secondes, et l'enlèvement de ce même panneau n'exige qu'une minute et demie, soit en tout deux minutes pour la manœuvre. Le barrage de Saint-Mammès, composé de 26 panneaux, peut donc être ouvert en 40 minutes et fermé en moins d'un quart d'heure. Les essais réalisés prouvent que la substitution du frottement de roulement au frottement de glissement réduit la résistance au dixième environ de l'effort qu'il y aurait à vaincre si la vanne n'était pas munie de billes. On a d'ailleurs eu soin d'araser la vanne supérieure à $0^{m},21$ au-dessous de la retenue et de compléter le panneau par une vannette régulatrice de $0^{m},21$ de hauteur.

Pour la mise en place, il suffit de présenter la vanne entre les fermettes en posant les galets sur leur chemin de roulement; on abandonne alors la vanne à elle-même, et celle-ci descend toute seule jusque sur le seuil du radier ou sur la traverse supérieure de la vanne déjà posée.

Pour l'enlèvement, il suffit de gaffer la vanne à retirer au moyen d'un petit grappin ou crochet à quatre branches, imaginé par M. le conducteur Petitalot; grâce à la forme spéciale de la poignée boulonnée sur la vanne, l'accrochage s'opère très aisément et sans la moindre hésitation.

Le galet est contenu dans une boîte en acier, fixée par trois boulons aux quatre angles de la vanne. Chaque boîte a la même épaisseur que la vanne, soit $0^{m},045$, et renferme un galet de $0^{m},043$ de diamètre qui fait saillie de $0^{m},004$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en dehors de la boîte, de façon à pouvoir rouler sur le montant amont de la fermette. La boîte porte en outre un petit galet latéral en bronze qui est destiné à guider la vanne entre les fermettes. Les billes ont $0^{m},007$ de diamètre. Boîte, axe et billes sont en acier.

La dépense des ouvrages mobiles, fermettes et vannes, s'est élevée à 15,200 francs en nombre rond, pour une longueur totale de 29 mètres. Elle se décompose ainsi qu'il suit :

	En tout.	Par mètre courant.
Fermettes, y compris la mise en place..	8,000^{f}	276^{f}
Vannes.....	7,200	248
Totaux.....	15,200	524

Les dispositions techniques ont été projetées et les travaux dirigés par MM. les ingénieurs Wender et Huet, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Lavollée. Les expériences réalisées au barrage de Marolles, sur la Seine, ont été faites avec le concours actif de M. le conducteur Petitalot; les travaux du barrage de Saint-Mammès ont été surveillés par MM. les conducteurs Diot et Lecourt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

PONT-CANAL DE BRIARE,

SUR LE CANAL LATÉRAL À LA LOIRE.

Un modèle à l'échelle de $0^m,04$ pour 1 mètre ($\frac{1}{25}$). — Une vue pittoresque. Un cadre de dessins.

Le grand pont-canal de Briare [1] a été construit de 1890 à 1894, pour assurer aux abords de cette ville le passage du canal latéral à la Loire au-dessus du fleuve et avec une complète indépendance, par rapport à ce fleuve.

Le canal traversait autrefois la Loire à niveau. Mais, pendant les deux tiers de l'année, le mouillage était insuffisant dans cette traversée, et l'insuffisance s'est encore accrue lorsque le mouillage réglementaire a été porté de $1^m,60$ à $2^m,20$.

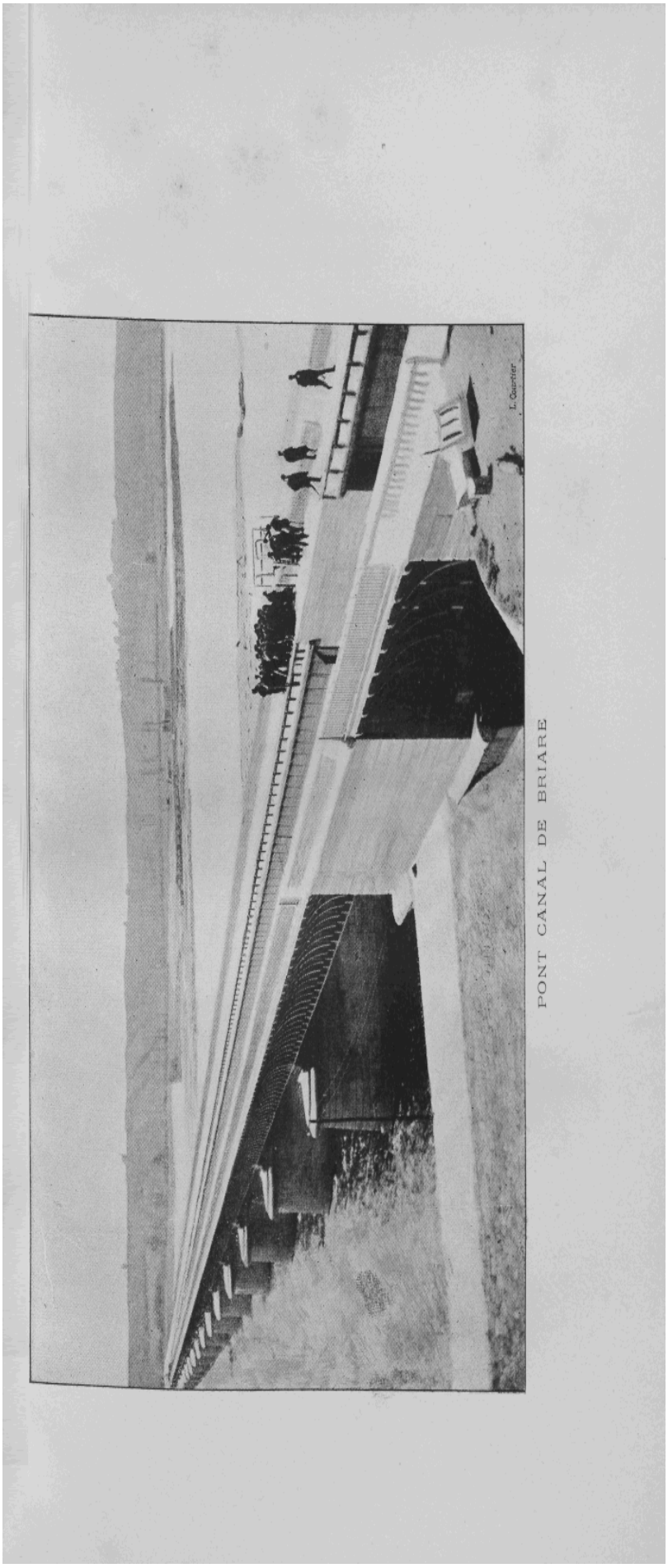
Il fallait alléger les bateaux pour les faire passer dans le chenal établi entre deux écluses d'embouchure et limité par des digues basses.

Non seulement la traversée était onéreuse, mais elle était difficile, dangereuse et rendue souvent impossible par l'effet des crues, des glaces ou des très basses eaux.

Tels sont les motifs qui ont conduit à réunir les deux

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1898, 2e trimestre, et *Portefeuille de l'École*, t. III.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

canaux, situés de part et d'autre de la Loire, par un bief ayant sa cuvette au-dessus des plus hautes eaux du fleuve.

Pour assurer le passage de la cuvette au-dessus d'un fleuve dont le débit en hautes eaux atteint 9,000 mètres cubes et dont l'amplitude des crues est de $6^{m},50$ au-dessus de l'étiage, sans compliquer par trop le raccord avec les canaux voisins, il a fallu adopter une cuvette métallique formant poutre droite, en 15 travées solidaires de 40 mètres, avec piles intercalées de 3 mètres d'épaisseur, donnant un débouché linéaire de 600 mètres entre culées et un débouché superficiel de 3,600 mètres carrés.

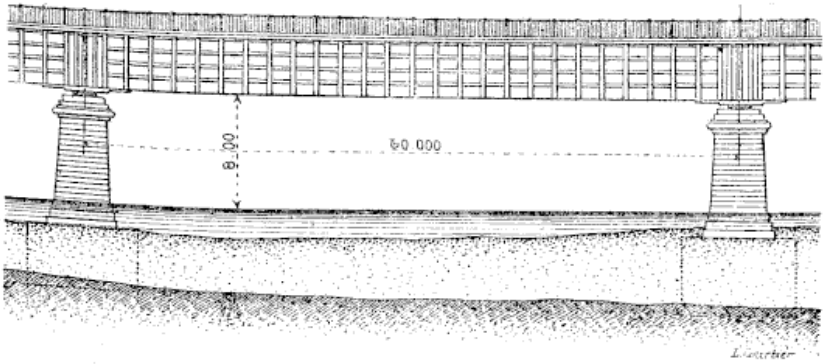


Fig. 8. — Élévation d'une travée du pont-canal de Briare.

Les ouvertures de 16 mètres pour des arches maçonnées, avec piles de 3 mètres d'épaisseur, comme à Digoin, pouvaient être admises pour franchir la Loire en un point où elle n'a pas encore reçu son affluent principal, l'Allier, ou pour franchir isolément cet affluent. Mais, en aval du confluent, les ouvertures de 40 mètres au minimum, avec cuvette métallique en poutre droite, s'imposaient.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

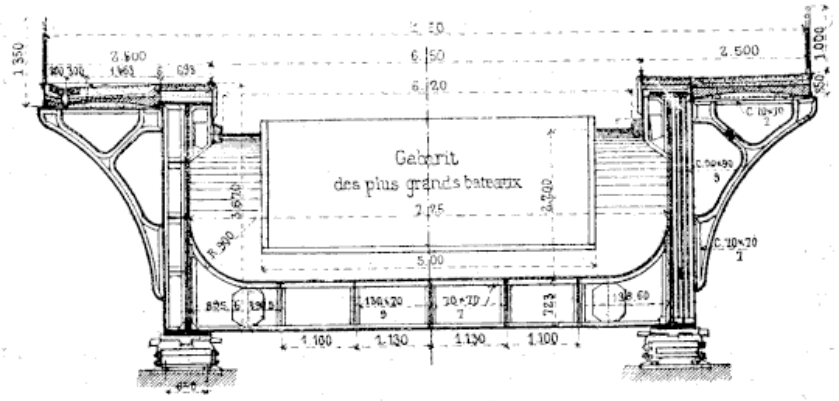


Fig. 9. — Coupe en travers.

Pour des ouvertures de 40 mètres, un canal à une voie de bateaux du type Europe-Centrale conduit aux poids suivants :

DÉSIGNATION.	CHARGE NORMALE.	SURCHARGE.
Métal	4t,982	//
Chemin de halage, platelage, etc.	2 ,195	1t,2
Charge d'eau au mouillage normal de 2m,20	15 ,600	0 ,4
Totaux	22 ,777	1 ,6
Total par mètre courant	24t,377	

Or, seul l'emploi de l'acier doux travaillant à la flexion avec travail maximum de 10 kilogrammes pouvait permettre d'établir un ouvrage ainsi chargé. En effet, avec le fer travaillant à 6 kilogrammes, l'épaisseur moyenne à river était de 10 centimètres; l'épaisseur maximum à river était de 13cm,2, épaisseurs beaucoup trop grandes pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

inspirer une sécurité complète, quel que soit le diamètre des rivets.

Au contraire, avec l'acier défini par les propriétés suivantes :

Allongement avant rupture	24 p. 100.
Charge de rupture	42^{k}
Limite d'élasticité	22
Limite de travail	10

chiffres qui remplacent les limites bien connues pour le fer de 36 kilogrammes, 15 kilogrammes et 6 kilogrammes, l'épaisseur moyenne à river était de 6 centimètres; l'épaisseur maximum, limitée à quelques mètres, de 8^{cm},6, ce qui rentre dans les limites pratiquement acceptables.

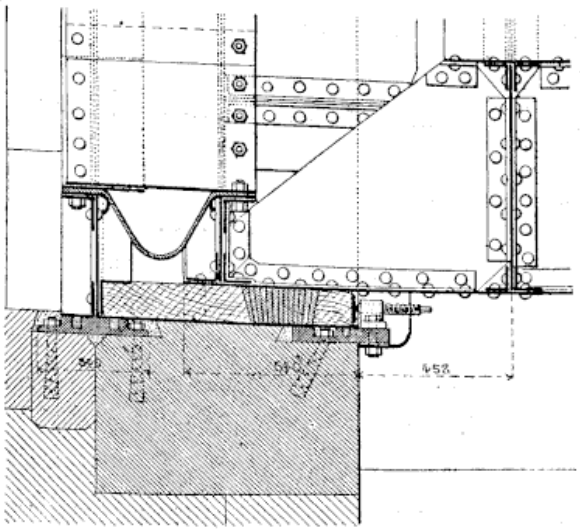


Fig. 10. — Joint étanche.

Immédiatement après la traversée de la Loire, le canal devait franchir, également en dessus, le canal latéral à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Loire (travée partie en maçonnerie, partie avec bâche métallique indépendante de 10^{m},15 de portée).

Le pont-canal de Briare, construit à partir de 1890, est un ouvrage considérable et original :

1° Par sa longueur totale, 662^{m},69 ;

2° Par la portée de chacune des 15 grandes travées sur la Loire : 40 mètres avec des charges d'épreuve allant jusqu'à 24 tonnes par mètre courant, poids de l'ossature comprise ;

3° Par le métal employé, l'acier doux travaillant à la flexion.

Ce pont-canal présente en hauteur les dimensions suivantes :

Les chemins de halage sont élevés au-dessus

Du plan d'eau, de	0^{m},747
Du pied des poutres maîtresses, de	3 ,747
Des sommiers sur lesquels reposent les plaques d'appui, de	4 ,307
Des plus hautes eaux de la Loire, de	5 ,247
De l'étiage, de	11 ,747
Du niveau moyen des fondations, de	18 ,577

En largeur, on rencontre les dimensions suivantes :

Largeur	de chaque chemin de halage	2^{m},50
	de la passe affectée aux bateaux entre les lisses de protection	6 ,20
	entre les garde-corps	11 ,50

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dépenses du pont-canal se résument ainsi :

Fondations à l'air comprimé et maçonneries des piles et culées.	1,423,235f,71	
Ossature métallique.....	1,211,462,74	
Chaussées, charpentes...	22,288,17	
Portes de garde et vannes.	9,277,20	
		2,666,263f,82
Ouvrages aux abords de la culée de rive droite.....		167,289,35
Et à ajouter pour l'éclairage électrique (usine, turbines, dynamos, distribution, candélabres et pilastres).....		30,972,75
TOTAL.....		2,864,525,92

Le pont-canal, terminé en 1894, n'a pu être livré à la circulation qu'après l'achèvement du nouveau bief de Briare, établi à un niveau en général très élevé au-dessus du sol naturel; et bien que le gros œuvre ait été terminé également en 1894, on n'a pu assurer la sécurité et la régularité de la navigation qu'à la fin de 1896.

L'ouvrage a été ouvert à la circulation le 16 septembre 1896, avec un mouillage de 1m,60, qui a été porté à 2m,20 le 1er juillet 1897.

Depuis cette époque, il s'est toujours bien comporté.

Les travaux ont été projetés et exécutés par MM. MAZOYER, ingénieur en chef, et SIGAULT, ingénieur ordinaire, avec l'assistance de MM. les conducteurs MORIN, BLIN et MUNIER, et avec le concours : de MM. EIFFEL et Cie, pour la substructure maçonnée, et de MM. DAYDÉ et PILLÉ, pour la superstructure métallique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III

EXHAUSSEMENT DU PONT-CANAL DU GUÉTIN,

SUR LE CANAL LATÉRAL À LA LOIRE.

Une vue pittoresque. — Un cadre de dessins.

Le pont-canal du Guétin a été construit pour assurer le passage du canal latéral à la Loire, situé sur la rive gauche du fleuve, au-dessus de l'Allier, d'une manière indépendante de ce grand cours d'eau aussi torrentiel et presque aussi important que la Loire.

Le canal latéral à la Loire n'avait pu être placé sur la rive droite parce que les villes de Nevers, La Charité et Cosne, situées sur cette rive, sont directement appuyées au fleuve.

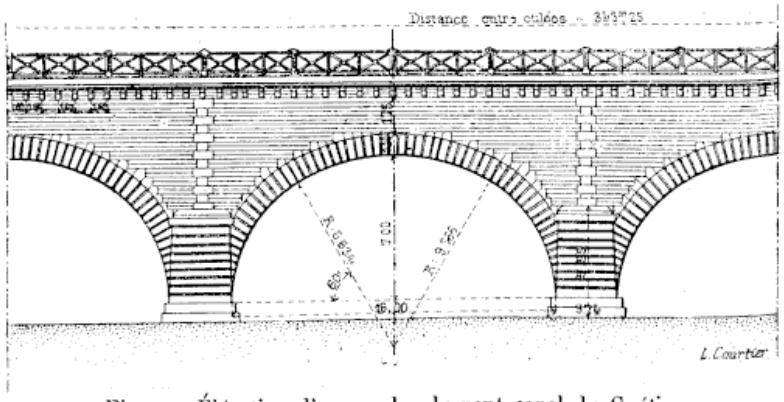


Fig. 11. Élévation d'une arche du pont-canal du Guétin.

Le pont-canal comprend 18 arches en maçonnerie de 16 mètres d'ouverture, séparées par des piles de 3 mètres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'épaisseur. Des écluses en maçonnerie lui font suite. Il a été construit de 1828 à 1836, en même temps que l'ensemble du canal latéral à la Loire.

Son mouillage normal, qui était de $1^{m},60$, a été porté à $2^{m},20$.

Ce nouveau mouillage n'a été réalisé qu'en 1898 :

1° A raison de la difficulté de l'obtenir dans le surplus du long bief du Guétin (21 kilom.) dont le pont-canal fait partie ;

2° A raison des difficultés rencontrées pour la transformation des grandes écluses accolées au pont-canal.

Les pressions sur les bajoyers de ces écluses augmentent, en effet, avec la tenue du bief situé immédiatement à l'amont (le bief du Guétin), comme aussi avec la tenue normale dans le second sas de la nouvelle écluse double intermédiaire entre le sas supérieur d'amont et le bief d'aval.

Mais, dès 1895, le pont-canal proprement dit a été apte, abstraction faite des écluses et du bief voisin, à recevoir le mouillage de $2^{m},20$.

Ce résultat a été obtenu par un exhaussement de $0^{m},54$ des bajoyers et des culées.

Il importait de ne pas nuire à l'aspect architectural de ce grand ouvrage.

On a pu, comme au pont-canal de Digoin, satisfaire à cette condition en remontant la plinthe au-dessus d'une bande de consoles hautes de $0^{m},54$ et présentant une largeur de $0^{m},25$ entre des vides de $0^{m},55$.

Les maçonneries du massif des bajoyers attestent, par leur composition hétérogène, les précautions prises en vue

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de réaliser l'étanchéité la plus complète ou plutôt la moins incomplète.

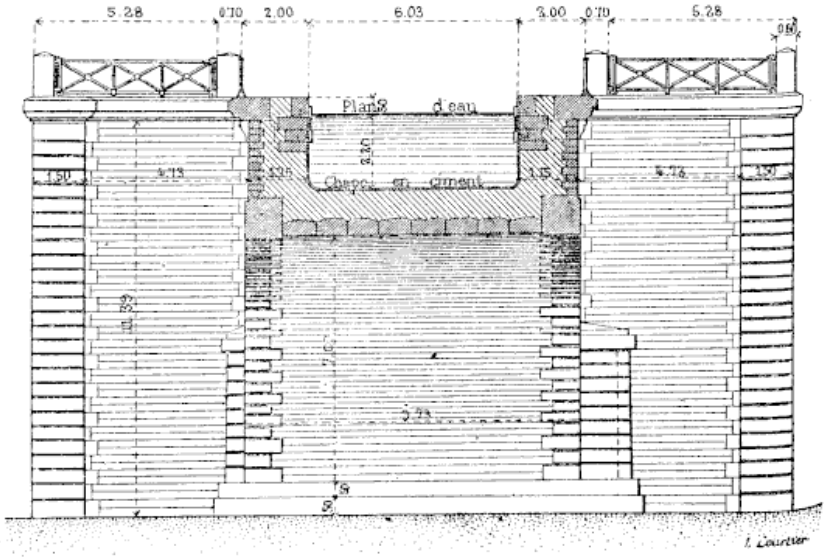


Fig. 18. — Coupe sur une arche.

On a obtenu un résultat satisfaisant avec la tenue de $2^m,20$ en reconstituant :

1° Le plafond avec une couche de ciment de $0^m,30$ recouverte d'une chape de $0^m,05$;

2° Les parements verticaux à l'intérieur de la cuvette avec une maçonnerie de blocage en ciment, à prise lente, sur $0^m,50$ d'épaisseur, recouverte d'une chape de $0^m,05$.

Le tout enduit d'une couche de goudron appliquée à chaud.

Le goudronnage se renouvelle d'ailleurs lorsque les chômages le permettent.

Cet ouvrage mesure $343^m,06$ entre les culées et 380^m entre les extrémités des parapets, non compris les deux écluses accolées, et $470^m,36$, y compris ces deux écluses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il présente les dimensions suivantes :

En hauteur :

Hauteur du plan d'eau normal au-dessus	1° des sommets de l'intrados des voûtes	3m,60
	2° des plus hautes eaux de l'Allier	5 ,81
	3° de l'étiage	11 ,11
Hauteur des chemins de halage au-dessus	1° du plan d'eau	0 ,54
	2° des sommets de l'intrados des voûtes	4 ,14
	3° des plus hautes eaux de l'Allier	6 ,35
	4° de l'étiage	11 ,65

En largeur :

Largeur	de la cuvette	6m,03
	des chemins de halage	2 ,00
	totale entre parapets	10 ,03
Épaisseur	des piles aux naissances	3 ,04
	des maçonneries entre le fond de la cuvette et les sommets de l'intrados des voûtes	1 ,40

La dépense de transformation de cet ouvrage s'est élevée à 197,150 francs, travaux en régie compris, mais non compris les travaux de reconstruction des écluses accolées.

C'est, avec les ponts-canaux de Briare, de Digoin et d'Agen, l'un des quatre grands ponts-canaux de France.

Les travaux ont été projetés et exécutés par MM. Mazoyer, ingénieur en chef, et Cléry, ingénieur ordinaire, avec l'assistance de MM. les conducteurs Bilbaut et Michel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV

EXHAUSSEMENT DU PONT-CANAL DE DIGOIN,

SUR LE CANAL LATÉRAL À LA LOIRE.

Un cadre de dessins.

Le pont-canal de Digoin, qui comprend 11 arches en maçonnerie de 16 mètres d'ouverture, séparées par des piles de 3 mètres d'épaisseur, a été construit en même temps que le canal latéral à la Loire, en vue de relier, d'une manière indépendante du fleuve, ce dernier canal, situé sur sa rive gauche, avec le canal du Centre, situé sur sa rive droite.

Son mouillage normal, qui était de $1^{m},60$, a été, à partir de la fin de 1893, porté à $2^{m},20$, comme sur tout l'ensemble du canal latéral à la Loire.

On a obtenu ce résultat par un exhaussement de $0^{m},60$ de chacun des deux bajoyers et des culées.

L'important était de ne pas nuire à l'effet architectural de cet ouvrage monumental. On y a réussi en replaçant l'ancienne plinthe au-dessus d'une série de consoles hautes de $0^{m},60$ et présentant une largeur de $0^{m},25$ entre des vides de $0^{m},54$.

Pour lutter contre le défaut d'étanchéité qui ne peut jamais disparaître entièrement dans les grands ponts-canaux, vu l'action de la température sur les voûtes, on avait fait de nombreux essais au pont-canal de Digoin et on s'était

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

arrêté en dernier lieu à un revêtement de grandes dalles de pierres de Volvic, qui ne comportait qu'un petit nombre de joints.

On avait aussi essayé, mais sans succès, surtout dans les parements verticaux de la cuvette, des revêtements en bitume. Ceux exposés aux alternatives de sécheresse et d'humidité et de plus au choc des bateaux, tombaient après s'être détachés des parois. Il a fallu y renoncer.

De plus, le revêtement en pierre de Volvic, qui laissait déjà beaucoup à désirer avec le mouillage de $1^{m},60$, à raison de la perméabilité non des joints, mais des pierres elles-mêmes, devint tout à fait insuffisant avec la tenue de $2^{m},20$. Les filtrations à travers ces pierres, comme à travers les maçonneries de massif et de parement des bajoyers, prirent une telle intensité qu'elles devenaient menaçantes pour la conservation de l'ouvrage après des hivers rigoureux.

Heureusement les hivers 1894-1895 et 1895-1896 ne furent pas marqués par de grands froids, et, en 1896, on put refaire entièrement le plafond et les parements intérieurs de la cuvette : le plafond, au moyen d'une couche de $0^{m},15$ en béton de ciment à prise lente, avec chape en même mortier de $0^{m},05$; les parements verticaux en maçonnerie de blocage de $0^{m},35$ avec chape en mortier de ciment de $0^{m},05$, et le tout recouvert d'une couche de goudron appliquée à chaud. C'était le système qu'on venait d'expérimenter avec succès au pont-canal du Guétin.

Depuis cette époque, le pont-canal de Digoin se comporte bien à la tenue de $2^{m},20$.

Cet ouvrage, qui mesure 209 mètres entre culées et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

243m,30 entre les extrémités des parapets, présente les dimensions suivantes :

En hauteur :

Hauteur du plan d'eau normal au-dessus	1° des sommets de l'intrados des voûtes.....	3m,50
	2° des plus hautes eaux de la Loire.....	3 ,25
	3° de l'étiage.....	10 ,61
Hauteur des chemins de halage au-dessus	1° du plan d'eau.....	0 ,45
	2° des sommets de l'intrados des voûtes.....	3 ,95
	3° des plus hautes eaux de la Loire.....	3 ,70
	4° de l'étiage.....	11 ,06

En largeur :

Largeur...	de la cuvette.....	6m,11
	des chemins de halage.....	2 ,00
	totale entre garde-corps.....	10 ,11
Épaisseur..	des piles aux naissances.....	3 ,00
	des maçonneries entre le fond de la cuvette et les sommets de l'intrados des voûtes.....	1 ,30

La dépense de transformation de cet ouvrage s'est élevée à 125,963 fr. 74, travaux en régie compris.

C'est avec les ponts-canaux de Briare, d'Agen et du Guétin, l'un des quatre grands ponts-canaux de France.

Les travaux ont été projetés et exécutés par MM. Mazoyer, ingénieur en chef, et Cléry, ingénieur ordinaire, avec l'assistance de M. le conducteur Roussotte.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V

PONT-CANAL DE SAINT-FIRMIN,

SUR LE CANAL LATÉRAL À LA LOIRE.

Un cadre de dessins.

Le nouveau bief de jonction entre le canal latéral à la Loire et le canal de Briare, dont le niveau est absolument commandé, traverse la route départementale n° 2 (département du Loiret) à 184 mètres de la culée gauche du pont-canal de Briare.

Le niveau du plan d'eau normal est.....	137^{m},50
Celui du plafond (avec le mouillage de 2^{m},20).	135 ,30
Celui du sol naturel du plafond de la vallée...	131 ,00

Le canal traverse la route au moyen d'une arche en maçonnerie avec voûte en ellipse de 7^{m},00 d'ouverture,

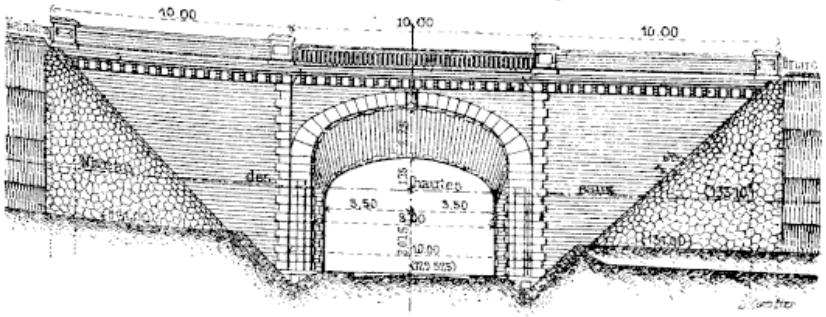


Fig. 13. — Elévation du pont-canal de Saint-Firmin.

surbaissée à $\frac{1}{4}$: flèche 1^{m},75, hauteur des piédroits 3^{m},075 (entre les naissances et le sol de la route abaissé de 1^{m},475).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La cuvette du canal conserve au-dessus de cet ouvrage ses dimensions ordinaires avec les mêmes perrés qu'aux abords :

Largeur au plafond 10m,70

Talus à $\frac{3}{2}$ revêtus de perrés maçonnés de 0m,30 d'épaisseur.

Largeur entre les crêtes des perrés . . . . . 19 ,10

Épaisseur à la clef de la voûte du pont-canal, 0m,70, recouverte d'une chape de 0m,075.

Les plates-formes de remblai ont été élargies afin d'assurer la sécurité nécessaire pour un canal en remblai de 6 mètres au-dessous du plafond sur 800 mètres de longueur.

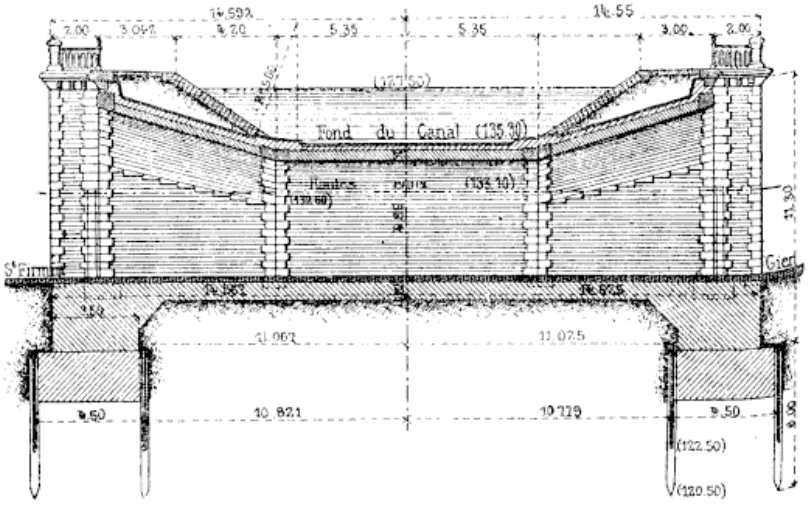


Fig. 14. — Coupe en travers du canal.

Les élargissements se réduisent : à deux chemins de halage de 3 mètres au droit de la voûte et à deux plates-formes de 4m,40 au droit de la culée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces dimensions conduisent à des largeurs totales entre les têtes, qui sont :

Au droit des voûtes	$25^{m},142$
Au droit des culées	$29^{m},142$

L'intervalle de $25^{m},142$ entre les têtes serait encore, eu égard à la hauteur sous clef de $4^{m},85$, excessif au point de vue de l'éclairage, si l'on n'avait eu soin de faciliter cet éclairage en disposant sous les chemins de halage des voûtes inclinées ou trompes, grâce auxquelles la voûte horizontale en berceau n'existe que sur $10^{m},70$ au centre de l'ouvrage, tandis que les deux trompes occupent des longueurs de $7^{m},242$ et $7^{m},20$, mesurées suivant l'axe de la route.

Le pont, construit de 1891 à 1893, est situé dans la nouvelle enceinte de Saint-Firmin, protégée à l'amont par des digues insubmersibles.

Les culées et les têtes ont été fondées sur une couche de béton de 2 mètres d'épaisseur, reposant sur le sable et entourée à l'extérieur par une enceinte générale de pieux et palplanches; cette couche a une largeur à partir de l'enceinte extérieure : de $5^{m},725$ vis-à-vis des culées, c'est-à-dire sur deux des côtés de l'enceinte, et de $4^{m},500$ vis-à-vis des têtes, c'est-à-dire sur les deux autres côtés de l'enceinte. Ce dernier massif forme parafouille.

Entre les parafouilles de chacune des deux têtes, la chaussée, en vue de résister aux courants qui pourraient se produire, a reçu un pavage de $0^{m},20$ reposant sur une fondation en maçonnerie de $0^{m},875$.

Les grands remblais du canal ferment la nouvelle en-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ceinte de Saint-Firmin par l'aval de la vallée de la Loire et sont, à ce titre, pourvus d'une paire de portes de garde busquées vers l'aval.

Mais, en outre, en vue du cas où la levée amont de l'enceinte viendrait à céder et où un courant violent s'établirait sous le pont, courant dangereux soit pour le canal en remblai, soit pour les maisons voisines, l'ouvrage a été pourvu, par surcroît de sécurité, d'une paire de portes de garde busquées contre l'amont.

Indépendamment des revêtements que la cuvette a reçus vis-à-vis du pont-canal, comme sur tout le surplus des grands remblais, la dépense peut être évaluée à 97,460 francs.

Le pont-canal de Saint-Firmin est l'un des quatre principaux ponts-canaux en maçonnerie dont la construction du nouveau bief a entraîné l'établissement, en dehors du grand pont-canal sur la Loire (ponts-canaux de la Trézée, de Saint-Firmin, de Châtillon et de l'Étang).

Les bateaux ont commencé à y circuler le 16 septembre 1896 en même temps qu'au-dessus du grand pont-canal de Briare.

Les travaux ont été projetés et exécutés par MM. Mazoyer, ingénieur en chef, et Sigault, ingénieur ordinaire, avec l'assistance de MM. les conducteurs Morin et Munier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VI

PONT-RIVIÈRE D'OUDAN,

SUR LE CANAL LATÉRAL À LA LOIRE.

Un cadre de dessins.

Le canal établi latéralement à la Loire sur 250 kilomètres entre Roanne et Briare, doit franchir tous les affluents un peu avant leur jonction avec le fleuve et il convient qu'il le fasse d'une manière indépendante de ces cours d'eau naturels; on doit éviter :

1° Les apports en matières solides des eaux troubles et les envasements qui en sont la conséquence;

2° Les interruptions de navigation dues aux courants transversaux, à l'irrégularité du régime et à la corrosion des talus et des fondations des ouvrages sous l'action des courants.

Le canal traverse généralement par-dessus tous ces affluents (rivières et ruisseaux) au moyen de 154 aqueducs et 18 ponts-canaux de plus de 5 mètres d'ouverture (suivant le tracé actuel par le pont-canal de Briare). Il en traverse un seul à niveau : la rivière la Colâtre et un autre par-dessous : la rivière d'Oudan, près Roanne.

L'ouvrage d'art assurant le passage des eaux de l'Oudan au-dessus du canal était une arche en maçonnerie très massive, très basse au-dessus du plan d'eau et offrant des di-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mensions insuffisantes tant au point de vue de la hauteur au-dessus du plan d'eau qu'à celui de la passe marinière.

La cuvette était suivie immédiatement d'un puits vertical en maçonnerie, en vue de faire tomber les eaux au niveau du sol naturel et de les écouler ensuite vers la Loire, en les faisant passer sous le chemin de halage au moyen d'un ponceau ordinaire.

Cette vieille arche a été démolie et, en même temps, la passe marinière a été élargie et portée à deux voies de bateaux[1]. L'une des culées, celle qui était la plus voisine du coteau, a été reconstruite à neuf et l'ancienne voûte a été remplacée par une bâche métallique de $17^{m},70$ de portée. Cette bâche est constituée par deux poutres maîtresses à âme pleine de $2^{m},90$ de hauteur et 9 millimètres d'épaisseur, espacées de 6 mètres et reliées par une série de pièces de pont de $0^{m},320$ de hauteur, dont les semelles supérieures se recourbent à leur rencontre avec chacune des poutres maîtresses.

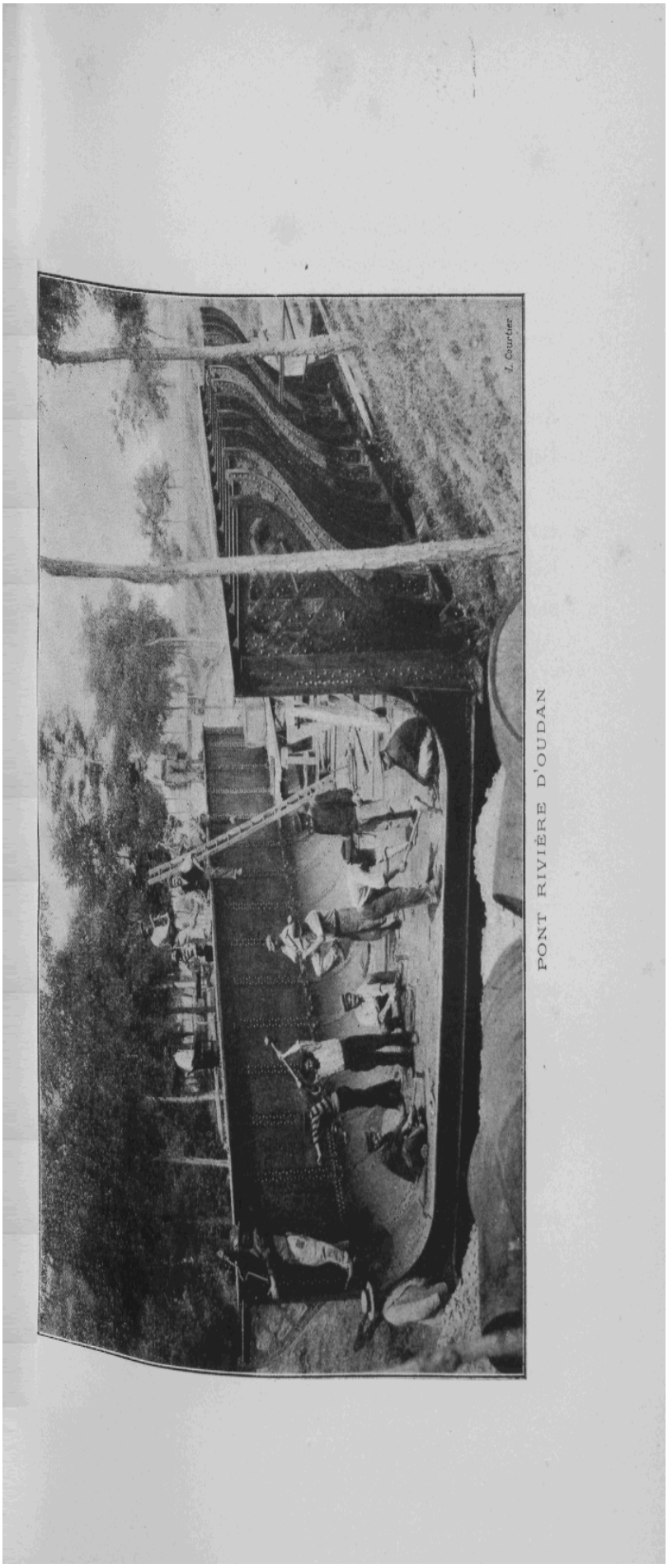
Les pièces de pont supportent une tôle de 9 millimètres d'épaisseur qui vient se relier à l'âme des poutres maîtresses.

La hauteur des poutres maîtresses, au-dessus du fond de la bâche, est la même que la hauteur des anciens bajoyers au-dessous du radier où passaient les eaux de la rivière, soit $2^{m},555$.

Deux séries de consoles correspondant, de chaque côté à chacune des pièces de pont, supportent deux plates-formes de passage remplaçant le couronnement des anciens ba-

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1899, 1er trimestre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

joyers et analogues à des chemins de halage. Ces plates-formes de l'ouvrage d'art se relient aux plates-formes des digues pleines en terre qui font suite à l'ouvrage vers l'amont de la rivière, la dérivation se trouvant en remblai par rapport au sol naturel.

Les poutres maîtresses ont reçu, sous forme de semelles additionnelles, les renforts suffisants pour que, dans les hypothèses les plus défavorables, le travail des fers ne dépasse, en aucun point, 6 kilogrammes par millimètre carré.

La bâche métallique d'Oudan, mise en service à la fin du chômage de 1897, a toujours très bien fonctionné depuis ce temps, sous le double rapport de la stabilité et de l'étanchéité.

L'étanchéité a été réalisée comme il suit :

1° Pour l'assemblage des diverses tôles formant le fond de la bâche et pour les joints verticaux des âmes des poutres maîtresses, on a fait usage de couvre-joints rivés, espacés, comme les pièces de pont, de $1^{m},25$.

On a, de chaque côté du joint, disposé deux files de rivets de 20 millimètres de diamètre en quinconce, distantes entre elles de 60 millimètres et des joints à assembler de $37^{mm},5$ et $97^{mm},5$.

L'espacement des rivets dans chaque file est de 100 millimètres.

2° Pour l'assemblage de ces tôles formant le fond de la bâche avec les poutres maîtresses, au tiers environ de la hauteur de ces poutres, on a employé deux files de rivets de 20 millimètres de diamètre, disposées en quinconce et espacées entre elles de 60 millimètres, la plus voisine étant à $27^{mm},5$ du bord de la tôle courbe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'espacement des rivets dans chaque file est de 100 millimètres.

La dilatation des fers et l'étanchéité de la bâche sont assurées sur les culées au moyen d'un joint en caoutchouc recouvert d'une tôle formant glissière.

Chacun des appuis sur culée est appelé à supporter 1/4 de la charge totale maximum, soit : $\frac{20,200 \times 18,35}{4} = 92,668$ kilogrammes, ce qui correspond à un travail de $0^{k},8$ par millimètre carré.

Les fondations faites en terrain sableux et protégées contre les chances, d'ailleurs faibles, d'affouillements dans la cuvette d'un canal, n'ont présenté aucune difficulté spéciale, autre que la rapidité nécessaire à leur exécution.

Les dépenses se résument ainsi :

Terrassements	3,081f,06
Maçonneries	25,608 ,65
Ossature métallique	26,639 ,09
TOTAL	55,328 ,80

Les travaux ont été projetés et exécutés en 1897 par MM. MAZOYER, ingénieur en chef, et ROLLAND DE RAVEL, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. le conducteur CHAVANIS.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VII

ÉCLUSES À GRANDE CHUTE DU GUÉTIN,

SUR LE CANAL LATÉRAL À LA LOIRE.

Un cadre de dessins.

Le canal latéral à la Loire, en se développant sur la rive gauche du fleuve, doit, après avoir traversé le principal affluent de la Loire, la rivière d'Allier, descendre au niveau du plafond de la vallée, au point de rencontre des deux vallées de la Loire et de l'Allier, afin d'éviter les inconvénients de l'établissement d'une cuvette en fort remblai sur de grandes longueurs. D'ailleurs, le canal pénètre alors dans une des parties de la vallée appelées « vals », défendue par une enceinte complète de digues insubmersibles qu'on croyait, en 1838, devoir constituer une défense absolument efficace contre les grandes crues. Et de fait, les trois grandes crues du siècle : 1846, 1856 et 1866, ont seules donné un démenti à ces prévisions.

Il y avait donc tout intérêt à descendre au niveau de la grande plaine du Guétin, après avoir franchi l'Allier et, par conséquent, à racheter une différence de 9 mètres entre les deux biefs consécutifs.

Cette différence de niveau a été rachetée en 1838 par une écluse triple disposée entre la culée de rive gauche du pont-canal sur l'Allier, d'une part, et la levée longitudinale

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du val, d'autre part, levée dont la plate-forme est occupée par la route nationale n° 76 de Nevers à Tours.

On avait donc disposé trois sas accolés, mesurant chacun 30 mètres de longueur (dimensions des bateaux qui circulaient dans la région au moment de la création du canal) et rachetant chacun une chute de 3 mètres, c'est-à-dire la moyenne des hauteurs de chute des écluses du canal latéral, hauteur qu'on ne dépassait alors que très peu et très exceptionnellement.

Ces trois sas formaient un éperon en maçonnerie de 90 mètres de longueur faisant corps à une extrémité avec la culée du pont-canal et à l'autre extrémité avec le pont au moyen duquel le canal franchit la levée longitudinale de l'Allier, levée qui sert d'assiette à la route nationale n° 76. Ce pont ne communiquant du côté opposé au val qu'avec les sas qui sont eux-mêmes à l'abri des crues, les hautes eaux ne pouvaient pénétrer dans le val par cet ouvrage.

Les trois sas étagés comportaient quatre paires de portes et des bajoyers disposés en pente avec une plate-forme horizontale vers la troisième paire de portes.

Les bajoyers présentaient au-dessus du sol naturel les hauteurs suivantes :

Près de la levée d'Allier.	6m,89
A la hauteur de la plate-forme de la 3e paire de portes	8 ,90
A la hauteur de la seconde paire de portes.	10 ,84

A partir de ce point, ils restaient horizontaux et au même niveau que la plate-forme de l'ancien pont-canal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Leur largeur était :

Vis-à-vis la partie courante des sas, de.....	3m,00
Vis-à-vis les chambres des portes, de.....	4 ,43

L'éperon présentait une largeur totale :

Entre les plans de têtes dans les parties courantes, de.....	11m,20
Et vis-à-vis les chambres des portes, de.....	14 ,06

(le tout assis sur un radier général ayant 19m de largeur).

Quand on a dû porter les sas à 38m,50 et le mouillage à 2m,20, on n'a pu songer à modifier soit la culée du pont-canal, soit la levée d'Allier, le village du Guétin se trouvant immédiatement derrière cette levée.

Il a donc fallu prévoir, dans cet emplacement de 90 mètres, deux sas accolés de 38m,50 de longueur utile et une longueur supplémentaire de cuvette maçonnée de 10 mètres qu'on a disposée en haut des deux nouveaux sas, près du pont-canal, et non auprès de la levée, parce que, dans la première situation, le halage est beaucoup plus facile sur cette longueur de 10 mètres qu'il ne pourrait l'être dans la seconde.

Du moment où il n'y avait plus que deux écluses, la chute de chacune d'elles devait être portée à 4m,50.

Avec ces données on arrivait, pour les nouveaux bajoyers, à une épaisseur de 5 mètres vis-à-vis la partie courante des sas, et à une épaisseur de 5m,70 vis-à-vis les chambres des portes.

Le tout pouvait heureusement tenir sur le radier général, grâce à la largeur exceptionnelle de ce radier primitive-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

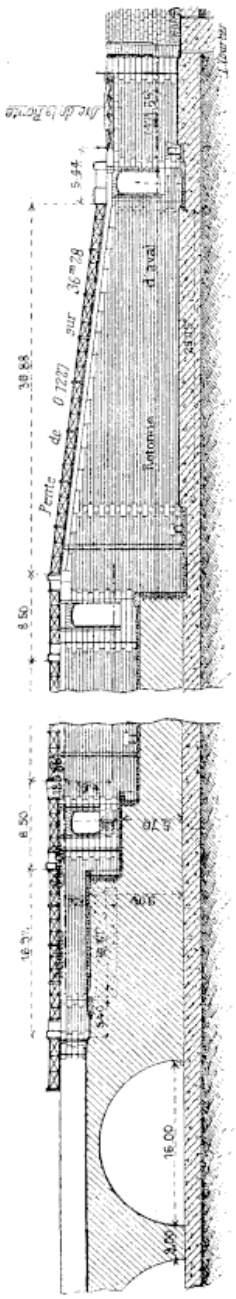


Fig. 15.
Coupe longitudinale de l'écluse du Guétin.

ment calculé en vue de l'accolement d'un pont-route au pont-canal.

En 1895, on commença, avant le chômage, par démolir le parement du bajoyer droit et effectuer son élargissement. Pendant le chômage on effectua :

1° La transformation du radier (transformation d'un escalier hydraulique de 3 marches de 30 mètres en escalier hydraulique de 2 marches de $38^{m},50$ espacées par une chute de $4^{m},50$);

2° La construction des chambres des portes au bajoyer gauche.

Faute de temps, et à raison de la saison avancée (on était arrivé au 12 octobre et on avait travaillé jour et nuit pendant 72 jours de chômage), on crut pouvoir remettre à 1896 l'élargissement du bajoyer gauche.

L'expérience ayant prouvé, au bout de deux mois, que le bajoyer gauche inachevé n'avait pas des dimensions et une masse suffisantes, on dut effectuer en plein mois de décembre une extension et une consolidation provisoire de ce bajoyer, travail difficile, eu égard à la saison et à la rapidité avec laquelle il fut exécuté en vue de ne pas prolonger l'interruption de la navigation.

Ainsi consolidé, le bajoyer gauche put

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

assurer le service jusqu'au chômage suivant et il fut définitivement achevé en 1896.

Les largeurs totales actuelles sont :

Au droit des sas	$15^{m},20$
Vis-à-vis les chambres des portes	16 ,60

Depuis 1896, l'exploitation de la nouvelle écluse double a toujours donné entière satisfaction et elle a fonctionné :

Avec le mouillage ancien de $1^{m},60$, de 1895 à 1898.
Avec le nouveau mouillage de $2^{m},20$, depuis 1898.

La dépense qu'a entraînée cette transformation peut être évaluée à 308,000 francs, travaux en régie compris.

Les travaux ont été projetés et exécutés par MM. Mazoyer, ingénieur en chef, et Cléry, ingénieur ordinaire, avec l'assistance de MM. les conducteurs Bilbaut et Michel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIII

PORT ET GARE DE SAINT-SATUR,

SUR LE CANAL LATÉRAL À LA LOIRE.

Un cadre de dessins.

La ligne de Bourges à Cosne, construite de 1889 à 1893, n'avait primitivement desservi que par une simple halte, éloignée des habitations, le bourg important de Saint-Satur, situé au pied des coteaux de la Loire, où se trouve un des ports principaux du canal latéral à la Loire.

Les accidents du terrain et la nécessité pour la ligne de Bourges à Cosne de gravir avec une pente douce le plateau de Berry, depuis le passage de la Loire, avaient entraîné cette solution.

Les populations désiraient l'établissement d'une gare de marchandises plus voisine de leur bourg et de leur port.

L'administration s'est décidée à établir cette gare sur le port même de Saint-Satur et, après quelques négociations, un accord complet s'est établi entre le service du canal et la Compagnie d'Orléans.

Le principe de l'exploitation du port et de la gare consiste dans le maintien de la liberté du port, de l'accessibilité des terre-pleins et des quais aux usagers de ce port, sauf :

La halle aux marchandises;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le quai découvert;

Un emplacement sur les voies (A. B. C. D. [1] du plan) où la Compagnie peut faire stationner ses wagons, stationnement qui est dans l'intérêt même du public et de la batellerie.

Tout le surplus des terre-pleins est accessible aux piétons et aux voitures qui y viennent, soit pour le chargement ou le déchargement des bateaux, soit pour le dépôt des marchandises, sauf à ne pas effectuer ces dépôts sur les voies elles-mêmes et à ne pas gêner les manœuvres des trains aux moments où ces manœuvres ont lieu.

Ce régime d'exploitation, qui concilie tous les intérêts en présence, est déjà expérimenté sur les autres gares de raccordement du service : Roanne, Gimouille et Dompierre-sur-Besbre.

Toutefois, pour que ce système soit pratiquement réalisable, il est nécessaire que, sur toutes les parties des terre-pleins accessibles aux piétons et aux voitures, les rails des voies soient garnis de contre-rails et que les terre-pleins entre les rails, analogues à ceux d'un tramway ou d'un passage à niveau, soient entièrement garnis d'un empierrement.

Il a de plus été entendu que le service de la navigation prendrait à sa charge :

1° L'entretien du mur de quai établi en remplacement de l'ancien talus incliné du port;

2° L'entretien des empierrements nécessités par le régime spécial imposé à la gare, tel qu'il vient d'être défini.

[1] Notation qui se rapporte aux panneaux exposés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin il fut convenu que, en échange des terrains spécialement affectés à la Compagnie exploitante (halle, quai découvert et emplacement de stationnement sur les voies), la Compagnie réaliserait pour le port public une extension d'une superficie équivalente et qu'elle reconstruirait, en un autre emplacement, la cale de radoub supprimée au point où l'embranchement pénètre dans le port.

De la sorte, les divers éléments de la puissance de trafic : surface des bassins, surface des terre-pleins, développement du périmètre des quais de transbordement, outillage public du port, ont été maintenus ou aménagés d'une manière satisfaisante.

Les travaux ont été exécutés pendant les années 1898 et 1899, et la nouvelle gare des marchandises a été livrée à l'exploitation le 15 octobre 1899.

Les tarifs de la gare de la localité située sur la grande ligne de Bourges à Cosne ont été déclarés applicables à la gare du port. Par suite, cette gare de jonction, de même que celle de Roanne, rentre dans le droit commun sous le rapport des tarifs selon le désir des populations et des Chambres de commerce.

Les travaux ont été projetés et exécutés par MM. Mazoyer, ingénieur en chef, et Vicaire, ingénieur ordinaire, avec l'assistance de M. le conducteur Girardot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IX

ÉCLUSE À GRANDE CHUTE DE BOURG-LE-COMTE,

SUR LE CANAL DE ROANNE À DIGOIN.

Un cadre de dessins.

La nouvelle écluse à grande chute de Bourg-le-Comte a été construite en deux campagnes (1898 et 1899) sur le canal de Roanne à Digoin, entre les points kilométriques $36^{k},461$ et $36^{k},499$, en remplacement des deux écluses, supérieure et inférieure, de Bourg-le-Comte situées respectivement entre les points $36^{k},330$ et $36^{k},360$, d'une part, et entre les points $36^{k},570$ et $36^{k},600$, d'autre part. Ces deux écluses étaient séparées par un bief court, de 239 mètres de longueur, qui vient d'être supprimé.

Ce bief court était déjà difficilement réglable avec les écluses de 30 mètres de longueur. Il fût devenu encore plus difficilement réglable avec les écluses de $38^{m},50$, alors que le volume de l'éclusée est augmenté de près de 1/3.

De là la nécessité de remplacer les deux écluses par une écluse unique.

En outre, on réalise ainsi un avantage sérieux pour la batellerie; car, moyennant les aqueducs de remplissage ménagés dans les bajoyers, l'éclusage n'est pas plus long dans la nouvelle écluse à grande chute que dans l'une des anciennes écluses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a donc gagné, avec le nouveau profil, le temps complet d'un éclusage.

Enfin les chutes des deux écluses supprimées à Bourg-le-Comte étaient de $3^{m},66$ et de $3^{m},67$. La nouvelle chute totale est sur ce point de $7^{m},19$, après remaniement des plans d'eau des biefs conservés.

La nouvelle écluse de Bourg-le-Comte, construite sur la voie exploitée, a été établie avec un radier général en béton de $1^{m},30$ d'épaisseur sous les bajoyers, épaisseur réduite à $1^{m}05$ sur l'axe de l'écluse par suite de la concavité du radier.

Les murs de chute disposés à l'amont de l'écluse, de chaque côté de la chambre des portes, ont reçu des épaisseurs de 2 mètres et de $1^{m},75$ pour des hauteurs à soutenir de $4^{m},84$ et de $2^{m},85$. Les murs de fuite mesurent dans le sens horizontal, à partir des enclaves d'aval, $5^{m},50$.

La hauteur des bajoyers au-dessus du radier est de $10^{m},54$.

Pour cette hauteur et à raison de la nécessité d'assurer aux bajoyers une stabilité suffisante dans toutes les hypothèses : écluse pleine, écluse vide, terre-pleins détrempés par les eaux, on a été conduit à évider l'intérieur des bajoyers afin d'augmenter autant que possible leur moment de stabilité pour un cube donné de maçonnerie et afin de ne pas exagérer ce cube de maçonnerie.

Les évidements règnent de 3 mètres à $8^{m},50$ de hauteur au-dessus du radier, laissant du côté du sas un masque en maçonnerie ayant, suivant la hauteur, $1^{m},70$ et $1^{m},90$ d'épaisseur et, du côté des terres, une épaisseur moyenne de $1^{m},20$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les deux masques sont reliés par des murs de refend distants d'axe en axe de 6 mètres et présentant une épaisseur moyenne de 2 mètres.

A la base de ces murs de refend sont pratiquées de petites baies en forme d'ouverture de ponceau de $0^{m},60$ de largeur sur 1 mètre de hauteur sous clef, qui font communiquer les diverses chambres des évidements et assurent l'écoulement des eaux.

Sous les évidements sont placés les aqueducs de remplissage de l'écluse qui s'étendent sur toute la longueur du bajoyer, depuis les vannes cylindriques d'amont jusqu'aux vannes cylindriques d'aval et à l'orifice d'évacuation sur le bief intérieur. Chacun de ces deux aqueducs longitudinaux communique avec le sas au moyen de six aqueducs transversaux.

Les portes d'amont sont entièrement métalliques du type usuel adopté dans le service.

Pour les portes d'aval, on a adopté la disposition suivante, motivée par la grande hauteur de la chute :

1° A la partie supérieure, un masque fixe pesant 8,610 kilogrammes, avec ossature et bordage entièrement métalliques. Le cadre et les entretoises horizontales et verticales sont constitués par des fers I, dont l'âme a 10 millimètres et où la distance entre semelles est de $0^{m},38$. Ce masque présente $3^{m},20$ de hauteur sur une portée de $5^{m},60$ dans le sens horizontal; son bordage a 15 millimètres d'épaisseur;

2° A la partie inférieure, deux portes entièrement métalliques se fermant dans un même plan vertical perpendiculaire à l'axe de l'écluse. Le cadre et les entretoises horizon-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tales et verticales sont constitués par des fers I, dont l'âme a 12 millimètres et où la distance entre semelles est de $0^{m},50$. Le bordage, constitué par des tôles embouties, a une épaisseur de 8 millimètres. Les deux vantaux sont terminés chacun par une fourrure en biseau qui assure leur fermeture complète et suffisamment étanche.

Chaque vantail à $7^{m},29$ de hauteur sur $2^{m},96$ de largeur et pèse 9.930 kilogrammes.

Le mouvement de chaque vantail est commandé par un arc denté horizontal placé à l'aval, et par conséquent toujours hors de l'eau.

Chacun des arcs dentés est manœuvré par une roue dentée portée par un axe vertical qu'on fait tourner au moyen d'un cric-borne du type ordinaire, installé sur la plate-forme d'une petite passerelle située au niveau supérieur du masque, et par suite des terre-pleins de l'écluse.

Une autre passerelle située au niveau inférieur du masque, au-dessous de la première, permet de descendre jusqu'à l'arc denté et aux mécanismes qui le commandent, de les visiter et de les graisser.

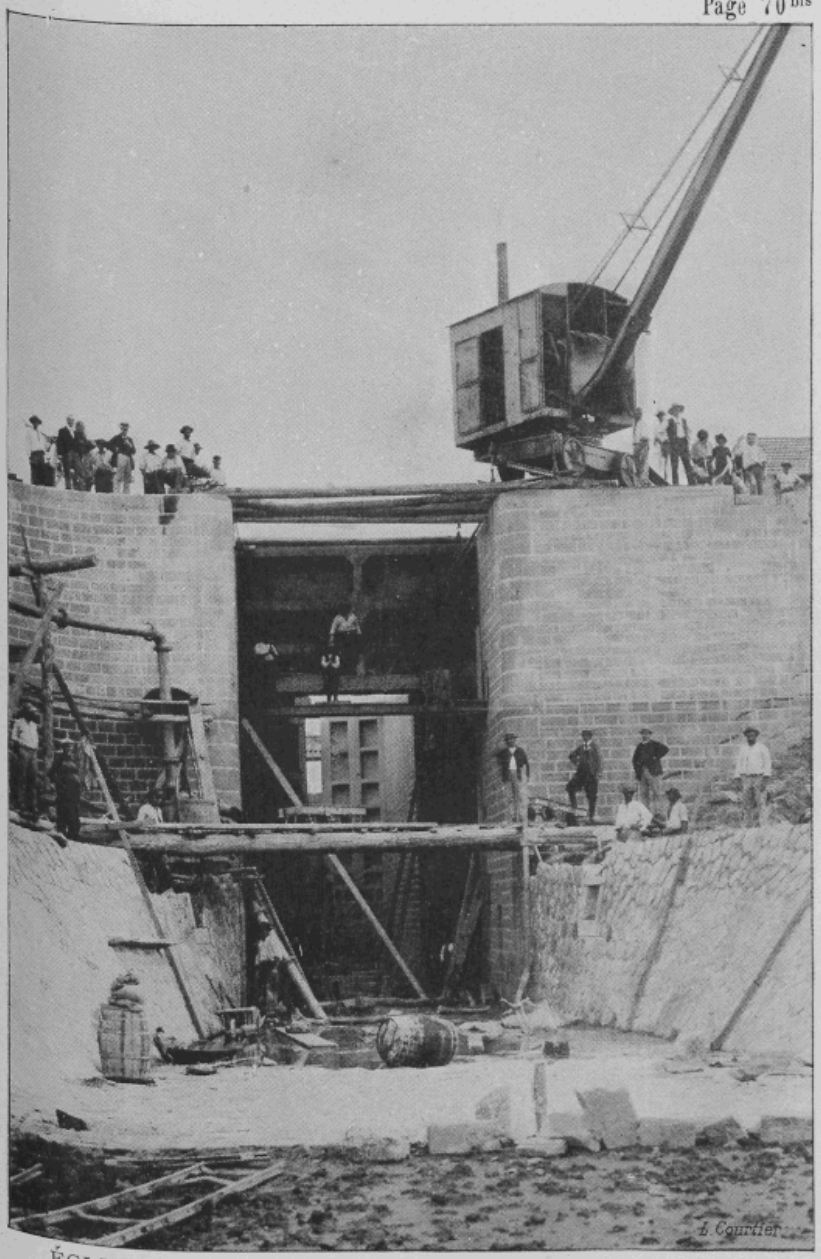
L'exécution de l'écluse a été répartie en deux campagnes.

On a exécuté en 1898 les fondations et les maçonneries jusqu'à la hauteur du plan d'eau du bief intermédiaire conservé entre les deux chômages 1898 et 1899.

Les fondations ont exigé une fouille poussée à 8 mètres au-dessous du plafond du bief intermédiaire et au pied d'un coteau qui menaçait de se mettre en mouvement. Elles ont par suite donné lieu à de très sérieuses difficultés.

De 1898 à 1899, l'exploitation du canal a continué de se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



ÉCLUSE A GRANDE CHUTE DE BOURG-LE-COMTE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faire suivant l'ancien profil, les bateaux circulant entre les bajoyers de la future écluse comme dans la cuvette d'un pont-canal.

En 1899, on a achevé les bajoyers de la nouvelle écluse, démoli les deux écluses supérieure et inférieure de Bourg-le-Comte et exécuté des terrassements nécessaires pour raccorder les biefs conservés à la nouvelle écluse.

Enfin on a posé les fermetures amont et aval.

L'ensemble de ces travaux a exigé 80 jours de chômage en 1898 et 86 jours de chômage en 1899.

La dépense s'est élevée à 234,700 francs.

La nouvelle écluse a été mise en service le 10 septembre 1899. Depuis ce temps, elle a fonctionné avec un succès complet au point de vue soit de la stabilité des maçonneries, soit de la manœuvre des mécanismes.

Le système de fermeture et de manœuvre à l'aval de l'écluse constitue une disposition nouvelle. A l'écluse de la Villette, sur le canal Saint-Denis, le masque supérieur aux portes d'aval est en maçonnerie, et les arcs dentés sont placés à l'amont de la paire de portes se fermant en biseau.

Les travaux ont été projetés et exécutés par MM. Mazoyer, ingénieur en chef, et Rolland de Ravel, ingénieur ordinaire, avec l'assistance de M. le conducteur Ruelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

X

PORT DE ROANNE,

SUR LE CANAL DE ROANNE À DIGOIN.

Un modèle [1].

Le port de Roanne est un des grands ports intérieurs de France.

Sa superficie s'élève à :

Pour le bassin	5 hectares.
Pour les terre-pleins	7
Soit au total	12

Le bassin a 80 mètres de large sur 830 mètres de long.

Le trafic de ses quais, pendant ces dix dernières années, peut se résumer ainsi :

ANNÉES.	EMBARQUEMENTS.	DÉBARQUEMENTS.	TOTAUX.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1889	142,320	106,147	248,467
1890	143,734	102,840	246,574
1891	150,539	98,334	248,873
1892	140,002	113,017	253,919
1893	161,561	107,887	269,448
1894	192,126	119,928	312,054
1895	174,808	121,380	296,188
1896	213,243	205,182	418,425
1897	211,958	157,762	369,720
1898	223,020	159,099	382,119

[1] Le modèle du port de Roanne est exposé par M. Bajard, président de la Chambre de commerce, au nom de cette Chambre qui en a fait la dépense.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis 1866, le port de Roanne était relié à la ligne de Paris à Lyon par le Bourbonnais au moyen d'un embranchement d'une longueur de 745 mètres, entre l'origine du port et la jonction avec la ligne principale.

Le bassin communique avec la Loire par un chenal de prise d'eau, de 6 mètres d'ouverture, qui débouche dans le fleuve à 570 mètres en amont du barrage mobile établi pour assurer sur le fleuve un niveau aussi stable que possible et suffisamment élevé.

Comme ce bassin, situé immédiatement en amont de la première écluse du canal, sert aussi de réservoir d'alimentation et de régulateur des envois d'eau, sa tenue habituelle a été portée à $2^{m},60$ depuis la construction des nouveaux quais.

C'est en 1886 que l'on commença à remplacer les quais anciens incomplets,

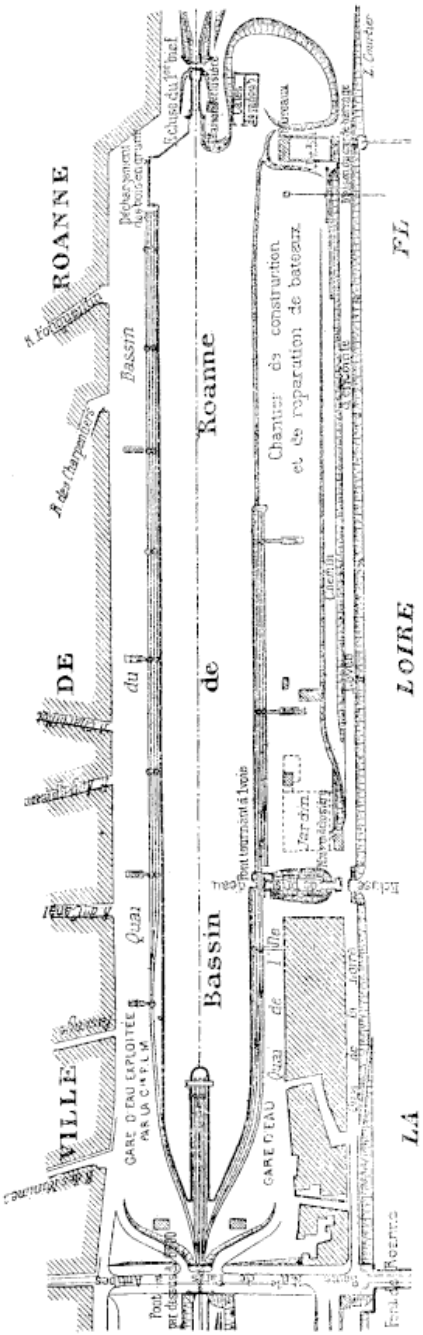


Fig. 16. — Port de Roanne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une stabilité et d'une hauteur insuffisantes, par des quais régnant complètement sur tout le côté gauche du bassin, c'est-à-dire sur 830m,90.

Jusqu'en 1886, l'embranchement qui reliait le port à la ligne de Paris à Lyon par le Bourbonnais et qui avait été construit par l'État, était affermé à la Compagnie P.-L.-M. pour les frais de son entretien, et la Compagnie y frappait la circulation des marchandises d'un droit de 1 franc par tonne, prohibitif à ce point, que le public avait intérêt à faire décharger les marchandises à destination du canal aux deux gares les plus voisines de l'embranchement et à les amener par voie de terre sur le port depuis ces deux points.

Mais, en 1886, l'embranchement fut concédé à la Compagnie P.-L.-M., qui, ayant accepté cette concession, était tenue, en principe, d'appliquer sur les voies nouvellement concédées les tarifs ordinaires généraux et spéciaux.

La Compagnie objecta qu'elle ne pouvait procéder à cette application à raison de l'extension de tonnage qui en résulterait, avant que les voies ferrées du port n'eussent reçu les extensions nécessaires et avant qu'elle n'eût terminé une gare de triage, jointe à la gare principale de Roanne, gare de triage pour laquelle elle demandait à l'État un concours financier. Elle fondait cette demande sur l'extension du trafic de la gare principale de Roanne-ville, par suite de la transformation projetée de la gare de Roanne-canal.

On fut ainsi conduit à négocier avec la Compagnie et à arrêter les bases d'un projet d'extension des voies ferrées : l'infrastructure, ainsi que les empierrements et pavages,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

devant être exécutés par le service de la navigation, à titre de 1er lot des travaux de transformation du canal de Roanne; et la superstructure devant être exécutée par la Compagnie sous le contrôle des Ingénieurs du port.

On convint d'exécuter ainsi :

1° Sur la rive gauche du bassin, 613m,60 de double voie principale, les axes des deux voies étant situés, l'un à 2m,82, et l'autre à 7m,35 de l'arête du quai.

La première voie est destinée aux stationnements et aux opérations de chargement et de déchargement; la seconde est affectée aux manœuvres.

La zone de circulation des wagons sur la double voie atteint 8m,10 de largeur. Le reste du terre-plein comporte une largeur de 20m,25 pour les dépôts de marchandises, plus une voie de terre, composée d'une chaussée de 7m,50 et d'un trottoir de 2 mètres, soit 9m,50 de largeur, qui sert d'accès au port du côté de la ville et complète l'espace total de 37m,85 situé entre la façade des maisons et l'arête du quai;

2° 217m,30 de simple voie principale, où ne sont autorisés ni stationnement de wagons, ni opérations de chargement et de déchargement, mais où la zone de circulation des wagons est réduite à 3m,57 et où le petit commerce local, qui effectue des dépôts fréquents, rapidement enlevés, entre la voie de terre et les bateaux, peut opérer ces dépôts beaucoup plus près de l'arête du quai, et par suite dans des conditions plus avantageuses;

3° Sur la rive droite du bassin, 560m,25 de double voie principale.

Sur ce même côté du bassin, il reste une longueur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 300 mètres, servant de chantier pour la construction des bateaux, où la crête des terre-pleins est sans revêtement.

Les voies principales sont reliées entre elles par des batteries de deux plaques tournantes, espacées de 77 mètres.

En outre, 7 voies transversales, dont 4 sur le côté droit et 3 sur le côté gauche, sont établies en prolongement de certaines batteries de plaques tournantes.

Le développement des quais verticaux, qui s'élève à 1,400 mètres sur les deux côtés du bassin, est suffisant pour le trafic actuel. Au cas où le tonnage du port prendrait une notable extension, on compléterait les quais et on rejetterait le chantier de construction de bateaux en aval de la première écluse.

D'un côté de cette écluse se trouve une cale inclinée pour les bois en grume, et de l'autre existent deux cales de radoub établies en 1890.

A l'autre extrémité du port, deux bâtiments servent : l'un à un agent de la Compagnie ayant rang de chef de gare des marchandises, et l'autre à un agent du service de la navigation, faisant fonctions de maître de port et accrédité auprès de la Compagnie.

Chaque jour, les commerçants indiquent à ce maître de port les wagons qu'ils doivent prendre ou emmener et le lieu où ces wagons doivent être amenés ou repris. L'agent fait les mentions correspondantes sur un plan fourni par le service de la navigation, renouvelé chaque jour et remis chaque matin, au mécanicien qui effectue ses manœuvres en conséquence. Grâce à cet arrangement simple et pratique, l'exploitation technique ne laisse rien à désirer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour ce qui est de l'exploitation commerciale, les commerçants font leur demande de wagons au chef de gare, qui a qualité pour la recevoir, lui donner suite et la régler.

A raison de l'abondance des transbordements et du mouvement considérable qui en résulte, mouvement pour lequel les installations actuelles ne sont pas exagérées, le trafic ne porte que sur les marchandises en provenance ou à destination du canal et non sur les marchandises de toute provenance et de toute destination.

Tous les tarifs généraux et spéciaux de la Compagnie P.-L.-M. sont applicables et appliqués depuis le 22 février 1897 à la gare du port de Roanne, considérée comme ayant son axe au milieu du port.

Les distances appliquées sont celles qui s'étendent depuis la gare expéditrice ou destinataire jusqu'au Coteau ou à Roanne-ville, les deux gares de la ligne de Paris à Lyon situées de part et d'autre du raccordement de l'embranchement, ces distances étant augmentées de 3 kilomètres.

Grâce à cette organisation, on a réalisé une importante économie d'abord pour les marchandises qui ne quittaient pas le rail, ainsi que l'indique le tableau ci-après :

NATURE DES MARCHANDISES.	TARIF		DIFFÉRENCE.
	ANCIEN.	NOUVEAU.	
Houilles, cokes et minerais...	0f,50	0f,20	0f,30
Autres marchandises.....	0 ,75	de 0f,20 à 0f,35	de 0f,40 à 0f,55

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mais il faut, en outre, noter l'économie réalisée par le nouveau régime pour les marchandises qui antérieurement quittaient le rail, économie exprimée au tableau ci-après :

Tarif dû jusqu'à la dernière gare exploitée (droits de gare compris)	3f,35
Camionnage	0 ,53
TOTAL	3 ,88
Actuellement ces mêmes marchandises payent jusqu'au port (droits de gare compris)	3 ,50
DIFFÉRENCE de prix de revient	0f,38

L'effet de l'application des nouveaux tarifs s'est fait immédiatement sentir, ainsi qu'il résulte du tableau ci-après :

ANNÉES.	MARCHANDISES TRANSBORDÉES		TOTAUX.
	du CHEMIN DE FER au canal.	du CANAL au chemin de fer.	
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1889	15,323	36,561	51,884
1890	13,734	41,703	55,437
1891	12,172	30,136	42,308
1892	11,528	40,793	52,321
1893	12,048	41,879	53,927
1894	19,637	34,743	54,380
1895	20,516	41,901	62,417
1896	19,425	77,567	96,992
1897	169,691	62,574	232,265
1898	220,458	72,793	293,251

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La valeur des installations du port de Roanne peut s'établir ainsi :

I. — *Infrastructure.*

(Travaux exécutés par le Service de la navigation.)

1° Construction de 800 mètres de murs de quais, de terre-pleins, d'empierrements, etc., en 1886, 1887, 1888 et 1889	201,502f,37
2° Projet d'extension de 1895 (construction de quais, ponts tournants, empierrement de voies, etc.)	247,644,20
TOTAL	449,146,57

II. — *Superstructure.*

(Projet exécuté par la Compagnie sous le contrôle du Service de la navigation.)

Établissement de voies principales et transversales, aiguilles et plaques tournantes, ballastage de la couche inférieure sous empierrement, bâtiments d'exploitation, etc.	254,300,00
VALEUR TOTALE des travaux exécutés depuis 1886 ou en cours d'exécution et voisins de leur achèvement.	703,446f,57

A ajouter, pour avoir la valeur totale de la gare fluviale :

Anciens murs de quai du môle, 220 mètres à 200 francs		44,000f,00
Valeur des voies primitives, 864 mètres à 50 francs	43,200f	53,200,00
Installations diverses (grues, bascules, etc.)	10,000	
TOTAL		97,200f,00

Il semble, d'après l'exposé précédent, que les résultats obtenus sont bien en proportion avec les sacrifices faits.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le public, le commerce, la batellerie ont applaudi à cette transformation du port de Roanne et bénéficient largement de ses résultats.

La Compagnie exploitante y trouve également son compte à raison du développement de ses transports et de ses recettes.

Cette organisation du port de Roanne a donc ceci de remarquable, qu'elle fournit la solution du raccordement entre les réseaux des voies navigables et le réseau des voies ferrées, à l'entière satisfaction de tous les intéressés.

Ces résultats sont dus à la persévérance et à la ténacité, jointes à l'esprit de conciliation, avec lesquelles la Chambre de commerce de Roanne et le Service de la navigation, étroitement unis dans des efforts communs, ont poursuivi, pendant près de trente ans et notamment pendant ces dix ou douze dernières années, les travaux d'extension du port et l'établissement du nouveau régime que cette extension du port a permis de réaliser.

Les travaux ont été projetés et exécutés, d'accord avec la Chambre de commerce de Roanne, par MM. Mazoyer, ingénieur en chef, et Rolland de Ravel, ingénieur ordinaire, avec l'assistance de M. le conducteur Chavanis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XI

BARRAGE DU MAUNOIR,

SUR LE CANAL DU NIVERNAIS.

Un cadre de dessins.

Le barrage du Maunoir (barrage à fermettes et à aiguilles et déversoir fixe accolé) a été construit en 1890, en remplacement de l'ancien pertuis du Maunoir qui remonte à l'origine du flottage et qui avait été reconstruit pour la dernière fois en 1809, ainsi que l'attestent la plaque commémorative et la collection de pièces de monnaie, toutes de l'année des travaux, retrouvées dans les fondations.

Alors que l'Yonne servait principalement au transport des bois, et à la descente seulement, on conçoit la préférence donnée au système de la navigation par éclusées.

Autrefois, en vue d'assurer une lâchure rapide, facile et efficace de l'onde, on disposait, en lit de rivière, une passe rétrécie entre deux grands déversoirs obliques servant d'ouvrages régulateurs sur une rivière à régime variable. Dans le cas d'une crue, l'enlèvement successif des aiguilles permettait de graduer le débit des ouvrages en rivière en considération de l'accroissement de débit du cours d'eau.

En effaçant brusquement la poutre qui fermait transversalement la passe et faisant ainsi disparaître le rideau d'aiguilles, on lançait dans le bief d'aval une onde qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

assurait aux trains la vitesse de translation et le mouillage nécessaires.

Mais le régime des éclusées convient mal à la navigation régulière et aux propriétés riveraines, qui s'accommodent beaucoup mieux d'un plan d'eau fixe et de l'absence aussi complète que possible de courant. C'est pour réaliser ces conditions que Poirée inventa, en l'appliquant pour la première fois à Basseville, le barrage à fermettes, qui permet de donner au rideau d'aiguilles telle étendue qu'on veut, au lieu de la faible longueur, limitée à la portée de la barre tournante sur laquelle s'appuyaient les aiguilles du pertuis.

Sur 23 ouvrages de retenue de la Haute-Yonne, tous primitivement établis en manière de pertuis, 6 ont été transformés en barrages mobiles à fermettes.

Pour deux autres, l'ouvrage de retenue a été combiné avec un pont supérieur à la rivière, qui devient alors un pont-pertuis.

Le barrage du Maunoir est un de ces huit barrages mobiles.

Sa construction en remplacement de l'ancien pertuis était d'autant plus indispensable que, dans la retenue de cet ouvrage, existe une partie commune entre le canal du Nivernais et la rivière d'Yonne, où le chemin de halage du canal change de rive, et que le canal de la Cure y débouche ainsi dans le canal du Nivernais avec changement de côté du chemin de halage.

La fixité du plan d'eau, indispensable à la navigation régulière, devenait donc particulièrement importante dans le bief du Maunoir; et l'on a profité de ce que l'ancien ou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vrage était en mauvais état pour le reconstruire entièrement.

Le nouvel ouvrage comporte :

1° Un barrage mobile à fermettes de 25 mètres de développement, situé assez en aval de l'écluse accolée pour que cette distance, combinée avec la conservation d'une ancienne digue, préserve l'entrée et la sortie de l'écluse des courants obliques;

2° Un déversoir fixe dont l'arête a reçu un développement de 100 mètres.

Ces dimensions ont été arrêtées d'après l'étude du régime de la rivière et des dimensions, tenues pour satisfaisantes, des ouvrages analogues situés tant à l'amont qu'à l'aval du Maunoir.

Le barrage mobile est du type usuel : fermettes espacées de $1^{m},10$ présentant une hauteur de $2^{m},45$ mesurée suivant la verticale, et une largeur maximum suivant les barres horizontales parallèles au courant de $1^{m},20$ à la partie supérieure et de $1^{m},50$ à la base. Elles sont constituées avec des fers carrés.

La retenue du barrage est à 2 mètres au-dessus de l'étiage de la rivière.

Le bief inférieur commandé par un pertuis n'est pas navigable.

A l'aval du barrage du Maunoir, la navigation suit un bief latéral à l'Yonne.

Le seuil du barrage mobile, de même que celui du déversoir fixe, est assis sur le rocher et a été fondé à sec à l'aide d'épuisements que les fissures du rocher ont rendus difficiles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le déversoir fixe présente une largeur de $1^{m},50$ en couronne et de $5^{m},64$ à la base. Les parements ont reçu à l'aval un fruit de $\frac{3}{2}$ et à l'amont un fruit de $\frac{1}{10}$.

Les dépenses se sont élevées à $61,727^{f},52$.

Depuis sa construction, cet ouvrage fonctionne bien et atteint le but en vue duquel il a été établi.

La démolition des anciens ouvrages de retenue en amont du nouveau barrage a permis de réaliser un vaste bassin en rivière, mesurant en moyenne 60 mètres de largeur d'une rive à l'autre et s'étendant, sur une longueur de 600 mètres suivant l'axe de la rivière d'Yonne, depuis le point marqué, en aval, par l'écluse du Maunoir, accolée au barrage, jusqu'à celui marqué en amont par l'écluse de Saint-Aignan, où la voie navigable fréquentée reprend un bief de canal entièrement distinct de l'Yonne.

Les travaux ont été projetés et exécutés par MM. Mazoyer, ingénieur en chef, Cléry et Breuillé, ingénieurs ordinaires, avec l'assistance de M. le conducteur Guillemain.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XII

RIGOLE RÉGULATRICE DES BIEFS DE RULLY,

SUR LE CANAL DU CENTRE.

Un panneau de dessins.

Sur un canal navigable, quand les biefs sont très courts, le jeu des éclusées occasionne d'incessantes variations de niveau qui rendent la navigation difficile; en outre, il faut interrompre les éclusages pendant les envois d'eau alimentaires. Si l'on suspend l'alimentation à une écluse pour donner passage aux bateaux, le bief d'aval, n'étant plus alimenté, tombe vite au-dessous de la tenue de navigation. Pour l'y relever, il faut arrêter les envois d'eau aux biefs inférieurs, qui, alors, cessent eux-mêmes d'être navigables.

Au groupe des cinq petits biefs de la plaine de Rully, dont les longueurs varient de 450 à 605 mètres, on a paré à ces graves inconvénients en établissant, latéralement au canal, une rigole régulatrice. Cette rigole est reliée par un aqueduc à chacun des biefs. Elle a pour fonctions de faire passer en dehors de la voie navigable le courant alimentaire, et, au moyen de déversoirs qui accompagnent chacun des aqueducs de communication avec le canal, de régler automatiquement le niveau des biefs. Des barrages ou murs de chute, étagés de distance en distance, divisent la hauteur rachetée par les écluses et répartissent la rigole en petits biefs dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

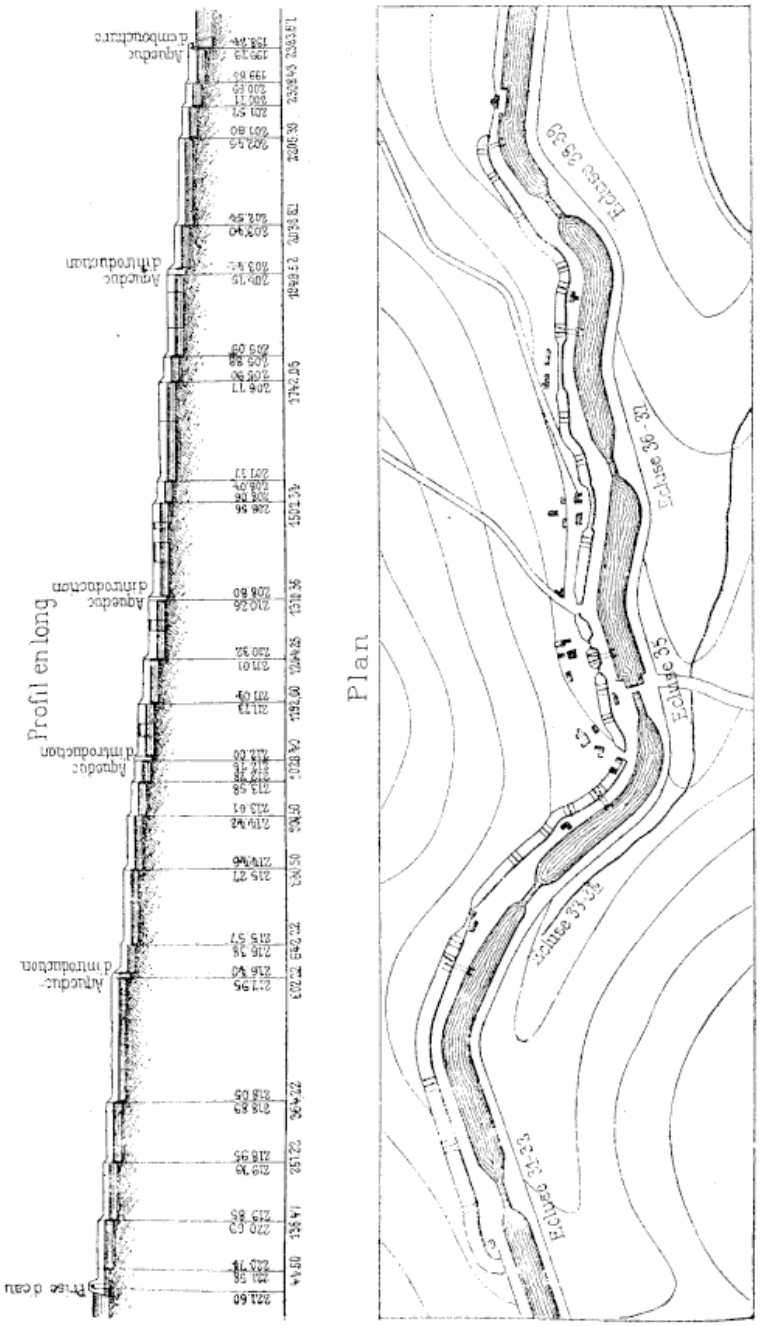


Fig. 17. — Rigole régulatrice des biefs de Rully.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lesquels la pente superficielle de l'eau reste assez faible pour que le courant ne corrode pas les talus.

La rigole régulatrice de Rully a une longueur de 2,384 mètres. Son profil en travers normal présente 1 mètre de largeur au plafond et $1^{m},40$ de hauteur verticale au-dessus de ce dernier, avec talus inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur. Dans quelques parties, où les bords du canal sont couverts de constructions et où la place était difficile à trouver, la rigole a été établie en passages rétrécis. Une partie est à ciel ouvert; la largeur de la cuvette est alors réduite à $0^{m},80$ et les talus sont remplacés par des murs inclinés à $\frac{1}{5}$. Sur d'autres points, les passages rétrécis ont dû être voûtés; ils ont 1 mètre de largeur au plafond, entre deux pieds-droits verticaux.

La prise d'eau dans le canal se fait par un mur déversoir de 6 mètres de longueur et par une vanne de 1 mètre de largeur, établie au milieu de ce mur et manœuvrée par un cric. Le déversoir, couronné à $0^{m},15$ en contre-bas de la tenue normale du bief, est complété par de petites hausses mobiles en bois, qui permettent de régler facilement le débit versé dans la rigole. Une passerelle en fer, sur le pertuis, maintient la continuité du halage.

L'aqueduc qui met la rigole en communication avec chaque bief a $1^{m},50$ de largeur. Son radier est au niveau du plafond du bief. La rigole est barrée, en amont de l'aqueduc, par le mur de chute, fermant le dernier petit bief; en aval, par un déversoir régulateur. Le mur de ce déversoir est couronné à $0^{m},20$ en contre-bas du niveau normal du bief correspondant, mais il est complété jusqu'à ce dernier niveau par de petites hausses mobiles en bois, sem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blables à celles du déversoir de prise d'eau. Ce mur est établi suivant un biais prononcé, afin de présenter une longueur de déversement suffisante, $8^{m},25$, sans nécessiter un élargissement exagéré de la rigole.

La pente totale, entre deux déversoirs régulateurs consécutifs, est égale à la chute des écluses. Elle est divisée, dans la rigole, par une série de murs de chute de 1 mètre environ de hauteur. On a pu, de cette manière, donner au fond une pente par mètre de $0^{m},0005$ seulement dans les parties à profil normal, de $0^{m},004$ dans les passages rétrécis maçonnés.

Les couronnements des murs de chute sont établis simplement en moellons équarris; leur arête supérieure d'aval est garnie d'une cornière en fer galvanisé. La branche verticale de cette cornière, dirigée suivant le prolongement du parement vertical du mur, sert d'arête de déversement; celui-ci se fait ainsi en mince paroi.

Le débit maximum de la rigole peut être de deux mètres cubes par seconde. C'est un chiffre largement suffisant pour l'écoulement rapide des excédents que peuvent donner les sassées et pour le passage des eaux d'alimentation.

En somme, la pente totale de la rigole, égale à la somme des chutes des cinq écluses, est de $23^{m},35$. Elle est rachetée par 5 déversoirs, y compris celui de la prise d'eau, et par 23 murs de chute.

La rigole débouche dans le canal à l'aval du dernier bief court par un aqueduc de $1^{m},50$ de largeur, dont le radier est au niveau du plafond du bief récepteur.

Le fonctionnement de tout ce système est des plus simples. La vanne de prise d'eau étant ouverte de manière à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donner à la rigole son débit normal, si tous les biefs sont à la tenue réglementaire, l'eau ne fait que parcourir la rigole jusqu'au grand bief d'aval, dans lequel elle débouche; elle ne rentre que là au canal. Si, au contraire, un des petits biefs se trouve bas, l'eau de la rigole, arrêtée par le déversoir régulateur qui fixe la hauteur de ce bief, le relève d'abord; elle ne s'écoule ensuite dans la rigole, pour aller rétablir de même les autres petits biefs qui pourraient manquer d'eau, que quand le niveau réglementaire est regagné. L'eau versée dans un petit bief par une éclusée est aussi conduite à l'aval par la rigole seule, dès que le niveau de ce bief est normal; le déversoir oblige l'excédent à quitter ce bief pour suivre la rigole. On atteint ainsi très facilement le double but cherché : maintenir chacun des biefs courts à une tenue constante et alimenter la partie inférieure du canal sans les traverser.

Ces ouvrages seront complétés prochainement par l'établissement d'un réservoir de dépôt, d'une capacité de 100,000 mètres cubes environ, dans lequel débouchera la rigole et qui emmagasinera les excédents d'eau de cette dernière, pour les verser ensuite, selon les besoins, dans les biefs inférieurs.

Ce système de rigole régulatrice constitue un perfectionnement très utile et très ingénieux, dû à M. l'ingénieur en chef Vallée.

La première rigole régulatrice du canal du Centre a été établie par M. Vallée, assez sommairement, dès 1829, au groupe des écluses de Longpendu, puis reconstruite à titre définitif, en 1855, par M. Comoy.

Une rigole analogue a été plus tard, en 1865, établie à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'aval de Saint-Julien, pour l'envoi des eaux du réservoir de Montaubry.

Enfin c'est en 1888 et 1889 que cette importante amélioration a été apportée aux biefs de Rully, en même temps qu'on les transformait par la construction d'écluses à grande chute ($5^{m},20$).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIII

TOUAGE ÉLECTRIQUE DU SOUTERRAIN DE POUILLY, SUR LE CANAL DE BOURGOGNE.

Un cadre de dessins.

Les bateaux qui franchissent le souterrain de Pouilly, dans le bief de partage du canal de Bourgogne, sont remorqués depuis 1893 au moyen d'un toueur mû par l'électricité[1]. Le remorquage se fait sur 5,400 mètres, dont 3,300 mètres en souterrain.

L'énergie électrique est produite par l'utilisation des forces disponibles aux chutes des écluses de Pouilly et d'Escommes qui terminent le bief de partage. Ces chutes, qui sont respectivement de 7 et 8 mètres, mettent en mouvement, dans chacune des usines construites à proximité des écluses, une turbine à distribution partielle qui conduit elle-même une dynamo génératrice.

A Pouilly, la turbine fait 100 tours, et à Escommes, 110. Le vannage de distribution est exactement le même aux deux usines. Il comporte un secteur circulaire en cuivre, dont l'extrémité libre est reliée à un arc denté, centré sur l'axe de rotation de la turbine.

Avec cet arc engrène un train d'engrenages qui se ter-

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1894, 2e sem.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mine par deux pignons calés sur les arbres qui aboutissent l'un à la commande directe à la main, l'autre à la commande par les embrayeurs.

La commande directe se fait au moyen d'un volant manœuvré à la main et ne sert guère qu'au démarrage et à l'arrêt de la turbine. Pendant la marche, les mouvements du vannage sont produits par un régulateur spécial, et la connexion entre la turbine et son vannage se fait alors par des embrayeurs magnétiques.

Cet entraînement est obtenu au moyen de l'électricité.

Ces turbines conduisent deux dynamos génératrices du type Gramme dit supérieur, assemblées en série.

Le régime normal de marche comporte une tension de 380 volts avec 900 tours à Pouilly et de 290 volts avec 1,100 tours à Escommes, ce qui correspond, avec les forces respectives de $10^{ch},3$ et $7^{ch},90$, à un débit de 20 ampères.

La ligne a été construite à trois fils en bronze télégraphique de 8 millimètres, l'un reliant deux pôles de noms contraires des génératrices et chacun des autres partant d'un des autres pôles pour s'étendre tout le long du premier et se terminer sur un isolateur au bout de la course du toueur. Ces fils sont posés sur isolateurs.

Le courant est amené du fil de ligne aux bornes de la réceptrice placée dans le toueur, au moyen d'un trolley et d'une perche, après lui avoir fait traverser le tableau de distribution muni d'un rhéostat qui peut donner jusqu'à 180 ohms de résistance et qui est composé, suivant la manière ordinaire, de spirales de ferro-nickel de diamètre variable.

La réceptrice est une dynamo Gramme, type supérieur,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

enroulée en série. Sous une tension électrique de 550 volts et un courant de 30 ampères, elle fait 19 chevaux en marchant à 900 tours.

La poulie de la réceptrice est reliée par une courroie au volant des engrenages du toueur, qui, à l'allure normale, fait 150 tours à la minute.

Ces engrenages sont combinés de façon qu'à cette allure on puisse à volonté obtenir pour la poulie toueuse deux vitesses, de 20 et 40 tours à la minute, qu'on emploie suivant la charge à remorquer. Ces vitesses de rotation correspondent à des vitesses de marche de $0^{m},65$ et $1^{m},30$ par seconde. Le toueur franchit ainsi la longueur de 5,400 mètres, sur laquelle il conduit les bateaux en 45 minutes à vide, en 2 heures en remorquant un chargement de 4 à 500 tonnes et en $2^{h},30^{m}$ avec un convoi de 1,000 tonnes.

Le bateau-toueur présente une longueur de 15 mètres, une largeur de $3^{m},20$ et une profondeur sous pont de $1^{m},20$; il cale $0^{m},45$. Le rouf s'étend sur 8 mètres dans la partie centrale, soit 4 mètres de part et d'autre à partir du milieu.

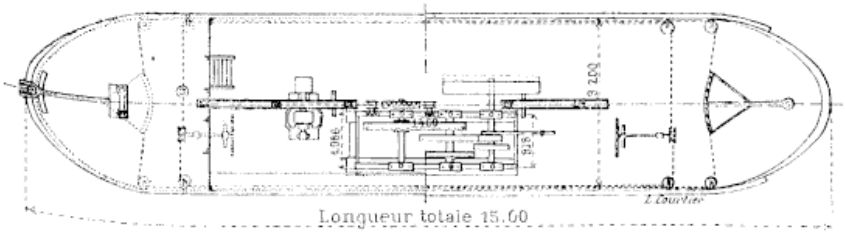


Fig. 18. — Bateau toueur.

Ce bateau est pourvu de deux gouvernails, commandés par des roues placées à l'intérieur de la cabine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La poulie motrice à empreinte est du système Bouquié et ne présente qu'une empreinte pour deux maillons. Le chemin de la chaîne est au milieu du bateau.

Le bateau pendant la nuit ou pendant la traversée sous le souterrain et les usines génératrices pendant la nuit sont éclairés au moyen de lampes de 110 volts donnant chacune 16 bougies.

Le bateau a été construit, ainsi que ses engrenages, par M. Brunet, mécanicien à Chalon-sur-Saône; le fil de ligne a été fourni par M. Mouchel, de Paris; les dynamos sortent des ateliers de la société Gramme, et les turbines de la maison Laurent frères et Collot de Dijon. Les travaux de terrassements et de maçonnerie ont été exécutés par M. Carrière, entrepreneur à Pouilly.

L'installation tout entière est revenue à 137,441f,74, savoir :

Installation de l'usine de Pouilly.....	27,080f,88
Installation de l'usine d'Escommes.....	11,899 ,84
Fourniture et installation des turbines....	11,003 ,46
Fourniture du fil de la ligne électrique....	14,228 ,12
Fourniture des installations électriques, y compris 10,641 francs pour accumulateurs.....	24,012 ,00
Construction du bateau-toueur.....	12,550 ,10
Somme à valoir.....	36,667 ,34
Total pareil.....	137,441 ,74

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIV

INSTALLATION ÉLECTRIQUE DE S^{T}-JEAN-DE-LOSNE,

POUR L'ALIMENTATION DU CANAL DE BOURGOGNE.

Un cadre de dessins.

L'alimentation des trois derniers biefs n^{os} 76, 75 et 74 du versant Saône du canal de Bourgogne se fait au moyen d'eau de Saône remontée de bief en bief.

Les longueurs de ces biefs sont respectivement de 2,410, 2,700 et 1,795 mètres, soit au total 6,905 mètres, et l'installation permet de fournir 3,000 mètres cubes au bief n° 74, 3,000 mètres cubes au bief n° 75 et 9,000 mètres cubes au bief n° 76.

A cet effet, on prend en Saône 15,000 mètres cubes, que l'on verse au bief n° 76; on reprend à celui-ci 6,000 mètres cubes que l'on remonte au bief n° 75, on reprend encore 3,000 mètres cubes à ce dernier pour alimenter le bief n° 74. Ce remontage s'opère à chaque écluse au moyen d'une pompe centrifuge, actionnée par un moteur électrique, qui aspire dans le bief d'aval et refoule dans celui d'amont.

Une usine génératrice établie sur la Saône aux abords du barrage de Chaugey, à 2 kilomètres en aval de l'embouchure du canal, envoie à des usines réceptrices, placées aux écluses et distantes les unes des autres de 2^{k},400 et 2^{k},700, un courant triphasé de 1,800 à 2,000, volts. Ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courant est transporté par des fils placés le long de la rivière et du canal, et des transformateurs, installés à proxi-

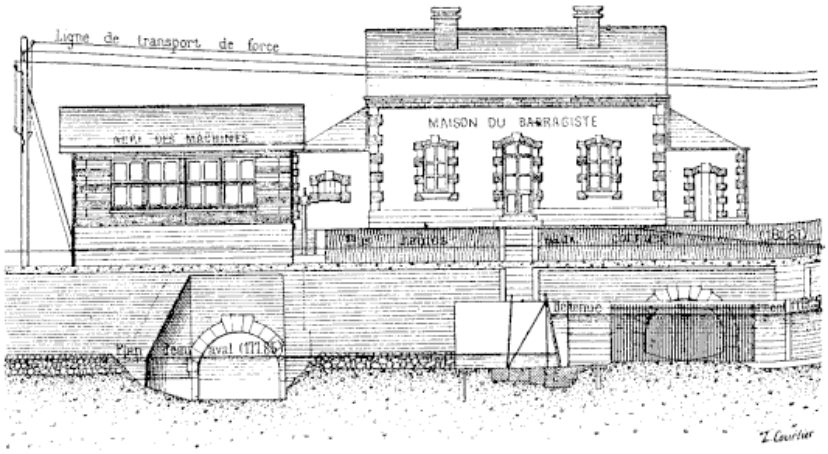


Fig. 19. — Station du barrage de Saint-Jean-de-Losne.

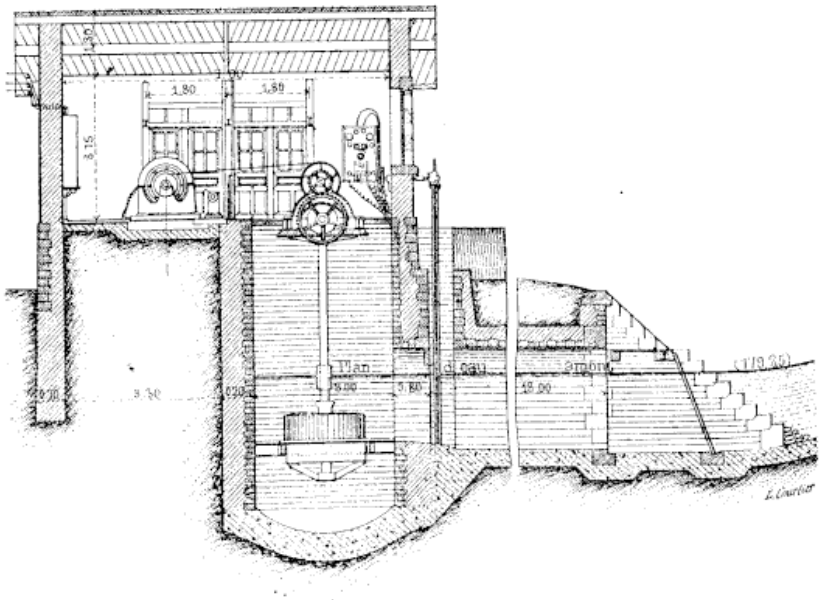


Fig. 20. — Coupe suivant l'axe de l'aqueduc d'amenée et élévation des machines.

mité des trois écluses, en abaissent la tension à 110 volts pour l'envoyer ensuite dans les moteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'usine de captation de force comprend essentiellement une turbine et une dynamo génératrice avec son excitatrice, que la turbine commande l'une et l'autre.

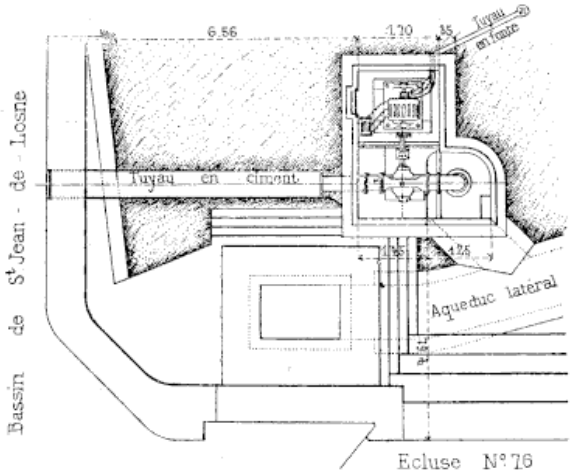


Fig. 21. — Plan des maçonneries et des machines.

La turbine est à écoulement centripète, du type Hercule, à axe vertical reposant en bas sur une crapaudine en bois dur supportée elle-même par un levier avec tige de rappel. Cette turbine, dont la vitesse correspondant à la meilleure marche de l'appareil a été reconnue être de 45 tours par minute, met en mouvement, au moyen d'engrenages, un arbre horizontal muni d'une poulie qui actionne la courroie de commande de la dynamo génératrice. Elle n'est pas réglée par un régulateur, et, quand les appareils ont été mis en marche à une vitesse donnée, on peut les abandonner à eux-mêmes; ils continuent à fonctionner à une vitesse toujours égale.

Cependant, pour prévenir tout accident, la turbine est enveloppée d'une vanne cylindrique qui reste constamment

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

levée et qui, lorsque la vitesse dépasse une limite déterminée par expérience, tombe automatiquement à fond au moyen d'un dispositif spécial et arrête la turbine.

La vanne est équilibrée en partie par des contrepoids, de façon à ne pas descendre trop brutalement sur son siège.

L'excitatrice est une petite machine Thury, à deux pôles et quatre bobines d'électros, enroulées en dérivation. Son induit est du genre Siemens. A vitesse normale, à 1,800 tours, elle produit du courant à 110 volts. Elle est commandée par une courroie menée par la poulie de la dynamo génératrice.

Cette génératrice est une machine triphasée du type Ganz, à bobinages fixes et partie mobile entièrement dépourvue d'enroulement. Elle produit une tension composée de 2,000 volts, sous une vitesse de 625 tours donnant 42 alternances par seconde, avec une excitation de 10 ampères sous 110 volts environ, le débit des circuits triphasés étant de 7 à 8 ampères. En réalité, elle marche à raison de 38 alternances seulement et 1,800 volts. C'est l'allure qui a été reconnue la plus avantageuse.

La salle des machines est coupée en deux parties par une barrière. Dans la partie où l'on accède par la porte d'entrée, se trouvent les transmissions et le tableau de l'excitatrice dont les fils ne sont parcourus que par du courant à 110 volts.

Au delà de cette barrière se trouvent la génératrice triphasée, son tableau et les fils transportant le courant à 2,000 volts, c'est-à-dire toutes les parties dont le contact est dangereux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sauf quelques passages particuliers, la ligne est aérienne.

Elle consiste, pour la ligne à haut voltage, en trois fils de bronze chromeux de 3 millimètres de diamètre, portés par des isolateurs en porcelaine à double cloche. Ces isolateurs sont fixés sur des poteaux injectés analogues à ceux qu'emploie l'Administration des télégraphes.

Ces trois fils forment les arêtes d'un prisme triangulaire équilatéral, de manière à diminuer l'induction sur les fils télégraphiques voisins.

Les lignes à bas voltage sont construites en fils de bronze identique; mais chaque phase reçoit un nombre de fils approprié au courant à conduire.

Ce bronze a une conductibilité de 98 p. 100 environ; la résistance au kilomètre de fil est de $2^{\omega},3$.

La ligne primaire est réunie aux lignes secondaires par des postes de transformateurs qui abaissent le voltage dans le rapport de 18 à 1.

Chaque poste consiste en une guérite triangulaire en menuiserie, dont trois poteaux d'angle forment la carcasse. La ligne primaire arrive par un de ces poteaux, la ligne secondaire par un autre. La transformation se fait par trois transformateurs monophasés. Les couplages, tant pour le primaire que pour le secondaire, sont faits en triangle.

Les enveloppes en tôle de ces transformateurs reposent sur une plaque de tôle formant embase, qui est reliée avec une tige s'enfonçant profondément dans le sol. Il ne peut y avoir ainsi aucun danger à les toucher.

Chaque usine réceptrice est commandée par un tableau scellé au mur dans la maison éclusière voisine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce tableau comprend un interrupteur tripolaire et un ampère-mètre fixé sur une des phases.

Un volt-mètre portatif permet de mesurer la tension en marche et de s'assurer que le fonctionnement est normal.

Chacune des usines réceptrices se compose d'une chambre maçonnée, creusée au-dessous du terre-plein de l'écluse, et cette chambre est partagée en deux par une cloison en tôle. D'un côté se trouve le moteur électrique, de l'autre la pompe centrifuge, l'un et l'autre montés sur le même axe.

Les trois moteurs ne sont pas du même type. Le plus petit est un moteur à induit en cage d'écureuil, toujours fermé sur lui-même; dans les deux plus gros, au contraire, l'induit est bobiné en fils de cuivre relativement fins, dont les enroulements se ferment par l'intermédiaire d'un rhéostat liquide. Le petit moteur reçoit le courant extérieur dans son bobinage fixe; au contraire, dans les gros moteurs, le courant arrive dans la partie mobile au moyen de trois bagues, fixées sur l'arbre.

Voici les éléments des divers moteurs :

Moteur de 14 chevaux :

Volts, 100; ampères, 80; tours-minute, 450; pôles, 10; enroulement inducteur, 10 bobines en parallèle; enroulement induit, 2 circuits.

Moteur de 6 chevaux :

Volts, 100; ampères, 40; tours, 500; pôles, 10; enroulement inducteur, 2 groupes de 5 bobines en parallèle; enroulement induit, 2 circuits.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moteur de 3 chevaux :

Volts, 100; ampères, 20; tours, 800; pôles, 6; enroulement inducteur, 2 groupes en série de 3 bobines en parallèle; enroulement induit en cage d'écureuil.

Les essais ont donné, sous charge normale, des rendements de 81 p. 100, 77 p. 100 et 74 p. 100.

Les pompes centrifuges sont du type ordinaire, avec tuyau d'aspiration et tuyau de refoulement placés à la partie inférieure. Elles sont posées à une altitude telle, que l'eau du bief d'amont les remplisse constamment, de manière qu'elles ne puissent pas se désamorcer.

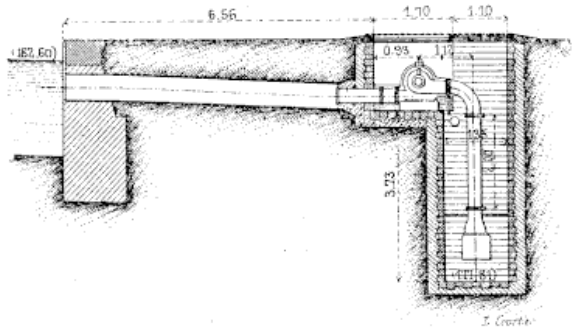


Fig 22. — Coupe longitudinale et élévation de la pompe.

Le tuyau d'aspiration, terminé par un pot à clapet et une crépine, descend dans un puisard en communication avec l'aqueduc latéral à l'écluse, qui, au canal de Bourgogne, sert à la vidange du sas et communique constamment avec le bief aval.

Le tuyau de refoulement est prolongé par un gros tuyau en ciment qui se termine dans le musoir de l'écluse. On y a préparé une feuillure où l'on peut placer une vanne, au cas où l'on désire isoler la pompe du bief d'amont.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A l'écluse 76, on remonte ainsi par jour 15,000 mètres cubes sous $3^{m},70$ de chute;

A l'écluse 75, 6,000 mètres cubes sous $2^{m},60$, et à l'écluse 74, 3,000 mètres cubes sous $2^{m},60$.

Le mètre cube d'eau ainsi envoyé au canal ressort à moins du dixième du prix analogue de l'eau provenant des réservoirs.

La réalisation de l'installation de Saint-Jean-de-Losne a été faite par soumissions en 1897. Elle a commencé à fonctionner en mai 1898.

M. Chary, entrepreneur d'entretien du canal, a été chargé des terrassements et maçonneries.

La turbine provient de la maison Laurent frères et Collot, à Dijon.

Les pompes centrifuges ont été fournies par MM. Wauquier et fils, de Lille.

Le bronze nu de la ligne de transport provient de la maison Mouchel, de Boisthorel par Aube (Orne), et les câbles à grand isolement sous plomb de la Compagnie India Rubber, de Persan-Beaumont (Seine-et-Oise).

Enfin les machines électriques et les tableaux de distribution ont été soumissionnés par M. Lombard-Gerin, de Lyon, et exécutés au Creusot.

La dépense s'est élevée en totalité à $79,770^{f},34$, se décomposant comme il suit :

1° Terrassements et maçonneries.....	$16,226^{f},34$
2° Turbine.....	10,900 ,33
3° Pompes.....	3,387 ,00
4° Fils conducteurs.....	2,414 ,34
A reporter.....	$32,928^{f},01$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Report.....	32,928f,01
5° Machines électriques.....	19,977,00
6° Dépenses en régie.....	26,865,33
Total égal.....	79,770,34

Le projet a été dressé et les travaux dirigés par M. Fontaine, ingénieur en chef, et M. Galliot, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. le conducteur principal Dureux, chargé de la direction des chantiers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XV

PONT-LEVANT DE LARREY, À DIJON,

SUR LE CANAL DE BOURGOGNE.

Un cadre de dessins.

Le pont-levant de Larrey, construit en 1890, dans la traversée de Dijon, a été établi d'après le principe suivant :

Un tablier mobile est équilibré au moyen d'un compresseur hydraulique mis en communication par une conduite hydraulique en pression avec des pistons fixés à chacun des angles de ce tablier. Lorsque le compresseur reçoit une surcharge convenable, le tablier du pont s'élève, et lorsque l'on enlève cette surcharge, le tablier reprend sa position primitive sur ses appuis.

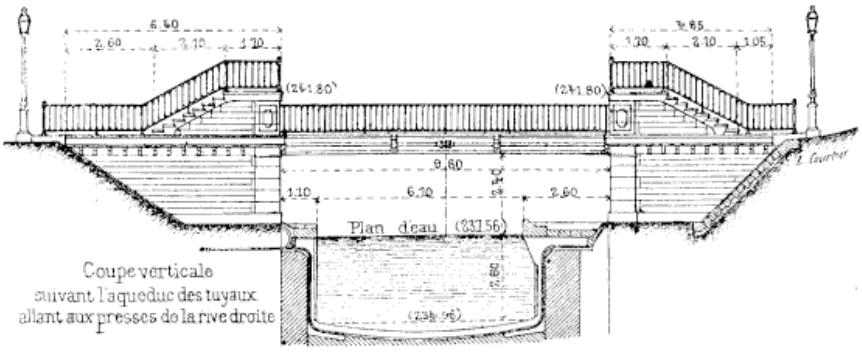


Fig. 23. — Élévation du pont-levant de Larrey.

Le tablier métallique a une largeur de 6m,10 entre garde-corps, dont 4m,50 pour la double voie charretière et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

$0^m,80$ pour chacun des trottoirs. Sa longueur est, entre les extrémités de la voie charretière, de $11^m,52$, et entre celles des trottoirs, de $13^m,20$.

Le platelage est, sur la chaussée comme sur les trottoirs, en câble d'aloès de $0^m,04$ d'épaisseur. Quand le tablier est sur ses appuis, la hauteur libre au-dessus du plan d'eau normal est de $2^m,40$; quand il est relevé, elle atteint $3^m,70$.

Le tablier repose à ses quatre angles, par l'intermédiaire de boîtes de levage en acier coulé, sur des pistons de presses hydrauliques de 120 millimètres de diamètre en acier forgé, dont la course est de $1^m,30$, c'est-à-dire de la hauteur dont s'élève le pont. Ces presses sont mises en communication, par un orifice situé à leur base, respectivement avec quatre tuyaux de 30 millimètres de diamètre intérieur qui se réunissent dans un appareil spécial nommé distributeur.

Pour maintenir l'horizontalité du tablier pendant son ascension, on l'a muni, sur chacune des faces amont et aval et parallèlement au parement intérieur de chaque culée, de quatre arbres de commande, portant à leurs deux bouts des pignons qui engrènent avec huit crémaillères fixées sur des plaques de fonte scellées à la maçonnerie des pilastres d'angle.

Pour le cas très improbable où l'on ne pourrait se servir des organes hydrauliques à un moment donné, on a ajouté un appareil de levage à bras, formé de quatre vis semblables, analogues à celles d'un pressoir et disposées aux angles du tablier. Les barres de manœuvre ont une longueur utile de $2^m,50$ et sont actionnées chacune par deux hommes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

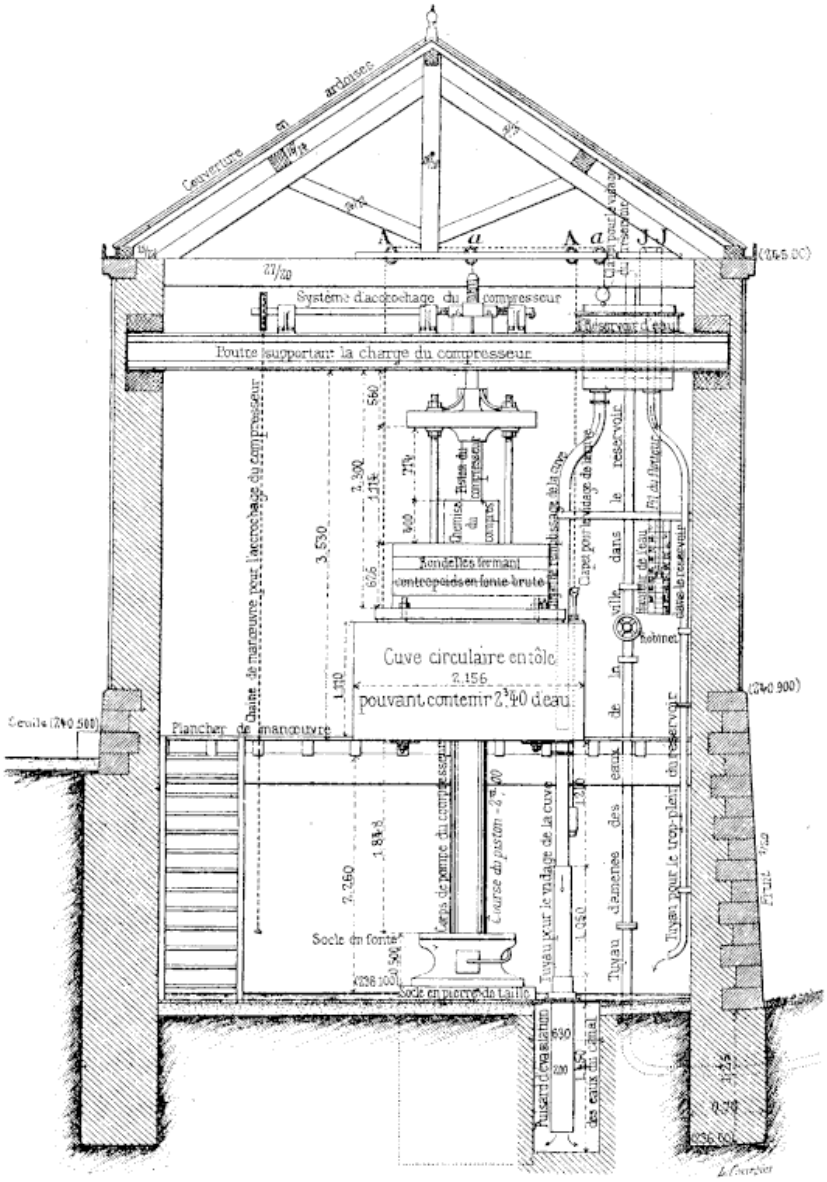


Fig. 34 — Coupe verticale du bâtiment-abri.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le compresseur, établi dans la maison-abri voisine du pont, se compose :

1° D'un corps de pompe et de son piston;

2° D'une surcharge mobile permanente supportée par le piston et formée d'une couronne et de rondelles en fonte;

3° D'une surcharge accidentelle, représentée par un volume d'eau que l'on envoie dans une cuve supportée également par le piston et dont le poids, joint à celui de la surcharge permanente, suffit pour enlever le tablier au haut de sa course.

Le poids mobile permanent et le poids d'eau accidentel introduit dans la cuve du compresseur reposent entièrement sur la tête du piston, quand celui-ci n'est pas accroché au moyen d'un dispositif spécial permettant de supprimer la pression dans la conduite hydraulique en dehors du temps de la manœuvre.

L'ensemble de ces dispositions constitue une véritable balance hydraulique dont les plateaux sont, d'une part, le tablier et, de l'autre, le compresseur. C'est sur ce deuxième plateau que l'on agit pour produire l'oscillation nécessaire, en ajoutant ou en retranchant le poids qui devient à peu près constant quand le réglage de la balance est terminé.

Pour mettre le compresseur en service, c'est-à-dire pour élever le piston et sa surcharge à hauteur de course, on se sert d'une petite pompe hydraulique, à simple piston, manœuvrée par un seul homme à l'aide d'un balancier.

Une autre pompe plus importante, à double piston, a été installée sur la même bâche d'alimentation que la précédente, pour suppléer le compresseur au cas où il devrait subir des réparations. Cette pompe, qui peut être manœu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vrée par huit hommes, doit aussi servir si, par suite de réparation d'une conduite, il est nécessaire de faire la manœuvre du pont au moyen de trois presses seulement; elle permet également de remonter le compresseur sur la hauteur de sa course plus rapidement qu'avec la petite pompe, lorsqu'il s'agit de le remettre en service.

Les eaux provenant du compresseur ou de la pompe hydraulique sont reçues au moyen de tuyaux de 40 millimètres par le distributeur, qui les envoie dans les quatre conduites des presses par l'intermédiaire de clapets qui s'opposent à leur retour en arrière, de façon que le pont se maintient à la hauteur à laquelle il s'est élevé.

Les organes hydrauliques, comprenant le compresseur, le distributeur, les pompes hydrauliques et différentes installations accessoires, sont logés dans une maison placée à l'amont du pont et de l'intérieur de laquelle on peut facilement apercevoir les abords du pont. Cette maison est habitée par le pontier chargé de la manœuvre et de l'entretien des appareils.

Pendant l'hiver et pour éviter la gelée, l'eau envoyée dans les presses est additionnée de glycérine dans la proportion de 40 de glycérine pour 100 d'eau.

Le pont fonctionne depuis le mois de septembre 1890, sans aucun accident et sans difficulté d'aucun genre.

Les manœuvres sont rapides : le mouvement de lever ou d'abaissement ne dure pas vingt secondes, et l'interruption de la circulation des voitures ne dépasse pas d'une minute le temps nécessaire au passage du bateau sous le pont.

Quant à la circulation des piétons pendant ce temps, elle est assurée par quatre escaliers placés aux angles, qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

permettent d'accéder aux trottoirs du pont lorsqu'il est levé.

La quantité d'eau consommée pour une manœuvre est de 1,200 kilogrammes.

Les dépenses se sont élevées à 67,876f,51, savoir :

1° Pont et ses abords, y compris terrassements, maçonneries, chaussées et tablier métallique dont le montant est de 6,268f,90	32,052f,94
2° Bâtiment du compresseur	6,579,76
3° Mécanisme	22,311,75
4° Dépenses en régie	6,932,06
TOTAL ÉGAL	67,876,51

Le projet a été dressé et exécuté par M. GALLIOT, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. FONTAINE, ingénieur en chef, avec le concours de MM. DUREUX et JULIEN, conducteurs.

La machinerie a été fournie par MM. LAURENT frères et COLLOT.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVI

CANAL DE MONTBÉLIARD À LA HAUTE-SAÔNE.

DESCRIPTION D'ENSEMBLE. — SOUTERRAINS.
ÉCLUSE DE QUATRE MÈTRES DE CHUTE. — RÉSERVOIR DU BAN.

Un modèle. — Un panneau de dessins.

I. — Historique.

A la suite d'un rapport de M. Maurel, ingénieur en chef du canal du Rhône au Rhin, en date du 15 juin 1871, M. le Ministre des travaux publics, par décision du 9 décembre suivant, a prescrit les études d'une voie navigable partant des abords de Montbéliard et destinée à relier le canal du Rhône au Rhin avec la ligne navigable projetée alors entre Port-sur-Saône et le canal de la Marne au Rhin, exécutée depuis et constituant le canal de l'Est.

C'est en vertu de cette décision que le canal de Montbéliard à la haute Saône a été étudié. L'avant-projet élaboré par MM. Maire, ingénieur en chef, et Jundt, ingénieur ordinaire, a été approuvé par décision ministérielle du 21 juillet 1877, et les travaux ont été déclarés d'utilité publique par la loi du 8 avril 1879.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le nouveau canal complétera le réseau de voies navigables établi sur le sol français et reliant la Suisse et l'Est de la France avec nos ports de l'Océan et de la Manche.

II. — Description.

Tracé. — La longueur du canal sera de 83 kilomètres.

Il aura son origine au canal du Rhône au Rhin, en aval de Fesches-le-Chatel, franchira la rivière l'Allan, remontera la vallée de la Savoureuse, puis celle de la Douce, passera près de Belfort, traversera les vallées de la Luzine et du Rahin, le bassin houiller de Ronchamp, la vallée de l'Oignon, suivra la vallée de la Lanterne jusqu'à Abelcourt, puis une vallée secondaire depuis cette localité jusqu'à Conflans, pour reprendre la vallée de la Lanterne dans laquelle il longera le chemin de fer de Gray à Nancy et aboutira à la Saône, à Conflandey, entre Port-d'Atelier et Port-sur-Saône.

Profil en long. — Le canal présentera deux versants: l'un se dirigeant vers l'Est, de Chalonvillars (Haute-Saône) au canal du Rhône au Rhin (Doubs), sur une longueur de 18 kilomètres en nombre rond, en traversant le territoire de Belfort, et l'autre, vers l'Ouest, du Ban de Champagney à la Saône, sur une longueur de 55 kilomètres.

Le bief de partage, entre les deux versants, aura une longueur de 10 kilomètres et sera à cheval sur les deux bassins du Doubs et de la Saône.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La cote du plan d'eau du bief de partage sera de	$374^{m},75$
Celle du canal du Rhône au Rhin, au point de jonction, de	325 ,47
La différence de niveau à racheter par les écluses sera de	$49^{m},28$

La cote du plan d'eau du bief de partage étant, comme ci-dessus, de	$374^{m},75$
Celle de l'étiage de la Saône, au point de jonction, de	210 ,27
La différence de niveau à racheter sera de	$164^{m},48$

Alimentation. — Les deux versants du canal seront alimentés par un réservoir dit « du Ban », qui emmagasinera les eaux de la rivière le Rahin prises à Plancher-Bas, amenées au réservoir par une rigole de $3^{km},500$ de longueur et conduites dans le bief de partage par une rigole de $2^{km},500$ aboutissant au port de Frahier. L'alimentation, en cas de besoin, sera complétée par des prises d'eau établies dans les cours d'eau rencontrés par le canal. Le réservoir du Ban occupera une superficie de 106 hectares et pourra contenir 13 millions de mètres cubes d'eau.

La crête du barrage de prise d'eau dans le Rahin, pour le remplissage du réservoir, sera à la cote...	$415^{m},80$
La rigole débouchera dans le réservoir au niveau de la retenue normale, qui sera à la cote....	411 ,85
On disposera donc pour l'écoulement des eaux d'une pente totale de.....	$3^{m},95$

(Soit en moyenne un peu plus de 1 millimètre par mètre.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le centre des tuyaux de la prise inférieure des eaux du réservoir sera à la cote de 383 mètres.

La pente générale de la rigole d'alimentation du réservoir au canal sera de 1 millimètre par mètre.

Les rigoles pourront débiter 10 mètres cubes d'eau par seconde.

Profils en travers. — Le profil normal du canal sera celui qui a été appliqué au canal de l'Est et prescrit pour celui de Montbéliard à la haute Saône par décision ministérielle du 21 juillet 1877.

Le canal sera à double voie, sauf la plus grande partie du bief de partage et les ponts, qui seront à simple voie. Le mouillage est fixé à 2 mètres pour recevoir des bateaux s'enfonçant de $1^{m},80$. Dans les parties à double voie, la largeur sera de 10 mètres au niveau du plafond théorique supposé à 2 mètres en contre-bas de la retenue, et le plafond réel sera à $2^{m},25$ au-dessous du plan d'eau normal. Dans les parties à simple voie, la largeur au fond sera de $4^{m},50$ et le plafond sera à $2^{m},75$ en contre-bas du plan d'eau. Les talus intérieurs de la cuvette, en dehors des tranchées muraillées, seront inclinés à 3 de base pour 2 de hauteur. Les sas des écluses auront $38^{m},50$ de longueur entre la corde de l'arc du mur de chute et l'origine de l'enclave des portes d'aval, et $5^{m},20$ de largeur. Le seuil du radier précédant l'enclave des portes d'amont sera à $2^{m},75$ au-dessous du plan d'eau, c'est-à-dire à $0^{m},50$ plus bas que le plafond général du bief, afin qu'on puisse le vider facilement. Le busc d'aval sera à $2^{m},50$ au-dessous du plan d'eau.

On s'assurera les moyens de vider complètement les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

parties approfondies des biefs au moyen de cunettes de vidange partant des points bas du plafond et aboutissant à des orifices placés en contre-bas et débouchant dans les vallées.

Sous les ponts sur canal, la hauteur libre au-dessus du plan d'eau réglementaire sera de $3^{m},70$; on adoptera pour ces ponts la disposition suivante :

La banquette de halage aura $3^{m},50$, et celle de contre-halage $1^{m},50$ de largeur; la passe aura une largeur de 7 mètres, dont 5 mètres pris à partir de l'axe du canal du côté de la banquette de halage et 2 mètres pris à partir de cet axe du côté de la banquette de contre-halage. Cette disposition du chenal par rapport à l'axe du canal présentera l'avantage de rendre bien plus facile le croisement des bateaux quand la rencontre se fera près du pont même, puisque le bateau sortant du chenal n'occupera pas le milieu du canal et dès lors n'exigera pas que les bateaux le croisant soient arrêtés à au moins 40 mètres de distance du pont.

Principaux ouvrages d'art. — On peut citer parmi les ouvrages d'art importants du canal :

Un pont-canal sur l'Allan,
Un pont-canal sur la Savoureuse,
Le souterrain de la Forêt,
Le souterrain du Chérimont,
Un pont-canal sur l'Oignon,
Le mur formant digue du réservoir du Ban,
Le souterrain du Noirmouchot pour la rigole de remplissage de ce réservoir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les deux souterrains et le mur font partie des travaux en cours d'exécution dont il est question ci-après.

Estimation de la dépense. — La dépense d'établissement du canal est estimée, suivant l'avant-projet, à la somme de 22 millions de francs.

III. — Travaux en cours d'exécution.

Afin d'utiliser, de la manière la plus profitable au pays, les ressources que l'Administration peut consacrer chaque année à l'établissement du canal et qui ne suffiraient pas pour entreprendre les travaux sur toute la longueur à la fois, on a été conduit à scinder les travaux en deux sections, savoir :

1re section : Du canal du Rhône au Rhin à Ronchamp, mur du réservoir du Ban, rigole de remplissage de ce réservoir et rigole d'alimentation du réservoir au canal.

2e section : De Ronchamp à la Saône.

La première est celle qu'il convient de livrer à l'exploitation le plus tôt possible, afin de fournir un débouché au trafic important des houillères de Ronchamp. La seconde ne sera à entreprendre que lorsque ce premier résultat aura été atteint.

Dans cet ordre d'idées, un projet d'exécution a été approuvé par décision ministérielle en date du 27 janvier 1882 ; la dépense prévue au détail estimatif est de 14 millions de francs, dont 1,753,611 francs de somme à valoir.

Il comprend le bief de partage en entier, deux écluses

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du versant Est et deux du versant Ouest, le mur du réservoir du Ban et la rigole d'alimentation, du réservoir au canal.

A la suite du décès de l'entrepreneur de ce lot, un projet d'achèvement des travaux a été approuvé par décision ministérielle du 13 juillet 1897. Une modification a été introduite au projet primitif : il a été décidé qu'une écluse de 4 mètres de chute terminerait le bief de partage vers l'Ouest et remplacerait dans le lot les deux écluses de $3^{m},25$ de chute qui y avaient été prévues. Les écluses suivantes seront également ramenées à une chute uniforme de 4 mètres.

Bief de partage. — Le bief de partage a son origine à l'amont du ruisseau la Douce, affluent de la Savoureuse (bassin du Doubs), traverse la partie nord de la vallée de la Luzine et aboutit dans le ruisseau d'Éboulet, affluent du Rahin (bassin de la Saône).

Comme il a été dit plus haut, sa longueur est en nombre rond de 10 kilomètres.

Les terrains traversés appartiennent tous à l'étage géologique du grès rouge; leur consistance varie depuis la terre sablonneuse et meuble jusqu'au grès le plus dur.

Les accidents principaux du sol sont :

Le faîte à franchir pour passer du bassin de la Savoureuse dans celui de la Luzine; il donne lieu à un souterrain de 648 mètres de longueur dit de la Forêt;

Le thalweg de la Luzine qui, sur une longueur de 100 mètres, présente une profondeur de 14 mètres sous le plafond de la cuvette du canal; il est franchi au moyen d'un remblai ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le faîte à franchir pour passer du bassin de la Luzine dans celui du Rahin; il nécessite un souterrain de 1,330 mètres de longueur dit « du Chérimont ».

Il est ménagé dans la longueur du bief de partage cinq bassins, dont quatre sont situés à l'entrée et à la sortie des tranchées précédant et suivant les deux tunnels. Un port est établi à Frahier.

Souterrains. — Les souterrains sont percés dans le grès rouge de consistance dure, mais se délitant à l'air, c'est pourquoi on a été obligé de les revêtir d'une maçonnerie; cependant, au souterrain de Chérimont, la nature

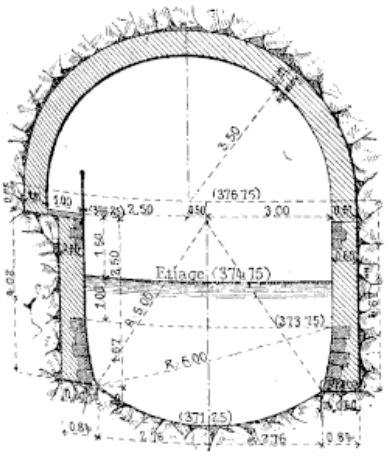


Fig. 25.
Coupe en travers
du souterrain de Chérimont.

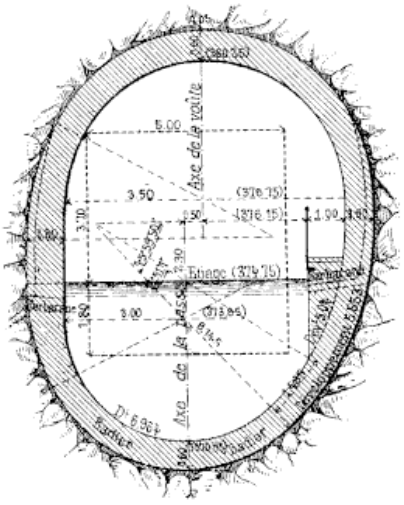


Fig. 26.
Coupe en travers
du souterrain de la Forêt.

du rocher étant plus résistante qu'au souterrain de la Forêt, on a pu se dispenser de revêtir de maçonnerie le fond de la cuvette. A raison de la consistance du rocher

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans lequel sont creusés ces souterrains, on a été conduit à leur donner les formes indiquées par les coupes en travers, fig. 25 et 26.

Au souterrain de la Forêt, on a ménagé trois puits d'aérage, de 2 mètres de diamètre intérieur, dont le plus profond a 38 mètres de hauteur.

Au souterrain de Chérimont, il existe six puits de même diamètre et dont le plus profond a 66 mètres de hauteur.

Écluse de 4 mètres de chute. — Une écluse de 4 mètres de chute est construite à l'extrémité Ouest du bief de partage. Comme elle est adossée d'un côté contre un coteau rocheux, on a été conduit, par raison d'économie, à ne pratiquer qu'un seul aqueduc de remplissage et de vidange du sas, sur ce côté; aux extrémités amont et aval seront établies des vannes cylindriques, et l'aqueduc communiquera avec le sas au moyen d'aqueducs transversaux dont les radiers sont au niveau du fond du sas. Une digue étanche en terre choisie est construite au droit de la tête amont de l'écluse et à travers le vallon pour fermer le bassin situé à l'amont de l'écluse.

Des dessins du type des écluses de 4 mètres de chute qui seront construites, avec des aqueducs latéraux, sont produits sur une feuille distincte; ils indiquent les dispositions qui sont adoptées pour celle construite, sauf la modification consistant dans l'établissement d'un seul aqueduc latéral au lieu de deux.

Mur du réservoir du Ban et prises d'eau dans ce réservoir. — Le mur en maçonnerie formant digue

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du réservoir du Ban a 800 mètres de longueur et une hauteur de 32m,85, depuis le point le plus bas de la vallée jus-

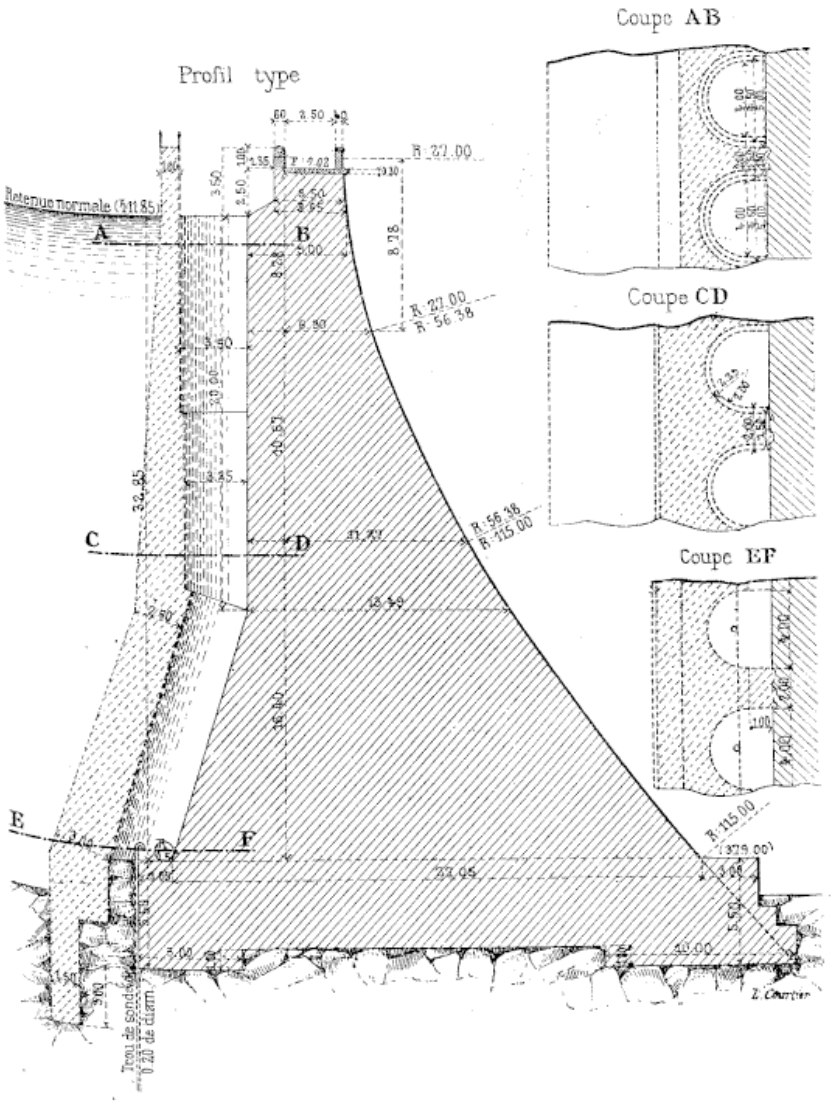


Fig. 27. — Profil type. Mur du réservoir du Ban.

qu'au niveau de la retenue normale qui sera à la cote 411m,85. Sa plus grande épaisseur à la base est de 27m,05;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les fondations forment saillie de $4^{m},95$ à l'aval et de $1^{m},65$ à l'amont.

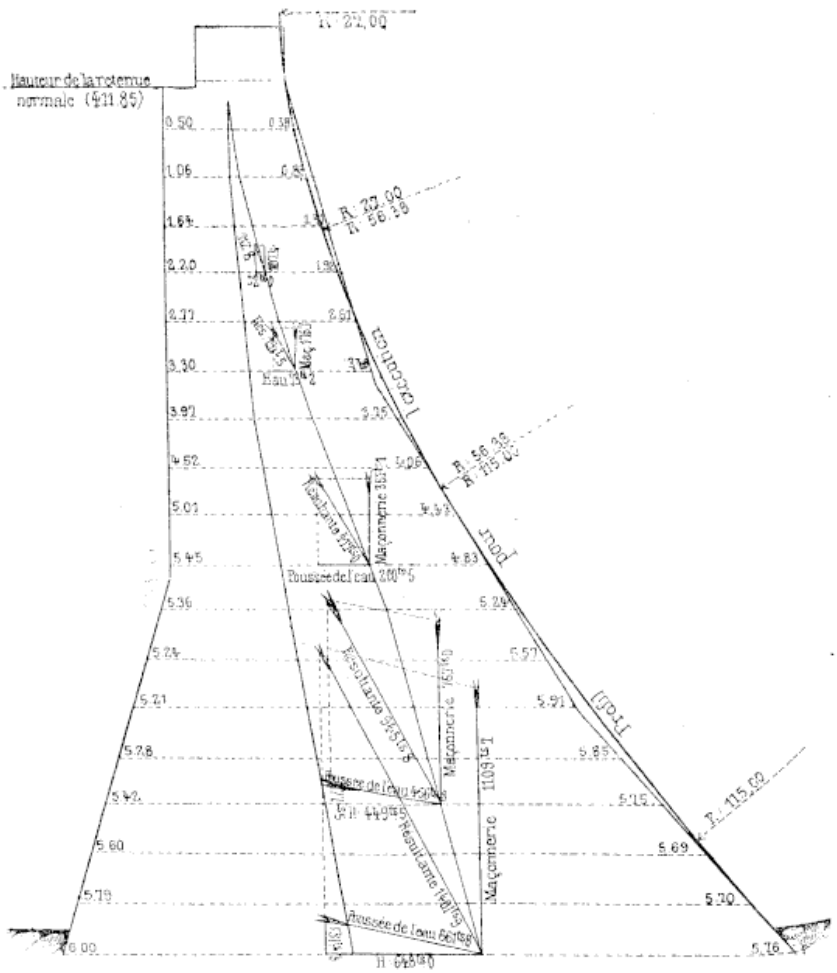


Fig. 28. — Épure de stabilité du mur du réservoir.

Son profil a été établi d'après les méthodes de calculs employées par M. Delocre pour le barrage du Furens. Pour calculer les pressions auxquelles sera soumise la maçonnerie, le profil a été décomposé par tranches horizontales

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et le maximum de pression a été limité sur les arêtes à 6 kilogrammes par centimètre carré.

L'épure de stabilité du mur et le profil qui en a été déduit sont reproduits à la figure 28.

La forme du mur en plan se compose d'arcs de cercle et d'une ligne droite. Les arcs de cercle sont convexes vers l'amont, de manière à faire voûte sous la pression.

Le sol à l'emplacement du mur appartient à l'étage géologique du grès rouge. Les fondations sont assises sur une couche de marne compacte; leur profondeur au-dessous du sol varie de 5 à 11 mètres, et la plus grande hauteur du mur se trouvera être de $35^{m},35$ entre le dessus des fondations et la plate-forme de couronnement; la plus grande hauteur, y compris les fondations, est de $40^{m},85$.

Le mur est traversé à la base de la partie où il atteint à sa plus grande hauteur par un aqueduc de vidange fermé par une vanne. Elle ne sera manœuvrée que pour évacuer les vases du fond du réservoir.

Les prises d'eau d'alimentation ont été écartées de cette partie du mur et reportées sur un côté. Dans cet endroit, un vallon latéral profond et la faible largeur à la base du coteau qui le sépare du réservoir permettent d'accéder à la partie inférieure de ce dernier par un souterrain de $128^{m},50$ de longueur, dont le dessus est à 7 mètres en contre-bas du dessous de la fondation du mur.

Le seuil de la prise inférieure effectuée au moyen de ce souterrain est à la cote $382^{m},70$, au-dessous de laquelle il ne restera plus dans le réservoir qu'un cube de 60,000 mètres d'eau.

La section du souterrain de prise d'eau est circulaire et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a $2^{m},45$ de diamètre. Deux tuyaux de fonte de $0^{m},60$ de diamètre sont noyés dans un massif de maçonnerie remplissant le souterrain sur $23^{m},68$ de longueur du côté du réservoir. Immédiatement après, seront placées les vannes, auxquelles permettra d'accéder un puits vertical de $1^{m},60$ de diamètre, dans lequel passeront les tiges de manœuvre. A l'aval de la chambre des vannes, les tuyaux sont de nouveau emprisonnés dans de la maçonnerie et se recourbent pour aboutir à la chambre de sortie. Le souterrain présente encore à la suite une longueur de 95 mètres dans laquelle l'eau prendra son libre écoulement.

Afin de faciliter les manœuvres et de ménager les organes de la prise inférieure, il est établi une seconde prise à la cote $397^{m},50$ (centre de l'orifice).

Cet orifice, muni d'une vanne de garde, fera accéder l'eau dans un second puits demi-circulaire de $2^{m},40$ de diamètre.

Deux pertuis débouchant dans ce puits et également munis de vannes permettront d'introduire l'eau dans un aqueduc qui traverse le mur au niveau du sol naturel et débouche dans une rigole à ciel ouvert, laquelle aboutit, après une série de cascades, dans un bassin où elle rejoint la rigole de sortie de la prise inférieure.

Les puits des prises inférieure et supérieure sont établis dans un même massif de maçonnerie accolé au mur du réservoir vers l'intérieur de celui-ci.

Cet ensemble d'ouvrages est complété par un déversoir de superficie placé à l'extrémité du mur (même côté que la tourelle des prises d'eau), près de son enracinement dans le coteau. Ce déversoir, dont la crête est arasée au niveau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la retenue normale, présente un débouché linéaire de 12 mètres et débitera 10 mètres cubes par seconde avec une charge de $0^m,50$. Ce débit est une limite que ne pourra dépasser la rigole de remplissage; d'un autre côté, le bassin versant propre au réservoir est insignifiant, de sorte que la revanche de $0^m,50$ dans le niveau du réservoir ne sera jamais dépassée.

Les eaux provenant du déversoir tomberont dans un bassin d'où part une rigole qui, après une série de cascades, rejoint, dans un autre bassin, celle de la prise supérieure, cette dernière rejoignant elle-même celle de la prise inférieure; toutes les eaux provenant des vannes de prise et du déversoir se trouveront ainsi rassemblées dans une même rigole qui les conduira au bief de partage.

Le profil du mur portera une retraite de $1^m,35$ au niveau de la retenue normale. La plate-forme de couronnement, qui aura $3^m,50$ de largeur, s'élèvera à $2^m,50$ au-dessus de ce niveau. Elle sera gardée du côté du réservoir par un parapet en maçonnerie de $0^m,60$ d'épaisseur et de 1 mètre de hauteur, et du côté extérieur par un deuxième parapet de $0^m,40$ d'épaisseur et de 1 mètre de hauteur. La hauteur de $3^m,50$ ménagée entre le plan d'eau normal et le dessus du parapet intérieur a pour but de garantir le couronnement du mur contre les vagues du réservoir. La largeur de $2^m,50$ réservée entre parapets permettra le passage d'une voiture.

Le mur est construit en maçonnerie ordinaire non assisée. Afin de prévenir des glissements horizontaux partiels dans la maçonnerie, on a établi, par rangées distantes de 2 mètres et en quinconce, de fortes pierres debout ayant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au moins $0^{m},80$ de hauteur, de façon que celles d'une assise soient à peu près au milieu de l'intervalle de celles de l'assise inférieure et se découpent avec elles de $0^{m},25$ au moins.

Le corps de l'ouvrage est construit avec des moellons de calcaire oolithique des carrières d'Essert. Le parement amont est en moellons épincés de grès rouge métamorphique des carrières de Giromagny, maçonnés à joints de hasard. Le parement aval est en moellons épincés de grès bigarré de Luxeuil, maçonnés par assises horizontales dont les joints sont normaux aux courbes de ce parement. Les moellons smillés et la pierre de taille ne sont employés que pour les ouvrages de prise d'eau et le couronnement. Les parements des ouvrages de prise d'eau sont en moellons smillés de calcaire dur de Courchaton (Haute-Saône). Le mortier, composé de chaux du Teil de Pavin de Lafarge et de sable lavé siliceux de la vallée du Rahin, est dosé à 350 kilogrammes de chaux pour $0^{mc},95$ de sable.

Les dispositions du mur du réservoir et une coupe de la partie haute sont indiquées par les dessins exposés.

Écran contre le parement amont du mur. — On projette l'établissement d'un écran aussi étanche que possible contre le parement amont, afin d'éviter les infiltrations de l'eau à travers les maçonneries de l'ouvrage, et par suite toute diminution de sa résistance à la charge du volume d'eau contenu dans le réservoir.

L'écran, dont les coupes AB, CD, EF, fig. 27, indiquent les dispositions, serait formé de puits demi-cylindriques qui présenteraient le grand avantage qu'on pourrait se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rendre compte à volonté de l'état du parement amont du mur.

Un aqueduc longitudinal reliant les puits serait ménagé au niveau du dessus des fondations du mur pour l'écoulement des eaux qui pourraient pénétrer dans ces puits. De plus, des trous de sonde pratiqués dans chaque puits, en avant des fondations du mur, et descendant en contre-bas des fondations, formeraient appel des eaux qui pourraient produire des sous-pressions.

Le cube journalier à fournir au bief de partage et à ses versants pendant la période des sécheresses a été évalué à 80,000 mètres cubes en nombre rond. Pour prévenir tout mécompte, les orifices de chaque prise d'eau, supérieure et inférieure, ont été établis en vue d'un cube journalier de 200,000 mètres cubes.

Ce débit pourra être encore atteint par les vannes de la prise supérieure lorsqu'il n'y aura plus que $0^m,80$ de pression sur leur centre de gravité. A ce moment, celle sur les vannes inférieures se trouvera réduite à $15^m,20$; lorsqu'elle se sera abaissée à $3^m,18$ au-dessus du centre de gravité des orifices inférieurs, ces vannes pourront encore débiter 200,000 mètres cubes par jour, et il ne restera plus dans le fond du réservoir qu'un volume de 178,000 mètres cubes.

Lorsque les eaux auront baissé jusqu'à la cote $391^m,85$, elles découvriront le sommet d'un contrefort en maçonnerie aménagé pour recevoir un cric mobile destiné à la manœuvre de la vanne de vidange, dont la tige sera guidée par le parement vertical du contrefort. Les eaux s'écouleront par un petit ruisseau qui occupe le fond de la vallée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Rigole de remplissage. — Un souterrain de 165 mètres de longueur a été construit pour donner accès à la rigole d'amenée des eaux du Rahin dans le réservoir du Ban.

Situation actuelle des travaux. — Dans la partie entreprise du canal et de la rigole d'alimentation, du réservoir au canal, les terrassements à ciel ouvert sont pour ainsi dire terminés; les ouvrages d'art : ponts, ponceaux, siphons, aqueducs, sont achevés; la moitié des murailements des tranchées est faite; il reste peu de travaux à exécuter pour terminer les maisons et magasins, deux maisons et un magasin sont complètement achevés; les trois écluses sont construites, il ne reste à exécuter que des travaux de parachèvement.

Le souterrain de la Forêt est terminé sur 48 mètres de longueur, les terrassements et les maçonneries du radier seulement restent à effectuer sur 600 mètres de longueur.

Au souterrain du Chérimont, il reste à effectuer les maçonneries des pieds-droits sur environ 2 mètres de hauteur moyenne.

Le mur du réservoir du Ban est construit jusqu'à la cote moyenne de $409^{m},75$. Il reste à effectuer environ 17,000 mètres cubes de maçonnerie sur un cube total de 195,000 mètres que comportent le mur et les prises d'eau qui y sont établies. Les maçonneries des ouvrages de prise d'eau, du déversoir, du souterrain de la prise inférieure et les cascades des rigoles de la prise supérieure et du déversoir sont exécutées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le souterrain de la rigole de remplissage est achevé, sauf le radier.

Moyens d'exécution. — Pour exécuter des travaux d'une importance aussi considérable, l'entrepreneur a établi, en sus des voies étroites, environ 25 kilomètres de chemin de fer à voie normale, à l'effet de transporter sur les divers chantiers, directement depuis les carrières, les moellons d'Essert et le sable de la vallée du Rahin, et, au moyen d'un embranchement, les autres matériaux de construction amenés par la Compagnie des chemins de fer de l'Est. Il disposait pour les transports de 8 locomotives, de 100 wagons plates-formes de voie normale et de 200 wagons de terrassement et divers. A la suite de son décès, l'État a été obligé de reprendre presque tout son matériel qui sert aujourd'hui à l'achèvement des travaux par le nouvel entrepreneur.

Terrains. — A la suite de projets de tracés et de terrassements approuvés, il a été acquis, pour l'assiette du canal dans le Doubs, 22 hectares et, dans le Haut-Rhin, 50 hectares de terrains. La somme payée pour ces acquisitions dans la Haute-Saône est de 623,000 francs en nombre rond.

IV. — Personnel.

Les projets d'exécution et ceux de tracé et de terrassements dont il est fait mention ci-dessus ont été produits par MM. Jundt, ingénieur en chef, et Harlé, ingénieur ordinaire, et les travaux exécutés sous la direction de M. Jundt,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jusqu'au 12 juin 1890, date de sa mise à la retraite, et de M. Harlé, jusqu'au 1er novembre 1886, date de son départ du service. Depuis, les travaux ont été dirigés par M. Bouvaist, ingénieur en chef, et par M. Mercelat, conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire, remplacé, à partir de sa mise à la retraite, le 31 octobre 1894, par M. Bourquin, également conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire.

Le projet d'achèvement des travaux du bief de partage de la rigole d'alimentation et du mur du réservoir a été produit par MM. Bouvaist et Bourquin.

Ont collaboré à ces projets et à ces travaux : MM. les conducteurs Pernot, Mathey, Vasselet, Lamboley, Joerger et Roulland. Ces trois derniers sont encore aujourd'hui attachés à la conduite et à la surveillance de ces travaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVII

CANAL DE LA MARNE À LA SAÔNE.

ÉCLUSES-TYPES DES VERSANTS SAÔNE ET MARNE.
PONT-CANAL DE CONDES. — SOUTERRAIN DE CONDES.
SOUTERRAIN DE BALESMES.
RÉSERVOIR DE LA LIEZ. — RÉSERVOIR DE LA MOUCHE.

Un panneau de dessins.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Le canal de la Marne à la Saône [1] doit combler une lacune importante du réseau des voies navigables françaises en reliant par un tracé direct la région du Nord (Dunkerque, Lille, Reims) aux vallées de la Saône et du Rhône (Gray, Chalon-sur-Saône, Lyon, Marseille). Bien que les premières études de ce canal remontent à 1839, son établissement n'a été déclaré d'utilité publique que par une loi du 3 avril 1879.

Le canal de la Marne à la Saône se soude à Rouvroy (près de Donjeux) avec le canal de la Haute-Marne qu'il prolonge vers le Sud. Il remonte la vallée de la Marne, en

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1899. 4e trimestre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

franchissant cinq fois cette rivière par des ponts-canaux, passe au pied des villes de Chaumont et de Langres, et franchit le plateau de Langres par un souterrain de 4,820 mètres de longueur dit « de Balesmes ou du bief de partage ». Cette première partie entièrement achevée se termine à peu de distance de la tête Sud du souterrain au village de Heuilley-Cotton. De là, le canal, par huit écluses très rapprochées de $5^{m},125$ de chute, rachetant sur moins de 3 kilomètres de longueur une hauteur de 41 mètres, descendra dans la vallée de la Vingeanne qu'il suit jusqu'à la Saône, où il se termine dans la dérivation de Heuilley-sur-Saône.

Sa longueur totale sera de $151^{k},766^{m}$. Ce canal est partout à deux voies de bateaux, sauf dans le souterrain du bief de partage et dans les tranchées aux abords sur $7^{k},330^{m}$, où il est à voie unique avec 8 mètres de largeur minima et où un service de touage sera établi. Son mouillage est de $2^{m},20$, sauf dans les parties les plus anciennement construites, où il n'est que de $2^{m},10$. Sa largeur est de 16 mètres au niveau de flottaison et de 10 mètres à 2 mètres au-dessous de ce niveau, avec élargissement dans les courbes. Les chemins de halage et de contre-halage ont 5 mètres de largeur; l'un d'eux seulement est empierré. Les ponts fixes isolés sont à deux voies de bateaux. Les écluses seront au nombre de 83, dont 40 sur le versant Marne, ayant $3^{m},04$ à $3^{m},90$ de chute, rachetant ensemble une hauteur de $141^{m},25$ et 43 dans le versant Saône, dont 8 de $5^{m},125$ et 35 de $2^{m},90$ à $3^{m},50$ de chute, rachetant une hauteur de $155^{m},40$.

L'alimentation sera assurée par des prises d'eau dans la Marne et dans la Vingeanne et par quatre grands réservoirs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tous situés aux abords de Langres, d'une capacité ensemble de 44,227,000 mètres cubes.

Au 1er janvier 1899, le canal est construit sur 119k,278m, savoir : 89k,114m de Rouvroy à Heuilley-Cotton et 30k,164m de Pouilly-sur-Vingeanne à la Saône. Il est en construction sur 8k,966m de Courchamp à Pouilly et en lacune sur 23k,522m de Heuilley-Cotton à Courchamp. Deux des quatre grands réservoirs d'alimentation, ceux de Lecey ou de la Liez et de Saint-Ciergues ou de la Mouche, d'une contenance ensemble de 24,750,000 mètres cubes, sont construits et mis en service. Le canal est ouvert à la navigation sur 111 kilomètres entre Rouvroy et Heuilley-Cotton et entre Licey-sur-Vingeanne et la Saône. Les dépenses faites s'élèvent à 62,400,000 francs, celles restant à faire à 22,600,000 francs.

Le canal de la Marne à la Saône sera surtout un canal de transit, dont le trafic ne deviendra important qu'après son complet achèvement. A ce moment, cinq canaux aboutiront sur la Saône. En assimilant chaque écluse au parcours d'un kilomètre, les distances de Lyon à Paris et au Havre seront sensiblement les mêmes par les trois canaux du Centre, de Bourgogne et de la Marne à la Saône, tandis que les distances entre la vallée de la Saône et la région du Nord seront, par le canal de la Marne à la Saône, plus courtes de 274 kilomètres que par le canal de l'Est, de 263 kilomètres que par le canal de Bourgogne et de 223 kilomètres que par le canal du Centre. Un transit important s'établira entre la région du Nord et la vallée de la Saône. Notamment, les houilles du Nord pénétreront jusqu'à la partie septentrionale du département de Saône-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et-Loire et approvisionneront entièrement les départements de la Côte-d'Or et du Doubs ainsi que les arrondissements de Gray et de Dôle, au grand profit de cette région qui paye fort cher aujourd'hui les combustibles minéraux. Les produits de l'industrie métallurgique et les pierres des carrières de la Haute-Marne pourront aussi se rendre en notable partie dans la vallée de la Saône. Leur importance est loin d'être minime, puisque ces produits et ces pierres entrent pour 52 p. 100 dans les transports effectués par le canal de la Haute-Marne, canal encore en impasse dont le trafic a progressé de 53 p. 100 depuis 1892 et a atteint en 1897 un tonnage brut de 772,719 tonnes et un tonnage ramené à la distance entière de 354,684 tonnes, c'est-à-dire un tonnage supérieur de plus de moitié à ceux du canal de Bourgogne et de la Saône en amont de Saint-Jean-de-Losne.

L'abaissement considérable du prix des combustibles minéraux dans la vallée de la Saône et, comme conséquence, la possibilité d'un développement industriel de cette région, une grande extension donnée à l'industrie houillère du Nord et à l'industrie métallurgique haut-marnaise, un nouveau débouché ouvert aux pierres à bâtir de la Haute-Marne et de la Meuse et aux produits forestiers de la Haute-Marne et de la Côte-d'Or, tels sont les principaux résultats à attendre de l'ouverture du canal de la Marne à la Saône.

Les dépenses de premier établissement de ce canal, y compris les frais généraux et l'entretien jusqu'à achèvement complet, atteindront 85 millions de francs, dont 68,213,000 francs pour le canal proprement dit et 16,787,000 francs pour les réservoirs et rigoles d'alimentation. Le coût du kilomètre de canal ressortira ainsi à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

371,177 francs à ciel ouvert, et à 2,688,066 francs en souterrain, soit, pour l'ensemble, à 449,462 francs. Le mètre cube d'eau emmagasinée chaque année dans les réservoirs reviendra au maximum à $0^{f},739$ dans le réservoir de la Mouche, au minimum à $0^{f},207$ dans celui de la Liez, et en moyenne à $0^{f},380$. Le prix de revient kilométrique général, alimentation comprise, sera de 560,073 francs.

L'avant-projet du canal de la Marne à la Saône a été étudié par M. Dureteste, ingénieur en chef, MM. Cuvinot et Krafft, ingénieurs ordinaires. Les projets définitifs ont été préparés et les travaux exécutés par MM. Carlier, Lestelle et Cadart, ingénieurs en chef; Lagout, Gilbin, Tur, Mongin, Collot, Moissenet, Cadart, Jacquinot, Tavernier, Trouvelot et Galliot, ingénieurs ordinaires.

Les plus remarquables des nombreux ouvrages d'art construits à ce jour sur le canal de la Marne à la Saône sont décrits succinctement ci-dessous.

ÉCLUSE-TYPE DU VERSANT DE LA MARNE.

La disposition caractéristique de l'écluse du versant de la Marne, c'est que le mur de chute est évidé; il est formé par une voûte surbaissée jetée entre les bajoyers et laissant au-dessous d'elle une vaste chambre remplie d'eau. C'est dans cette chambre que viennent déboucher, l'un en face de l'autre, les aqueducs de remplissage issus de la chambre des portes d'amont. Les remous formés par la rencontre des deux courants se produisent ainsi en dehors du sas où se trouve le bateau.

Les aqueducs de vidange sont horizontaux; ils prennent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

naissance dans la chambre des portes d'aval, contournent les chardonnets et débouchent, l'un en face de l'autre, dans la chambre de fuite. Les têtes amont des aqueducs de remplissage et de vidange sont fermées par des vannes à jalousies en fer glissant sur des cadres dormants d'une seule pièce de fonte. Ces vannes sont manœuvrées par des bornes-crics.

La longueur utile du sas entre la corde du mur de chute et l'origine de l'enclave des portes d'aval est de 38^{m},50; la longueur des chambres des portes est de 6^{m},28; le mouillage minimum sur les buscs est de 2^{m},50; le radier du sas est une voûte renversée de 0^{m},25 de flèche.

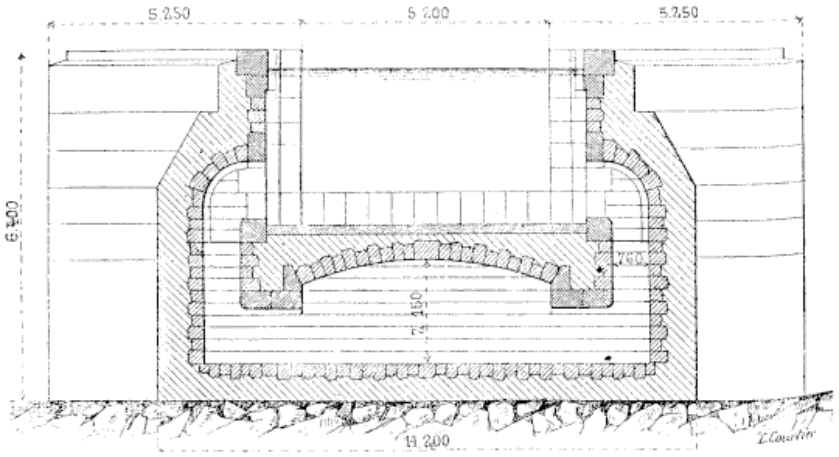


Fig. 29. — Écluse de 3^{m},50 de chute avec pont sur la tête aval.

Il existe généralement sur la tête aval un pont métallique à une seule voie charretière de 4 mètres de largeur entre garde-corps. Des escaliers de 0^{m},90 de largeur sont accolés aux murs en retour curvilignes d'aval.

Les portes busquées à deux vantaux sont entièrement en fer galvanisé. Le bordage, de 0^{m},005 d'épaisseur dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les portes d'amont et de $0^{m},006$ d'épaisseur dans celles d'aval, est rivé sur la face amont de bâtis en fer I profilés formés d'un cadre, d'un montant central et d'une seule entretoise intermédiaire dans les vantaux d'amont, de plusieurs entretoises intermédiaires équidistantes dans ceux d'aval (5 pour la chute de $3^{m},50$). Les portes d'amont sont généralement manœuvrées au moyen de béquilles en fer. Celles d'aval sont mises en mouvement par une crémaillère circulaire fixée à la partie supérieure du cadre et manœuvrée par un cric.

ÉCLUSE-TYPE DU VERSANT SAÔNE.

La nouvelle écluse-type à vannes cylindriques du versant Saône est disposée, en ce qui concerne les moyens de remplissage et de vidange du sas, comme les écluses récemment construites sur le canal du Centre. Des aqueducs longitudinaux ovoïdes sont ménagés à l'intérieur des bajoyers; ils communiquent avec le sas par de nombreux larrons circulaires débouchant au-dessous du fond des bateaux. Ils prennent leur origine à l'amont dans les puits inférieurs des vannes cylindriques de remplissage et se terminent à l'aval dans les chambres supérieures des vannes cylindriques de vidange. Les vannes cylindriques ont $1^{m},20$ de diamètre aux écluses de 3 mètres et de $3^{m},50$ de chute; $1^{m},50$ de diamètre aux écluses de $5^{m},125$ de chute. Les vannes d'amont sont logées dans des chambres voûtées latérales à la chambre des portes d'amont et séparées de celle-ci par des grilles. Les chambres des vannes d'aval s'élèvent jusqu'au terre-plein et sont couvertes par des tôles striées. Des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aqueducs à section circulaire présentant la forme de tores prennent leur origine dans les puits inférieurs des vannes d'aval, contournent les chardonnets et débouchent dans la chambre de fuite.

Pour permettre au besoin, en temps de chômage, la vidange du sas au-dessous du niveau des margelles des puits des vannes d'aval, un aqueduc circulaire de $0^{m},50$, fermé d'ordinaire par une vannette levante, fait communiquer la chambre des portes d'aval avec l'un de ces puits. Enfin, pour permettre d'achever cette vidange, un tuyau de $0^{m},30$ en mortier de ciment, ordinairement tamponné, part du radier du sas et aboutit à un fossé latéral, lorsqu'il existe aux abords un fossé situé en contre-bas de ce radier.

Les portes sont identiques à celles du versant de la Marne, sauf qu'elles sont en acier galvanisé au lieu d'être en fer galvanisé.

La vallée de la Vingeanne, que suit le versant Saône du canal, étant perméable, toutes les eaux d'alimentation, qui proviennent en été de réservoirs voisins du bief de partage, doivent être transmises par le canal. Aussi les écluses sont-elles pourvues d'appareils de transmission des eaux d'alimentation à la fois d'un réglage précis et d'une grande puissance de débit. Ces appareils sont au nombre de deux par écluse : le déversoir circulaire et l'alimentateur automatique.

Le déversoir circulaire à niveau variable n'est autre qu'une vanne cylindrique renversée : une virole cylindrique à axe vertical, dont le bord supérieur forme déversoir, coulisse à l'intérieur d'un cylindre fixe couronnant une tour en maçonnerie élevée dans le bief amont, dans l'angle du mur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en retour de l'écluse et du talus perreyé du bief. De la base de cette tour part un tuyau en ciment de 1 mètre de diamètre, qui passe sous le terre-plein de l'écluse et va déboucher dans le bief aval, à 50 mètres au delà de la tête aval de l'écluse, par quatre orifices de $0^{m},50$ de diamètre obliques à 45 degrés sur l'axe du canal. La virole, manœuvrée par un cric, peut s'effacer dans le cylindre fixe ou s'élever au-dessus de lui de hauteurs variables, suivant l'épaisseur de la lame déversante que l'on se propose d'obtenir. Ce déversoir présente un grand développement, tout en n'occupant qu'un petit espace. Il permet d'éviter la surélévation du bief amont.

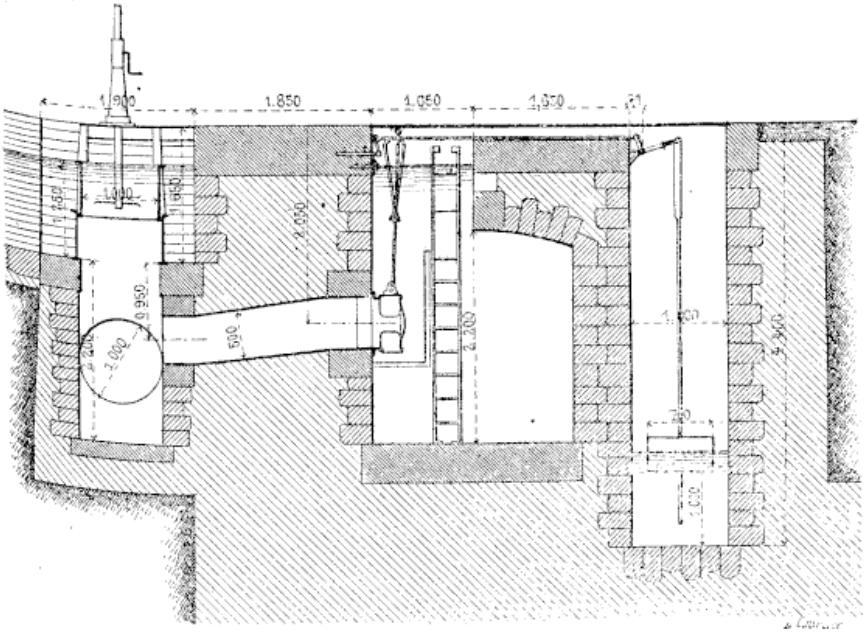


Fig. 30. — Alimentateur automatique.

L'alimentateur automatique est, au contraire, commandé par le niveau du bief aval, dont il empêche tout abaissement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

exagéré. Il a été inventé par M. Galliot, aujourd'hui ingénieur en chef, et appliqué par lui à diverses écluses du canal de Bourgogne. Le type du canal de la Marne à la Saône n'en diffère que par quelques perfectionnements de détail. Une couronne mobile suspendue, à axe horizontal, emboîte sans frottement un manchon fixe dont l'about est fermé et dont les parois cylindriques sont percées de larges ouvertures que la vanne peut démasquer ou obturer. Cet appareil est fixé sur la paroi amont d'une des chambres des vannes d'amont; le manchon fixe coiffe l'orifice d'un tuyau logé dans la maçonnerie du mur amont de la chambre et aboutissant dans la tour du déversoir circulaire, en sorte que, lorsque les orifices sont démasqués par la couronne mobile, l'eau de la chambre, en libre communication avec le bief amont, s'écoule vers le bief aval. Le mouvement de la couronne mobile est commandé, par l'intermédiaire de mouvements de sonnette, par un flotteur se mouvant dans un puits vertical en communication avec l'aqueduc de remplissage logé dans le bajoyer.

PONT-CANAL DE CONDES.

Le passage de Condes, que représente une des photographies exposées, offre, groupés sur un très faible parcours, des ouvrages d'art importants : une écluse, un souterrain, un pont-canal et un pont-levis.

Le pont-canal a 36 mètres d'ouverture libre en deux travées de 18 mètres séparées par une pile de $1^{m},50$.

La bâche métallique en fer galvanisé, de $39^{m},35$ de longueur, est fixée sur la pile centrale et s'appuie sur les culées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par l'intermédiaire de deux chariots de dilatation. Deux tronçons de bâche, de même section transversale et de $0^m,93$ de longueur, sont encastrés sur $0^m,785$ dans les culées et reliés par un joint de dilatation à la bâche principale.

La bâche a $6^m,20$ de largeur à l'intérieur des bordages et $2^m,30$ de mouillage. Elle est formée de deux grandes poutres latérales à âme pleine de 10 millimètres d'épaisseur formant bordage et à semelles de $0^m,30$ de largeur formées, dans la partie centrale, de cinq tables de 10 millimètres d'épaisseur, d'entretoises dont la semelle supérieure se raccorde à ses extrémités par un quart de cercle avec les poutres verticales et de six longerons formant avec les entretoises un quadrillage à mailles carrées d'un mètre de côté, supportant le bordage de fond.

Les chemins de halage, de $2^m,776$ de largeur, reposent sur des voûtelettes en briques jetées entre des entretoises assemblées à une de leurs extrémités, par l'intermédiaire de consoles, avec la partie supérieure des grandes poutres de la bâche et reposant à l'autre extrémité sur les semelles inférieures de poutres de rive en treillis de $1^m,30$ de hauteur formant garde-corps.

Des intervalles de $0^m,03$ sont ménagés entre les abouts de la grande bâche et ceux des tronçons fixés sur les culées. Ces intervalles sont obturés par des feuilles de caoutchouc formant joints étanches de $0^m,31$ de largeur et de $0^m,012$ d'épaisseur courant sur tout le périmètre des bâches. Ces feuilles sont pincées entre l'extérieur du bordage et deux cours de fers ⊔ fixés par des boulons pourvus de rondelles en caoutchouc. A l'intérieur, la feuille de caoutchouc, laissée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à nu sur la largeur du joint, est garantie contre les chocs par une sorte de boîte métallique renversée, boulonnée sur

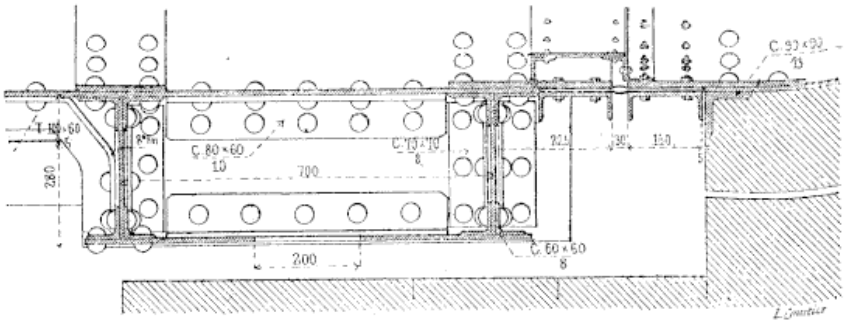


Fig. 31. — Pont-canal de Condes. Joint étanche.

le tronçon fixe et laissant libre la dilatation de la grande bâche. L'étanchéité absolue du joint a été ainsi réalisée.

Le pont-canal de Condes a été exécuté du 1er avril 1883 au 26 novembre 1886.

SOUTERRAIN DE CONDES.

Le souterrain de Condes, de 307m,75 seulement de longueur, est remarquable par sa grande largeur. Il est établi, en effet, pour deux voies de bateaux et deux chemins de halage. Son ouverture est de 16 mètres, dont 11 mètres pour la cuvette et 2m,50 pour chacun des chemins de halage.

L'intrados présente la forme d'une demi-ellipse dont le grand axe est au niveau des chemins de halage; le demi petit axe vertical mesure 5m,15. Les pieds-droits, de 2m,60 de hauteur, présentent un fruit de 0m,05 par mètre, qui réduit à 15m,74 la largeur au fond. Le radier, en forme de voûte renversée, a 0m,30 de flèche et 0m,50 d'épaisseur. La voûte mesure 1 mètre d'épaisseur à la clef et 1m50 aux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

naissances, sauf dans les sections extrêmes, contre les têtes, où cette dernière épaisseur est portée à $2^m,50$, celle des pieds-droits y atteignant $3^m,50$ à la base.

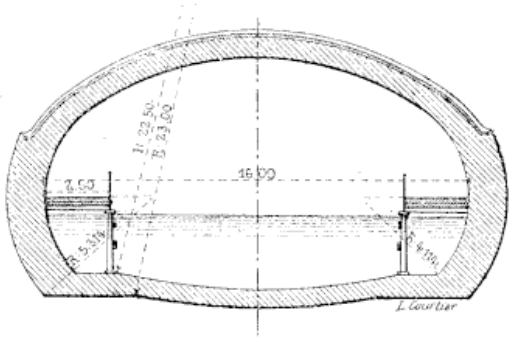


Fig. 32. — Coupe transversale du souterrain de Condes.

La voûte est recouverte d'une chape en mortier de ciment de $0^m,05$ d'épaisseur et d'un bourrage en pierres sèches de $0^m,29$ d'épaisseur. Les eaux, rassemblées dans les solins de la voûte, tombent dans le canal par des gargouilles en fonte traversant la maçonnerie.

Les chemins de halage sont en encorbellement, de manière à ne pas réduire la section mouillée. Ils consistent en voûtes en briques portées par une charpente métallique qui est formée d'entretoises scellées dans la maçonnerie à l'une de leurs extrémités et appuyées, à leur autre extrémité, sur une poutre longitudinale soutenue par des colonnes en fonte espacées de 7 mètres. Dans l'intervalle des colonnes, trois fers à ⊔ verticaux supportent deux cours de guide-bateaux horizontaux en bois de chêne.

Le souterrain a été ouvert dans le rocher fissuré et perméable du forest-marble par la méthode belge avec galerie d'avancement supérieure. La principale difficulté résultait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'énorme dimension de la calotte, segment d'ellipse de $17^{m},60$ de corde, $4^{m},35$ de flèche et 57 mètres carrés de section, et des pressions énormes que le ciel de cette calotte exerçait sur les boisages, notamment dans le voisinage des têtes où le terrain, formé d'éboulis rocheux, était particulièrement disloqué.

Les deux premières longrines sous les chapeaux de la galerie d'avancement étaient posées par l'atelier d'approfondissement de cette galerie. L'abatage latéral de calotte s'exécutait en deux étages, pour permettre la pose de toutes les longrines à hauteur d'homme. L'atelier d'abatage partiel posait les deux longrines intermédiaires sur potelets provisoires. Celui d'abatage en grand remplaçait ces potelets par les potelets définitifs et posait les deux dernières longrines extérieures. Dans les parties voisines des têtes, les fermes, espacées ailleurs de $1^{m},50$, ont dû être rapprochées à 1 mètre; le nombre des longrines a été doublé et les semelles des potelets ont dû être recouvertes de feuilles de tôle pour éviter la pénétration des bois.

L'avancement quotidien de la galerie a varié entre $0^{m},80$ et $1^{m},50$ et a été en moyenne de $0^{m},95$. La voûte a été exécutée par anneaux de 6 mètres de longueur. Les cintres, espacés de $1^{m},50$, étaient formés de bois courts, trapus, faciles à manier. Les maçons étaient au nombre de six, trois de chaque côté, le clavage étant fait après coup par un seul maçon. Chacun des anneaux comportait l'exécution de $102^{mc},2$ de maçonnerie et de $102^{mq},8$ de surface de chape et exigeait 10 à 12 jours.

Ce souterrain, exécuté du 1er avril 1883 au 1er janvier 1886, a coûté 964.273 francs, soit $3,133^{f},30$ par mètre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courant, dont 240f,05 pour les passerelles métalliques de halage et 1,221f,08 pour les déblais et boisages. Le cube moyen des déblais par mètre courant ayant été de 148 mètres cubes, le prix moyen du mètre cube de déblai, boisages compris, est revenu à 8f,245.

SOUTERRAIN DU BIEF DE PARTAGE OU DE BALESMES.

Description. — Le souterrain du bief de partage du canal de la Marne à la Saône a 4,820m,45 de longueur. C'est, après celui de Mauvages (4,877m), le plus long des souterrains situés entièrement en France. Son tracé est rectiligne. Le faîte du plateau de Langres s'élève à 119m,55 au-dessus du sommet de l'intrados. La Marne passe deux fois au-dessus du souterrain : une première fois, près de la tête Marne, à 4m,23 seulement au-dessus de la clef à l'intrados; une seconde fois, dans le village de Balesmes, à 14m,85 au-dessus de la clef. A la première traversée, la rivière est enfermée dans une bâche maçonnée. Le souterrain passe également sous le chœur de l'église de Balesmes.

Le relief du sol n'a permis d'ouvrir de puits que sur une longueur de 2k,250m à partir de la tête Marne. Les quatre puits forés dans cette partie mesurent respectivement 20m,20, 17m,61, 29m,10 et 42m,20 de hauteur au-dessus du sommet de l'intrados. Les deux premiers ont été comblés après la construction; les derniers ont été maçonnés et conservés pour l'aération.

Le souterrain traverse les marnes bleues du lias moyen sur 1,602 mètres à partir de la tête Marne, les nodules ferru-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gineux et les calcaires noduleux du même étage géologique sur les 1,218m,45 suivants, puis les calcaires blancs et micacés et les calcaires fossiles et de lumachelles sur 1,200 mètres; enfin, après avoir rencontré la puissante faille dite « de Chalindrey », il retombe, sur les 800 derniers mètres, dans les marnes bleues, qui sont toutefois, dans ce versant de la Saône, beaucoup moins dures et plus disloquées que du côté de la tête Marne.

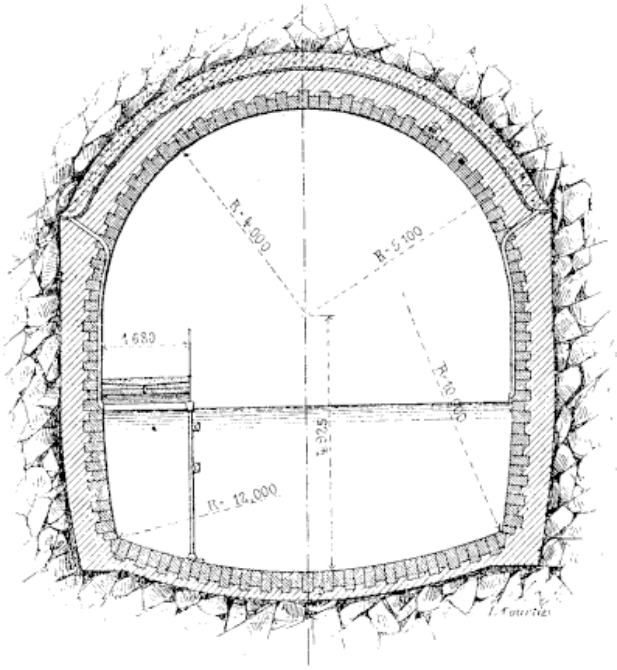


Fig. 33. — Souterrain du bief de partage. Profil avec chape.

La section transversale mesure 8 mètres de largeur et 8m,925 de hauteur sur l'axe. Le revêtement est complet. Il comprend une voûte en plein cintre, de 8 mètres d'ouverture et de 0m,80 d'épaisseur uniforme, dont les naissances sont à 1m,70 au-dessus du plan d'eau; deux pieds-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

droits de même épaisseur, incurvés suivant un rayon de 12 mètres dans la partie située au-dessous du plan, ce qui réduit la largeur au fond à $7^{m},473$, et un radier en voûte renversée de $0^{m},725$ de flèche et de $0^{m},50$ d'épaisseur.

Une passerelle métallique de halage de $1^{m},68$ de largeur existe d'un seul côté. Elle est supportée par des colonnes en fonte et pourvue de guide-bateaux et identique à celles du souterrain de Condes, sauf que sa largeur est moindre et que des joints de dilatation, espacés de 45 mètres, ont été ménagés au-dessus de certaines colonnes.

Le mouillage est ainsi de $3^{m},225$ sur l'axe et de $2^{m},50$ sur les côtés et la section mouillée, qui s'étend sous la passerelle, de $23^{mq},20$: soit plus de deux fois et demie la section immergée d'un bateau chargé au maximum d'enfoncement, qui n'est que de $1^{m},80 \times 5^{m} = 9$ mètres carrés.

Sur les $\frac{3}{5}$ environ de la longueur du souterrain, exactement sur $2,217^{m},60$ à partir de la tête Marne et sur $589^{m},46$ en deçà de la tête Saône, parties où les écoulements d'eau sont nombreux, la voûte a été recouverte d'une chape en mortier de ciment Portland de $0^{m},06$ d'épaisseur et d'un bourrage en pierres sèches de $0^{m},24$ d'épaisseur. Les eaux coulant sur la chape sont recueillies dans deux solins établis sur les reins de la voûte et évacuées dans le canal par des gargouilles en fonte. Dans le profil avec chape, le volume du déblai par mètre courant est de $88^{mc},57$, celui de la maçonnerie de $23^{mc},16$, celui de la chape et du bourrage de $3^{mc},51$. Dans le profil sans chape, le volume du déblai est de $84^{mc},49$ et celui de la maçonnerie de $22^{mc},59$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Par exception, l'épaisseur du radier a été réduite à un minimum de $0^m,30$ sur une longueur de $1840^m,45$, celle de la moitié inférieure des pieds-droits à un minimum de $0^m,40$ ou de $0^m,50$ sur une longueur de $976^m,05$ dans la partie moyenne sèche et creusée dans le rocher calcaire. Par contre, sur une longueur de 587 mètres voisine de la faille de Chalindrey, où les marnes sont disloquées, la partie inférieure des pieds-droits a été renforcée vers l'intérieur. Comme conséquence, la largeur de la passerelle de halage a dû être réduite de $1^m,68$ à $1^m,48$ sur les 825 derniers mètres précédant la tête Saône.

Le parement complet est en moellons smillés sur une centaine de mètres à partir de chaque tête. Au delà, la douelle de la voûte est seule exécutée en moellons smillés, les parements des pieds-droits et du radier étant en moellons simplement épincés. On a même essayé, sur deux longueurs mesurant ensemble $869^m,66$, de faire également la douelle de la voûte en moellons épincés, mais cet essai a été peu satisfaisant.

Sur une centaine de mètres à partir de chaque tête, toutes les maçonneries ont été faites au mortier de ciment Portland. Ailleurs, le mortier de ciment a été employé dans les parties où l'eau était abondante, ainsi qu'à la base des maçonneries qui devaient être ultérieurement reprises en sous-œuvre, sur une hauteur de $0^m,40$. Le surplus a été exécuté au mortier de chaux de Cruas. Les sables des mortiers ont été, au début, le sable dragué dans la Saône et le sable de laitier de Marnaval ; puis, pour la grande majorité des maçonneries, le sable provenant du broyage du calcaire à entroques du plateau de Langres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Procédés d'exécution. — Le souterrain fut exécuté par la méthode belge avec galerie d'avancement supérieure. La galerie exécutée à la main avait 8 mètres carrés de section. Celle exécutée à la perforatrice Ferroux à air comprimé, sur une longueur de 2,032^{m},25 commençant à 488^{m},20 de la tête Saône, n'avait que 5 mètres carrés de section. L'avancement quotidien moyen a été de 2^{m},22 pour l'attaque de la tête Saône (2^{m},56 dans la partie faite avec les perforatrices) et de 1^{m},65 pour celle de la tête Marne.

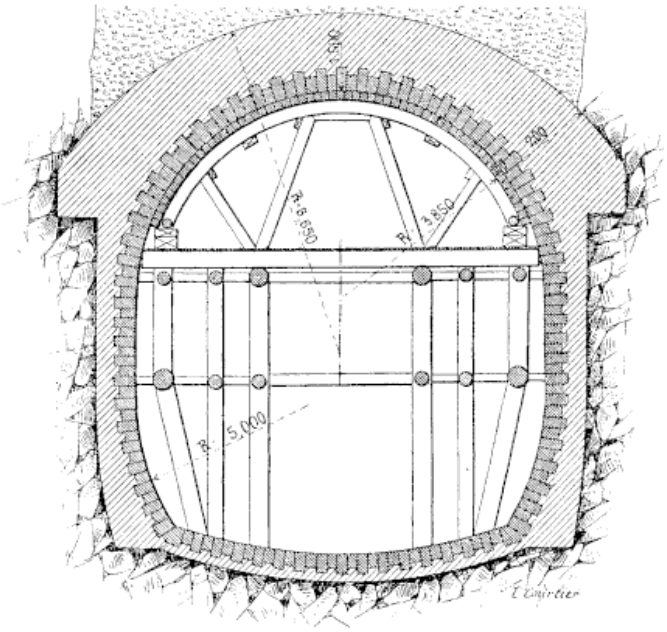


Fig. 34. — Souterrain du bief de partage. Boisages courants.

Les marnes du lias s'effritant très rapidement sous l'action de l'air, il était nécessaire que les ateliers d'approfondissement, d'abatage et de maçonnerie de la calotte suivissent de très près la galerie d'avancement. Le croquis fig. 34 représente les boisages aux diverses périodes des travaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A raison de la très grande hauteur des pieds-droits, les déblais de strosses ont été exécutés en deux étages successifs de $2^{m},90$ de hauteur chacun. Comme conséquence, les pieds-droits ont été exécutés par deux reprises successives des maçonneries en sous-œuvre. A la seconde reprise, lors de la construction de l'étage inférieur des pieds-droits, il fut nécessaire, en plusieurs points, de placer des entraits en travers du souterrain entre les pieds-droits de l'étage supérieur. Dans la partie voisine de la faille de Chalindrey, les marnes disloquées présentant des plans de glissement dangereux, on dut renoncer à faire les reprises en sous-œuvre par fouilles isolées de 6 mètres de longueur et procéder par cheminements continus en n'ouvrant la fouille que sur 4 mètres de longueur et en la maçonnant avant de continuer le déblai.

Les eaux assez abondantes ont gêné d'autant plus les travaux, qu'un souterrain de canal est nécessairement horizontal et qu'on ne dispose d'aucune pente pour les écouler. Le débit épuisé aux deux têtes variait, suivant les saisons, entre 15 à 22 litres par seconde à la tête Marne, 4 à 6 litres à la tête Saône.

Après le percement complet de la galerie, une importante installation fut établie par les entrepreneurs pour l'approche des matériaux. Le moellon et le sable de calcaire broyé provenaient d'une carrière située sur le faîte du plateau. Les wagons chargés dans cette carrière parvenaient sans rompre charge à pied d'œuvre dans le souterrain. Un plan incliné automatique à 3 rails avec évitement au milieu réunissait la carrière au grand puits de $42^{m},20$ de hauteur au-dessus du sommet de l'intrados,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans lequel était installé un puissant monte-charge à vapeur à deux plateaux portant des amorces de voie.

Éboulement du 11 mai 1884. — Lors de l'exécution de l'étage inférieur des strosses, on laissait, en avant des bases de l'étage supérieur des pieds-droits, des banquettes de 0^m90 de largeur en couronne et d'un fruit total de $0^m,60$, qu'on ne déblayait ensuite que par petites longueurs au fur et à mesure de la reprise des pieds-droits en sous-œuvre. Les marnes éminemment effritables comprises entre la faille de Chalindrey et la tête Saône, qui n'avaient donné lieu à aucun accident lors de la première reprise en sous-œuvre parce que, à l'époque de son exécution, la galerie d'avancement n'était pas encore entièrement percée, s'altérèrent, au contraire, rapidement lorsqu'un courant d'air traversa le souterrain après la jonction des galeries. Des glissements nombreux se produisirent. Le 24 avril 1884, la banquette de gauche glissa sur 35 mètres de longueur, découvrant un plan de glissement onctueux incliné à 45 degrés vers l'intérieur du souterrain et recouvert d'une poussière glissante impalpable provenant de l'effritement de la marne. L'étage supérieur du pied-droit demeuré en l'air sur 35 mètres ne tomba pas cependant, tant les mortiers étaient bons et tant les maçonneries étaient bien liaisonnées avec le terrain. Mais, le 11 mai suivant, le même phénomène se reproduisit dans la banquette de droite. Cette fois, le glissement avait $42^m,80$ de longueur. Le pied-droit supérieur de droite suivit le mouvement, et la voûte s'effondra sur le sol sur une longueur de $42^m,80$ à droite et 22 mètres à gauche, le pied-droit supérieur de gauche res-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tant seul en place. Cet effondrement fut suivi de la chute d'un volume considérable de déblais provenant d'une immense excavation de 4 à 5 mètres de hauteur qui se creusa au ciel. La réparation de cet accident dura 4 mois, en

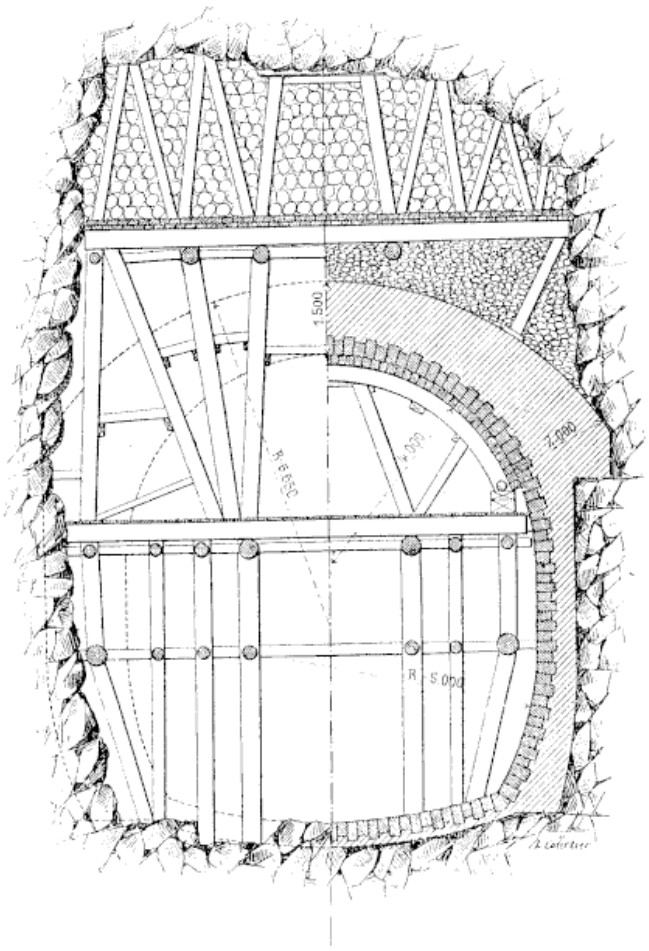


Fig. 35. — Souterrain du bief de partage. Coupe de l'éboulement.

travaillant jour et nuit à la lumière électrique et coûta 348,335 francs. On construisit en deçà et au delà de l'éboulement deux murs longitudinaux de $1^{m},25$ d'épais-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

seur, distants de $2^{m},75$, dont les parois externes butaient les banquettes et empêchaient l'éboulement de se propager. On mit la voûte sur cintres aux abords en posant les cintres sur ces murs provisoires. On intercepta le courant d'air au moyen d'écrans en charpente percés de portes qu'on n'ouvrait que pendant le temps strictement nécessaire au passage des ouvriers et des trains. Puis, de proche en proche, et en partant simultanément des deux extrémités, on déblaya la partie supérieure des éboulis et on plaça de forts entraits transversaux, encastrés par un bout dans le pied-droit de gauche, par l'autre dans la roche en place, sur lesquels on édifia deux étages de boisages disposés comme l'indique le croquis fig. 35, ces deux étages étant séparés par un double plancher sur lequel on bourra à refus des fagots, et l'étage supérieur s'élevant jusqu'au ciel de l'éboulement. Ensuite on déblaya en fouille blindée la partie inférieure des éboulis, en commençant par un corridor central, en ne déblayant latéralement que par petits compartiments blindés et en complétant au fur et à mesure le boisage au-dessous des grands entraits. On fit par petits compartiments la fouille des pieds-droits en maçonnant ceux-ci au mortier de ciment au fur et à mesure du déblai. Puis, les grands entraits reposant solidement sur les pieds-droits maçonnés, on démonta ferme par ferme les boisages en éventail au-dessus des entraits pour les remplacer par les fermes des cintres de la voûte, on maçonna la voûte au mortier de ciment en lui donnant $1^{m},50$ d'épaisseur à la clef et 2 mètres au joint de rupture, on buta sur elle le double plancher et on garnit d'un bourrage en pierres tout le vide restant entre ce plancher et l'extrados.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses. — Le souterrain, exécuté du 1er septembre 1879 au 30 novembre 1885, a coûté 12,003,141f,44. Le prix par mètre courant ressort, tout compris, à 2,490f,05 et, si on en défalque les têtes, les puits et la réparation de l'éboulement, à 2,403f,42, dont 95f,15 pour la passerelle métallique de halage. Le prix de revient moyen du mètre cube de déblai a été de 16f,42.

Le projet a été dressé par M. Carlier, ingénieur en chef, et M. Cadart, ingénieur ordinaire. Les travaux ont été exécutés sous la direction des mêmes ingénieurs et de MM. Clerc, Brenner, Gagnot, Léger et Changey, conducteurs, par MM. Maurel, Scalarone, puis Vernaudon et Terrasson, entrepreneurs.

RÉSERVOIR DE LA LIEZ OU DE LECEY.

Description. — Le bassin versant du réservoir, de 3,400 hectares de superficie, est formé par la partie supérieure de l'étage du lias moyen et entièrement imperméable.

Le réservoir, en forme de Y, a 278 hectares de superficie mouillée au niveau de retenue normale (305 hectares acquis avec les francs-bords) et 16,100,000 mètres cubes de capacité. Son mouillage maximum au thalweg contre la digue est de 14m,43.

La digue, de 492m,30 de longueur, est rectiligne. Elle se compose d'un remblai en terre corroyée de 459m,30 de longueur, d'un vannage de décharge formé de 5 vannes métalliques de 1m,25 de largeur sur 1m,25 de hauteur et d'un déversoir maçonné de 25 mètres qui lui font suite.

Le couronnement de la digue, établi à 2m,10 en contre-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

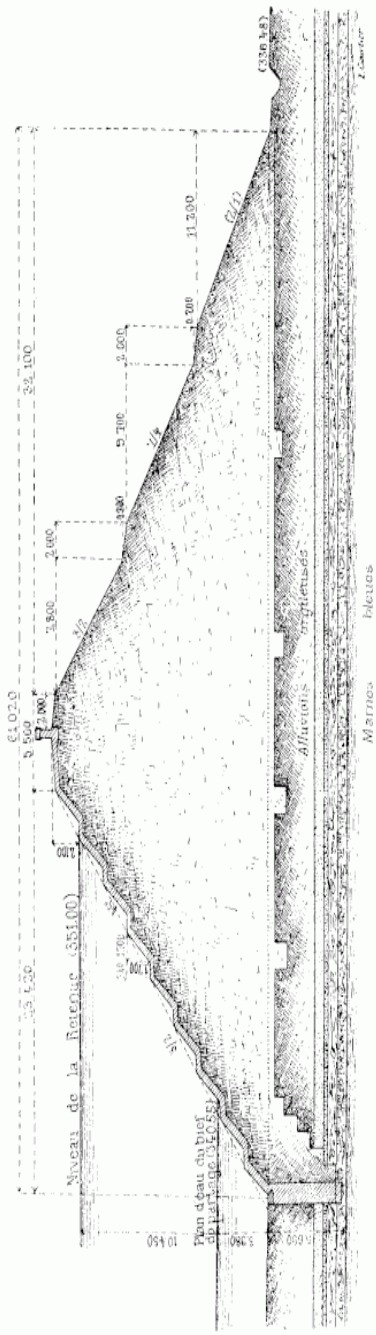


Fig. 36. — Réservoir de la Liez. Coupe de la digue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

haut de la retenue, est surmonté d'un parapet de $1^{m},25$ de hauteur. La largeur en couronne est de $5^{m},50$. Le talus aval, non revêtu, est recoupé par deux banquettes de 2 mètres de largeur en pente de 10 p. 100 vers l'extérieur. Le gradin supérieur est à l'inclinaison de 3 de base pour 2 de hauteur, le gradin intermédiaire à 7 pour 4, le gradin inférieur à 2 pour 1. Le talus amont est revêtu sur toute sa hauteur. Son inclinaison générale est de 3 de base pour 2 de hauteur. Mais il est divisé en 9 gradins de $1^{m},70$ de hauteur inclinés à 45°, séparés par des banquettes de 1 mètre de largeur en pente de 10 p. 100. Le revêtement maçonné a $0^{m},35$ d'épaisseur sous les banquettes, $0^{m},50$ au pied et $0^{m},40$ au sommet des gradins.

Au pied du talus amont, un mur de garde de $1^{m},25$ d'épaisseur, dont la profondeur varie entre 2 mètres aux extrémités et $5^{m},70$ dans la partie centrale, forme écran dans le sol en recoupant les couches superficielles d'alluvion peu comprimées et par suite légèrement perméables. Ce mur est doublé d'un fort massif corroyé, qui se relie à la base des remblais de la digue. Quatre clefs d'ancrage en terre corroyée de $1^{m},50$ de largeur et de 1 mètre à $1^{m},35$ de profondeur et un décapage général du sol sur $0^{m},30$ de profondeur achèvent la liaison entre le terrain naturel et la digue. Deux prises d'eau superposées débouchent dans un puits de $1^{m},20$ de diamètre, du pied duquel part un aqueduc surbaissé de $1^{m},20$ d'ouverture traversant la digue. Le puits est dans le massif même de la digue, en sorte que la partie amont du remblai corroyé est interrompue par un chenal compris entre deux murs en aile qui recoupent le talus amont : ce qui constitue une disposition regrettable, à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

laquelle la solution du puits isolé en amont de la digue, adoptée depuis à Torcy-Neuf, est bien préférable. Les bondes de fond forment un ouvrage distinct, composé de deux aqueducs jumeaux surbaissés de $0^{m},80$ d'ouverture. Les vannes sont des panneaux en fer plein de $0^{m},035$ d'épaisseur pour les prises d'eau et de $0^{m},030$ d'épaisseur pour les bondes, reliées à des crics Graffenstaden de 4,000 à 10,000 kilogrammes de force par des tiges en fer rond de $0^{m},050$ pour les vannes des bondes et de $0^{m},060$ pour celle de la prise d'eau supérieure. La tige de la vanne de prise d'eau inférieure est composée d'un tirant plein de $0^{m},048$ de diamètre, enfermé dans un tube de $0^{m},105$ de diamètre.

Les crics sont fortement fixés aux maçonneries par des ancrages profonds solidarisant un poids de maçonnerie égal à l'effort que le cric peut développer, afin qu'en aucun cas il ne puisse être soulevé.

Procédés d'exécution. — Le massif corroyé est formé par le mélange de deux tiers de terres argileuses pour un tiers de gravier. Le mélange s'opérait par une herse portant 18 socs de scarificateur, disposée comme une charrue Fowler, 9 socs étant en prise dans la marche dans un sens et les 9 autres dans la marche en sens contraire; le corroyage, par un rouleau de $1^{m},20$ de largeur à deux essieux portant chacun six disques en découpe sur ceux de l'autre essieu et pesant 2,500 kilogrammes à vide et 4,400 kilogrammes à charge.

La herse et le rouleau compresseur étaient attelés à tour de rôle sur un câble en acier va-et-vient d'une longueur double de celle de la digue, lequel était tiré alternativement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par deux machines à vapeur situées aux extrémités de la digue et progressant elles-mêmes sur une voie dans le sens perpendiculaire à la digue, absolument comme dans le labourage à vapeur par le système Fowler.

Pour l'arrosage, une conduite maîtresse renfermant de l'eau en pression, refoulée par une pompe dans des réservoirs supérieurs, régnait au pied de la digue sur toute sa longueur. Des branchements y étaient greffés tous les 25 mètres. Ils servaient à l'attache de trains de tuyaux d'arrosage à roulettes terminés par une lance, ainsi qu'au remplissage du rouleau.

La herse ne fut mise en service pour mélanger le sable au gravier que quand la digue avait atteint déjà $5^{m},53$ de hauteur, les sondages ayant révélé que le mélange sous l'action du rouleau seul n'était pas suffisamment intime. Avant de continuer le travail, on ouvrit suivant l'axe une fouille de 5 mètres de largeur qu'on descendit jusqu'à $0^{m},60$ en contre-bas du terrain naturel et qu'on remplit de terre végétale pure fortement corroyée.

On avait aussi, au début, commis la faute d'élever le revêtement maçonné d'amont presque en même temps que le remblai. Des tassements importants, dus bien plutôt à une compression des couches d'alluvion du sol naturel qu'au remblai lui-même, s'étant produits pendant l'hiver, les gradins inférieurs du revêtement furent déformés. On s'imposa dès lors la règle fort sage de n'exécuter le revêtement d'amont qu'après que les remblais à revêtir avaient supporté deux hivers depuis leur exécution.

Le volume de la digue après corroyage est de $174,200$ mètres cubes; celui des terres et du gravier qui y sont en-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trés, mesuré d'après le vide des fouilles, est de 196,995 mètres cubes. Le retrait dû au corroyage a donc été de 11,57 p. 100. C'est là un excellent coefficient de compression.

Les travaux ont été exécutés du 1er avril 1880 au 15 octobre 1886.

Dépenses. — Les dépenses d'établissement du réservoir proprement dit ont été de 2,992,079 francs, dont 1,708,000 francs pour les acquisitions de terrains, 51,037 francs pour les déviations de chemins et la maison de garde et 1,233,042 francs pour la construction de la digue. Le prix de revient moyen du mètre cube de remblai corroyé a été de 4f,02. Le mètre cube d'eau annuellement emmagasiné revient dans ce réservoir à 0f,207, si on tient compte de la rigole d'amenée des eaux au canal, des plantations, de l'entretien et des frais généraux, et à 0f,186 en n'ayant égard qu'aux dépenses relatives au réservoir lui-même.

Le projet a été dressé par MM. Carlier, ingénieur en chef, et Gilbin, ingénieur ordinaire; les travaux ont été exécutés par MM. Carlier, ingénieur en chef, Tur, puis Mongin, ingénieurs ordinaires, Lecluze et Carlier, conducteurs, et Millet, entrepreneur.

RÉSERVOIR DE LA MOUCHE OU DE SAINT-CIERGUES.

Description. — Le bassin versant du réservoir, de 6,500 hectares de superficie, est formé par les affleurements du calcaire de l'oolithe inférieure et entièrement perméable, à la seule exception du fond de la vallée qui est constitué

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par les marnes dures et compactes du lias supérieur, sur lesquelles la digue est fondée.

Le réservoir, en forme de Y, a 94 hectares de superficie mouillée au niveau de la retenue normale (102 hectares acquis avec les francs-bords) et 8,169,000 mètres cubes de capacité.

La digue en maçonnerie, de 410^{m},25 de longueur, est rectiligne. La hauteur de la retenue est de 22^{m},15. Le couronnement du mur de réservoir est à 2^{m},55 au-dessus du niveau de la retenue. Il est surmonté d'un parapet de

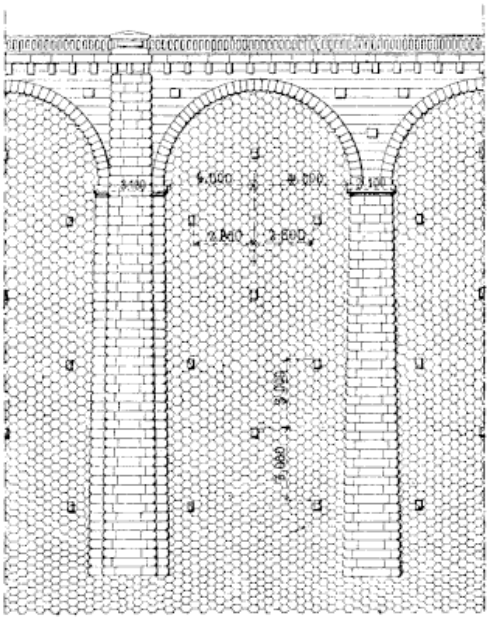


Fig. 37. — Réservoir de la Mouche. Élévation partielle de la digue vue d'aval.

1^{m},05 de hauteur. La largeur du mur en couronne est de 3^{m},50; sa plus grande largeur à la base, de 20^{m},293. Le parement amont présente un fruit rectiligne de 0^{m},02 par mètre; il a été recouvert de 3 couches de coaltar flambé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RÉSERVOIR DE LA MOUCHE OU DE SAINT CIERGUES

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour assurer son étanchéité, puis blanchi à la chaux pour éviter l'absorption des rayons calorifiques par la couleur noire. Le parement aval est profilé suivant une verticale jusqu'à 4 mètres au-dessous de la retenue, puis suivant deux arcs de circonférence, se raccordant tangentiellement, de 7 et

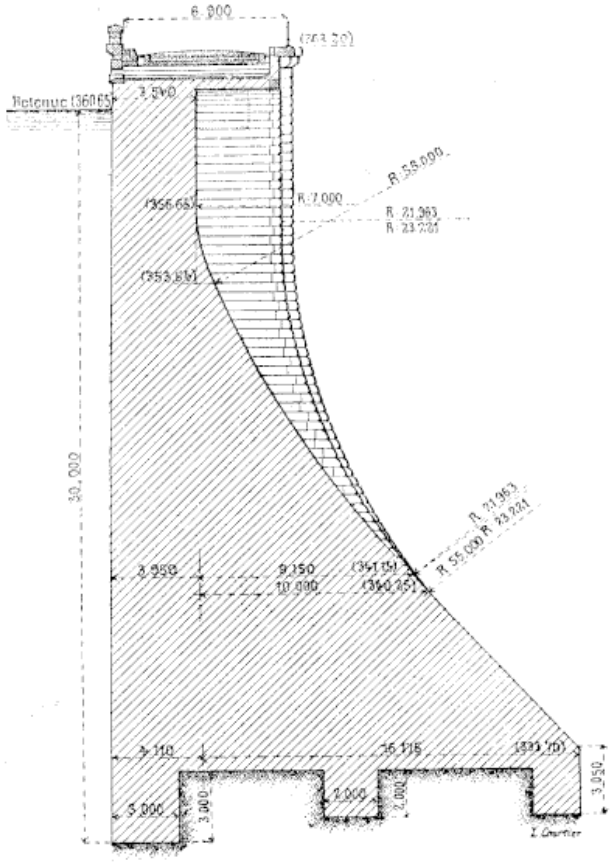


Fig. 38. — Coupe transversale de la digue en maçonnerie.

55 mètres de rayon, enfin, à partir du point situé à $20^{m},40$ au-dessous de la retenue, suivant une ligne droite de $0^{m},943$ de fruit par mètre. Dans les enracinements, sur $103^{m},15$ sur la rive droite et $95^{m},75$ sur la rive gauche,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on a, à partir de 10 mètres au-dessous du terrain naturel, substitué à ce profil curviligne un profil rectiligne avec fruit de $0^m,075$ par mètre.

Un chemin passant sur la digue, M. Carlier, alors ingénieur en chef du service, eut l'heureuse idée d'obtenir le supplément de largeur en couronne nécessaire en édifiant sur le parement aval des arceaux formant une sorte de demi-viaduc de $3^m,50$ de largeur, et en plaçant la plinthe portant le garde-corps aval en encorbellement de $0^m,60$, ce qui porte à $7^m,60$ la largeur totale en couronne, parapet compris. Ce demi-viaduc se compose de 40 arches en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, réparties en 8 groupes de 5 arches séparés par des piles-culées de $2^m,80$ de largeur, les piles ordinaires n'ayant que $1^m,80$. Les piles-culées portent un contre-fort de $1^m,80$ de largeur, en saillie de $0^m,40$, qui contribue à l'effet décoratif. Les chaînes d'angle des piles et des contreforts et les bandeaux des voûtes sont pourvus de bossages; les douelles et les tympans des voûtes, ainsi que les parements des piles, sont en moellons smillés régulièrement assisés et se détachent nettement sur le fond formé par le parement aval du mur de réservoir, qui est composé d'une mosaïque en moellons hexagonaux, parsemée de pierres en saillie pouvant recevoir des échafaudages d'entretien. L'aspect architectural qui résulte de ces dispositions est véritablement grandiose.

La digue est encastrée d'un mètre au moins dans la marne compacte. De plus, trois murs d'ancrage y pénètrent plus profondément. Celui d'amont ou mur de garde a 3 mètres de largeur sur 3 mètres de profondeur; les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux autres ont 2 mètres de largeur et 2 mètres de profondeur.

La profondeur des fondations du mur de garde au-dessous du terrain naturel atteint ainsi au minimum $10^{m},26$ dans le thalweg, $15^{m},47$ à l'enracinement de rive gauche et au maximum $24^{m},01$ à celui de rive droite. Les maçonneries de fondation enfouies dans le sol représentent 56 p. 100 du volume total des maçonneries.

Le profil a été déterminé par la méthode de M. Bouvier, perfectionnée par M. Guillemain et vérifiée après coup par celle de M. Maurice Lévy. L'effort à la compression n'atteint pas $6^{k},5$ par centimètre carré sur le parement amont lorsque le réservoir est vide et ne dépasse pas 7 kilogrammes sur le parement aval lorsque le réservoir est plein. Dans cette dernière hypothèse, aucun point du parement amont ne subit d'effort de tension; mais l'effort à la compression, qui n'est que de $0^{k},5$ par centimètre carré à $11^{m},50$ sous le plan d'eau, y est en ce point inférieur de $0^{k},65$ à la pression statique de l'eau qui le baigne.

Les ouvrages de prise d'eau sont au nombre de deux et ne diffèrent que par leur hauteur. Chacun d'eux consiste en une demi-tour accolée à la face amont, dont le parement extérieur est un demi-prisme décagonal régulier de $3^{m},15$ d'apothème et le parement intérieur un demi-cylindre de $1^{m},15$ de rayon.

Les eaux accèdent dans la tour par des orifices échelonnés de 1 mètre sur $0^{m},80$, placés sur les différentes faces du prisme; elles en sortent par deux orifices de $0^{m},60$ sur $0^{m},67$ formant la tête d'un aqueduc en plein cintre de $1^{m},90$ d'ouverture traversant la digue. Tous ces orifices

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont fermés par des vannes en tôle pleine, dont les tiges sont actionnées par des crics Graffenstaden, de 4, 8, 10 et 15 tonnes de force, placés sur le couronnement de la tour.

La vanne extérieure de pied de la tour principale mesure $1^{m},10$ sur $0^{m},90$; elle a $0^{m},045$ d'épaisseur uniforme et supporte une pression d'eau de 21,433 kilogrammes. Sa tige se compose d'un tube de $0^{m},114$ de diamètre et de $0^{m},010$ d'épaisseur, renfermant un tirant plein de $0^{m},050$ de diamètre. Son cric, de 15 tonnes de force et de 1413 de rapport d'engrenages, permet de lever, au besoin, la vanne sous la pression totale, en n'exerçant au démarrage qu'un effort de 9 kilogrammes; il faut, il est vrai, près de 6 tours de manivelle pour lever la vanne d'un centimètre; mais cette lenteur de la manœuvre augmente la précision du réglage de la levée et est une précieuse garantie contre les accidents pouvant résulter d'une ouverture trop rapide. Les boulons d'ancrage du cric descendent à $2^{m},78$ de profondeur et solidarisent un massif de maçonnerie de $4^{m},22$.

Les ouvrages de décharge, placés sur la rive droite en amont de la digue, comprennent un vannage formé de 3 vannes de $1^{m},25$ sur $1^{m},25$ et un déversoir à hausses amovibles de 30 mètres de longueur. Le canal de décharge, après avoir traversé la digue, descend dans la vallée par 15 biefs maçonnés de 10 mètres de longueur, séparés par des déversoirs de $1^{m},26$ de chute. Le radier de chaque bief est en contre-pente de $0^{m},05$ par mètre, en sorte que la lame déversante tombe sur un matelas d'eau de $0^{m},46$ d'épaisseur. La largeur au fond des biefs va en croissant de $1^{m},65$ à l'amont à 5 mètres à l'aval, cet évasement ayant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour but de réduire progressivement la vitesse de l'eau que la chute avait accélérée.

Procédés d'exécution. — La carrière de la Fontaine-au-Bassin, qui avait été reliée par une voie de fer au chantier, a fourni à la fois la pierre de taille, les moellons de toutes sortes et le sable de calcaire broyé pour les mortiers.

La fondation fut commencée par la partie centrale. On eut soin, pour éviter l'effritement des marnes, de n'achever la fouille qu'au moment où on était prêt à maçonner. La maçonnerie, dans chaque profil, fut commencée par l'aval et terminée par le mur de garde, dans la fouille duquel toutes les eaux de filtration se rassemblaient. Cette fouille avait $0^{m},50$ de largeur de plus que le mur à édifier; deux vides latéraux de $0^{m},25$ pour l'écoulement des eaux ont été conservés jusqu'après la prise des mortiers et bouchés ensuite avec du béton de ciment.

Les maçonneries du massif du mur furent exécutées par levées successives de $0^{m},80$ à 1 mètre d'épaisseur. Les joints furent enchevêtrés en tous sens, en évitant les joints continus et les lits horizontaux. De plus, de grandes bornes de liaison en saillie de $0^{m},30$ à $0^{m},50$ sur la levée furent posées à raison d'une par mètre cube de maçonnerie. Dans les fondations, le mortier était composé de 390 kilogrammes de chaux de la région par mètre cube de sable; en élévation, de 350 kilogrammes de chaux de Cruas ou du Theil. Il a été consommé en moyenne $0^{mc},42$ de mortier par mètre cube de maçonnerie de massif.

Un glissement considérable du coteau de rive droite se produisit lorsqu'il restait encore une longueur de 60 mètres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de fondation de digue à exécuter dans ce coteau à une profondeur de 21 mètres. Le plan de glissement se trouvait à une grande profondeur, près du niveau de fondation. Après avoir enlevé la couche supérieure des éboulis, on dut battre trois lignes de pieux et palplanches pénétrant dans la marne compacte sur les deux côtés et sur l'axe de la fouille à ouvrir et déblayer à l'intérieur en moisant et entretoisant fortement les pieux dans les deux sens. Les maçonneries purent ensuite être exécutées de proche en proche dans les compartiments ainsi formés. Le glissement du coteau de rive gauche, sur lequel est bâti le village de Saint-Ciergues, menaçait aussi de se produire; mais il put être évité par la construction extrêmement rapide d'un secteur en maçonnerie soutenant l'about de la fouille qu'on épaula sur le massif extrême de fondation de la digue, exécuté en toute hâte dans une fouille blindée.

Les travaux, commencés le 1er avril 1883, ont été terminés le 15 octobre 1890.

Dépenses. — Les dépenses d'établissement du réservoir proprement dit ont été de 5,019,287 francs, dont 1,178,639 fr. pour les acquisitions de terrains, 127,177 fr. pour les déviations de chemins et la maison de garde et 3,713,471 francs pour la construction de la digue. Le prix de revient moyen du mètre cube de maçonnerie a été de 26f,33. Le mètre cube d'eau annuellement emmagasiné revient dans ce réservoir à 0f,739, si on tient compte de la rigole d'amenée des eaux au canal, des plantations, de l'entretien et des frais généraux, et à 0f,614 en n'ayant égard qu'aux dépenses relatives au réservoir lui-même.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le projet a été dressé par MM. Carlier, ingénieur en chef, et Tur, ingénieur ordinaire; les travaux ont été exécutés par MM. Carlier, ingénieur en chef, Tur, puis Mongin, ingénieurs ordinaires, Florentin, conducteur chef de section, Dumont, Giron et Papelier, entrepreneurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVIII

USINES ÉLÉVATOIRES DE VALCOURT, PRÈS TOUL,

POUR L'ALIMENTATION COMMUNE

DU CANAL DE LA MARNE AU RHIN ET DU CANAL DE L'EST.

Un panneau de dessins.

La planche de dessins exposée représente le groupe des usines élévatoires de Valcourt, près Toul, qui, dans les périodes où le débit des sources de Vacon devient insuffisant, assurent l'alimentation commune du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est, avec le concours d'une autre usine établie sur la Moselle canalisée, à Pierre-la-Treiche. Elles refoulent ensemble l'eau tirée de la Moselle dans une rigole de 12 kilomètres de longueur, qui la conduit dans le canal de la Marne au Rhin, en amont de l'écluse de Foug.

Le groupe de Valcourt se compose de deux usines distinctes, situées de part et d'autre de la voie navigable, savoir :

1° Sur la rive droite, une usine hydraulique comprenant deux turbines du système Fontaine, actionnant chacune trois pompes Girard, sous une chute de 4 mètres environ et avec un débit moteur variant de $3^{mc},25$ à 6 mètres cubes par seconde. Le refoulement s'opère à une hauteur de 41 mètres, et le produit de l'usine en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

eau montée peut atteindre 26,000 mètres cubes par jour (300 litres par seconde).

La dépense de premier établissement, y compris l'usine semblable de Pierre-la-Treiche, la rigole à ciel ouvert et les conduites forcées, a été de 1,634,000 francs.

Les travaux ont été exécutés en 1878-1879, sous la direction de feu M. Frécot, inspecteur général, par MM. Volmerange et Holtz, ingénieurs en chef, et Alfred Picard, ingénieur ordinaire, avec la collaboration de MM. Jacques et Fautsch, conducteurs des ponts et chaussées. Les turbines et les pompes ont été installées par MM. Feray et Callon, industriels à Essonnes.

2° Sur la rive gauche, une usine à vapeur, de création toute récente, destinée à suppléer les usines hydrauliques dans les périodes de sécheresse, lorsque le débit moteur emprunté à la rivière de Moselle s'abaisse au-dessous de 6 mètres cubes.

Cette usine, dont le produit est refoulé par une conduite spéciale dans la même rigole alimentaire que celui des usines hydrauliques, comprend quatre générateurs, dont un de rechange, et trois machines à vapeur horizontales, actionnant chacune deux pompes à piston plongeur. La hauteur de refoulement est également de 41 mètres, et le volume d'eau maximum que la nouvelle usine peut élever par jour est d'environ 43,000 mètres cubes (500 litres par seconde).

La dépense, qui n'est pas encore complètement réglée, s'élève approximativement à 690,000 francs, dont 335,000 pour la machinerie.

La construction et l'installation des machines, y compris

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les maçonneries de la cheminée et des enveloppes des générateurs, ont fait l'objet d'un concours particulier entre spécialistes et d'un marché à forfait à la suite de ce concours.

Les travaux ont été projetés et dirigés, de 1896 à 1899, par MM. Thoux, ingénieur en chef, et Roth, sous-ingénieur, avec la collaboration de MM. Baumgartner et Doudoux, conducteurs des ponts et chaussées, et avec le concours des entrepreneurs ci-après désignés, savoir :

La Société anonyme des anciens établissements Cail, à Paris, pour la machinerie et la fumisterie;

La Société anonyme des hauts fourneaux et fonderies de Pont-à-Mousson (M. Xavier Rogé, directeur), pour la conduite spéciale de refoulement;

M. Erb, entrepreneur de travaux publics, à Toul, pour les bâtiments de l'usine et les ouvrages accessoires (bassin de prise d'eau, etc.).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIX

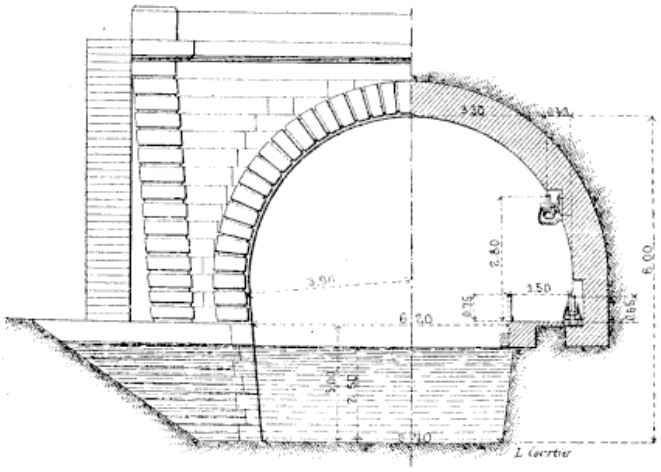
HALAGE FUNICULAIRE DES BATEAUX

DANS LE SOUTERRAIN DU MONT-DE-BILLY,

SUR LE CANAL DE L'AISNE À LA MARNE.

Un panneau de dessins.

Exposé. — Le souterrain du Mont-de-Billy, situé dans le bief de partage du canal de l'Aisne à la Marne, a 2,300 mètres de longueur et une section conforme au profil fig. 39.



Demi-élévation. Demi-coupe.

Fig. 39. — Souterrain de Billy.

La traction des bateaux, dans ce long passage rétréci, soumis en outre aux courants d'alimentation, était des plus difficiles; la durée du passage normal, prévue de quatre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

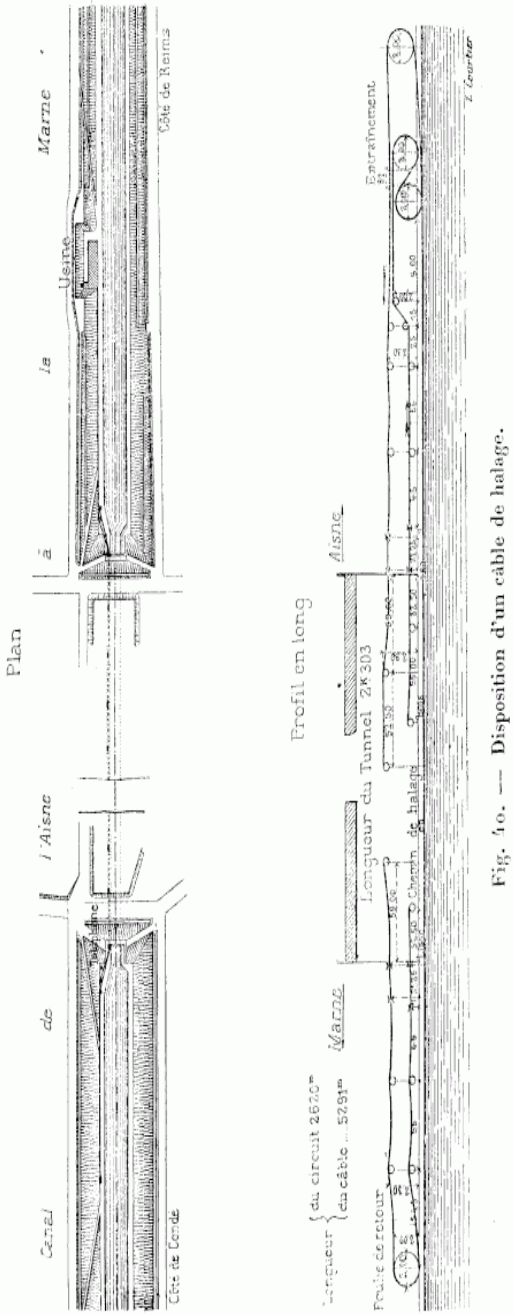


Fig. 40. — Disposition d'un câble de halage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

heures, était souvent dépassée en été quand, par suite de la sécheresse, le tirant d'eau descendait au-dessous de $2^{m},40$.

Avec l'augmentation du trafic du canal, dont le tonnage, en 1891, dépassait un million de tonnes, l'établissement d'un système de traction mécanique s'imposait; l'administration prit en considération les propositions de M. l'inspecteur général Maurice Lévy (à ce moment ingénieur en chef du service), tendant à l'installation d'un halage funiculaire du système expérimenté par lui sur les canaux Saint-Maur et Saint-Maurice, et un décret du 28 mars 1893 déclara ce travail d'utilité publique.

Les travaux ont été exécutés de juin 1894 à juin 1895. Après une période d'essai, le système fonctionna d'une façon suivie au mois de février 1896, et fut rendu obligatoire à partir du 1er mai 1896.

Dispositions d'ensemble. — Le câble sans fin, supporté par des poulies, s'étend sur une longueur de $2^{k},600^{m}$ (150 mètres environ à partir de chacune des têtes du souterrain); il est raidi par un poids de 10 tonnes; donnant une tension moyenne de 5 tonnes sur chaque brin.

En dehors du souterrain, le brin supérieur et le brin inférieur sont dans un même plan vertical, situé à 13 mètres de l'axe du canal; la distance qui les sépare est de $2^{m},65$ et les poulies sont sur le même support.

Dans le souterrain, la distance verticale entre les deux brins se réduit à $2^{m},15$; les poulies sont alternées et distantes de $57^{m},50$. Elles sont fixées contre la voûte et, par suite de la courbure de cette voûte, le câble supérieur se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trouve en encorbellement de $0^m,43$ sur le câble inférieur, de telle sorte que les deux brins se trouvent respectivement à $3^m,30$ et $3^m,73$ de l'axe du souterrain.

Câble. — Le câble, entièrement métallique, avait primitivement un diamètre de 3 centimètres et pesait $3^k,700$ par mètre courant; il est constitué par 7 torons de chacun 19 fils d'acier de 2 millimètres de diamètre.

Le toron intérieur, constituant l'âme, est tout entier en fil recuit très souple et d'un coefficient d'allongement élevé; il est destiné surtout à maintenir la forme du câble. De même, chacun des six torons constituant la couronne a pour fil central un fil recuit. Tous les autres fils sont en acier dur de Firminy présentant, par millimètre carré, une limite d'élasticité de 90 kilogrammes au minimum, comme charge de rupture 150 kilogrammes et supportant vingt doubles flexions.

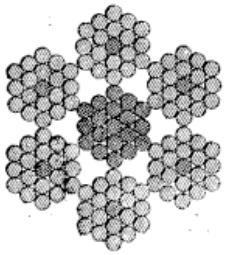


Fig. 41.
Coupe du câble.

Le câble ainsi obtenu est aussi souple et beaucoup plus résistant aux déformations que si l'âme était en chanvre.

A l'usage, on a constaté que le câble tend toujours à s'allonger, par suite de l'écrasement du toron central; actuellement, après quatre années de fonctionnement, le diamètre, qui était de $0^m,03$ à l'origine, n'est plus que de $0^m,0275$. Pour une longueur de 5,290 mètres, l'allongement a été de 19 mètres pendant la même période, soit de 1,115 p. 100.

Ce câble a été livré sur place, enroulé sur cinq tourets métalliques, portant chacun une longueur d'environ 1,100 mèt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La réunion des tronçons a été faite au moyen d'épissures longues, du système employé au funiculaire de Belleville, qui ont l'avantage de ne former aucune saillie sur le câble.

Ces épissures sont des points faibles; elles se déforment, et on doit les remanier assez fréquemment, en supprimant aux extrémités des portions de torons de 1 mètre à 1m,50 de longueur. Au Mont-de-Billy, elles ont toutes été refaites complètement, en profitant des raccourcissements que nécessite l'allongement du câble.

Poulies. — Toutes les poulies sont en fonte dure; les

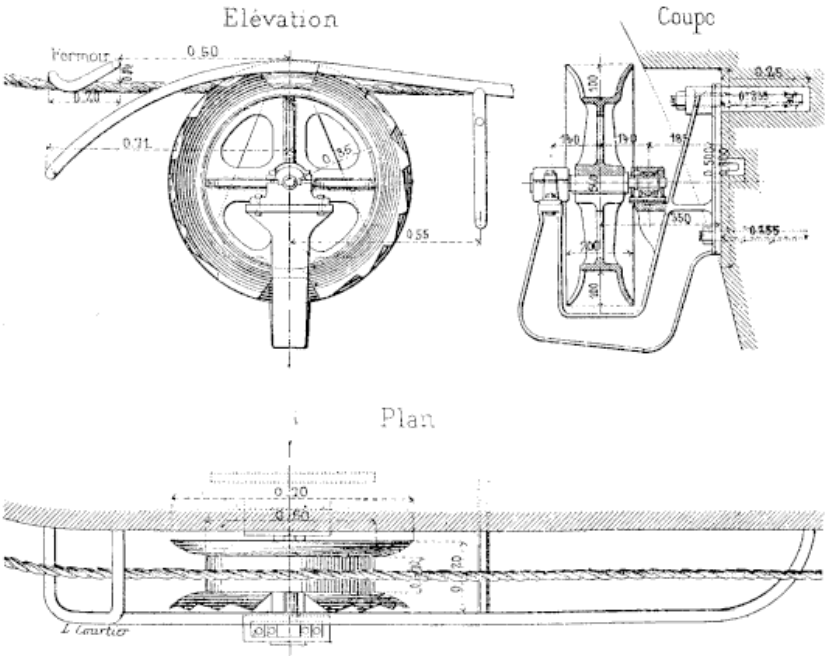


Fig. 42. — Poulies supérieures.

poulies verticales, qui ne font que porter le câble, sont identiques; leur diamètre est de 0m,50 à fond de gorge et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de $0^{m},70$ sur les joues; elles sont calées sur un axe en acier qui tourne dans deux paliers graisseurs, système Piat.

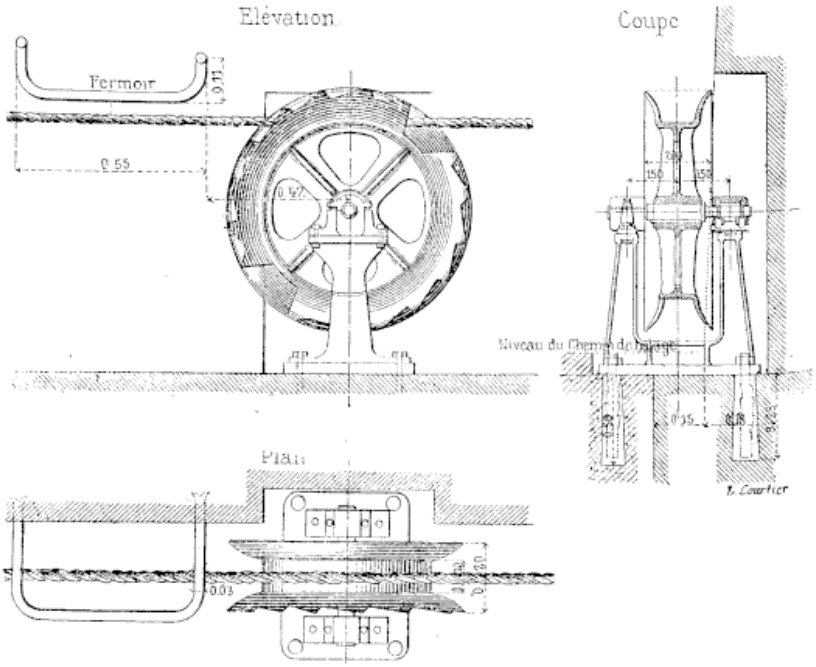


Fig. 43. — Poulies inférieures.

Dans le souterrain, chaque poulie est supportée par un bâti en fonte; les bâtis supérieurs sont scellés dans les maçonneries de la voûte, et les bâtis inférieurs sont fixés dans la banquette de halage.

En dehors du souterrain, ce sont des bâtis en tôle et fers spéciaux, ancrés dans un massif en béton et portant chacun deux poulies : l'une inférieure, l'autre supérieure.

D'après une disposition empruntée à l'installation du canal Saint-Maurice, les poulies portent, dans la joue qui regarde le canal, de petites dentelures et deux grandes échancrures, dont les bords sont en développante de cercle, destinées à permettre l'échappement des cordes de traction

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des bateaux. Mais l'expérience a fait reconnaître que ce système de crans, qui fonctionne très bien en dehors du souterrain, c'est-à-dire quand le bateau est à une assez grande distance du câble et que la corde de traction fait avec ce câble un angle assez ouvert, n'a plus la même efficacité dans le souterrain. Le bord du bateau se trouve, en effet, à 1 mètre de l'alignement du brin supérieur, et la corde de halage, faisant alors avec le câble un angle très aigu, s'engage avec lui dans la gorge de la poulie et ne s'en échappe que quand, le bateau arrivant presque au droit de celle-ci, l'angle de la remorque et du câble prend une ouverture suffisante; mais alors le bateau est fortement appuyé contre la banquette de halage et la corde soumise à une très forte tension, de sorte qu'elle ne se dégage qu'avec de violentes secousses, auxquelles les poulies ne pourraient résister longtemps.

On a dû établir aux poulies supérieures un système de guidages, c'est-à-dire de lisses formées de petits fers ronds qui, relevant la remorque au niveau du dessus des joues de la poulie, en assurent d'une façon certaine le dégagement. Encore ce guidage n'est-il efficace que si la remorque a une longueur ne dépassant pas 10 à 12 mètres, c'est-à-dire si son inclinaison sur le câble ne descend pas au-dessous de 1 centimètre par mètre environ; si la remorque est plus longue et par suite l'angle plus faible, la corde s'engage encore dans la gorge de la poulie et n'en sort que quand son angle avec le câble atteint à peu près la limite ci-dessus. Le système est complété par un fermoir, c'est-à-dire par une tige de fer placée en contre-bas du niveau supérieur de la joue, qui empêche le câble, tiré de bas en haut par la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

remorque engagée sur le fer du guidage, de sortir de la poulie.

Pour les poulies inférieures, la même difficulté n'existe pas, car, par suite de la nécessité de faire passer la corde de traction au-dessus du garde-corps surmontant la banquette de halage, le point d'attache sur le bateau se trouve à un niveau supérieur à celui du brin inférieur; la remorque, en quittant le câble, va en montant et passe facilement sur les joues. Pour les bateaux à lourds chargements et dont le pont ne se trouve pas assez élevé pour que cette disposition soit naturellement obtenue, on relève la remorque en la faisant passer sur un petit chevalet en bois placé contre le boulard d'attache.

A ces poulies, on a eu simplement à placer des fermoirs pour maintenir en place le câble qui tend à être soulevé par l'action de la remorque.

Les crans des joues des poulies ne sont donc pas utilisés dans le souterrain; aussi on les supprime dans les nouvelles poulies qui vont remplacer les premières, usées pour la plupart après un fonctionnement de quatre années.

Les poulies horizontales pour les changements de direction sont au nombre de quatre à chaque tête, deux pour chaque brin; elles ne présentent rien de particulier. Leur diamètre est de 1 mètre et de $0^{m},80$ pour le brin inférieur et de 1 mètre et $1^{m},66$ pour le brin supérieur. Les deux poulies de 1 mètre de diamètre, situées à l'angle concave, sont placées chacune sur un bâti métallique spécial; les deux poulies de $0^{m},80$ et de $1^{m},66$ de l'angle convexe sont sur le même bâti à l'entrée du souterrain; leurs deux axes sont dans le prolongement l'un de l'autre, et l'on réalise

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi l'encorbellement de $0^{m},43$ du brin supérieur sur le brin inférieur.

Ces poulies horizontales, sur lesquelles la tension du câble agit fortement, sont rapidement coupées, et leur durée normale varie de un à deux ans, suivant le diamètre.

Il reste à mentionner les grandes poulies verticales de 2 mètres de diamètre, au nombre de quatre : la poulie de retour, celle du tendeur et les deux poulies du mouvement d'entraînement du câble. À raison de leur grand diamètre, ces poulies offrent moins de prise à l'usure, et l'on n'a pas encore à prévoir leur remplacement.

Tension. — L'appareil de tension se compose d'une

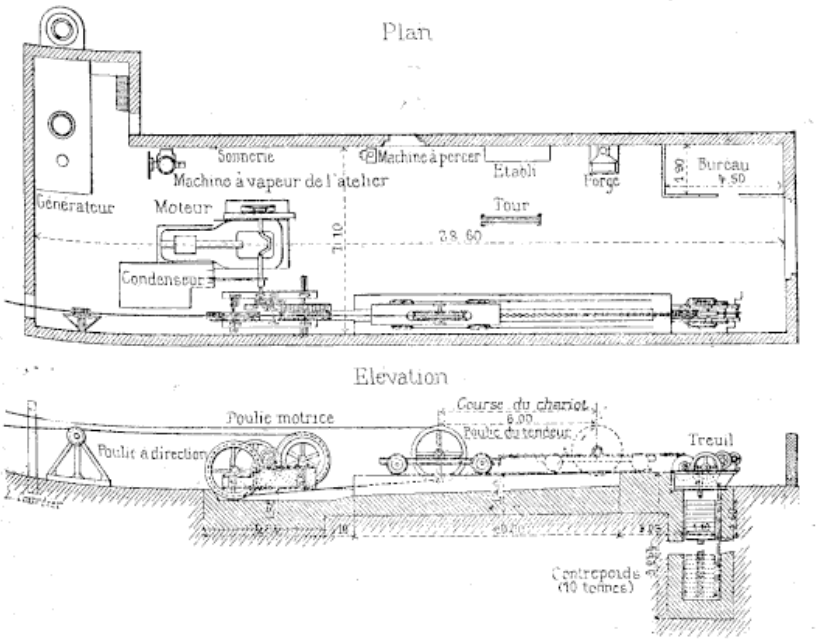


Fig. 44. — Transmission et entraînement.

poulie verticale de 2 mètres de diamètre, portée par un chariot mobile sur une voie de roulement; un poids tendeur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 10 tonnes, qui se meut verticalement dans un puits, agit sur le chariot.

La course du chariot et du poids tendeur est de 6 mètres, ce qui correspond à un allongement du câble de 12 mètres. Un treuil spécial permet de soulever le poids de 10 tonnes lorsqu'on a besoin de travailler au câble.

Usine motrice. — Le mouvement d'entraînement est donné au câble au moyen de deux poulies de 2 mètres de diamètre : une poulie motrice, dont la gorge porte une garniture en bois d'orme et une autre, folle sur son axe, dite « de direction », qui sert à faire embrasser au câble les deux tiers de la circonférence de la poulie motrice, afin d'obtenir une adhérence suffisante.

La force motrice est fournie par une machine fixe horizontale à condenseur de la force de 40 chevaux, qui est largement suffisante pour assurer la marche du système.

Attache des cordes de halage. — L'attache des cordes de halage sur le câble doit être aussi libre que possible, afin de n'être pas entraînée dans le mouvement de rotation sur lui-même ou vrillage que subit le câble.

Cette attache se fait au moyen d'un simple étrier posé sur le câble et butant contre un arrêt fixe. Les arrêts sont constitués par un transfil formé en enroulant autour du câble sur $0^{m},20$ de longueur une ficelle enduite d'un mélange de résine et de goudron; on obtient ainsi un bourrelet faisant parfaitement corps avec le câble sans le fatiguer et supportant l'effort de traction. Contre chaque transfil

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

s'appuie une bague en acier coulé, formée de deux parties réunies par des goupilles.

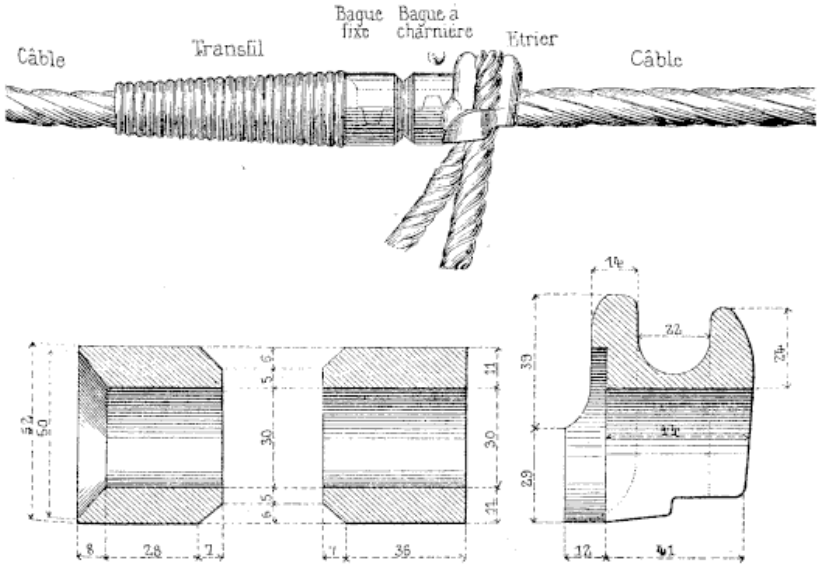


Fig. 45. — Bagues et étriers.

Cette bague, serrée contre le transfil, est généralement entraînée avec lui dans le vrillage; aussi, pour diminuer les chances d'entraînement de l'étrier, place-t-on contre la première une seconde bague qui ne porte contre celle-là que par une partie annulaire bien polie et graissée. Cette seconde bague n'est mise en place qu'au moment du besoin; elle est à charnière pour se poser et s'enlever facilement.

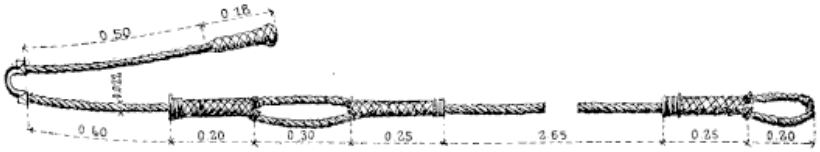


Fig. 46. — Corde d'attelage.

On arrive ainsi à rendre assez rare l'enroulement de la corde.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'étrier, dont la forme assez compliquée est indiquée (fig. 45), porte une corde d'amarre d'environ 4 mètres de longueur avec laquelle il fait corps; cet ensemble constitue le système d'attelage, le trait; il se termine par une boucle dans laquelle on introduit la corde du bateau.

Travaux accessoires. — Comme travaux accessoires, il y a lieu de signaler la pose d'une lisse en bois dans le souterrain, le long de la banquette de halage, et l'installation d'un téléphone reliant les deux têtes entre elles; des boutons de sonneries, au nombre de trois, placés dans des puits d'aérage qui divisent le souterrain en quatre parties à peu près égales, permettent en outre une communication rapide avec l'usine pour tous les incidents qui peuvent se produire en cours de fonctionnement.

Exploitation. — L'exploitation se fait par passages alternatifs à des intervalles de trois heures; il y a deux passages par jour dans chaque sens, entre 6 heures du matin et 7 heures du soir, et une heure de repos, de midi à 1 heure.

La vitesse de marche est de $0^{m},30$ à $0^{m},35$ par seconde, et les bateaux mettent environ deux heures à franchir le souterrain; on dispose donc d'une heure pour la formation et la dislocation des convois, ce qui est généralement plus que suffisant.

Si l'on faisait un convoi unique, tout l'effort étant concentré en un seul point du câble, il s'y produirait une flèche dépassant 1 mètre, qui rendrait son fonctionnement irrégulier et l'exposerait à sauter des poulies; aussi, dans chaque passage, les bateaux sont répartis en convois par-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tiels distants d'une centaine de mètres et comprenant au plus deux bateaux chargés.

Ces convois, au nombre maximum de quatre à chaque passage, sont surveillés pendant tout le trajet par deux agents de l'administration, dits « convoyeurs », qui marchent sur la banquette du souterrain.

En outre de ces deux convoyeurs, le personnel permanent de l'usine se compose d'un mécanicien et d'un chauffeur. Le mécanicien est chargé de la surveillance générale du système et de l'entretien des diverses parties : cordes, bagues, arrêts, guidages, etc., ainsi que de la perception des droits.

La taxe prévue par le décret du 28 mars 1893 est de 0 fr. 02 par tonne de chargement pour la longueur totale du trajet; les bateaux vides ne payent pas et sont attachés à la queue des convois.

Fréquentation. — Le payement des droits a commencé le 1er mai 1896.

Le tableau ci-dessous donne depuis cette époque les résultats de l'exploitation :

ANNÉES.	NOMBRE DE BATEAUX			TONNAGE.	RECETTES (2).
	CHARGÉS.	VIDES.	TOTAL.		
				tonnes.	
1896 (1).....	3,315	175	3,490	837,072	17,072f,94
1897.....	5,560	449	6,009	1,435,188	29,159 ,80
1898.....	5,686	534	6,220	1,456,039	29,679 ,38
1899.....	5,550	421	5,971	1,433,116	29,217 ,32

(1) A partir du 1er mai 1896, soit 8 mois.
(2) Il faut déduire de ces recettes environ 600 francs pour frais de perception.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses de construction. — Les dépenses de construction peuvent être évaluées, en arrondissant les chiffres, à la somme de 140,000 francs, savoir :

Usine....	Déblais, bâtiment, installation du générateur et de la machine.....	19,000f	
	Appareils, entraînement du câble.....	6,700	
	Tendeur.....	12,200	
	Déchargement, transports, fondations et divers.....	8,600	
			46,500f
Câble, poulies et supports.	Fourniture du câble (19,610k à 0f,79 le kilogr.).....	15,500	
	Tourets, transports et pose....	3,000	
	Poulies et supports.....	34,500	
			53,000f
Travaux divers.	Téléphone.....	2,500	
	Passerelles triangulaires pour supporter 2 pans coupés aux entrées du souterrain.....	3,900	
	Lisse en bois.....	14,000	
	Fournitures, étriers, bagues, cordages, ficelles, résine, goudron, etc.....	4,800	
	Études, surveillance et divers..	3,300	
	Marche à titre d'essai pendant un an.....	12,000	
			40,500f
	TOTAL.....		140,000

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses d'exploitation.

Personnel	7,500f
Charbon	3,500
Cordages, ficelle, résine, goudron, bagues d'arrêt	950
Graissage, chiffons, éclairage, divers	550
TOTAL	12,500

Pour l'amortissement du matériel, il y a lieu de s'occuper spécialement du câble et des poulies.

Le câble fonctionne depuis le milieu de l'année 1895, soit depuis plus de quatre ans; il est encore en bon état, et l'on peut espérer qu'il durera facilement encore deux années; sa durée sera donc au minimum de six ans. Il coûte, mis en place et prêt à fonctionner (sans compter les tourets qui existent), 17,500 francs. C'est donc, par an, une somme de $\frac{17,500^f}{6} = 2,916$ francs, soit 3,000 francs en chiffres ronds à prévoir pour l'amortissement.

Les poulies auront duré, les unes deux ans, les autres quatre ans; elles sont simplement à refondre suivant un modèle bien arrêté; il y en a 12,000 kilogrammes à 0f,25 le kilogramme, soit 3,000 francs tous les trois ans ou 1,000 fr. par an.

Le reste de l'installation ne présente aucune cause particulière d'usure; toutes les parties en sont robustes et offrent les plus grandes chances de durée. On sera très large en calculant leur amortissement sur une période moyenne de vingt ans; soit, pour un capital d'environ 80,000 francs, une charge annuelle de 4,000 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le bilan de l'entreprise peut donc s'établir ainsi :

Entretien et exploitation			12,500f
Amortissement	Câble	3,000f	
	Poulies	1,000	
	Pour le reste	4,000	
			8,000
Total			20,500

On peut évaluer les recettes annuelles à un minimum de 28,500 francs; elles laissent par conséquent un boni de 8,000 francs, qui représentent l'intérêt à 5 1/2 p. 0/0 du capital de premier établissement.

Conclusion. — En résumé, cette installation qui, au point de vue financier, ne constitue aucune charge pour l'État, permet d'assurer le passage du souterrain du Mont-de-Billy dans des conditions de rapidité et de régularité dont le besoin se faisait absolument sentir.

Moyennant une durée de travail de douze heures, on peut passer chaque jour 32 bateaux chargés, soit, à raison de 250 tonnes de chargement moyen, 8,000 tonnes par jour et environ 2,400,000 tonnes de marchandises par an. Le trafic actuel, d'environ 1,450,000 tonnes, est donc complètement assuré, même dans les moments de grande affluence qui suivent les chômages, rien qu'avec les passages de jour. On voit même que ce trafic pourrait augmenter de 1 million de tonnes sans qu'on eût à faire de passages de nuit autrement qu'à titre exceptionnel.

Le projet du halage funiculaire du Mont-de-Billy a été

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dressé par M. Maurice Lévy, ingénieur en chef, et MM. Pavie et Dreyfuss, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées.

L'exécution complète et la mise en service ont eu lieu sous la direction de MM. Bourguin, ingénieur en chef, Pigache, ingénieur ordinaire, et Depoix, conducteur des ponts et chaussées, avec le concours du chef mécanicien Demessence, qui a conduit toutes les opérations du montage des poulies et appareils.

Les supports, poulies et appareils mécaniques ont été fournis par la Société de Fives-Lille; le câble, par la Corderie centrale, boulevard Sébastopol, 12, à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XX

INSTALLATION ÉLECTRIQUE D'AMFREVILLE-POSES, SUR LA SEINE.

Un cadre de dessins.

L'installation électrique d'Amfreville, proposée en avril 1894, réalisée successivement et terminée en janvier 1899, est destinée à assurer à la fois l'éclairage et la manœuvre des ouvrages de la retenue de Poses, la plus importante, par sa chute ($4^{m},18$), de celles établies pour assurer le mouillage de $3^{m},20$ entre Paris et Rouen. En ce point, le fleuve est divisé en deux bras par l'île de la Mouchouette : le bras principal ou bras de Poses sur la rive gauche est fermé par un barrage de 235 mètres de longueur entre culées à pont supérieur et rideaux articulés [1], et le bras de rive droite, qui constitue la dérivation d'Amfreville, est fermé par l'ancienne écluse d'Amfreville sur la rive droite, par un barrage à aiguilles et enfin par un groupe de deux écluses du type adopté pour la nouvelle canalisation.

Ces ouvrages sont accompagnés de maisons pour les éclusiers et barragistes, d'ateliers et d'un petit établissement de pisciculture.

À raison de la longueur de la dérivation d'Amfreville et

[1] La description détaillée du barrage de Poses a été publiée dans le portefeuille distribué aux élèves de l'École des ponts et chaussées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la disposition des ouvrages qui la ferment à l'aval, on dispose, en tout état des eaux, en ce point, d'une chute qui ne descend pas au-dessous de $0^{m},80$. Il était tout naturel, par là même, de profiter de cette circonstance heureuse pour assurer électriquement, non seulement l'éclairage des abords des écluses et du barrage et des maisons du personnel y affecté, mais les mécanismes de ces ouvrages et de divers moteurs accessoires. C'est ce qui a été fait.

L'usine a été construite à l'extrémité aval du bajoyer du large de l'ancienne écluse.

Le massif inférieur du bâtiment comprend :

1° Au centre, la chambre d'eau de la turbine;

2° En amont, deux conduites d'amenée de $1^{m},20$ de diamètre, munies chacune d'un robinet-vanne;

3° En aval, la conduite de fuite de même diamètre et munie également d'un robinet-vanne permettant l'isolement de la turbine pour les visites.

La turbine, à pivot rehaussé du type Fontaine, à chute variable, est munie d'un vannage à rouleau manœuvrable de la salle des machines, à la main ou au moyen d'un régulateur électrique qui permet d'assurer une vitesse régulière.

La turbine peut fournir 12 chevaux sous la chute minima de $0^{m},80$, et sa puissance peut aller jusqu'à 30 chevaux sous la chute normale de la retenue.

Dynamo génératrice. — Chaque dynamo génératrice est du type Gramme supérieur; elle est montée en dérivation et débite 40 ampères sous une tension de 275^{v} avec une vitesse de 900^{r} par minute.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Par un simple déplacement de courroie et au moyen d'un tableau spécial, les deux génératrices peuvent être substituées l'une à l'autre ou marcher en parallèle.

Le potentiel est maintenu constant aux bornes de la dynamo au moyen d'un régulateur à main et d'un régulateur automatique.

Mode de distribution, accumulateurs. — Le fonctionnement des lampes est assuré par une distribution à trois fils alimentée par une batterie d'accumulateurs que la génératrice charge pendant la journée. Les lampes sont à incandescence du type courant avec un voltage voisin de 110 volts, et dont la puissance varie suivant les points à éclairer. La mise en mouvement des appareils de manœuvre et moteurs dans les conditions habituelles est assurée directement par la génératrice. Le voltage de 275 volts a été adopté pour la distribution de force, et par suite pour la génératrice.

La batterie d'accumulateurs est divisée en deux groupes égaux. Aux bornes extrêmes aboutissent : d'une part, les deux conducteurs venant de la génératrice, d'autre part, les conducteurs + et — du réseau d'éclairage. Entre les deux groupes d'accumulateurs vient aboutir le fil o du réseau d'éclairage.

Chaque groupe comprend 59 éléments de la capacité de 200 ampères-heures.

Le voltage, à la fin de la décharge, est de $59 \times 1{,}9 = 112^{v}$. A la fin de la charge, la batterie absorbe presque complètement le voltage (275^{v}) de la génératrice ($118 \times 2^{v}3 = 271^{v}4$).

A chacun de ces groupes correspond un réducteur de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

décharge qui permet d'isoler jusqu'à 14 éléments, de telle sorte que le potentiel reste constant; les 14 premiers éléments sont mis successivement en circuit, au fur et à mesure que le voltage tend à diminuer.

Éclairage. — L'éclairage est obtenu au moyen de 70 lampes représentant un total de plus de 1,000 bougies. La ligne d'éclairage est formée de fils de cuivre de $0^{m},004$ de diamètre. Le terre-plein des écluses est éclairé au moyen de lampes de 32 bougies espacées de 30 mètres, placées à $2^{m},50$ au-dessus du sol et munies de réflecteurs en tôle émaillée blanche inclinés à 45° sur l'horizon. Elles fonctionnent pendant toute la nuit. Le barrage est éclairé, au moment des manœuvres, par des lampes de 32 bougies placées dans une lanterne sur chaque pile. Les treuils de manœuvre du barrage portent chacun deux lampes de 16 bougies. Dans les bâtiments, les lampes sont de 5, 16 et 20 bougies; elles ne fonctionnent qu'au moment du besoin.

Distribution de force. — La ligne de distribution de force dessert, sur les écluses, 4 cabestans électriques montés sur les bajoyers, 4 moteurs électriques pour la manœuvre des deux paires de portes et des 4 vannes d'aqueducs de la grande écluse, et, sur le barrage, un treuil de manœuvre des cadres et 2 treuils de manœuvres des rideaux, enfin la pompe de l'établissement de pisciculture installé près des écluses, ainsi que les outils de l'atelier du barrage.

Elle a été calculée pour alimenter simultanément 2 treuils des rideaux prenant un courant de 30 ampères et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pouvant se trouver à 800 mètres de la génératrice. Le câble se compose de 19 fils de cuivre de $1^{m/m},4$ de diamètre; la perte de charge, sous 30 ampères, est de 10 p. 100 à l'extrémité de la ligne.

Manœuvre électrique des portes et vannes d'aqueduc. — La grande écluse de Poses a un sas de 141 mètres de longueur et de 17 mètres de largeur; les vantaux ont une largeur de $6^{m},82$ et une hauteur de $7^{m},20$ à l'amont et de $8^{m},85$ à l'aval; par suite de leurs dimensions et de la dénivellation produite dans le sas par la fente ménagée au bas des poteaux busqués pour le passage de la chaîne de touage, la manœuvre d'ouverture est assez dure au démarrage et exige souvent deux hommes par vantail. Pour les aqueducs de remplissage et de vidange du sas, qui ont une section de 4,50 et sont munis de vannes à papillons actionnés par un cric à vis sans fin, la manœuvre d'ouverture exige deux hommes, au départ, lorsque la chute varie de 3 à 4 mètres. Les manœuvres sont faites par deux éclusiers et un chef qui ne suffisent pas lorsque la navigation est active. L'emploi de moteurs électriques a simplifié leur tâche et activé les manœuvres.

Les portes sont actionnées par un arc denté de 2 mètres de rayon, fixé sur l'entretoise supérieure du vantail et logé dans un encuvement à $0^{m},25$ en contre-bas du terre-plein. La manœuvre à bras se fait par l'intermédiaire d'une série d'engrenages au moyen d'une manivelle supportée par une borne. Les vannes d'aqueduc sont manœuvrées à bras, à l'aide d'une béquille actionnant un cric logé dans le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puisard de l'aqueduc. On a profité du voisinage immédiat de ces deux organes pour recourir à un moteur commun placé entre eux.

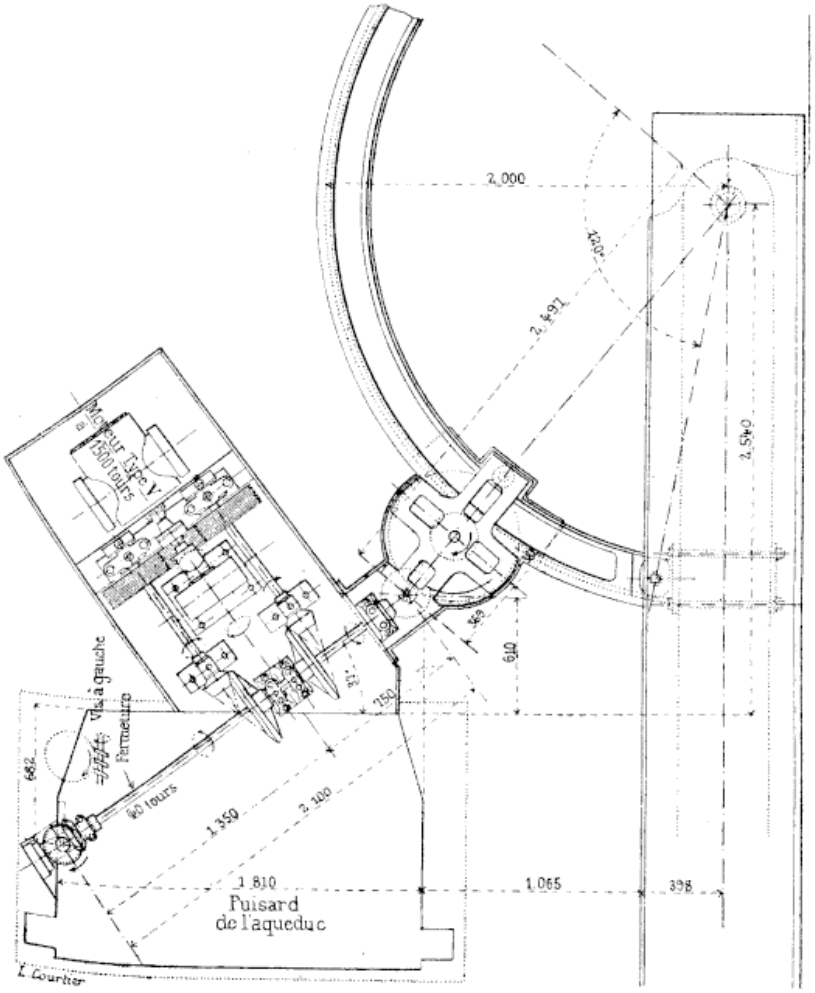


Fig. 47.
Dispositif de la commande électrique des portes et des vannes d'aqueduc.

L'embrayage des moteurs électriques avec les organes de manœuvre des portes et des vannes d'aqueduc est réalisé au moyen d'embrayages à friction constitués par des cylindres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cannelés, et toute manœuvre automatique a été écartée comme se prêtant mal aux opérations à exécuter, notamment au busquage des portes.

Afin de retarder le moment où le moteur ne pourrait plus fonctionner à raison de l'élévation des eaux en temps de crue et aussi afin de faciliter sa visite et son entretien, la boîte en fonte qui le contient fait en partie saillie sur le terre-plein. Deux roues montées excentriquement peuvent embrayer avec un pignon tournant à 300 tours. L'une correspond à une vanne d'aqueduc, l'autre à un vantail. L'embrayage est obtenu au moyen d'un levier traversant le couvercle de la boîte du moteur et agissant sur la roue à friction.

La marche est assurée, dans les deux sens et à toutes les vitesses jusqu'au maximum de 1,500 tours, par un rhéostat dont la manivelle est établie sur la boîte du moteur. L'éclusier, tenant d'une main le levier et de l'autre la manivelle, exécute la manœuvre très facilement, en réglant la vitesse suivant les besoins, soit au moyen du rhéostat, soit en faisant varier la pression sur le levier d'embrayage. En agissant sur le levier dans le sens contraire à celui qui produit l'embrayage, il appuie la roue sur une pièce de chêne fixe et dispose ainsi d'un frein puissant pour empêcher la porte d'être projetée contre le busc par le courant qui se produit aux derniers moments de la fermeture. Une vis de butée réglable à volonté limite la course du levier d'embrayage, de telle sorte que la porte ne puisse être ouverte sous une charge de plus de 5 centimètres d'eau.

Le moteur a une puissance de 3,250 watts, mais la manœuvre de la porte, sous la chute de 4 mètres, n'exige

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que 1,700 watts à l'ouverture et 1,200 watts à la fermeture. La manœuvre de la vanne d'aqueduc exige de 1,100 watts à 1,200 watts à l'ouverture et de 660 à 680 watts à la fermeture.

La durée de la manœuvre d'un vantail est de 85 secondes pour l'ouverture et 78 secondes pour la fermeture. Pour les vannes d'aqueduc, la durée est de 80 secondes à l'ouverture et de 70 secondes à la fermeture.

Les appareils sont disposés de façon à permettre la manœuvre à bras immédiate en cas de besoin.

Une aiguille, entraînée par le mécanisme actionnant la vanne, fait connaître le degré d'ouverture de cette dernière et permet à l'éclusier de ralentir la marche suivant les besoins.

Cabestans. — Un cabestan électrique, de la puissance de 7 chevaux, a d'abord été établi à titre d'essai sur le

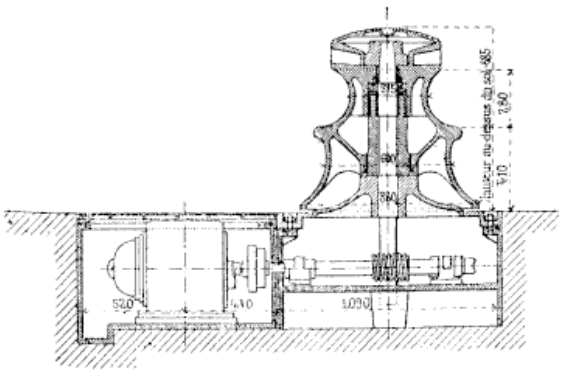


Fig. 48. — Écluse d'Amfreville-sous-les-Monts. Cabestan électrique.

bajoyer de rive de la grande écluse. La transmission y est effectuée par une vis sans fin actionnant des engrenages. Le mécanisme trempe constamment dans l'huile; il est placé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans un encuvement étanche, ne faisant aucune saillie sur le terre-plein. La poupée tourne à 10 tours par minute Elle a un diamètre minimum de $0^m,40$, permettant d'exercer normalement un effort de 2,500 kilogrammes avec une vitesse de $0^m,20$ par seconde. Au démarrage, cet effort est plus que doublé.

La poupée du cabestan est entraînée par un manchon à dents et peut, au besoin, être actionnée à bras avec des leviers.

Trois autres cabestans ont été placés, un à chaque tête, et le troisième vers le milieu de l'écluse. Ils peuvent servir à toutes les manœuvres d'entrée et de sortie, au moyen de poulies de renvoi fixées sur les bajoyers. Les derniers cabestans, de même puissance que le premier, sont à poupée double; la vitesse de rotation est de 8 tours par minute; les diamètres sont de $0^m,375$ et $0^m,600$, de telle sorte que la poupée supérieure donne un effort de 3,300 kilogrammes avec une vitesse linéaire de $0^m,16$ et la poupée inférieure donne 2,100 kilogrammes avec vitesse de $0^m,25$.

La mise en marche se fait au moyen d'une clef agissant sur le cadran du rhéostat de mise en marche.

Treuils du barrage. — Les manœuvres courantes de réglage de la retenue sont faites au moyen de treuils spéciaux, circulant sur la passerelle de service fixée aux montants des cadres sur lesquels s'appuient les rideaux formant vannage.

Lorsque tous les rideaux étant enroulés au-dessus de cette passerelle, les eaux continuent à monter, et qu'il y a lieu d'effacer le barrage, les cadres sont relevés sous le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pont supérieur au moyen de treuils roulant sur une voie supportée par ce pont.

Treuil des rideaux
Vue en bout

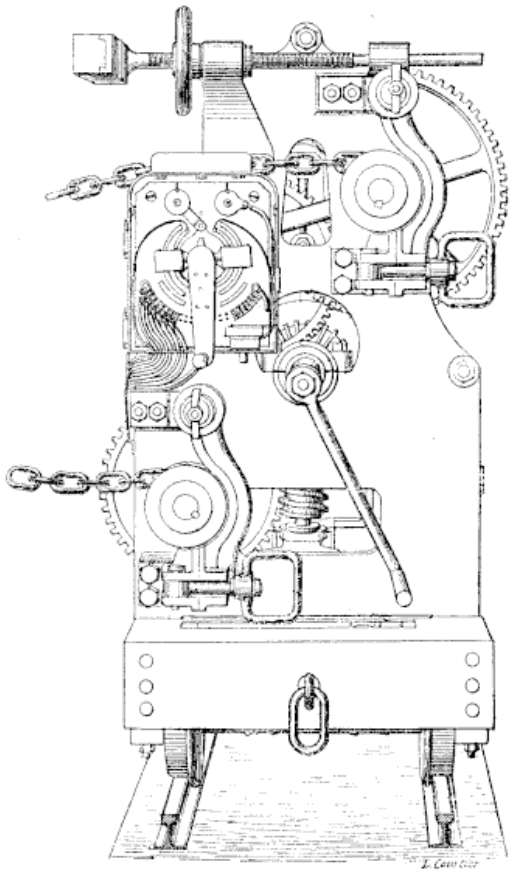


Fig. 49.

Chacun des deux treuils d'enroulement des rideaux est muni d'un moteur électrique de 3 chevaux. Un rhéostat permet la marche dans les deux sens et à toutes les allures. Un débrayage sert à isoler le moteur pour la marche à bras, en cas de besoin. Un câble souple, sous enveloppes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

isolantes, relie le treuil roulant aux prises de courant établies dans chaque pile du barrage.

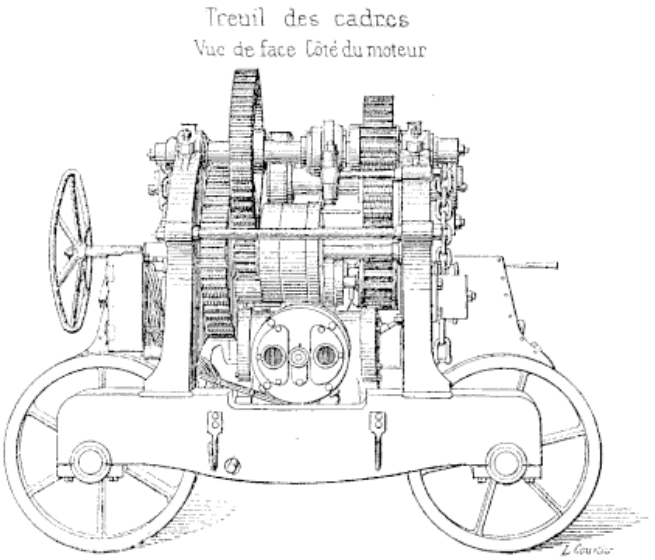


Fig. 50.

Le treuil de relèvement des cadres est muni d'un moteur électrique de 7 chevaux avec rhéostat permettant la marche à toutes allures et dispositifs pour la marche dans les deux sens. Comme le précédent, il est pourvu d'un débrayage en vue du fonctionnement à bras. En outre, un embrayage spécial permet de rendre le treuil automobile.

Machines-outils. — La distribution de force a permis d'installer, dans le magasin du barrage, un petit atelier de réparations, avec un moteur électrique de 2 chevaux faisant mouvoir une machine à percer, un tour, une scie circulaire de $0^{m},70$ de diamètre et une meule. Elle dessert, en outre, un moteur de 4 chevaux actionnant une pompe rotative non

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

centrifuge, qui fournit l'eau de source nécessaire à l'alimentation du petit établissement de pisciculture des écluses.

Tous les moteurs employés dans l'installation sont du système hermétique « Jacquet ». Ils sont montés en dérivation avec induit en tambour tournant entre deux électros, dont le noyau est fixé dans une boîte en fonte enveloppant complètement le moteur et le mettant ainsi à l'abri de l'humidité; une glace permet de s'assurer du bon fonctionnement des balais qui sont en charbon. L'échauffement n'est pas à craindre pour le moteur des portes et des cabestans, dont la marche n'est jamais de longue durée. Pour les treuils du barrage, leur exposition en plein air les maintient à une température normale.

Les projets de ces travaux ont été dressés, sous la direction de M. Caméré, ingénieur en chef, par MM. Clerc et Bret, ingénieurs ordinaires.

Ils ont été exécutés par les mêmes ingénieurs ordinaires avec la collaboration de M. Jacob, conducteur des ponts et chaussées, sous la direction de MM. Caméré et Joly, ingénieurs en chef.

Les mécanismes électriques ont été exécutés et fournis par M. Jacquet, constructeur à Vernon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXI

FLUVIOGRAPHE ÉLECTRIQUE,

AVERTISSEUR ET ENREGISTREUR À DISTANCE,

ÉTABLI À L'ÉCLUSE DES MUREAUX, SUR LA SEINE.

Un exemplaire.

Le fluviographe électrique avertisseur et enregistreur à distance, mis à l'essai sur la Basse-Seine, depuis 1890, pour la surveillance du niveau des retenues et qui a figuré à l'Exposition universelle de 1889 (Pavillon du Ministère des Travaux publics), a reçu depuis cette époque, ce qui en diminue le prix, la simplification indiquée dans la notice le concernant, à savoir : l'envoi des hauteurs d'eau à partir seulement d'une zone déterminée et non en différenciant celles se réalisant au-dessus et au-dessous du plan d'eau de la retenue à surveiller. D'autre part, il a été pourvu d'un dispositif permettant aux ingénieurs du service de provoquer de leur bureau même, sans avoir recours aux agents intéressés, l'envoi des dépêches destinées à assurer le contrôle sur le niveau des retenues.

Enfin il a été adjoint à l'appareil transmetteur un cylindre qui enregistre sur place les variations de hauteur de la retenue, et les dispositions servant à avertir les agents locaux ont été complétées de façon à laisser trace des avertissements reçus.

En laissant de côté l'installation du flotteur plongeant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans la retenue à surveiller, laquelle varie forcément suivant la disposition des lieux, le fluviographe proposé en janvier 1896 se compose essentiellement d'un cylindre transmetteur à axe horizontal mis en mouvement par un système d'horlogerie, cylindre au-dessus duquel peut se déplacer, sous l'action du flotteur, un chariot portant un style s'appuyant constamment sur sa surface.

Ce cylindre, en ébonite, porte, incrustées, des lames métalliques séparées, disposées suivant les génératrices, de manière à correspondre chacune à 10 centimètres de variation d'altitude du flotteur, et, par les biseaux qui les terminent, à des variations comprises entre 0 centimètre et 10 centimètres. En dehors de ces lames, le cylindre en porte trois autres qui règnent dans toute la longueur, et dont la largeur est moindre pour les distinguer des premières; ces dernières sont destinées à indiquer le commencement des dépêches, de façon à éviter toute confusion.

Lorsque le mouvement d'horlogerie est déclanché, le cylindre tourne avec une vitesse de 5 tours par minute; l'appareil étant alors en communication avec la ligne télégraphique qui aboutit au bureau de l'ingénieur, le courant de la ligne passe chaque fois que le style du chariot rencontre une des lames du cylindre, et il aboutit à l'appareil récepteur qui sera décrit plus loin. Quant au nombre et à la durée des courants qui passent par la ligne pendant une révolution du cylindre, ils dépendent de la position du style, et par suite de celle du flotteur : ce qui explique que ces courants indiquent au bureau récepteur la situation du flotteur, c'est-à-dire l'altitude de la retenue par rapport au niveau réglementaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

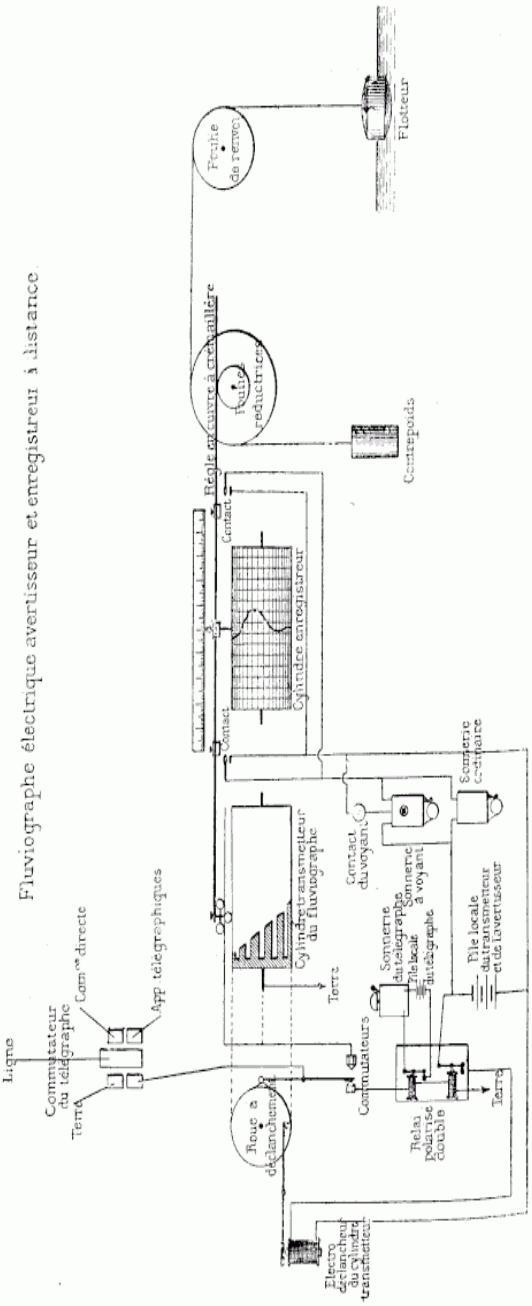


Fig. 51.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un cylindre enregistreur en cuivre est monté à la suite du cylindre transmetteur; il est disposé pour recevoir une feuille de papier sur laquelle se font les inscriptions. Ce cylindre est actionné par un rouage horaire à échappement à ancre circulaire, qui lui donne une vitesse d'un tour en sept jours.

Le fluviographe porte en outre deux contacts réglables à volonté, que l'on peut amener à des positions convenables, pour correspondre à des hauteurs déterminées tant au-dessus qu'au-dessous de la retenue; ces contacts mettent en action des sonneries installées dans le bureau et dans la chambre du chef-barragiste, lorsque le niveau de l'eau présente par rapport à la cote réglementaire des écarts nécessitant une manœuvre immédiate du vannage. L'une de ces sonneries comporte un voyant qui sert de contrôle à son fonctionnement et qu'on ramène à sa position normale au moyen d'un contact spécial. Tous ces appareils étant renfermés dans une caisse vitrée dont le conducteur possède seul la clef, le chef-barragiste ne pourrait, lorsqu'il a négligé de faire une manœuvre, alléguer que la sonnerie n'a pas fonctionné.

L'appareil récepteur comprend, comme dans le récepteur Morse, un mouvement d'horlogerie faisant dérouler une bande qui reçoit l'inscription des signaux envoyés par l'appareil transmetteur. Les signaux sont inscrits par une plume que commande un levier actionné par un électro-aimant: cette plume trace un trait continu interrompu par des crochets chaque fois que l'électro-aimant agit sur le levier. Ajoutons que le déroulement de la bande de papier a lieu avec une vitesse déterminée de façon à ce que le signal

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

envoyé par l'appareil transmetteur, au moment du passage du style sur une des lames métalliques, soit de 10 millimètres; chaque crochet, long de 10 millimètres, compte par suite pour 10 centimètres de l'échelle de la retenue; et, lorsque le style rencontre un biseau, le crochet court obtenu compte pour autant de centimètres qu'il a de millimètres.

Au début, l'appareil fonctionnait de la manière suivante :

Le bureau de l'ingénieur demandait la communication au bureau télégraphique local, auquel le fluviographe est rattaché; ce dernier, au moyen d'un commutateur spécial, mettait l'appareil en communication avec la ligne télégraphique aboutissant au bureau de l'ingénieur, qui déclanchait alors, par l'envoi d'un courant, le mouvement d'horlogerie commandant le cylindre transmetteur.

On a cherché à supprimer complètement l'intervention des agents intéressés, bien que leur rôle se bornât simplement à donner, sur la demande qui leur en était faite par le télégraphe, la communication directe avec le transmetteur fluviographique. On y a réussi par l'emploi d'un relai double polarisé; ce relai, du modèle adopté par l'Administration des Télégraphes, est disposé de telle façon que, suivant son sens, le courant envoyé par le poste du bureau de l'ingénieur actionne soit la sonnerie du poste télégraphique, soit l'électro-déclancheur du mouvement d'horlogerie; une came, montée sur une roue solidaire du cylindre, agit sur un commutateur qui, dès que le déclanchement s'est produit, met la ligne en communication avec le transmetteur fluviographique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis leur installation, en mars 1897, les fluviographes ont constamment bien fonctionné, et l'on a pu contrôler, d'une façon continue pour ainsi dire, la tenue des divers barrages, les résultats obtenus sont très satisfaisants, et le niveau de l'eau des biefs subit beaucoup moins d'oscillations qu'auparavant.

Le fluviographe électrique avertisseur et enregistreur à distance a été conçu par M. Caméré, ingénieur en chef, et complété par lui avec le concours de MM. Boutteville et Bret, ingénieurs ordinaires; les appareils ont été exécutés par la maison Bréguet, à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXII

ÉTABLISSEMENT DE PISCICULTURE

D'AMFREVILLE-POSES, SUR LA SEINE.

Un cadre de dessins.

Un petit établissement de pisciculture a été installé aux écluses d'Amfreville-sous-les-Monts, en vertu d'une décision ministérielle du 18 avril 1891 ; cet établissement, situé dans la cour de la maison du conducteur, comporte un bâtiment où sont déposés les appareils d'incubation, un grand réservoir d'eau alimenté par une pompe et un bassin d'alevinage, divisé en compartiments.

Les appareils servant aux incubations se composent de deux escaliers, constitués chacun par 10 auges: soit un total de 20 auges. Pour l'un des escaliers, les auges sont du système « Coste »; dans le second, les auges également de ce système ont reçu de M. Caméré divers perfectionnements. Le bec fixe d'écoulement, entre autres, a été remplacé par deux tuyaux en col de cygne partant de tubulures latérales placées au niveau du fond des auges, tuyaux qui, par un mouvement de rotation, permettent de faire varier, suivant les besoins, le niveau de l'eau dans les auges. Ils peuvent, en outre, par un abaissement convenable, permettre soit de produire des chasses dans le fond des auges pour les débarrasser des impuretés qu'elles contien-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nent, soit de transvaser les alevins sans risquer de les froisser ou de les blesser.

Le réservoir d'eau a une capacité de 15,000 litres. L'eau, prise dans un puits, y est élevée au moyen d'une pompe aspirante et foulante à mouvement circulaire continu, du système de M. Caméré. Au début, cette pompe était mise en mouvement par un petit moteur à pétrole; elle est actionnée actuellement par un moteur électrique dont la force motrice, empruntée au réseau des ouvrages du barrage-éclusée d'Amfreville-Poses, est fournie par la chute du barrage.

L'alimentation des appareils d'incubation est faite à raison de 1,000 à 1,200 litres par 24 heures; ce débit est porté à 1,500 et 1,800 litres lorsque l'époque des éclosions approche. L'eau n'est distribuée aux appareils d'incubation qu'après aération par des chutes en cascade.

Le bassin d'alevinage reçoit les alevins lorsqu'il devient nécessaire de leur donner de la nourriture, c'est-à-dire environ trois semaines après leur naissance et la résorption de la vésicule abdominale.

Ce bassin, construit en maçonnerie de ciment, est divisé en 4 compartiments qui se font suite et qui ont chacun $1^{m},20$ de longueur sur 1 mètre de largeur, avec une profondeur moyenne d'eau de $0^{m},50$. L'alimentation est faite à raison de 15,000 à 18,000 litres d'eau par 24 heures.

La première nourriture donnée aux alevins consiste en proies vivantes, telles que asticots de viande, daphnies, etc. Au bout d'un mois, on y substitue des matières animales hachées: poisson blanc, rate, etc.

L'installation permet de mettre chaque année en incubation 30,000 œufs de salmonidés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis la création de l'établissement, on a pu annuellement lâcher en Seine une certaine quantité de jeunes sujets, ainsi que l'indique le tableau suivant:

ANNÉES.	ESPÈCE.	QUANTITÉ.	TAILLE MOYENNE.
1891.....	Truites communes.....	250	2 centimètres.
1892.....	*Idem*.....	5,250	De 2 à 8 centimètres.
	Saumons.....	2,050	De 3 à 8 centimètres.
1893.....	Truites des lacs.....	2,200	De 2 à 3 centimètres.
	Truites arc-en-ciel.....	1,200	2 centimètres.
	Saumons.....	5,450	De 2 à 3 centimètres.
1894.....	*Idem*.....	13,310	De 2 à 4 centimètres.
1895.....	*Idem*.....	5,606	De 3 à 4 centimètres.
1896.....	*Idem*.....	12,330	De 3 à 6 centimètres.
1897.....	*Idem*.....	22,740	De 3 à 6 centimètres.
1898.....	*Idem*.....	10,000	De 3 à 7 centimètres.

L'établissement de pisciculture d'Amfreville-sous-les-Monts a été organisé sous la direction de M. Caméré, par MM. Clerc et Bret, ingénieurs ordinaires, avec la collaboration de M. Jacob, conducteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXIII

ÉCHELLES À POISSONS,

À COURANT RALENTI,

INSTALLÉES SUR LA SEINE, AU BARRAGE DE MARTOT.

Un modèle.

La canalisation de la basse Seine entre Paris et Rouen aura un mouillage minimum de $3^{m},20$, nécessitant l'emploi de barrages à fortes chutes. M. Caméré, qui a pris part à ces travaux à titre d'ingénieur ordinaire, puis d'ingénieur en chef, s'est préoccupé de remédier aux inconvénients que pourraient présenter ces barrages au point de vue de la remonte des poissons migrateurs, tels que saumons, aloses, etc., ainsi que des poissons sédentaires.

Après divers essais, il est arrivé à créer divers types d'échelle basés sur le ralentissement du courant de l'échelle par des cloisons d'arrêt liquides, et non par des cloisons en maçonnerie, en bois, etc., comme cela est pratiqué dans les échelles à cascade ou à chicane.

Cette disposition, en offrant aux poissons un passage direct, de section constante et sans chutes ou remous accentués, est de nature à diminuer considérablement les frais d'installation des échelles, en permettant de réduire leurs dimensions et d'augmenter notablement leur pente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'après les expériences faites, pendant ces dernières années, aux barrages de la retenue de Saint-Aubin-Martot, sur la Seine, près d'Elbeuf, on a pu constater que ces échelles étaient franchies non seulement par les poissons indigènes, mais par les poissons voyageurs, tels que saumons, truites de mer, aloses communes, aloses fines, avec des chutes qui atteignaient, à marée basse, jusqu'à $2^{m},83$ (maximum de la chute possible).

Fig. 52. — Capture d'un saumon ayant remonté l'échelle type n° 2 au barrage de Martot.

D'après d'autres expériences faites au barrage de Poses, situé également sur la Seine, immédiatement en amont, et qui présente, en basse eau, une chute de $4^{m},18$, il a été constaté que, malgré cette différence de niveau, la vitesse du courant, dans une échelle de ce genre, n'atteignait pas une vitesse incompatible avec la remonte du poisson.

Toutes ces échelles sont munies de dispositifs simples pour en assurer le réglage et le nettoyage.

Type n° 1. — Échelle à courant ralenti par des cloisons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'arrêt liquides, produites au moyen d'ajutages latéraux alimentés par le courant même de l'échelle.

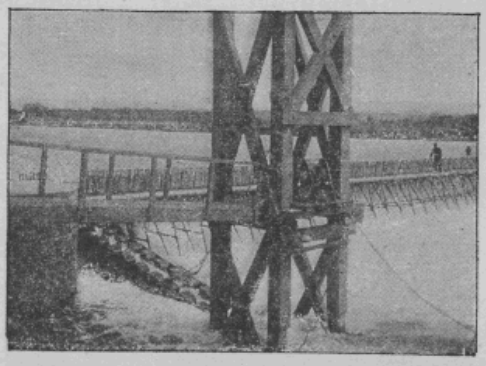


Fig. 53. — Vue d'aval de l'échelle installée dans la culée, rive droite, du barrage de Martot (Seine).

Dans ce type, la bâche constituant l'échelle est divisée en une suite de petits bassins, qui communiquent librement entre eux au droit du couloir réservé, dans l'axe de la bâche, pour le passage du poisson. Ce couloir est limité, de chaque côté, par une série d'ajutages disposés symétriquement, lesquels mettent successivement en communication, deux à deux, les bassins en question, et ont pour objet de conduire les eaux qu'ils reçoivent dans chaque bassin, à des orifices pratiqués, dans le fond du couloir central, dans le bassin subséquent, en aval de ce dernier et transversalement au couloir central. Ce sont les eaux qui jaillissent avec pression par ces orifices, qui forment les cloisons d'arrêt liquides destinées à ralentir le courant descendant dans le couloir central.

Par suite de ce fait que la même eau sert, de proche en proche, pour constituer les cloisons d'arrêt liquides, ce type d'échelle n'exige qu'une très faible consommation d'eau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Type n° 2. — Échelle à courant ralenti par des cloisons d'arrêt liquides, produites au moyen d'ajutages alimentés par une conduite inférieure.

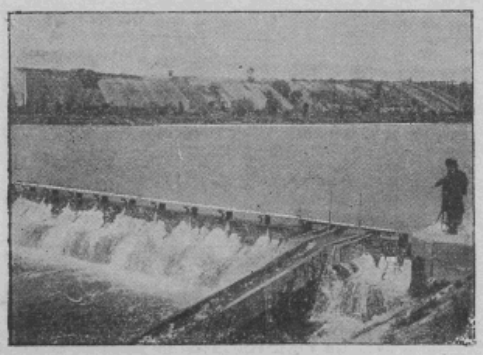


Fig. 54.
Vue latérale de l'échelle installée au barrage de la Blancheterre (Seine).

Dans ce type, l'échelle est constituée par une bâche rectangulaire à double fond; le compartiment supérieur, non couvert, forme le couloir destiné au passage du poisson.

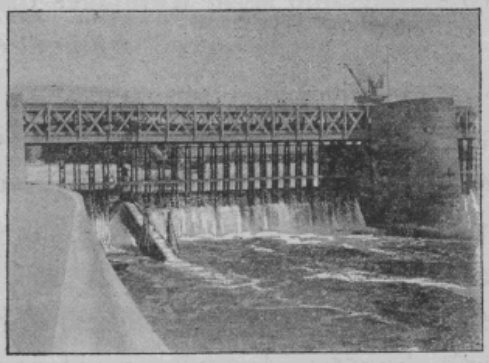


Fig. 55. — Vue de l'échelle installée au barrage de Poses (Seine).

Le compartiment inférieur, dont l'ouverture supérieure plonge dans le bief d'amont, est fermé, au contraire, à son extrémité inférieure.

Il forme une véritable conduite qui amène sous pression,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux rainures horizontales pratiquées dans la paroi constituant le fond du couloir supérieur, les eaux du bief d'amont, lesquelles, en jaillissant à travers ces rainures, produisent les cloisons d'arrêt liquides, destinées à ralentir le courant descendant dans le couloir de l'échelle.

Ce type d'échelle trouve surtout son application lorsqu'il y a lieu de n'exécuter, dans les barrages à franchir, aucune coupure pour la loger.

Type n° 3. — Échelle à courant ralenti par des cloisons d'arrêt liquides, produites directement par le bief supérieur.

Fig. 56. — Vue d'aval de l'échelle installée près de la culée, rive gauche, du barrage de Martot (Seine).

Dans ce type, l'échelle est constituée par une bâche qui plonge entièrement dans le bief d'amont, et dont le fond incliné est compris entre deux parois verticales s'élevant au-dessus des eaux du bief d'amont.

Le fond présente une série de rainures horizontales, permettant aux eaux du bief d'amont de jaillir sous pression, dans les couloirs de l'échelle, et d'y former les cloisons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'arrêt liquides, destinées à ralentir le courant descendant dans l'échelle.

Ce type d'échelle est surtout applicable dans les barrages avec vannage et dans les pertuis.

Type n° 4. — Échelle à courant ralenti par des cloisons d'arrêt produites au moyen d'ajutages alimentés par deux conduites latérales.

Fig. 57.
Vue d'aval de l'échelle installée sur le déversoir de Saint-Aubin (Seine).

Dans ce type, l'échelle est constituée au moyen d'une bâche, comprenant un couloir central découvert, compris entre deux conduites rectangulaires fermées à leur extrémité inférieure et dont les extrémités supérieures plongent dans le bief d'amont.

Les parois latérales de ces conduites sont percées symétriquement, du côté du couloir central, de rainures verticales, par lesquelles se font jour, sous pression, les eaux fournies par le bief d'amont, et qui déterminent les cloisons d'arrêt liquides, destinées à ralentir le courant descendant dans l'échelle.

Ce type d'échelle est surtout recommandable lorsque les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

circonstances locales ne permettent pas d'exécuter, pour loger l'échelle, de tranchées profondes dans les barrages à franchir.

Le modèle exposé donne la disposition de l'échelle installée près de la culée gauche du barrage de Martot, type n° 3.

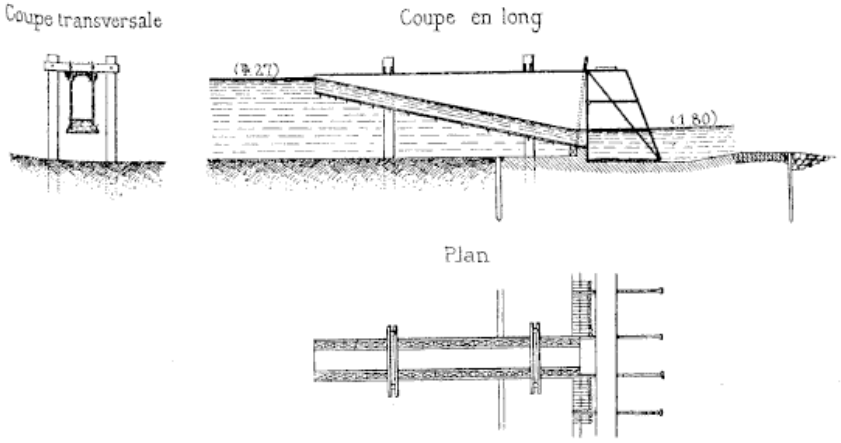


Fig. 58. — Échelle à poissons.

L'échelle a été construite en tôle et fers profilés ; le bois n'a été employé que pour fermer les vides des parois latérales.

Le plafond de la bâche qui la constitue est incliné suivant une pente de 1/4 de base pour 1 de hauteur; les parois latérales s'élèvent horizontalement à 10 centimètres au-dessus du niveau normal de la retenue d'amont.

La bâche occupe l'intervalle des deux fermettes entre lesquelles elle débouche et se trouve entièrement plongée dans le bief supérieur. Elle est maintenue en place au moyen de quatre pieux latéraux reliés deux à deux par des traverses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le plafond de l'échelle est percé de rainures transversales qui peuvent être plus ou moins masquées par des plaques de tôle glissant sous des vis de serrage.

C'est par ces rainures, disposées en forme d'ajutage et qui communiquent directement avec le bief supérieur, que se produisent les veines jaillissantes destinées à provoquer le ralentissement du courant. L'espacement des rainures va en croissant de l'amont vers l'aval, suivant la même loi que les profondeurs d'eau au-dessous du niveau de la retenue.

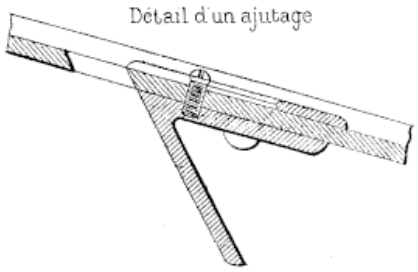


Fig. 59.

Les ouvertures des ajutages ayant été réglées au début, le courant reste très régulier et ne présente aucune agitation tumultueuse.

L'échelle a une longueur de 10 mètres et une largeur libre de 90 centimètres. La chute rachetée au moment des plus basses mers est de $2^{m},83$.

Le courant d'eau a une épaisseur moyenne de 35 centimètres et une vitesse superficielle d'environ $2^{m},50$. Le débit par seconde, avec la retenue normale, peut être évalué à 600 litres.

L'échelle a été mise en service au mois de novembre 1895;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

depuis cette époque, elle a fonctionné d'une façon complètement satisfaisante.

Elle a été conçue et étudiée par M. l'inspecteur général Caméré, et le projet d'exécution préparé par M. l'ingénieur Dupont.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXIV

PLAN DE LA SEINE,

À L'ÉCHELLE DE $\frac{1}{2000}$,

DE L'AVAL DES ÉCLUSES DE BOUGIVAL À ROUEN.

Un album.

Une décision du 27 décembre 1889 a prescrit de lever un plan détaillé de la 3e section de la Seine, ainsi que des profils en travers et un profil en long, qui permettraient de définir exactement le relief du fond et des rives du fleuve.

Le programme arrêté prévoyait : le tracé sur les rives d'une base repérée à des points fixes; le levé de profils en travers espacés de 50 en 50 mètres, rattachés à la ligne de base et embrassant le lit, les berges et les rives dans toute la zone soumise à la servitude de halage; le rattachement à la ligne de base et le levé de tous les détails des abords du fleuve et des ouvrages d'art.

Le plan devait, ainsi que le prescrivait la décision du 27 décembre 1889, être rapporté à l'échelle d'un deux-millième ($\frac{1}{2000}$). On avait admis pour les profils en travers l'échelle d'un millième ($\frac{1}{1000}$) pour les longueurs et d'un centième ($\frac{1}{100}$) pour les hauteurs, et pour le profil en long l'échelle d'un dix-millième ($\frac{1}{10000}$) pour les longueurs et un centième ($\frac{1}{100}$) pour les hauteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les opérations sur le terrain ont été commencées en 1892; elles ont été confiées aux conducteurs du service. Par suite des réductions successives apportées dans le personnel et des changements d'ingénieurs, elles n'ont pu être terminées qu'en 1898. Le plan seul a été autographié jusqu'ici. Il est divisé en feuilles de 1 mètre de longueur et de $0^{m},75$ de hauteur, disposées de façon à pouvoir constituer un atlas.

Le plan exposé comprend la partie du fleuve qui s'étend de l'aval des écluses de Bougival (kil. 48,5) à Rouen (kil. 240,459).

La ligne de base tracée sur le terrain est figurée par un trait noir discontinu. Les profils en travers sont numérotés par kilomètre; leur espacement est indiqué sur la ligne de base seulement, quand il n'est pas exactement de 50 mètres ou de 25 mètres. On a tracé en traits noirs pleins la crête des berges, les chemins de halage et les chemins et rues qui se raccordent avec eux, les amorces des parcelles aboutissant au fleuve. Les talus des berges sont figurés par des hachures.

On a représenté l'axe du chenal de basses eaux par des traits noirs forts suivis de trois points et indiqué par des traits noirs discontinus l'axe du chenal que suivent les bateaux en hautes eaux pour franchir les passes navigables.

Le relief du fond est donné par des courbes de niveau dessinées en bleu. Ces courbes, tracées au moyen des profils en travers, sont espacées, de mètre en mètre, de part et d'autre de la courbe de niveau située à $3^{m},20$ au-dessous de la retenue réglementaire du barrage d'aval ou du niveau des plus basses pleines mers dans le bief de Rouen. Un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trait plus fort définit la courbe de $3^{m},20$ correspondant au mouillage minimum qu'on cherche à maintenir.

Les habitations sont représentées par des surfaces remplies avec des hachures noires; pour les bâtiments de l'État, les hachures sont remplacées par une teinte noire.

Les ponts sont figurés par des sections des piles et culées faites au-dessous des naissances. Les arches marinières sont signalées par des flèches noires indiquant le sens de la marche des bateaux. Des élévations et des coupes à l'échelle d'un millième $\left(\frac{1}{1000}\right)$, ces dernières faites suivant l'axe longitudinal des ouvrages, ont été placées dans les parties non utilisées du dessin.

Les barrages sont définis par deux traits fins indiquant les limites du radier et un trait fort correspondant au pied du vannage. Des flèches noires marquent le sens et la marche des bateaux dans les passes navigables.

Les écluses sont représentées par leurs bajoyers et leurs portes.

Des élévations et des coupes transversales, à l'échelle d'un millième $\left(\frac{1}{1000}\right)$, donnent les dispositions d'ensemble des barrages et écluses.

Le plan a été dressé et rapporté par MM. les conducteurs Branciard, Jacob, Cariou, Haudiquet, Constant, Lapérine, Gervais, Garde, et par un opérateur auxiliaire, M. Thillaye, sous la direction de MM. les ingénieurs ordinaires Bresse, Pérard, Boutteville, Clerc, Bret et Dupont, et de MM. les Ingénieurs en chef Caméré et Joly.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXV

DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE

DES PARTIES DÉFECTUEUSES DU CHENAL DES RIVIÈRES.

EXPÉRIENCES FAITES SUR LA BASSE SEINE

ENTRE PARIS ET ROUEN.

Un panneau de dessins.

Dans un rapport présenté, en 1892, au v^e^ Congrès international de navigation intérieure, M. Caméré, alors ingénieur en chef de la navigation de la basse Seine, avait signalé l'importance que pouvait avoir la recherche des passages défectueux du chenal d'une rivière, même canalisée comme la basse Seine, ces passages pouvant être comparés, au point de vue des inconvénients qu'ils présentent pour la traction, aux rampes sur les voies ferrées et étant, en conséquence, de nature à augmenter le prix du fret dans des proportions notables.

Il avait indiqué dans ce rapport de quelle façon il était possible d'arriver à la reconnaissance de ces passages par voie expérimentale, et montré, d'après quelques expériences sommaires, qu'en particulier sur la basse Seine canalisée et dotée d'un mouillage minimum de 3^m^,20, il existait des parties du chenal réclamant, même avec un ralentissement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sensible de la vitesse, des efforts de traction de 22 p. 100, supérieurs à l'effort normal suffisant pour le reste de la voie.

Pour répondre au vœu exprimé par le Congrès de 1892, de voir continuer ces expériences, l'Administration a mis à la disposition de M. Caméré les crédits nécessaires pour l'aménagement d'un bateau muni d'un dynamomètre pour relever les efforts de traction et d'appareils propres à mesurer les vitesses de marche des bateaux mis à sa remorque.

Les expériences exécutées avec ce bateau ont été poursuivies par M. Caméré, avec le concours de M. Jannot, conducteur des ponts et chaussées, au cours des années 1893, 1894 et 1895, entre Suresnes et Rouen, en intercalant simplement ledit bateau dans les convois qui circulent sur la basse Seine, ce qui avait l'avantage de réduire considérablement les frais d'expériences et de les exécuter en se plaçant dans les conditions mêmes de circulation de ces convois.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

Bateau. — Le bateau choisi pour cette installation a été, en vue de réduire le surcroît de traction à imposer aux remorqueurs des convois soumis aux expériences, une flûte à formes fines, mais à coque robuste et convenablement contreventée à l'intérieur, pour être à même de résister aux efforts de traction qu'elle aurait à supporter au cours des expériences. Les dimensions de cette flûte sont : longueur $19^{m},60$, largeur $4^{m},60$, tirant d'eau $1^{m},20$. Elle comporte un abri pour les appareils et les opérateurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dynamomètre. — Le dynamomètre, capable de supporter des efforts de traction de 7,000 kilogrammes, est à lames d'acier et comporte un appareil enregistreur à bande de papier se déroulant sous l'action d'un mouvement d'horlogerie [1].

Il est placé horizontalement et de façon à se trouver sensiblement à la hauteur, au-dessus de l'eau, du pont des bateaux chargés circulant sur la basse Seine. Il est fixé sur une charpente disposée de manière à intéresser toutes les parties résistantes du bateau.

Les appareils destinés à la mesure des vitesses de marche des bateaux remorqués, imaginés par M. Caméré et construits par la maison Bréguet, sont au nombre de deux. Ils sont basés sur des principes différents et, par leur emploi simultané, fournissent un moyen précieux de contrôle.

Vélocimètre à tube manométrique. — Le premier de ces appareils est basé sur la déformation que produit, dans un tube manométrique Bourdon, la pression de l'eau de la rivière, en raison de la vitesse de marche du bateau d'expériences, déformation reportée au moyen d'un style sur un cylindre enregistreur muni d'un mouvement d'horlogerie.

La communication entre le tube manométrique et l'eau de la rivière est obtenue au moyen d'un tuyau en cuivre de $0^m\,01$ de diamètre, partant de l'avant du bateau, à $0^m\,25$ environ au-dessous de la flottaison.

[1] Ce dynamomètre appartient à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, qui l'a obligeamment prêté au Service de la navigation de la Seine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Afin de modérer les oscillations gênantes du style, on lui a suspendu un disque léger qui plonge dans un liquide de consistance convenable, renfermé dans un cylindre vertical.

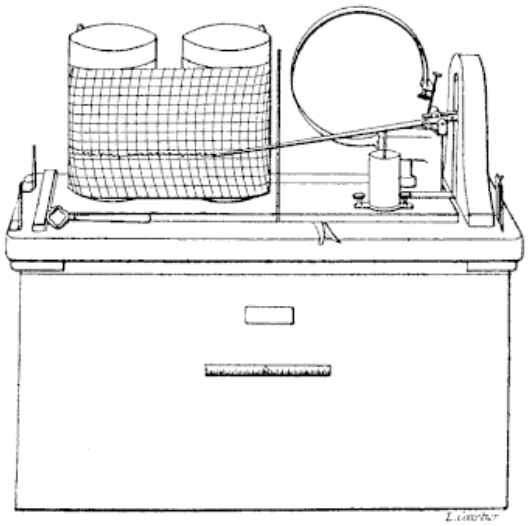


Fig. 60. — Vélocimètre à tube manométrique.

Le tarage de l'appareil a été fait par observation directe sur une base donnée.

Vélocimètre à godets basculeurs. — Le second de ces appareils est basé sur les variations de débit qui se produisent dans un tube plongeant dans l'eau et fixé à un bateau, eu égard à la vitesse de marche de ce dernier.

L'appareil de ce genre, placé à bord du bateau d'expérience, est installé comme suit :

Un tube en cuivre, de $0^m,01$ de diamètre intérieur, muni d'un pavillon en forme d'entonnoir, est disposé à l'avant du bateau, sensiblement dans l'axe de ce dernier, à $0^m,25$ environ au-dessous de sa flottaison, et se prolonge hori-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

zontalement dans le bateau jusqu'à l'appareil enregistreur, où il pénètre par un coude vertical débouchant au-dessus de deux godets accolés, à section triangulaire, montés sur un arbre horizontal de manière à basculer alternativement au fur et à mesure de l'arrivée de l'eau par le tube adducteur, l'un des godets se vidant pendant que l'autre se remplit.

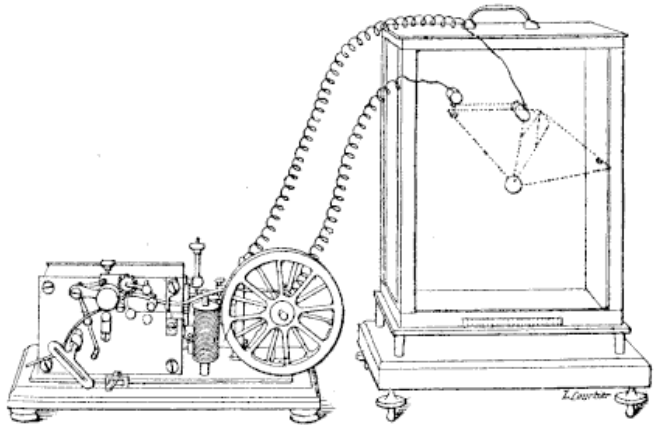


Fig. 61. — Vélocimètre à godets basculeurs.

L'un de ces godets porte une touche métallique qui, à chaque basculement de l'appareil, touche ou abandonne une borne métallique par l'intermédiaire de laquelle des courants sont successivement envoyés à un appareil récepteur genre Morse.

Le relevé des émissions de courant, inscrites par des traits sur la bande de ce dernier appareil, permet de déterminer les variations de débit et, d'après le tarage de l'appareil, les vitesses de marche du bateau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

INTERPRÉTATION DES EXPÉRIENCES.

La méthode employée pour déduire des expériences faites sur la basse Seine, mais applicable à toute autre rivière, les indications cherchées, a été la suivante:

Les résultats des observations recueillis dans une même partie de rivière, généralement un bief, ont été reportés sur un graphique dont les ordonnées représentaient les vitesses, et les abscisses les efforts de traction, ou du moins les moyennes de ces vitesses et de ces efforts applicables à des sections de rivières ayant fourni, au cours d'un même voyage, des résultats sensiblement égaux à ces deux points de vue.

Dans ce graphique, les points s'écartant le plus vers le bas de la courbe moyenne traversent la gerbe formée par l'ensemble des observations rapportées : points qui correspondent, par là même, aux sections où la rivière présente des conditions de navigabilité spéciales au point de vue des difficultés de remorquage. Ces points ont été relevés pour servir à l'établissement d'un second graphique disposé comme il va être dit:

Dans des colonnes horizontales affectées chacune à un seul voyage et le long desquelles se trouvent indiquées les bornes kilométriques de la rivière, ont été reportées, par des teintes plates de même intensité, les zones correspondant à chacun des points choisis sur le premier graphique, puis toutes ces zones teintées ont été reportées en superposition dans une seule bande.

Cette superposition a pour effet, comme l'indique la figure 62, de faire ressortir dans chaque zone teintée des bandes verticales plus foncées que les autres et qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

indiquent précisément les sections de rivière comportant un chenal plus ou moins défectueux.

Rien n'est plus facile alors que de déterminer, en recourant aux résultats mêmes des expériences concernant les différentes sections, l'importance des difficultés de remorquage qu'elles présentent et l'ordre suivant lequel elles doivent être classées eu égard à ces difficultés, puis de se rendre compte, par une étude sur place, des dépenses à faire pour ramener, en chaque point, le chenal à la section normale.

Fig. 62.

Cette méthode, comme on le voit, est donc de nature, en intercalant simplement, dans les convois qui circulent sur les rivières, sans se préoccuper de leur composition ni de leur vitesse, un bateau léger muni d'appareils convenables, d'arriver, sans grands frais et sans grande gêne pour la marine, à déterminer assez rapidement les mauvais passages, leur influence sur les conditions de traction et d'indiquer les points sur lesquels le chenal demande à être amélioré. La précision des résultats obtenus par cette méthode est d'autant plus grande, que les expériences servant à établir les graphiques sont plus nombreuses, et elle suffit pour écarter toutes les causes d'erreurs provenant de fausses directions, fausses manœuvres, croisement de bateaux, coups de vent, etc., qui se produisent forcément au cours des expériences.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXVI

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LE MATÉRIEL DE LA BATELLERIE [1].

Un panneau de dessins.

Si l'on suppose un bateau flottant sur une nappe d'eau douce indéfinie dans tous les sens, la résistance totale à la traction de ce bateau dépend d'éléments multiples : de ses dimensions, de ses formes, de la nature et de l'état de sa surface, de sa vitesse relativement à l'eau; mais tous ces éléments appartiennent, en propre, au bateau lui-même. Si, sur une autre nappe d'eau douce, également indéfinie en tous sens, le même bateau se retrouve dans des conditions identiques, la résistance totale se retrouvera la même; elle constitue donc à vrai dire la *résistance propre* du bateau.

Si, au contraire, ce bateau s'engage dans une voie navigable de dimensions limitées, comme un canal, sa résistance à la traction se modifie; elle augmente, mais elle devient fonction à la fois d'éléments qui sont propres à l'embarcation et d'éléments qui dépendent de la voie particulière dans laquelle celle-ci se trouve. Pour apprécier les résultats constatés dans ce dernier cas, on est naturellement conduit à les comparer avec ceux obtenus en eau indéfinie,

[1] Voir l'ouvrage publié sous le même titre par M. de Mas, en cinq fascicules parus de 1891 à 1897.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à considérer la résistance du bateau dans une voie de dimensions limitées comme égale à sa résistance propre multipliée par un coefficient qui représente l'influence spéciale de la voie qui constitue le *coefficient de résistance* particulier à cette voie.

Les recherches qui ont été faites, en exécution d'une décision ministérielle du 19 novembre 1889, ont porté successivement sur la résistance propre des bateaux des types les plus répandus (bateaux en bois susceptibles de circuler sur les canaux aussi bien que sur les rivières, ayant, par conséquent, au plus les dimensions inscrites dans la loi du 5 août 1879 [1]), et sur le coefficient de résistance d'un certain nombre de canaux. Il en a été rendu compte dans un ouvrage publié sous le titre de : *Recherches expérimentales sur le matériel de la batellerie* [2]. Les personnes que le sujet intéresse étant à même de consulter cet ouvrage, la présente notice pourra être très succincte.

Les expériences ont été faites sur les bateaux eux-mêmes par voie de remorquage direct, en employant des instruments combinés pour donner à chaque instant : d'une part, l'effort de traction exercé sur le bateau remorqué; d'autre part, la vitesse relative réelle du bateau et de l'eau.

L'effort de traction est exercé par l'intermédiaire d'un dynamomètre hydraulique; la pression de l'eau et, par conséquent, l'effort sont mesurés avec un manomètre enregistreur.

[1] Soit, au plus, 38 m. 50 de longueur, 5 mètres de largeur et 1 m. 80 d'enfoncement.

[2] Paris, Imprimerie nationale, 1891-1897; en vente chez Baudry et Cie, Chaix et Cie, Vicq-Dunod et Cie, éditeurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le dispositif employé pour mesurer la vitesse de l'eau par rapport au bateau comporte un moulinet relié électriquement avec un enregistreur de vitesses (cinémographe), sur lequel s'inscrivent immédiatement les vitesses réelles.

Manomètre et cinémographe enregistrent simultanément toutes les variations de l'effort et de la vitesse. Lorsque, pendant un temps suffisamment long, l'un et l'autre sont restés constants, ce qui se manifeste par l'horizontalité des lignes tracées sur les enregistreurs, on peut conclure que l'effort est bien celui qui correspond à la vitesse. On a donc les coordonnées d'un point de la *courbe de résistance totale*, courbe construite avec les vitesses comme abscisses et les efforts de traction comme ordonnées.

La comparaison des courbes de résistance totale obtenues permet de constater immédiatement comment la résistance varie suivant les circonstances.

RÉSISTANCE PROPRE DES BATEAUX.

Les expériences ont été faites sur la Seine, en amont du barrage de Port-à-l'Anglais, dans une partie du fleuve où le rapport de la section mouillée à la surface de la portion immergée du maître-couple des bateaux [1] est toujours resté très considérable (de 70 à 120), et où la profondeur est importante (plus de 5 mètres en moyenne dans le chenal); elles ont permis de constater :

1° Que la nature et l'état de la surface de la coque, non moins que les dimensions et les formes de cette coque,

[1] D'après une notation généralement adoptée, ce rapport est désigné par la lettre *n*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

influent sur la résistance propre du bateau; la *résistance totale* apparaît donc comme étant la somme de la *résistance de forme* et de la *résistance de surface;*

2° Que la résistance propre reste indépendante de la longueur du bateau, toutes choses égales d'ailleurs, *dans les limites où cette longueur a varié dans les expériences;*

3° Que la résistance propre peut être modifiée dans une large mesure par des changements en apparence peu importants, apportés aux formes de la proue et de la poupe.

Ce dernier point a une importance toute particulière dans la pratique :

La figure 63 (p. 230) donne des croquis schématiques des différents types de bateaux qui ont été expérimentés et qui sont dénommés : *péniche*, *flûte*, *toue*, *bateau prussien* et *margotat*.

La figure 64 (p. 231) montre groupées, d'une part : les courbes de résistance totale de la péniche, de la flûte et de la toue à l'enfoncement de $1^{m},60$ pour des vitesses inférieures ou au plus égales à $2^{m},50$; d'autre part, et pour les mêmes vitesses, les courbes de résistance totale de la flûte, du bateau prussien et du margotat à l'enfoncement de $1^{m},30$, enfoncement maximum possible avec les deux derniers bateaux.

Considérons en particulier la vitesse de $1^{m},50$ par seconde (5 kilom. 400 à l'heure) qui est une vitesse très convenable et très couramment pratiquée dans les eaux calmes des rivières canalisées. La première courbe montre que, si la résistance de la flûte est prise pour unité, celle de la péniche s'élève à 1,96 et celle de la toue tombe à 0,75; la seconde courbe fait voir que la résistance du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

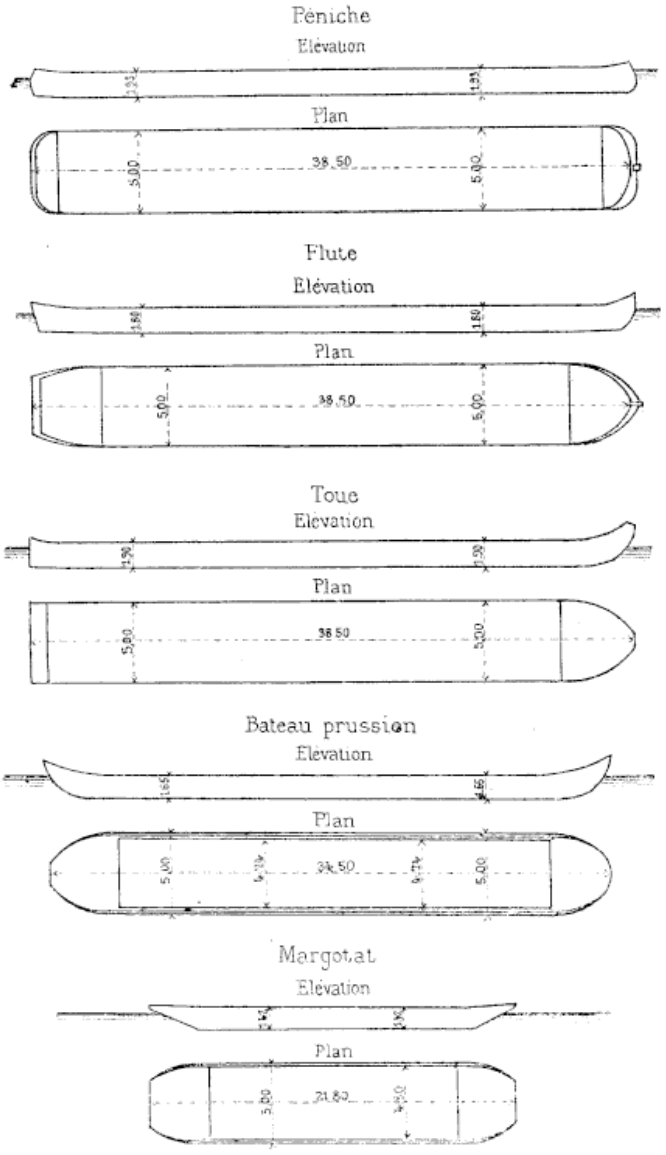


Fig. 63.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bateau prussien et du margotat sont respectivement 0,59 et 0,44 de celle de la flûte. L'heureux effet du relèvement du fond aux extrémités est manifeste.

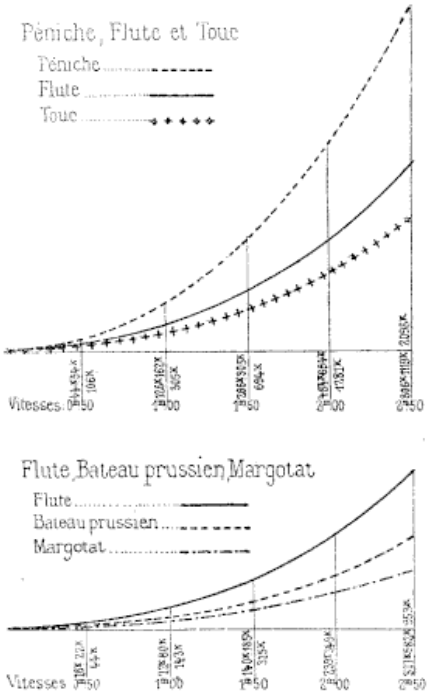


Fig. 64.

Cette considération et la nécessité de ne pas réduire outre mesure la capacité de bateaux dont les dimensions sont limitées par celles des écluses des canaux induit à conseiller de donner aux extrémités de ces bateaux la forme de *cuiller*.

La figure 65 représente deux types de bateaux établis suivant ce principe; ils ne diffèrent l'un de l'autre que par l'élancement plus ou moins grand donné aux extrémités.

A un autre point de vue, on a été amené à penser que la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résistance propre des bateaux pouvait être convenablement représentée par l'expression :

$$r = (a + bt)\,V^{2,25}$$

dans laquelle a et b seraient des constantes caractéristiques de chaque bateau ou de chaque type de bateau, si tous les bateaux d'un même type présentent exactement même état de la surface et mêmes formes.

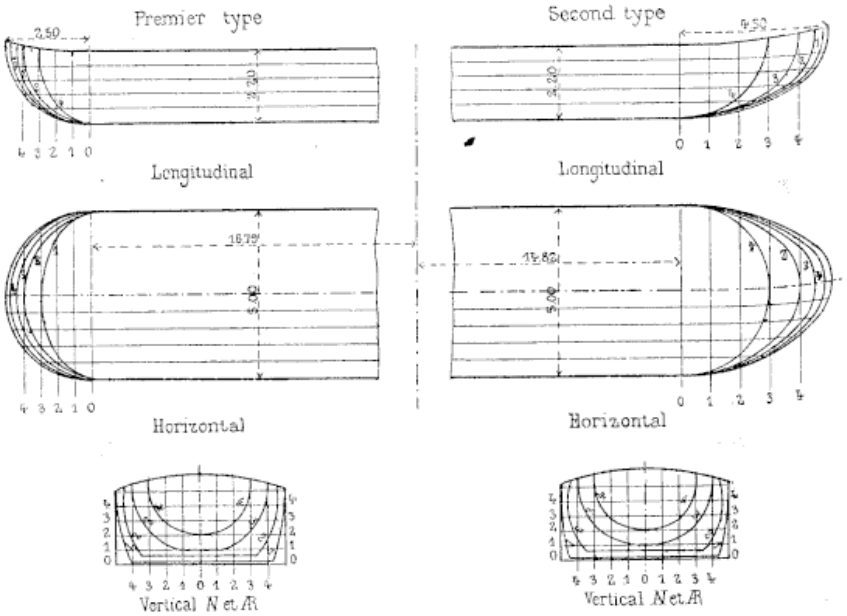


Fig. 65.

La vitesse V (vitesse relative) étant exprimée en mètres par seconde et l'enfoncement t en mètres, les valeurs des coefficients a et b ont été trouvées :

Pour une péniche.....	$a = 21{,}3$	$b = 123{,}6$
Pour une flûte.....	$a = 21{,}5$	$b = 78{,}1$
Pour une toue.....	$a = 14{,}2$	$b = 52{,}4$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COEFFICIENT DE RÉSISTANCE DE LA VOIE.

Une première série d'expériences a été faite en vue de vérifier si les formes favorables pour la navigation sur une nappe d'eau indéfinie conservent leurs avantages dans les voies navigables de dimensions restreintes. A cet effet, on a expérimenté sur le canal de Bourgogne les différents types de bateaux énumérés ci-dessus, et constaté qu'au point de vue de la résistance à la traction, ils conservaient l'ordre dans lequel ils avaient été classés en eau indéfinie. Toutefois les différences d'un type à l'autre sont moins accusées; le bénéfice des formes est moindre dans le premier cas que dans le second; *le coefficient de résistance de la voie est d'autant plus grand que la résistance propre du bateau est plus faible*, toutes choses égales d'ailleurs, bien entendu.

Le coefficient de résistance croît aussi, rapidement, avec la vitesse.

D'autres séries d'expériences ont été faites en faisant circuler un même bateau, une flûte, dans des canaux ou portions de canaux de section différente.

C'est un fait bien connu depuis longtemps que la résistance à la traction augmente quand le rapport n de la section mouillée de la voie, Ω, à la surface ω de la partie immergée du maître-couple du bateau diminue. Les expériences ont pleinement confirmé ce fait, mais elles ont démontré en même temps, d'une manière irréfutable, que cette résistance dépend aussi de la forme du profil mouillé ou plus exactement de la relation qui existe entre la forme du profil et celle du maître-couple du bateau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est ainsi qu'à égalité de surface de la section mouillée, le coefficient de résistance est notablement moindre avec un profil rectangulaire qu'avec un profil trapézoïdal. Les figures 66 et 67 montrent : d'une part, la section du canal de la Marne à la Saône, dans le bief de Jorquenay (profil trapézoïdal, $\Omega = 26^{m2},94$), et celle du canal de la Marne

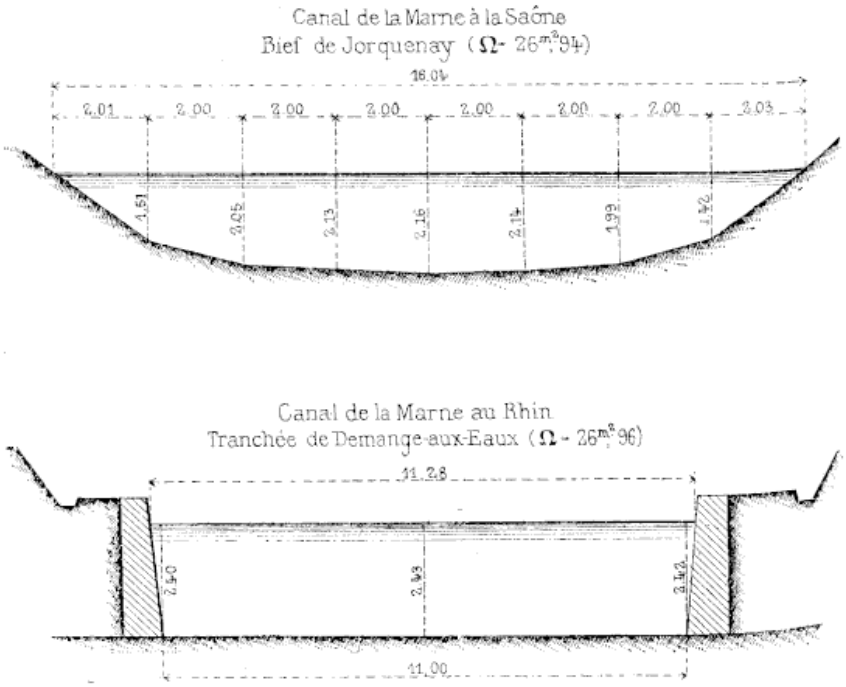


Fig. 66.

au Rhin, dans la tranchée de Demange-aux-Eaux (profil rectangulaire, $\Omega = 26^{m2},96$) ; d'autre part, les courbes de résistance totale de la flûte expérimentée, aux trois enfoncements de 1 mètre, $1^{m},30$ et $1^{m},60$. A l'enfoncement de $1^{m},60$ et à la vitesse de $0^{m},75$ par seconde, le coefficient de résistance a été trouvé de 3,15 pour l'un et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 2,36 seulement pour l'autre; la réduction est de 25 p. 100.

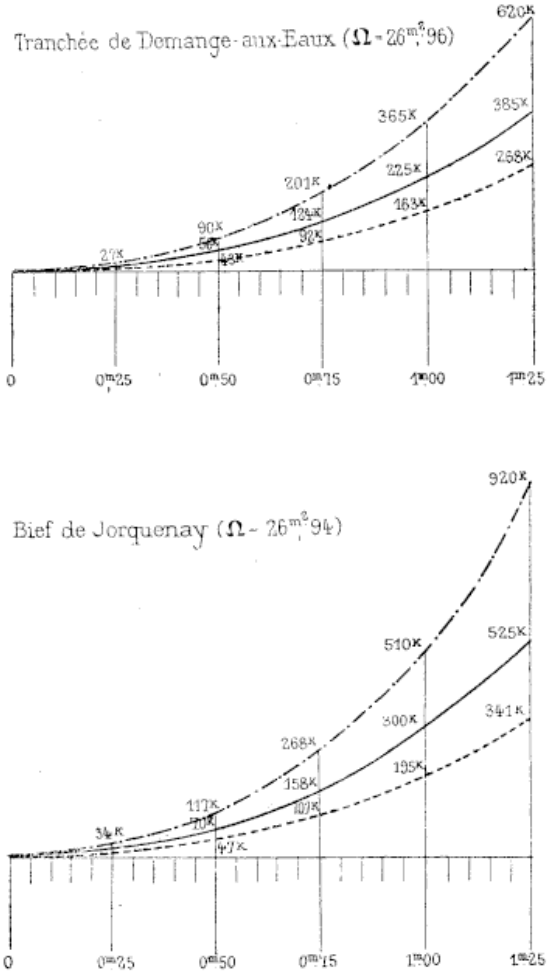


Fig. 67.

Le mouillage a aussi une influence sur la résistance. Les figures 68 et 69 (p. 236 et 237) montrent, d'une part, les sections du canal du Nivernais et du canal de Saint-Dizier à Vassy, toutes deux de forme trapézoïdale, mais de mouillages différents ($1^m,70$ pour l'un et $2^m,60$ pour l'autre);

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'autre part, les courbes de résistance totale de la flûte expérimentée, aux deux enfoncements de 1 mètre et 1^{m},30. Les coefficients de résistance du canal de Saint-Dizier à Vassy accusent une réduction marquée qui, pour l'enfoncement de 1^{m},30 et la vitesse de 0^{m},75 par seconde, atteint 13 p. 100.

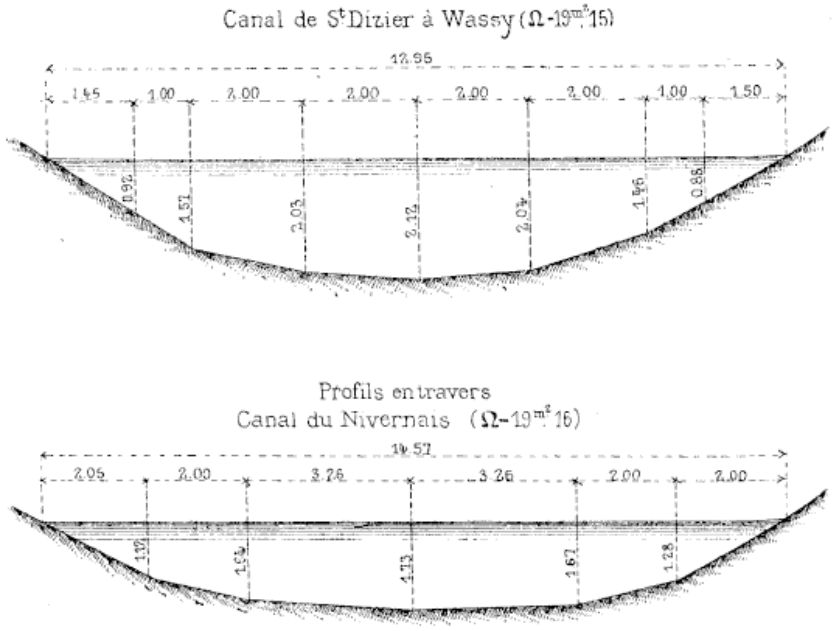


Fig. 68.

En somme, lorsqu'un bateau se meut dans une voie navigable de dimensions restreintes, le volume d'eau correspondant au déplacement du bateau doit s'écouler, de l'avant à l'arrière, par le canal à section rétrécie qui se trouve compris entre la coque et les parois de la voie navigable. Si on désire que l'effort nécessaire soit, autant que possible, atténué, une première condition s'impose. Il est indispensable que les modifications de section, résultant du passage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

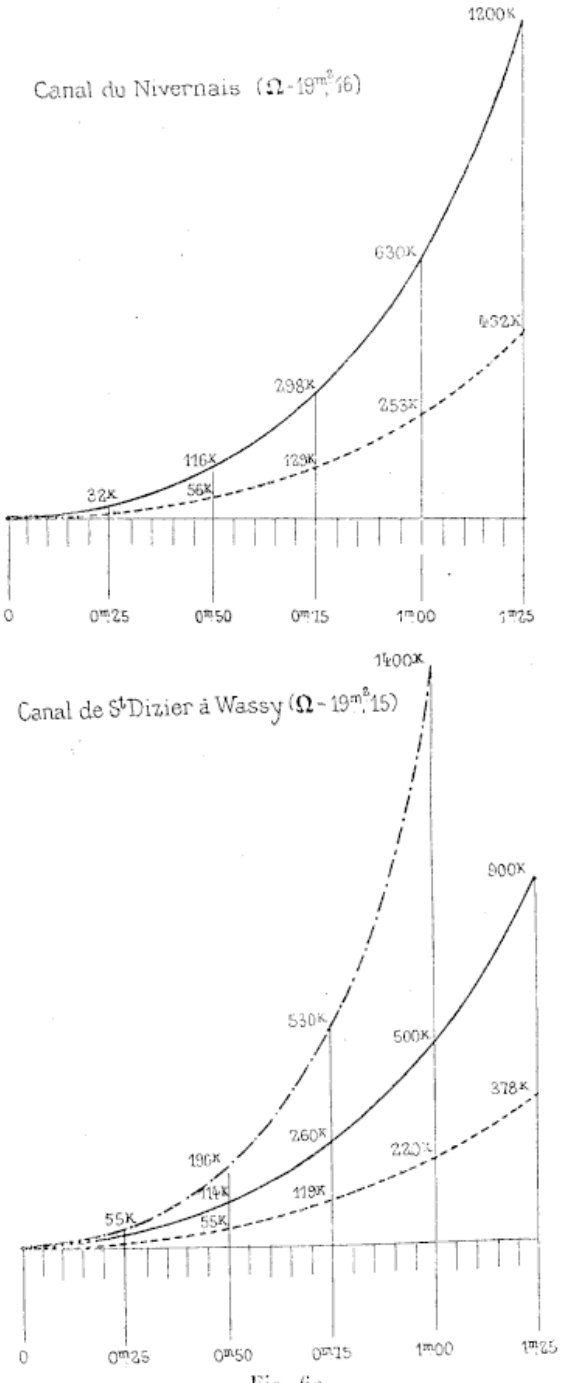


Fig. 69.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du bateau, ne soient pas brusques; qu'elles s'opèrent au moyen de surfaces courbes continues et suffisamment prolongées. Assurément, la forme de *cuiller* préconisée pour les extrémités des bateaux satisfait complètement à cette condition.

L'effort nécessaire augmente rapidement avec la vitesse du bateau et avec l'importance de la réduction de la surface mouillée due à son passage. Il est également influencé par la nature et l'état de la surface des parois de la voie navigable. Toutes choses égales d'ailleurs, par exemple, la résistance à la traction sera moindre dans une voie dont les berges sont protégées par un revêtement bien lisse que dans une autre où ces mêmes berges seront couvertes d'une végétation plus ou moins touffue de joncs et de roseaux.

Enfin, pour que l'eau puisse passer avec la plus grande facilité possible dans le canal à section rétrécie qui se trouve compris entre la coque du bateau et les parois de la voie navigable, il importe que cette section ne présente nulle part d'étranglement ou de partie difficilement accessible à l'eau. De là l'influence de la forme du profil en travers et du mouillage.

Les expériences résumées ci-dessus permettent donc de concevoir une idée générale très nette des circonstances qui peuvent avoir une influence sur la résistance à la traction des bateaux dans les voies de dimensions restreintes. Elles permettent même, au moyen de rapprochements et de comparaisons, de calculer approximativement la valeur numérique du coefficient de résistance de voies établies dans certaines conditions.

Elles ne suffisent pas encore pour laisser voir les rela-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tions précises qui peuvent exister entre les éléments ou quelques-uns au moins des éléments multiples dont dépend ce coefficient, à savoir : la résistance propre du bateau, sa vitesse, les dimensions de la section mouillée de la voie, la forme de cette section, la nature et l'état de la surface de ses parois. Pour arriver à dégager ces relations, si tant est que la chose soit possible, de nombreuses expériences sont, sans doute, encore indispensables.

Les expériences ont été faites, de 1890 à 1895, par M. DE MAS, ingénieur en chef des ponts et chaussées, avec le concours de MM. NOIROT, ingénieur des ponts et chaussées, et BERTRAND, conducteur des ponts et chaussées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TROISIÈME SECTION.

NAVIGATION MARITIME.

I

PORT DE DUNKERQUE.

Un tableau donnant la vue d'ensemble.

ÉCLUSE TRYSTRAM.

Un cadre de dessins.

Description de l'écluse. — L'écluse Trystram, commencée en 1888 et mise en service en septembre 1896, a une largeur de 25 mètres, une longueur de $209^{m},50$ de tête en tête, de $176^{m},75$ entre buses extrêmes et une longueur de sas utile de 170 mètres. Les seuils sont arasés à la cote — 5 mètres, de telle sorte que les navires disposent, en les franchissant, de $9^{m},15$ dans les plus basses marées de mortes-eaux, de $9^{m},90$ dans les marées moyennes de mortes-eaux et de $10^{m},90$ dans les marées moyennes de vives-eaux. Avec ces dimensions, l'ouvrage peut recevoir à toutes les marées les plus grands bâtiments du commerce.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

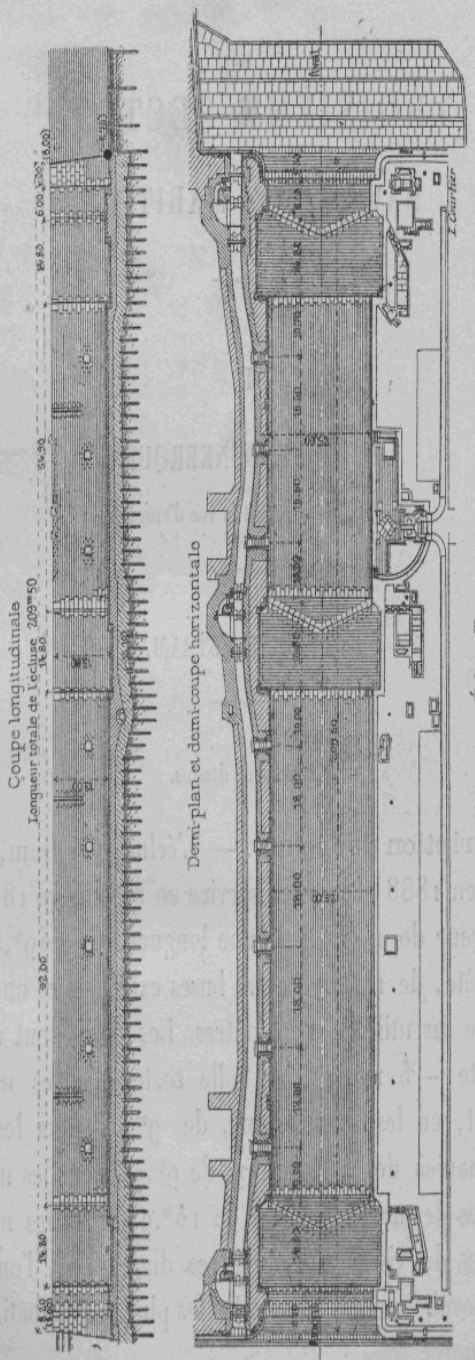


Fig. 70. — Écluse Trystram.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉCLUSE TRYSTRAM — TÊTE D'AVAL

L. Coutlier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'écluse est munie de trois paires de portes d'èbe qui permettent de la diviser en deux sas, un grand sas de $106^{m},80$ et un petit sas de $69^{m},70$. Les portes d'aval sont appuyées contre le ressac par des portes-valets.

Le remplissage et la vidange des sas sont effectués à l'aide de deux aqueducs longitudinaux de $2^{m},70$ de largeur et de $3^{m},50$ de hauteur, courant, dans chaque bajoyer, de la tête amont à la tête aval. Ces aqueducs sont fermés, à la hauteur des portes d'èbe, par des portes tournantes en éventail et sont mis en communication permanente avec le sas par seize aqueducs transversaux de $1^{m},70$ de largeur. Les dimensions des aqueducs sont telles, que le remplissage du sas peut être obtenu en six minutes avec une dénivellation de 3 mètres.

Les têtes sont disposées pour recevoir des bateaux-portes à l'aide desquels on pourra visiter et réparer les seuils.

Un siphon métallique étanche, de $1^{m},80$ de diamètre, est établi dans le radier et sert au passage des canalisations diverses : eau, gaz, eau comprimée, électricité.

Les communications entre les deux côtés de l'écluse sont assurées par un pont tournant à deux volées et à voie charretière unique, sur lequel est posée une voie ferrée.

Les maçonneries des bajoyers sont disposées de façon à permettre ultérieurement l'établissement d'un second pont à l'amont, dans le cas où, par suite de l'extension des bassins, un pont unique deviendrait insuffisant pour desservir la circulation.

L'écluse est établie sur une couche de sable fin de très grande épaisseur, dans laquelle on a trouvé des traces d'af-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fouillements descendant jusqu'à la cote — 9 mètres. Aussi, pour se mettre à l'abri de tout accident, s'est-on décidé à fonder l'ouvrage sur un pilotage général, composé de pieux en chêne de $0^m,30$ de diamètre moyen et de $4^m,50$ à $5^m,50$ de longueur, plus ou moins espacés selon l'épaisseur des maçonneries, qui atteint 19 mètres dans les bajoyers des têtes et se réduit à 4 mètres dans le sas.

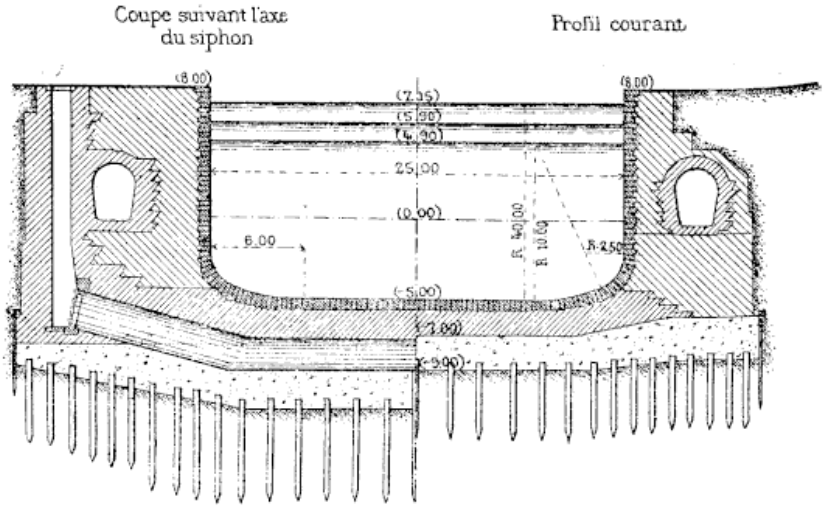


Fig. 71. — Demi-coupes transversales.

Le radier a été constitué par une couche de béton recouverte par une maçonnerie de briques et, au-dessus, par un pavage en moellons d'appareil, dans le sas, et en pierre de taille dans les hauts radiers; son épaisseur varie de $5^m,30$ à 4 mètres.

Le béton a une épaisseur de $3^m,70$ dans le parafouille, de 3 mètres dans les chambres des portes, de 2 mètres dans le sas courant. Il se compose d'un mélange par des parties égales de mortier, de galets et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉCLUSE TRYSTRAM — PILOTIS DE FONDATION

L. Courtier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de briques roches concassées. Le mortier a le dosage suivant :

Chaux de Tournai en poudre.	$0^{mc},60$
Trass de Tournai en poudre.	0 ,30
Sable.	0 ,50

Le béton a été coulé dans une enceinte limitée par des vannages. Les vannages de tête ont 9 mètres de hauteur et forment parafouille. Les vannages latéraux, qui avaient 5 mètres de hauteur, ont été enlevés après l'achèvement des fondations.

Le radier, dans le sas, est plan sur 13 mètres de largeur et forme une courbe en anse de panier à trois centres, de la cote — 5 mètres à la cote — 2 mètres, sur 6 mètres de chaque côté.

Les maçonneries des bajoyers ont été exécutées en partie avec des briques du pays, en partie avec des moellons calcaires des carrières des environs de Boulogne (Landrethun). Les parements sont en moellons smillés des mêmes carrières. Les buscs, les chardonnets, les appuis des bateaux-portes, les angles, les arrondis des musoirs au-dessus des basses eaux, les encadrements des têtes d'aqueducs, les cages d'échelles, les couronnements sont en granit de Bretagne ou de Normandie.

Les voûtes en plate-bande qui recouvrent les chambres circulaires dans lesquelles tournent les portes en éventail des grands aqueducs, les rainures à poutrelles disposées dans ces aqueducs, les encadrements intérieurs des aqueducs transversaux sont en pierre de taille de Soignies. Les arrondis des musoirs au-dessous des basses eaux, le dal-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lage du radier dans les têtes sont en pierre de taille de Landrethun.

On a employé exclusivement, dans l'exécution des maçonneries, des mortiers de ciment Portland et de sable dosés à raison de 700 kilogrammes ou de 550 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. Les ciments provenaient des usines du Boulonnais. Le sable était du sable des dunes, le seul qu'on rencontre dans le pays.

Épuisements. — Les travaux ont été exécutés à l'abri de batardeaux établis à l'aval et à l'amont de l'écluse.

La fouille à assécher avait une superficie de plus de 4 hectares et était comprise entre le chenal et les bassins en exploitation. Dans une pareille situation, l'exécution des batardeaux et l'organisation des épuisements présentaient une importance capitale.

Le batardeau d'aval avait été exécuté en 1885-1886. On l'avait établi à la cote zéro sur l'avant-radier d'une ancienne écluse de chasse, après enlèvement des blocs de maçonnerie constituant cet avant-radier. Il fermait le vide compris entre les deux murs de fuite de l'écluse et était constitué par un massif de sable recouvert extérieurement par une épaisse couche de terre forte protégée elle-même contre l'action de la houle par un perré à pierres sèches.

Le batardeau d'amont était destiné à isoler le chantier de l'écluse des bassins nouveaux après leur mise en eau et était disposé en forme de demi-cercle tournant sa convexité vers les bassins. Il a été établi à la cote $-4^{m},50$ et élevé à la cote $8^{m},50$; son pied du côté intérieur avait été descendu à la cote -7 mètres après l'exécution des fouilles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sa longueur en crête était de 200 mètres. On avait pris de très grands soins pour l'exécution de ce travail. Les remblais avaient été constitués par du sable fin, très pur, étendu par couches minces, soigneusement et énergiquement arrosées et damées. On s'était astreint, de plus, à ne faire monter l'eau dans les bassins qu'avec une très grande lenteur, à raison de $0^m,12$ au plus par 24 heures. Après avoir donné lieu à des craintes sérieuses, à la suite d'une introduction d'eau accidentelle de près de $0^m,40$, les batardeaux se sont parfaitement comportés sous des charges qui dépassaient 13 mètres : dans les grandes marées, les filtrations n'atteignaient pas 30 litres par seconde.

Toutes les eaux à épuiser étaient amenées dans un puisard en maçonnerie établi au pied même du batardeau d'amont et étaient élevées à l'aide de deux groupes similaires de pompes. Le puisard était formé par un puits carré en maçonnerie de 6 mètres de côté, descendu par injection d'eau à la cote — 13 mètres et dont le fond avait été formé à la cote $-11^m,50$ par une couche de béton. Chaque groupe de pompes avait ses tuyaux d'aspiration et de refoulement indépendants et était constitué par deux pompes centrifuges (Dumont, n° 9), conjuguées, placées, l'une à la cote — 5 mètres, l'autre à la cote — 4 mètres, et actionnées par deux machines, l'une de 15 chevaux, l'autre de 10 chevaux. Le bâtiment des machines avait son plancher à la cote + 2 mètres et était porté par des pieux battus dans le talus intérieur du batardeau. L'aspiration se faisait à des cotes qui ont varié de $-9^m,40$ à $-7^m,40$, à l'aide de tuyaux de $0^m,25$; le refoulement s'effectuait par des colonnes de $0^m,20$ qui s'élevaient à la cote

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8m,60; la hauteur totale d'élévation des eaux a, par suite, varié de 18 mètres à 16 mètres. Les eaux, dans le principe, étaient déversées dans un réservoir communiquant avec l'avant-port au moyen de conduites en bois établies sur chevalets; après la mise en eau des darses, la conduite de refoulement a été prolongée par-dessus le batardeau jusque dans le bassin voisin en faisant siphon.

L'épuisement, en général, était effectué par un seul groupe de machines. Le volume d'eau épuisée en vingt-quatre heures est toujours resté compris entre 4,000 et 5,000 mètres cubes.

Des pompes de relais devaient reprendre les eaux de la partie aval de l'écluse pour les ramener à l'amont dans le puisard; le nombre et la position de ces pompes de relais ont varié suivant l'état d'avancement des travaux.

Les dépenses d'épuisement ont atteint environ 45,000 fr. par an.

Battages. — Les battages ont présenté des difficultés spéciales dans l'angle Est de la tête aval : la fondation était descendue à des cotes variant de — 10 mètres à — 11 mètres, soit plus de 17 mètres au-dessous du niveau des hautes mers, à proximité du chenal, dont on n'était séparé que par un massif de sable constitué en partie par des remblais de qualité douteuse; la fouille, dans cet angle, a dû être limitée par un vannage faisant saillie au-dessus du fond, de 5 mètres; le sable était complètement fluide, et on pouvait redouter à tout moment la production de sources, qui auraient déterminé vraisemblablement la rupture des batardeaux et comme conséquence l'envahissement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des chantiers. Le travail a été poussé, dans cette section, de jour et de nuit, sans aucune interruption, après l'installation d'un éclairage électrique intense qui permettait de surveiller tous les points dangereux de la fouille.

Portes. — L'écluse est fermée par trois paires de portes d'èbe, constituées chacune par deux vantaux de 14 mètres de longueur, $12^{m},05$ de hauteur et $1^{m},50$ de largeur. Il n'y a pas de portes de flot; les portes d'aval sont maintenues contre le jusant par des portes-valets.

Chaque vantail d'une porte d'èbe se compose d'un cadre constitué par une traverse supérieure, une traverse inférieure, une poutre tubulaire formant poteau-tourillon et une poutre tubulaire formant poteau busqué; de sept montants verticaux qui partagent en huit intervalles égaux l'intervalle compris entre le poteau-tourillon et le poteau busqué; de deux entretoises reliant les montants et formant cloisons étanches. Un bordage en tôle, soutenu par des membrures horizontales qui s'attachent sur les montants, règne à l'amont et à l'aval sur toute la hauteur de la porte.

La partie centrale du vantail forme une caisse à air; les poteaux-tourillons et busqués sont disposés de façon à former des caisses à eau en communication permanente avec l'amont.

La vidange des compartiments étanches peut être effectuée au moyen de l'air comprimé à l'aide d'une tuyauterie disposée à cet effet.

Des fourrures en bois de green-heart, placées suivant le côté horizontal et les faces verticales du vantail, assurent l'étanchéité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A raison de la forme de l'ossature, la totalité de la pression d'eau supportée par le vantail se répartit entre le busc et la traverse supérieure.

Cette traverse, qui est calculée de façon à résister à un effort de 474 tonnes, est en acier. Le complément du vantail est en tôle de fer galvanisée.

La traverse supérieure est munie, à ses deux extrémités, de sabots en acier moulé; au point où s'exerce la pression sur le bajoyer, une plaque d'acier moulé est scellée dans une grande pierre de taille de $1^{m},20$ de hauteur, qui est elle-même appuyée sur des pierres de taille plus petites disposées de façon à réduire à 12 kilogrammes par c. q., la pression limite de 474 tonnes. Le sabot d'acier, par lequel la traverse supérieure s'appuie sur le chardonnet, porte un tourillon en fer forgé attaché par deux boulons d'acier à une forte pièce en acier forgé, soudée dans la maçonnerie. Le vantail, à sa partie inférieure, s'appuie, par l'intermédiaire d'une crapaudine en acier coulé, sur un pivot en acier forgé de $0^{m},27$ de diamètre scellé dans la maçonnerie.

Chaque vantail est muni de deux vannes donnant ensemble 6 mètres carrés de débouché. Ces vannes sont levées à l'aide de crics à axe vertical, manœuvrés à la main; elles ne doivent servir qu'exceptionnellement, dans le cas où les aqueducs latéraux seraient en réparation.

Le poids d'un vantail, y compris ses colliers, pivots et ancrages, est de 153 tonnes. Chaque vantail est manœuvré au moyen de deux presses hydrauliques actionnées par un seul tiroir qui permet, en étranglant plus ou moins l'orifice de sortie de l'appareil en évacuation, de tendre la chaîne qui se déroule au degré voulu pour éviter toute oscillation

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du vantail. Les presses de manœuvre sont mouflées à 6 brins pour l'ouverture, à 8 brins pour la fermeture. Les presses d'ouverture et les presses de fermeture d'aval sont calculées de façon à exercer sur la chaîne de manœuvre un effort de 7,600 kilogrammes. L'effort est de 4,200 kilogrammes seulement sur les chaînes de fermeture des portes amont et intermédiaires, pour lesquelles on n'a pas à craindre l'action du ressac. Les chaînes, partant des appareils hydrauliques, passent sur deux poulies à axe vertical placées au bord des bajoyers, à proximité du collier; sur deux poulies à axe vertical fixées à la traverse supérieure, près des poteaux-tourillons; sur deux poulies à axe horizontal fixées à la même traverse, près du poteau busqué; de là elles descendent dans des tubes de $0^{m},16$ de diamètre jusqu'à deux poulies à chape mobile autour d'un axe vertical, placées, dans des chambres ménagées dans le vantail, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la traverse à la cote $-1^{m},15$. La chaîne d'ouverture va s'attacher à un organeau scellé au bajoyer, la chaîne de fermeture s'attache à un organeau scellé dans le radier.

Les vantaux d'aval sont munis de freins hydrauliques ayant pour but de les retenir lorsqu'ils tendent à busquer violemment après s'être ouverts sous l'action du ressac.

Ces freins, installés sur les bajoyers, sont disposés de façon à produire des efforts rapidement croissants et atteignant finalement 30 tonnes au moment où les vantaux vont rencontrer le busc.

Les portes-valets, destinées à maintenir les portes d'aval appuyées contre le busc malgré le ressac, sont en fer. Les traverses supérieures et inférieures reçoivent la poussée du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vantail suivant leur axe et la transmettent à la maçonnerie du bajoyer par l'intermédiaire de pièces en acier moulé, boulonnées sur le poteau-tourillon et formant respectivement tourillon et crapaudine. Chaque vantail présente sur sa face amont deux taquets en tôle et cornières destinées à arrêter la rotation de la porte-valet dans la position convenable. Deux semelles en acier boulonnées sur le vantail servent de buttoir aux traverses de la porte-valet. La longueur de la porte est telle qu'elle puisse tourner sans toucher le vantail fermé; l'intervalle ainsi ménagé est rempli par deux coins en bois réunis entre eux par une tige de fer; ces coins sont manœuvrés simultanément à l'aide d'un petit treuil placé sur le poteau busqué de la porte-valet.

Les aqueducs longitudinaux sont fermés aux extrémités et vers le milieu par des portes tournantes en éventail.

Les vannes de décharge sont en fonte à jalousie; elles sont manœuvrées par des presses hydrauliques à action directe. Quand la différence de niveau entre l'amont et l'aval est insuffisante pour vaincre le frottement des tourillons et mettre en mouvement les portes en éventail, la rotation de ces appareils s'obtient au moyen de treuils hydrauliques.

Six cabestans hydrauliques sont disposés sur l'écluse pour faciliter la manœuvre des navires : quatre sur les têtes, deux vers le milieu du sas; ils sont à deux puissances, de deux et cinq tonnes pour les cabestans des têtes, de une et deux tonnes pour les cabestans intermédiaires; le moteur de chacun d'eux a trois cylindres à fourreau; il actionne un arbre horizontal relié par un engrenage conique à l'axe vertical de la poupée. Les deux pouvoirs sont produits dans les cabestans de 2 et 5 tonnes à l'aide de deux trains différen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tiels d'engrenages droits, dans les cabestans de 1 et 2 tonnes au moyen de poupées doubles.

L'eau comprimée est distribuée aux appareils hydrauliques par une double canalisation posée sur les bajoyers. L'eau comprimée est fournie par la machinerie centrale établie entre les formes 1 et 2.

Pont tournant. — Le pont tournant qui franchit l'écluse est à deux volées; il a 52^{m},50 de longueur, 4^{m},66 de largeur entre garde-corps et 2^{m},50 de largeur de voie charretière.

Chaque volée est constituée par deux poutres espacées entre elles de 3^{m},04, qui supportent des entretoises reliées par des longrines sous rails. Elle tourne sur un pivot distant de 3^{m},75 de l'arête du bajoyer. Ce pivot en acier forgé s'engage dans une boîte en acier coulé et est disposé de telle sorte qu'on puisse l'enlever et le changer dans le cas où il viendrait à se gripper. La boîte est scellée dans une pierre de taille de granit de forte dimension.

Le calage du pont fermé est obtenu à l'aide de chariots mobiles, dont la partie supérieure, en forme de coin, s'engage sous les poutres de rive en les soulevant.

Les manœuvres de calage et de décalage du pont fermé et du pont ouvert peuvent être effectuées à la main ou à l'aide d'appareils hydrauliques. La rotation est obtenue à l'aide de presses conjuguées actionnant une chaîne qui s'enroule sur une couronne à gorge portée par la crapaudine du pivot. Le calage et le décalage du pont fermé sont produits par une presse à action directe dont la tige est munie d'une crémaillère actionnant, par l'intermédiaire de pi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gnons, un arbre horizontal. Cet arbre porte à chaque extrémité un pignon qui transmet le mouvement à une crémaillère fixée à l'extrémité du chariot mobile. Le poids du pont, sans son lest, est de 139 tonnes, et, avec le lest, atteint 197 tonnes.

Murs de quai aux abords de l'écluse. — Les murs de quai aux abords de l'écluse ont été fondés à l'air comprimé au moyen de 18 caissons dont les longueurs ont varié de $10^{m},15$ à $30^{m},50$ et qui ont été descendus à des cotes comprises entre — 7 mètres et — 9 mètres. La longueur totale des quais fondés à l'air comprimé est de $462^{m},10$.

Les caissons avaient une hauteur de $2^{m},85$ et des largeurs de $6^{m},50$ pour les caissons fondés à la cote — 7 mètres et de $7^{m},15$ pour les caissons fondés de — 8 mètres à — 9 mètres. Chacun d'eux se composait d'une chambre de travail de $1^{m},80$ et de hausses fixes sur le complément de la hauteur; les faces latérales présentaient sur leur milieu une retraite de $3^{m},50$ de largeur et de 1 mètre de profondeur destinée à permettre l'exécution des soudures. Les retraites étaient supprimées dans les faces placées en regard des maçonneries de l'écluse. Les murs étaient montés avec fruit sur la face extérieure; ils étaient arasés à des cotes comprises entre $7^{m},80$ et 8 mètres. Le cube de maçonnerie, par mètre courant, variait de 70 mètres cubes pour les murs fondés à — 7 mètres, à 87 mètres cubes pour les murs fondés à — 9 mètres.

Les couches traversées se composaient en général exclusivement de sable pur, qui était siphonné toutes les fois que la disposition des lieux et les sujétions locales ne s'y oppo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

saient pas. Une fois le caisson foncé, on vidait, aussi rapidement que possible, la chambre de travail et on la remplissait de béton de galets et de briques roches; on employait, dans les oreilles des faces latérales et sous le plafond, du béton de galets à dosage plus riche, qui pouvait se bourrer plus facilement et mieux envelopper les fers; on tamponnait les cheminées et, au bout de quarante-huit heures, on cessait l'envoi de l'air comprimé si aucune fuite ne se manifestait.

Les caissons étaient écartés entre eux de $0^{m},75$ en moyenne. Les caissons voisins de l'écluse en étaient distants en moyenne de $1^{m},60$. Les joints ont été remplis avec du béton coulé à l'abri de panneaux en charpente. Pour les joints voisins de l'écluse, les panneaux étaient constitués par quatre à cinq pieux jointifs de 12 à 15 mètres de longueur et de $0^{m},30$ d'équarrissage; les déblais ont été effectués, après calfatage des joints, en partie par des plongeurs, en partie à l'aide d'un éjecteur à air comprimé dit *pompe Jandin*. Le béton a été coulé dans l'eau avec une petite benne. Pour les joints entre caissons, on fermait le vide compris entre les oreilles à l'aide de deux pieux jumelés, puis on descendait dans la chambre ménagée entre les oreilles un petit caisson mobile de 3 mètres sur $2^{m},50$, dans lequel on effectuait le déblai en partie par siphonnement, en partie par extraction directe, et on coulait le béton dans le caisson qu'on remontait successivement.

L'exécution des joints a donné lieu à diverses complications dont on a finalement triomphé, mais qui auraient pu amener de graves accidents : c'était le point faible de ce mode de construction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dragages. — Le cube de matériaux à extraire pour enlever les batardeaux amont et aval et pour dégager les abords de l'écluse s'est élevé à environ 300,000 mètres cubes. On a démoli, à la marée, le batardeau d'aval jusqu'à la cote + 2 mètres et le batardeau d'amont jusqu'à la cote + 5 mètres. Le surplus des déblais a été dragué.

Dépenses. — Les dépenses se sont élevées, en chiffres ronds, à 9,500,000 francs, savoir :

1° *Terrassements et maçonneries.*

Écluse	3,500,000f	
Quais fondés à l'air comprimé	1,700,000	
Fourniture de ciment et de trass.	1,300,000	
Démolition de l'écluse de chasse, dragage des batardeaux, dégagement des abords et somme à valoir	1,500,000	
		8,000,000f

2° *Ouvrages métalliques.*

Portes	840,000f	
Pont tournant	120,000	
Appareils hydrauliques de manœuvre	260,000	
		1,200,000

3° *Chaussées des quais et terre-pleins.*

Entre la forme n° 1 et l'extrémité de la darse 4.	300,000
Total	9,500,000f

Les projets ont été dressés et les travaux ont été exécutés sous les ordres de M. Joly, ingénieur en chef, par MM. les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ingénieurs ordinaires DARDENNE et CORBEAUX, pour l'écluse, les quais et pont tournant; par M. VIEILLE, pour les portes d'écluse et les appareils de manœuvre, et par M. CORBEAUX, pour les dragages.

M. le conducteur DIEUSET, au début, puis MM. les conducteurs principaux VILLART et HAEUW, et MM. les conducteurs BALSEN, MESNAGE et GALLOO, ont été chargés de la surveillance.

Les travaux des terrassements et maçonneries ont été entrepris par la SOCIÉTÉ ANONYME, ENTREPRENEUR DES BASSINS DE FREYCINET, qui a été successivement représentée à Dunkerque par M. OLIVIER et par M. Édouard LECOMTE. Les travaux spéciaux à l'air comprimé ont été confiés à M. VIGNER, qui les a exécutés comme sous-traitant de l'entrepreneur des maçonneries ou comme tâcheron de l'administration. MM. BAUDET, DONON et Cie ont construit les portes métalliques; MM. DAYDÉ et PILLÉ ont été adjudicataires du pont tournant; les appareils mécaniques ont été confiés à la COMPAGNIE DE FIVES-LILLE.

Les travaux de dragages ont été exécutés, pour la plus grande partie, en régie, sous la conduite de M. le conducteur principal BREYNAERT et, pour le complément, par M. Noël DUBUISSON.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

PORT DE DUNKERQUE.

Un tableau donnant la vue d'ensemble.

NOUVELLE JETÉE DE L'EST.

Un cadre de dessins.

Jusqu'à ces dernières années, le chenal donnant accès au port de Dunkerque était limité par des jetées en charpente de construction ancienne, distantes d'environ 70 mètres et fondées en général au niveau moyen des basses mers de mortes-eaux.

Cette largeur était justifiée autrefois par les facilités qu'elle donnait pour le halage des navires. Lorsque les profondeurs n'étaient entretenues que par des chasses, la faible largeur du chenal répondait également à la nécessité de renforcer le plus possible la vitesse du courant des chasses.

D'ailleurs, les profondeurs que ce mode d'entretien assurait dans le chenal ne permettaient pas l'entrée à Dunkerque de très grands navires, et le trafic du port pouvait s'accommoder d'un chenal aussi restreint.

Mais les jetées ont cessé depuis longtemps d'être utilisées pour le halage des navires, et la situation a changé complètement après l'abandon des chasses et leur remplace-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment par les dragages pour l'entretien et l'amélioration de l'entrée du port.

Grâce à l'approfondissement de la passe que les dragages permettent de réaliser et aux importants travaux exécutés pour l'agrandissement des installations maritimes, le mouvement de la navigation à Dunkerque s'est développé rapidement et, à partir de 1880, les dimensions des navires fréquentant le port augmentèrent de manière à rendre indispensable l'amélioration de l'entrée du port.

On avait, d'ailleurs, entrepris, dès 1887, la construction d'une grande écluse, aujourd'hui terminée et dénommée *écluse Trystram*, ayant 25 mètres de largeur et 170 mètres de longueur utile avec ses buscs à la cote — 5 mètres au-dessous du zéro hydrographique, et pouvant ainsi permettre l'accès des bassins à flot aux plus grands navires.

Aussi, en 1889, l'Administration des Travaux publics adopta en principe un projet d'amélioration d'entrée du port devant avoir pour effet :

1° De donner au chenal une largeur suffisante pour permettre le passage facile et le croisement des grands navires et pour restreindre les risques d'obstruction complète du port en cas d'échouage dans le chenal;

2° De permettre la réalisation dans le chenal de profondeurs en rapport avec la cote admise pour les buscs de la nouvelle écluse et impossibles à obtenir dans l'ancien chenal, à raison de la nécessité de ne pas déchausser les jetées ;

3° De restreindre ou même de supprimer l'interdiction des mouvements d'entrée et de sortie du port pendant la présence des dragues dans le chenal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'élargissement du chenal a été obtenu par le déplacement de la jetée de l'Est, dont la reconstruction a été approuvée par un décret du 26 août 1890.

On a conservé l'orientation ancienne du chenal (du Sud-Est au Nord-Ouest), qui est satisfaisante au point de vue nautique.

Cette direction facilite l'entrée des navires, qui arrivent presque tous dans la direction Ouest-Est, en leur permettant de décrire, pour pénétrer dans le chenal, une courbe de grand rayon et d'attaquer l'entrée en coupant, sous un angle de 45 degrés, le courant de flot dirigé de l'Ouest à l'Est; et dont l'action redresse l'arrière des navires, alors que l'avant est engagé entre les jetées.

La direction des jetées est également bonne au point de vue du calme dans l'avant-port. Les vents qui donnent le plus de mer à l'entrée sont ceux du Nord-Ouest, du Nord et Nord-Est: l'inclinaison du chenal à l'Ouest l'abrite contre les lames du Nord et du Nord-Est.

On a réalisé l'élargissement du chenal du côté de l'Est plutôt que du côté de l'Ouest pour de nombreux motifs.

La jetée de l'Est était depuis longtemps en très médiocre état; la reconstruction d'une nouvelle jetée à l'Est pouvait se faire plus facilement et à beaucoup moins de frais qu'à l'Ouest; les dragages à effectuer pour l'élargissement du chenal étaient également beaucoup moins considérables.

Enfin et surtout, l'élargissement du chenal à l'Est permettait de faciliter l'accès de la nouvelle écluse.

Le musoir de la nouvelle jetée a été établi à 130 mètres de la jetée Ouest et à 150 mètres environ en retrait du musoir de cette dernière jetée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La jetée de l'Ouest dépassait l'ancienne jetée de l'Est de 70 mètres seulement, mais cette saillie, autrefois assez prononcée pour couvrir des navires à voiles de moyen tonnage, était devenue trop faible avec les grands vapeurs qui fréquentent maintenant le port.

La direction de la nouvelle jetée est légèrement inclinée sur l'ancienne, de manière à porter la largeur du chenal à 210 mètres en face du phare, pour permettre l'évolution des grands navires à l'entrée et à la sortie de l'écluse Trystram.

L'ancienne jetée de l'Est, comme la jetée de l'Ouest conservée, était construite suivant des types distincts : à l'aval, elle comprenait une digue basse arasée à la cote hydrographique + $1^{m},70$, et au-dessus une estacade en charpente élevée à la cote + 9 mètres; à l'amont, elle comprenait une digue pleine jusqu'à la cote 5 mètres, et au-dessus une charpente avec la plate-forme à la cote + $8^{m},20$.

On a adopté des dispositions analogues pour la partie aval de la nouvelle jetée de l'Est, qui est à claire-voie sur 201 mètres environ de longueur et mi-pleine sur 150 mètres.

On a voulu ainsi éviter la propagation des lames par réflexions successives vers l'intérieur du port, et laisser subsister entre la partie aval des jetées une légère agitation suffisante pour atténuer les dépôts de vase dans le chenal.

La préoccupation d'obtenir un calme aussi complet que possible en face de l'écluse Trystram, pour la sécurité des manœuvres des portes et des entrées et sorties des navires, a fait adopter dans la partie amont une jetée pleine

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suivie d'un brise-lames protégé au large par une digue, et longé du côté du chenal par une estacade.

La nouvelle jetée de l'Est a une longueur totale de 865m,22 entre le musoir extérieur et l'extrémité du raccordement avec l'écluse de desséchement du bastion 28.

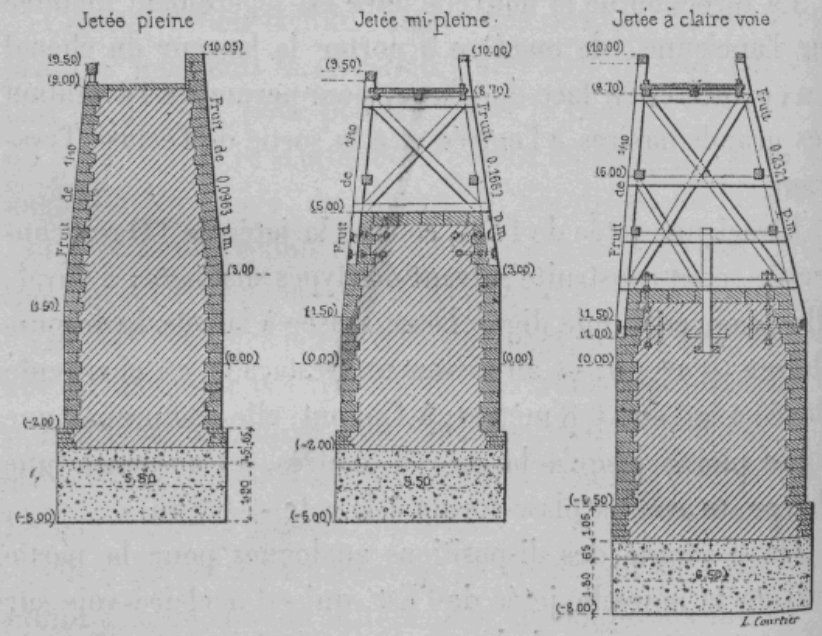


Fig. 72. — Coupe verticale de la nouvelle jetée de l'Est.

Elle comporte une jetée à claire-voie à l'aval, sur une longueur totale de 201m,83, y compris le musoir extrême, une jetée mi-pleine jusqu'à la cote hydrographique +5 mètres sur 149m,39 de longueur, une jetée pleine sur toute sa hauteur sur 273m,25, une estacade de 153m,40 de longueur disposée le long du chenal au droit d'un brise-lames limité du côté de l'Est par une digue, enfin, sur 61m,35 de longueur, une estacade comprise entre deux musoirs en maçonnerie pour le raccordement avec l'écluse du bastion 28.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Toute la partie de l'ouvrage longeant le chenal est établie sur des massifs de fondation en maçonnerie, foncés à l'air comprimé à des cotes variant de — 5 mètres à — $8^{m},26$.

La plate-forme est réglée sur toute l'étendue de la jetée à la cote + 9 mètres.

Les massifs de fondation présentent du côté du chenal un parement vertical au-dessous de la cote + $1^{m},50$ et un parement incliné avec un fruit d'un dixième au-dessus de cette cote.

Du côté de la plage, le parement de la jetée est vertical jusqu'à la cote + $1^{m},50$ pour la jetée à claire-voie, et jusqu'à la cote + 3 mètres pour la jetée mi-pleine et pour la jetée pleine; au-dessus de ces cotes, le fruit est variable dans les diverses parties de l'ouvrage.

Le musoir est fondé à la cote $8^{m},26$.

Le caisson de fondation a une largeur de $9^{m},80$ et une longueur de $13^{m},35$ à la cote + $1^{m},50$; le massif du musoir proprement dit a $13^{m},30$ de longueur sur $9^{m},40$ de largeur.

La maçonnerie est arasée à la cote + $3^{m},54$.

La superstructure est formée d'une charpente comprenant huit fermes, distantes de $1^{m},69$ à $2^{m},15$, assujetties aux maçonneries par les ancrages des poteaux extérieurs et par des poteaux verticaux encastrés dans la maçonnerie.

Dans chaque ferme, les poteaux et bracons sont reliés par trois cours de moises, dont les plans supérieurs sont respectivement aux cotes $3^{m},81$, 6 mètres et $8^{m},70$.

Le plus élevé supporte les longerons sur lequel est fixé le tillac.

Indépendamment des longerons entaillés sur les moises

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et des liernes qui couronnent les poteaux extérieurs, les fermes sont reliées entre elles :

1° Par trois cours de liernes entaillées sur les poteaux extérieurs et sur les moises, qui ceignent le musoir sur tout son pourtour et le relient également à la jetée à claire-voie;

2° Par deux cours de liernes entaillées sur les moises et sur les poteaux alignés dans l'axe longitudinal du musoir;

3° Par des écharpes extérieures du côté du chenal, inclinées de bas en haut d'amont en aval.

La plate-forme supérieure du musoir a $10^{m},50$ de longueur sur $7^{m},38$ de largeur. La tourelle d'un feu de port permanent est disposée sur cette plate-forme.

La jetée à claire-voie est fondée à la cote — 5 mètres à l'amont et à la cote — 8 mètres à l'aval.

Les caissons de fondation ont $6^{m},10$ et $6^{m},50$ de largeur et le massif correspondant des maçonneries supérieures a une épaisseur de $5^{m},80$ à $6^{m},10$ à la cote + $1^{m},50$; il est arasé à la cote + $2^{m},40$.

La charpente est constituée par des fermes espacées de $2^{m},10$. Ces fermes sont assujetties aux maçonneries par les ancrages des poteaux de face et par un poteau vertical encastré dans les maçonneries.

Les fermes sont reliées entre elles par trois cours de liernes sur chaque face.

La largeur de la plate-forme est de $2^{m},70$.

La jetée mi-pleine est fondée à des cotes variant entre — 5 mètres et — $6^{m},60$, sur des caissons de $5^{m},50$ de largeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'épaisseur du massif de maçonnerie est de $5^{m},20$ à la cote $1^{m},50$ et de $4^{m},52$ à la partie supérieure à la cote 5 mètres, à laquelle est arrêté le massif.

La charpente est constituée par des fermes espacées de $2^{m},10$ d'axe en axe, formées des poteaux de face, d'un contreventement en croix de Saint-André et de deux cours de moises.

Les fermes sont reliées par deux cours de liernes aux cotes $6^{m},20$ et $8^{m},90$, prolongés du côté de la jetée à claire-voie.

Les fermes de la jetée mi-pleine, comme celles de la jetée à claire-voie, portent des poteaux d'amarrage en bois à des intervalles de 50 mètres.

La jetée pleine est fondée de la même manière que la jetée mi-pleine. Elle est terminée par une plate-forme en pavage maçonné de $2^{m},70$ de largeur, protégé du côté de la plage par un parapet de 1 mètre de hauteur et $0^{m},58$ d'épaisseur en tête, recouvert d'un couronnement en pierre de taille de granit. Du côté du chenal règne une lierne en bois, disposée sur des supports appropriés en fonte, et dont le dessus est à $0^{m},50$ au-dessus de la plate-forme.

Le brise-lames est limité du côté du chenal par un massif de maçonnerie fondé à la cote — 5 mètres, et servant de support à une estacade en charpente. Les caissons de fondation ont $4^{m},45$ de largeur, et le massif qui les surmonte a $4^{m},25$ de largeur; il est arasé du côté du chenal à la cote + 2 mètres.

L'estacade est formée de fermes en charpente distantes de 3 mètres d'axe en axe, fixées aux maçonneries par les ancrages des deux poteaux et contrebutées par un bracon

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont l'extrémité inférieure s'assemble avec un pieu battu en arrière et moisé avec les poteaux.

Trois autres cours de moises réunissent les pieux de la ferme et cinq cours de liernes réunissent les fermes entre elles, indépendamment des longerons supportant le tillac et des liernes du garde-corps.

Du côté de la plage, le brise-lames est limité par une digue avec noyau en sable, défendu par des couches de terre forte et de béton et enfin par un perré maçonné. Ce perré est soutenu par des murettes longitudinales fondées sur des massifs de béton.

Le pied de la digue est protégé du côté du chenal comme du côté de la plage par des lignes de pieux et palplanches. Il y a, en outre, du côté de la plage, une double risberme de 9 mètres de largeur totale, formée de moellons équarris posés sur une couche de marne entre des lignes de pieux et palplanches.

Le talus du côté de la plage présente des pentes successives de $\frac{2}{1}$ du pied de la digue jusqu'à la cote $+5$ mètres, $\frac{1,50}{1}$ de la cote $+5$ mètres à la cote $+7$ mètres, $\frac{1,25}{1}$ de la cote $+7$ mètres à la cote $+9$ mètres.

Le talus du côté du brise-lames présente la pente de $\frac{1,50}{1}$ de son pied jusqu'à la cote $+7$ mètres et la pente $\frac{1,25}{1}$ au-dessus de la cote $+7$ mètres. A la cote $+9$ mètres règne une chaussée pavée de 3 mètres de largeur, protégée par des parapets maçonnés de 1 mètre et $0^m,50$ de hauteur et de $0^m,62$ et $0^m,45$ de largeur en couronne.

Entre le massif de fondation de l'estacade et la digue, le brise-lames s'élève suivant un plan incliné au $\frac{1}{10}$. Au Sud, il s'élève suivant un plan incliné au $\frac{1}{5}$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le revêtement du brise-lames est constitué d'une couche de béton de ciment recouverte d'une maçonnerie de moellons d'appareil de $0^{m},40$ d'épaisseur.

Dans la partie supérieure, le béton de fondation repose lui-même sur une couche de marne.

Le raccordement entre le brise-lames et l'écluse du bastion 28 est fondé à des cotes variant de $-5^{m},04$ à $-6^{m},11$; il est formé par une estacade de $61^{m},35$ de longueur comprise entre deux musoirs pleins.

La fondation de l'estacade de raccordement est la même que celle de l'estacade du brise-lames; le massif de maçonnerie s'élève à la cote $+2^{m},40$ du côté du chenal.

La charpente de l'estacade de raccordement est constituée comme celle de l'estacade du brise-lames.

A l'arrière de l'estacade, le talus du terre-plein est revêtu d'un talus perreyé dont l'inclinaison est de $\frac{1}{1}$ à $\frac{1.50}{1}$.

Le perré est en maçonnerie de moellons avec parement en moellons d'appareil; il repose sur une double couche de fondation de terre forte et de béton.

Le musoir à l'amont de l'estacade de raccordement a 26 mètres de longueur sur $5^{m},47$ de largeur en couronne; il est arasé à la cote $+8^{m},70$.

Le béton employé pour le remplissage des chambres de travail des caissons et pour la fondation des perrés et du pavage du brise-lames était composé, pour 1 mètre cube, de $0^{mc},400$ de galets, $0^{mc},400$ de cassous et $0^{mc},500$ de mortier.

Les maçonneries ont été exécutées au mortier de ciment Portland, composé de 700 kilogrammes de ciment de Boulogne pour 1 mètre cube de sable des Dunes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les moellons ordinaires et les moellons de parement proviennent des carrières de la Vallée-Heureuse, près de Marquise (Pas-de-Calais).

Les pierres de taille employées pour les couronnements et les échelles sont en granit de Bretagne.

La charpente de la jetée est en pitchpin. On a toutefois employé le green-heart pour les pieux des poteaux arrière de la passerelle du brise-lames et le chêne pour le musoir et les poteaux du contreventement de la passerelle du brise-lames.

Exécution des travaux. — On a employé pour les fondations 42 caissons qui ont été foncés à l'air comprimé. Ces caissons avaient, en général, $20^{m},85$ de longueur; leur largeur était de $4^{m},45$ pour le brise-lames, $5^{m},50$ pour les jetées pleine et mi-pleine, $6^{m},10$ et $6^{m},50$ pour la jetée à claire-voie et $9^{m},80$ pour le musoir.

On a, en outre, foncé un puits par havage à l'amont de la passerelle du brise-lames.

Les caissons ont été foncés dans le sable fin de la plage à des cotes variant de — 5 mètres à $-6^{m},34$, mais généralement — 5 mètres à l'amont du caisson 33, situé à peu près au milieu de la longueur de la jetée à claire-voie. Par suite de la rencontre de couches vaseuses, on a descendu le caisson 33 à la cote $-6^{m},84$ et les caissons suivants à — 8 mètres.

Les joints entre les caissons avaient des largeurs variant de $0^{m},07$ à $0^{m},55$; ils ont été simplement fermés par des panneaux jointifs en bois dans les jetées pleine, mi-pleine et à claire-voie; sur la longueur du brise-lames et du rac-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cordement avec l'écluse, on a ajouté en arrière de ces panneaux un masque en béton descendant jusqu'à la cote $-3^{m},35$.

Les fondations ont été commencées le 8 août 1891 : on a attaqué à la fois la jetée pleine et la jetée à claire-voie; quatre caissons furent fondés en 1891, 21 en 1892, 12 en 1893. En 1894, on a mis en place le dernier caisson de fondation de la passerelle du brise-lames, et l'un des caissons de fondation du raccordement avec le bastion 28.

Les trois derniers caissons ont été fondés en 1895.

La digue, limitant le brise-lames du côté du large, a été commencée en 1893 et achevée en 1894; le brise-lames a été exécuté en 1894-1895.

En 1894, 1895 et 1896, on posait les estacades et, en 1895-1896, on exécutait le raccordement avec l'écluse du bastion 28.

Le chantier était desservi par une voie ferrée de service, disposée parallèlement à la jetée sur une estacade en charpente établie sur la plage.

La plate-forme de cette estacade était à la cote $2^{m},50$ à l'aval et à la cote 3 mètres à l'amont.

Les ateliers de fabrication du mortier et de préparation des matériaux étaient établis à l'entrée de l'enceinte de Dunkerque, aux abords du bastion 28.

Les compresseurs d'air étaient installés dans le même emplacement, et l'air était conduit aux caissons par une longue canalisation disposée le long de l'estacade en charpente établie sur la plage.

Les deux campagnes de 1891 et 1892 ont été extrêmement laborieuses. La mer, pendant presque toute l'année

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1892, fut mauvaise. L'un des caissons de fondation de la jetée mi-pleine avait été violemment déplacé le 15 juillet. Le 22 octobre, un coup de mer rompait la conduite d'air comprimé du caisson 33, situé vers le milieu de la jetée à claire-voie, au moment où l'on commençait le remplissage de la chambre de travail, et déterminait l'enfoncement brusque de ce caisson. Le fonçage put être repris et complété quelques jours après, mais les maçonneries se trouvaient, par le fait de l'accident, descendues au zéro, et il fallut plus d'une année de travail pour les remonter au niveau primitif.

On rencontra, pour foncer les caissons du brise-lames, des sujétions d'une autre nature. La plage qui se relevait insensiblement à l'aval de la cote $-0^{m},50$ à la cote $+2^{m},50$ remontait brusquement au droit des caissons du brise-lames pour atteindre la cote + 6 mètres à l'extrémité amont. On échoua les caissons à des cotes comprises entre + 2 mètres et + 4 mètres en faisant pour chacun d'eux une fouille partielle de petite profondeur et en une seule marée basse. Mais les maçonneries devaient être arrêtées à la cote $+1^{m},70$, de sorte qu'on avait à assurer la descente des caissons, sur une hauteur qui pouvait atteindre près de $2^{m},50$, après qu'ils avaient complètement disparu dans le sable. On dut, pour permettre l'enlèvement des cheminées, les entourer d'une chemise en briques, et pour s'assurer de la régularité du fonçage, il fallut disposer sur les angles des caissons de grandes tiges de fer servant de repères.

Digue du brise-lames. — L'exécution de la digue du brise-lames a été assez difficile. La digue fut attaquée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en 1893; l'été et l'automne furent exceptionnellement défavorables; des tempêtes, dont plusieurs furent extrêmement violentes, se produisirent les 28 août, 2, 3, 7, 8, 9 septembre, 27 octobre, 19, 20, 23, 26, 27 novembre.

Ces tempêtes enlevaient les remblais parfois jusqu'à 2 mètres de profondeur, et il fallut, pour limiter les avaries, établir des murettes longitudinales et transversales.

Chambre du brise-lames. — Les fouilles du plan incliné du brise-lames étaient ouvertes à la partie inférieure dans des sables fluents et recouvertes à chaque marée. On a dû les attaquer par petites portions, en les limitant par des vannages provisoires, à l'aide desquel son constituait des cases qu'on remplissait successivement.

Maçonneries. — L'exécution des maçonneries a été contrariée par des avaries de mer assez importantes, principalement au commencement et à la fin de chaque campagne, qui commençait aux derniers jours de mars et était terminée au commencement de décembre.

On enveloppait entièrement avec beaucoup de soin toutes les maçonneries, exécutées, à marée basse, au mortier de ciment Portland, d'un enduit de ciment à prise rapide, et on ne travaillait pas quand le mauvais temps était manifeste.

Malgré ces précautions, on eut à subir, par suite de mauvais temps imprévus, des pertes assez importantes de maçonneries démolies par la mer.

Charpente. — L'exécution des charpentes n'a donné

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lieu à aucune complication. Les fermes étaient construites à l'atelier, d'après les gabarits relevés sur place, et posées à la marée.

Par suite des sujétions des rainures et des ancrages, on a placé les fermes pièce par pièce; ce qui rendait plus facile l'ajustage final des poteaux de face contre le fond des rainures.

Élargissement du chenal. — Tous les travaux de la nouvelle jetée ont été exécutés en laissant en place l'ancienne jetée de l'Est qui a été enlevée après l'achèvement complet de la nouvelle.

La démolition de l'ancienne jetée et le creusement par dragages de l'élargissement du chenal ont été exécutés en 1897, 1898 et 1899.

A la fin de 1897, 400 mètres de jetée étaient démolis à l'amont et le chenal correspondant dragué.

La démolition a été terminée le 15 novembre 1898. Le travail d'enlèvement de l'ancienne jetée a présenté d'assez sérieuses difficultés, tenant à l'état de la mer, à la consistance et à la compacité de la fondation et des fascines et à la grande quantité de pieux qui ont dû être arrachés.

Les dragages nécessaires pour le creusement du chenal élargi à des cotes variant entre + 3 mètres à + 3^{m},50 au-dessous du zéro des cartes marines ont été terminés en 1899.

Les dépenses se sont élevées à 5,679,416^{f},68, en comprenant avec la reconstruction de la nouvelle jetée les frais de démolition de l'ancienne jetée et d'approfondissement du chenal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les projets ont été dressés et les travaux exécutés sous la direction de M. Joly, ingénieur en chef, par MM. Vieille et Mascart, ingénieurs ordinaires.

Les chantiers ont été conduits par MM. Cleenewerck, conducteur principal, Berteloot et Boone, conducteurs.

Les entrepreneurs étaient MM. Vigner et Rigault.

Les travaux de démolition de l'ancienne jetée et d'approfondissement du chenal ont été exécutés en régie sous la direction de M. Barré, ingénieur en chef, par M. Duperrier, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. le conducteur principal Breynaert.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III

PORT DE CALAIS.

NOUVELLE JETÉE EST.

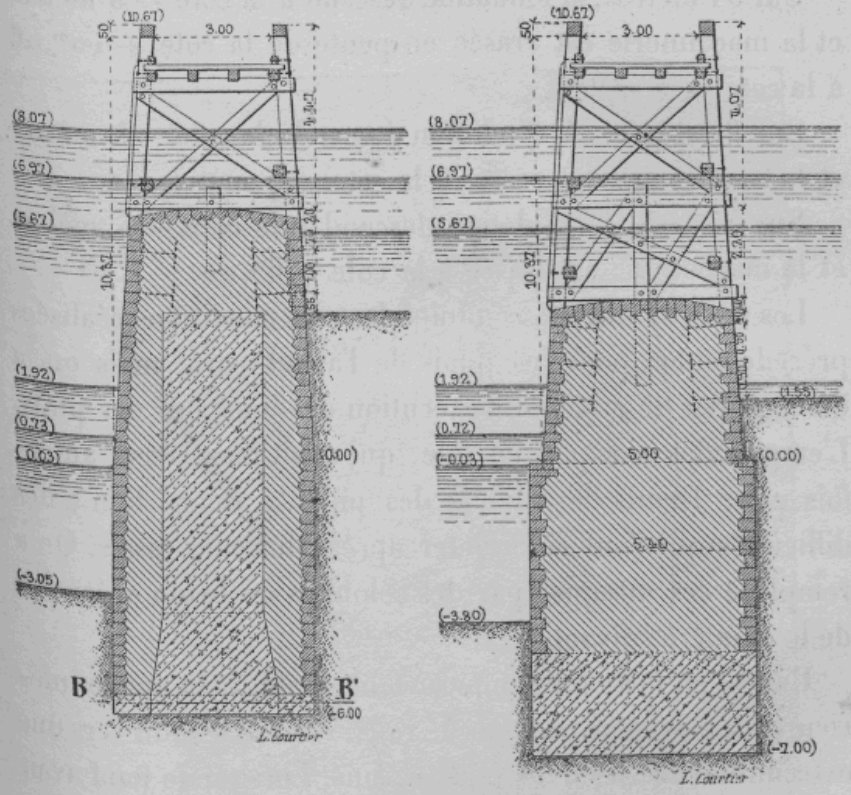
Un cadre de dessins.

La nouvelle jetée, exécutée de 1891 à 1897, comprend un massif de maçonnerie pleine fondé et arasé à des cotes variables et surmonté d'une charpente à claire-voie. Les fondations ont été établies par deux procédés différents : le travail a été tout d'abord entrepris suivant le système de havage de puits par injection d'eau qui avait donné de très bons résultats pour les quais de l'avant-port; mais l'emploi de ce procédé sur la plage, à la marée, devint très coûteux par suite des difficultés de toutes natures inhérentes aux travaux effectués en mer. Le prix de revient était assez élevé et la durée d'exécution trop grande.

Comme les sujétions devaient s'accroître dans de très grandes proportions avec l'avancement vers le large, on se borna à employer les puits foncés par injection d'eau sur $165^{m},45$ de longueur, et on eut recours à l'air comprimé pour le reste, soit $248^{m},78$.

Fondations sur puits foncés par injection d'eau. — La fondation est constituée par des puits de 5 mètres $\times$ 5 mètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



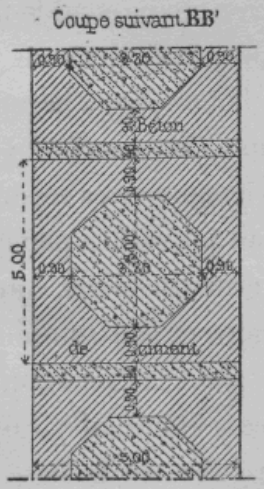


Fig. 73. — Coupes verticale et horizontale de la nouvelle jetée Est de Calais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur 51 mètres, la fondation descend à la cote — 5 mètres et la maçonnerie est arasée en pente de la cote + 10^{m},06 à la cote + 7 mètres.

Sur 61 mètres, la fondation descend à la cote — 5 mètres et la maçonnerie est arasée à la cote + 7 mètres.

Sur 53^{m},45, la fondation descend à la cote — 6 mètres et la maçonnerie est arasée à la cote + 6^{m},20.

Les travaux ont été conduits dans les conditions réalisées précédemment pour les quais de l'avant-port, mais on a dû modifier le système d'exécution des jonctions des puits. L'emploi des masques en tôle, qui avait bien réussi autrefois pour fermer les abouts des puits, a donné lieu à des difficultés qui l'ont fait rejeter après plusieurs essais. On a remplacé ces masques par des colonnes de béton exécutées de la manière suivante :

Un sac en forte toile imperméable lesté, à sa partie inférieure au moyen de coupons de rails, était descendu vers une extrémité entre les deux puits voisins. Lorsque le fond avait atteint la cote voulue, on maintenait la fluidité du terrain sur toute la hauteur au moyen d'injections d'eau, puis on remplissait le sac avec du béton. Sous le poids de ce dernier, le sac se gonflait et formait une sorte de grand saucisson qui prenait les formes des maçonneries voisines. On obtenait ainsi une fonction qui aurait pu suffire par elle-même, mais qui constituait aussi une fermeture assez étanche pour permettre la vidange de l'intervalle et son remplissage en béton.

La dépense totale pour l'exécution de cette première partie des maçonneries a été de 587,566^{f},51.

Le prix du mètre cube de la base des puits ressort à 34^{f},30; celui de la maçonnerie des puits est de 20^{f},32.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FONÇAGE DES PUITS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le mètre cube de fonçage est revenu à 28f,80.

Le prix du mètre cube de remplissage des puits pour vidange, fourniture et emploi, a été de 69f,44.

Le mètre cube des jonctions est revenu à 230f,84.

Enfin, le prix moyen d'un mètre courant de fondation, non compris le ciment, ressort à 3,298f,18.

Le prix du mètre courant du massif, de la cote — 5 mètres à la cote + 7 mètres, ressort à 3,500 francs environ.

Le parement est constitué par des moellons assisés et le mortier est dosé à 500 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. Le béton de chaux coulé dans l'eau était constitué de 5 parties de chaux, 4 de trass et 3 de sable.

Fondations à l'air comprimé. — La fondation se compose de douze caissons courants de 5m,40 de largeur et d'une longueur de 17m,70 pour dix d'entre eux; leur poids était de 31,172 kilogrammes. Deux des caissons ont comme longueurs 21m,63 et 18m,29. Le caisson-musoir a 27m,90 de longueur sur 11m,10 de largeur; son poids était de 100 tonnes environ. L'extraction des déblais s'est faite à l'aide de siphons fonctionnant en vertu de la différence des pressions intérieure et extérieure.

Le sable était rejeté, c'est-à-dire soufflé, sur la plage; on a pu éviter ainsi l'emploi, au sommet des cheminées, de grands sas qui auraient offert une prise très grande à la mer et nécessité des échafaudages importants. Les cloches employées avaient un mètre de diamètre comme les cheminées elles-mêmes.

Le joint entre deux caissons, qui a 0m,30 de largeur en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION des TYPES.	DIMENSIONS.		MAÇONNERIE de BÉTON.	MAÇONNERIE de MOELLONS têtués.	MAÇONNERIE de MOELLONS épincés.	MAÇONNERIE de BLOCAILLES brutes.	CIMENT.	FONÇAGE.	CHARPENTE.	SURVEILLANCE et DIVERS.	PRIX au MÈTRE courant.
TYPE N° 1	Longueur	45m,49									
	Largeur à la base	5m,40									
	Largeur en crête	4m,19	173f,70	141f,97	368f,15	660f,37	636f,05	2,328f,90	415f,75	66f,21	4,725f
	Cotes — Fondation	— 6m,00									
	Cotes — Crête	+ 6m,20									
TYPE N° 2	Longueur	98m,96									
	Largeur à la base	5m,40									
	Largeur en crête	4m,35	170,50	179,34	269,17	658,58	631,00	2,607,43	531,89	84,09	5,123
	Cotes — Fondation	— 6m,50									
	Cotes — Crête	+ 5m,00									
TYPE N° 3	Longueur	76m,43									
	Largeur à la base	5m,40									
	Largeur en crête	4m,49	160,73	188,24	241,30	620,30	598,00	2,686,37	650,01	75,05	5,225
	Cote — Fondation	— 7m,00									
	Cote — Crête	+ 4m,00									
MUSOIR	Longueur	27m,50									
	Largeur à la base	11m,40									
	Largeur en crête	10m,60	405,65	176,90	388,44	1,469,80	1,359,80	5,963,67	1,701,29	159,45	11,625
	Cotes — Fondation	— 7m,00									
	Cotes — Crête	+ 4m,00									

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FONÇAGE DES CAISSONS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyenne, est fermé à l'aide d'un pieu en fer, battu au milieu de la largeur du massif et descendu jusqu'à $0^{m},50$ environ au-dessous du couteau des caissons.

Le massif est constitué par de la maçonnerie brute, et les parements par des moellons assisés, le dosage du mortier étant de 500 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. Celui de la maçonnerie de béton des caissons et cheminées était dosé à 600 kilogrammes. Les rejointoiements étaient effectués avec du mortier à 650 kilogrammes.

Les prix de revient peuvent s'établir comme il est indiqué dans le tableau, p. 278.

La charpente, entièrement constituée en bois de pitchpin, est du type ordinaire de charpente des jetées et ne donne lieu à aucune remarque particulière.

Les projets ont été dressés par MM. Jullien et Charguéraud, ingénieurs, avec la collaboration de MM. Lisse et Walle, conducteurs principaux, et sous la direction de MM. Vétillart et Thanneur, ingénieurs en chef.

Les travaux, en ce qui concerne la partie fondée par havage, avaient été adjugés à MM. Bonnet et Thorez, entrepreneurs, le fonçage étant exécuté en régie sous la conduite de M. Delannoy, conducteur principal.

Pour la partie fondée à l'air comprimé, les travaux ont été exécutés par MM. Thouvard et Moine, entrepreneurs, sous la surveillance de M. Delannoy père, conducteur principal, assisté de M. Lambert, commis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV

PORT DE CALAIS.

BATEAU-PORTE DE LA FORME DE RADOUB.

Un cadre de dessins.

Le bateau-porte de la forme de radoub de Calais, exécuté de 1889 à 1891, fonctionne dans un bassin à flot.

Il est constitué par une caisse rectangulaire de $4^{m},20$ de largeur sur $3^{m},14$ de hauteur, dont la paroi supérieure est située à $0^{m},20$ au-dessous du plan normal de flottaison. Trois grandes poutres horizontales, dont deux constituent le fond et le ciel de la caisse à air, résistent à la pression de l'eau et transmettent les efforts aux rainures verticales de la forme (fig. 74, p. 281, et 75, p. 282).

Au-dessous de cette caisse, un diaphragme porte la quille du bateau, sur laquelle est placé le lest fixe.

Le volume de la caisse à air est limité à ce qui est suffisant pour assurer la flottaison et la stabilité du bateau. L'immersion est produite en ouvrant les bondes de fond de la caisse à air; une cloison centrale, de hauteur suffisante, empêche les mouvements brusques de l'eau d'un bord à l'autre.

A la partie supérieure et sur $13^{m},75$ de longueur, il y a, au milieu du bateau, une caisse à eau de 2 mètres de lar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

geur qu'on peut remplir d'eau provenant des canalisations de la ville et qui sert à régler le relevage du bateau.

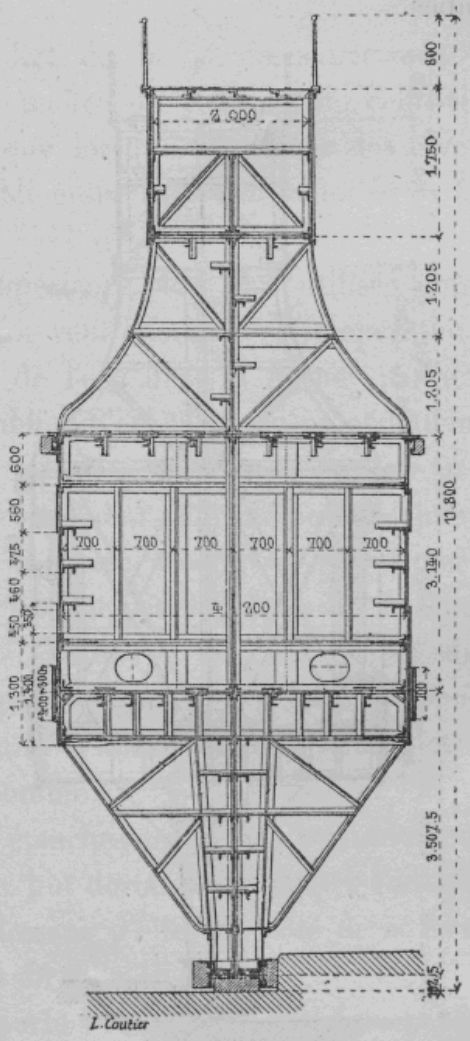


Fig. 74. — Bateau-porte de la forme de radoub.
Coupe au droit d'une cloison pleine.

L'immersion s'effectue par l'introduction d'environ 25 mètres cubes d'eau dans la caisse à air. Cette eau est ensuite rejetée dans la forme, préalablement épuisée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On prépare le relevage du bateau en introduisant dans la caisse à eau supérieure un lest d'eau de la ville d'environ 25 mètres cubes.

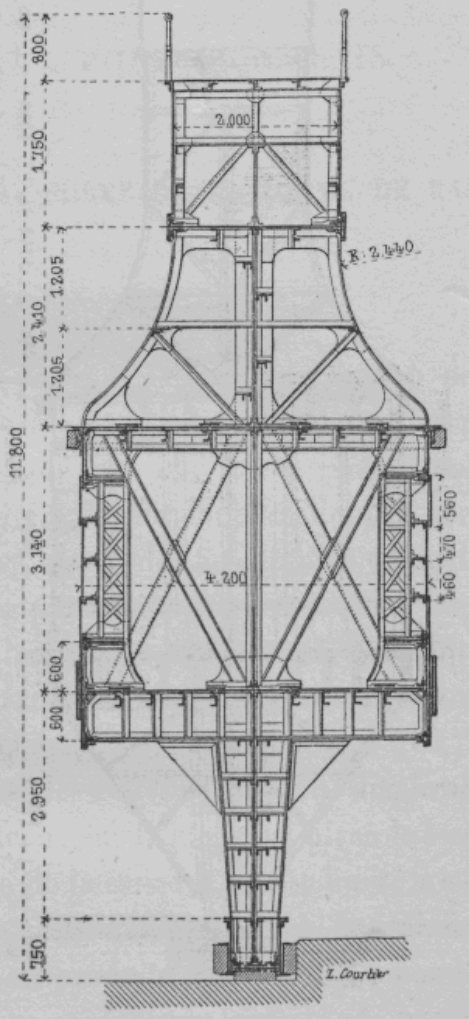


Fig. 75. — Coupe au droit d'une cloison évidée.

Puis on laisse entrer l'eau dans la forme; on n'a pas à craindre alors que, le bateau-porte se décollant brusquement de son seuil, une lame ne pénètre brusquement par-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dessous la quille du bateau et ne vienne menacer, par son irruption subite, l'équilibre du navire accoré dans la forme.

Grâce au lest de la partie supérieure du bateau-porte, on est maître du relevage de celui-ci et on peut ne l'effectuer que lorsque l'équilibre des niveaux est sensiblement établi entre le bassin à flot et la forme de radoub.

La caisse supérieure peut être utilisée pour l'échouage du bateau si on veut effectuer cette opération sans abaisser le niveau de l'eau dans la forme, par exemple si on craint d'être obligé d'en effectuer immédiatement le relevage.

Le relevage immédiat peut même être obtenu quand on s'est servi de la caisse à air pour provoquer l'échouage. Dans ce cas, on fait écouler l'eau de lestage dans deux compartiments latéraux, d'où on la retire au moyen de deux petites pompes rotatives à bras, système Brocquet, donnant chacune 6 mètres cubes à l'heure et manœuvrées par un seul homme.

Des tubes étanches traversent verticalement la caisse à air et ont pour but de laisser échapper l'air qui serait emprisonné au-dessous d'elle, du côté de la forme, pendant le remplissage de celle-ci.

Le bateau-porte a coûté 177,240 francs; ses dimensions et ses dispositions ont été calculées de façon à pouvoir l'employer éventuellement à la fermeture du grand sas du bassin Carnot.

Le projet de bateau-porte a été dressé par M. Chargué-raud, ingénieur des ponts et chaussées, avec la collaboration

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de M. Walle, conducteur principal, et sous la direction de M. Vétillart, ingénieur en chef.

Les travaux ont été exécutés par la Société des Établissements métallurgiques d'Onnaing, entrepreneur, sous la conduite de M. Ringot, conducteur des ponts et chaussées, assisté de M. Hamille, commis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V

PORT DE CALAIS.

CAISSON MOBILE

POUR LA RÉPARATION DES MURS DE QUAIS[1].

Un cadre de dessins.

Le caisson mobile, adopté au port de Calais et exécuté de 1894 à 1896, est du type des suçons employés déjà dans diverses circonstances dans les travaux publics.

Entièrement métallique, il est formé de trois parois verticales et d'une paroi horizontale en tôle d'acier, reliées solidement entre elles par des poutres, entretoises et cornières en fer. Les deux parois latérales du caisson sont pentagonales. Un des côtés de ce pentagone est défini par une ligne mixte, droite et courbe, qui est donnée par le profil-type des quais, pour la réparation desquels le caisson a été construit. La paroi verticale qui réunit les parois latérales n'est pas plane sur toute sa hauteur; elle est brisée vers sa partie inférieure, de manière à diminuer le volume du caisson en facilitant son adhérence contre le mur de quai

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1897, premier trimestre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(c'est cette brisure qui explique d'ailleurs la forme pentagonale des côtés). La paroi horizontale forme le fond du caisson.

Le caisson est muni, le long de ses faces latérales, de deux caisses à air étanches qui lui servent de flotteurs. La partie inférieure de chacun de ces flotteurs comporte un compartiment isolé qui constitue la caisse de coulage. Cette caisse communique avec l'atmosphère par un tube qui s'élève jusqu'au niveau supérieur du caisson et par où s'échappe l'air pendant le remplissage du compartiment, lequel se fait par une ouverture percée dans la tôle de fond et qui est commandée par une bonde.

Les poutres d'appui du caisson sont garnies de pièces de bois, dont la forme épouse celle des murs à réparer. Ces pièces de bois sont recouvertes d'un paillet constitué par une tresse semblable aux câbles de mines, lardée de touffes de chanvre longues et serrées. Ces touffes de chanvre forment joints et assurent l'étanchéité.

Le caisson est muni d'un certain nombre d'organes accessoires qui servent à sa mise en place et à l'exécution des travaux de réparation. Ces organes, qui sont fixés à demeure sur le caisson, sont : un tuyau d'aspiration pour l'épuisement de l'eau à l'intérieur du caisson au moment de l'application ; un pulsomètre pour achever et maintenir l'assèchement ; un batardeau isolateur établi à la partie inférieure du caisson, destiné à recueillir toutes les eaux d'infiltration, de manière à dégager complètement la chambre de travail.

Dans la partie courante du caisson, la chambre de travail a $4^{m},50$ de longueur sur 2 mètres de largeur ; on peut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi réparer des tranches de quai de $4^{m},10$ de largeur moyenne sur $8^{m},30$ de hauteur.

Le poids du caisson est de 30 tonnes environ.

Mode d'emploi du caisson. — Le caisson, étant à terre, est amené au-dessus des eaux du bassin au moyen d'une grue de 40 tonnes et y est plongé. Flottant au moyen de ses caisses étanches, il est halé à bras et amené devant l'emplacement où il s'agit d'effectuer la réparation. Pendant que des hommes maintiennent le caisson en place au moyen d'amarres, on ouvre les bondes de coulage, et l'immersion se produit en quelques instants. Lorsque le caisson est coulé, c'est-à-dire lorsque sa quille repose sur la lierne de fondation du quai, on l'accoste contre le quai au moyen de palans, puis, au moyen d'une pompe centrifuge actionnée par une locomobile de 15 chevaux (appareils montés à bord d'un chaland), on épuise l'eau à l'intérieur du caisson. Au fur et à mesure de l'abaissement, le caisson s'applique contre le quai. L'assèchement complet s'obtient au moyen d'un pulsomètre dont la vapeur est fournie par la locomobile employée auparavant pour l'application.

Si le caisson se déplaçait pendant le coulage, on pourrait recommencer l'opération après l'avoir relevé. Cette opération est facilitée par les tubes à air, qui font communiquer les caisses de coulage avec l'atmosphère. On visse sur les tubes le tuyau d'une pompe de scaphandrier, on insuffle de l'air dans les caisses de coulage et on chasse ainsi l'eau qui y est enfermée.

Lorsqu'une portion de quai est réparée et qu'on veut déplacer le caisson et le remettre à flot pour changer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'emplacement, on y introduit l'eau du bassin par des vannes placées à sa partie inférieure, après l'avoir toutefois convenablement nettoyé et débarrassé des matériaux pouvant l'alourdir, et après avoir vidé les caisses de coulage.

Le nombre d'hommes employés à la manœuvre est constitué par l'équipe nécessaire à la réparation d'une tranche de quai, savoir :

1 surveillant, 3 maçons, 1 chauffeur et 8 manœuvres, soit 13 hommes.

La hauteur de chaque tranche est de $8^{m},27$.

La largeur moyenne de chaque tranche est de $4^{m},11$.

Le cube moyen de maçonnerie par tranche est de $32^{mc},067$, dont $14^{mc},896$ de moellons et $17^{mc},171$ de blocailles.

La surface moyenne de parement par tranche est de $33^{mq},99$.

La durée moyenne d'exécution de chaque tranche, jours de fêtes et dimanches compris, est de 12 jours.

Le prix de revient du mètre courant de quai est de $758^{f},44$.

Le prix de revient au mètre cube est de $97^{f},28$.

(Ces prix ne tiennent pas compte des frais de premier établissement, qui ne doivent être répartis qu'après l'achèvement du travail.)

Le prix de revient d'un mètre cube de démolition est de $19^{f},66$.

Le prix de revient d'un mètre cube de maçonnerie de moellons et blocailles est de $42^{f},99$.

La dépense faite pour la construction du caisson proprement dit est de $21,111^{f},89$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le projet a eté dressé par M. Charguéraud, ingénieur, avec la collaboration de M. Walle, conducteur principal, et sous la direction de M. l'ingénieur en chef Thanneur.

Le caisson a été construit par MM. Daydé et Pillé, de Creil.

Les travaux de réparation sont exécutés en régie sous la conduite de M. Delannoy fils, conducteur, assisté de M. Évrard, commis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VI

PORT DE BOULOGNE.

PORTE D'ÈBE D'AMONT DE L'ÉCLUSE À SAS DU BASSIN À FLOT.

Un cadre de dessins.

Le bassin à flot du port de Boulogne est mis en communication avec l'avant-port par une écluse à sas de 100 mètres de longueur et de 21 mètres de largeur, dirigée dans le sens de la longueur du bassin.

Le dessus des tablettes de couronnement est à la cote $10^{m},70$, soit à plus de 1 mètre au-dessus des hautes mers de vive-eau d'équinoxe.

Les tirants d'eau sur les buscs de l'écluse, dont le seuil est arasé à la cote $0^{m},26$ au-dessus du zéro hydrographique, sont de $9^{m},14$ à haute mer de vive-eau ordinaire et de $7^{m},30$ à haute mer de morte-eau.

La flèche du busc est égale au $\frac{1}{5}$ de la largeur du sas, soit $4^{m},20$. Sa saillie sur le plafond de la chambre des portes est de $0^{m},35$.

Avant leur remplacement, qui a eu lieu en 1896, les portes d'èbe d'amont étaient en bois et fer et leur ossature se composait des poteaux tourillon et busqué, réunis par onze

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entretoises. Les huit entretoises intermédiaires inférieures étaient formées de deux pièces superposées réunies par des boulons; et, parmi ces entretoises doubles, les cinq premières à partir du bas étaient renforcées par une âme en tôle avec cornières formant double T. Chaque entretoise

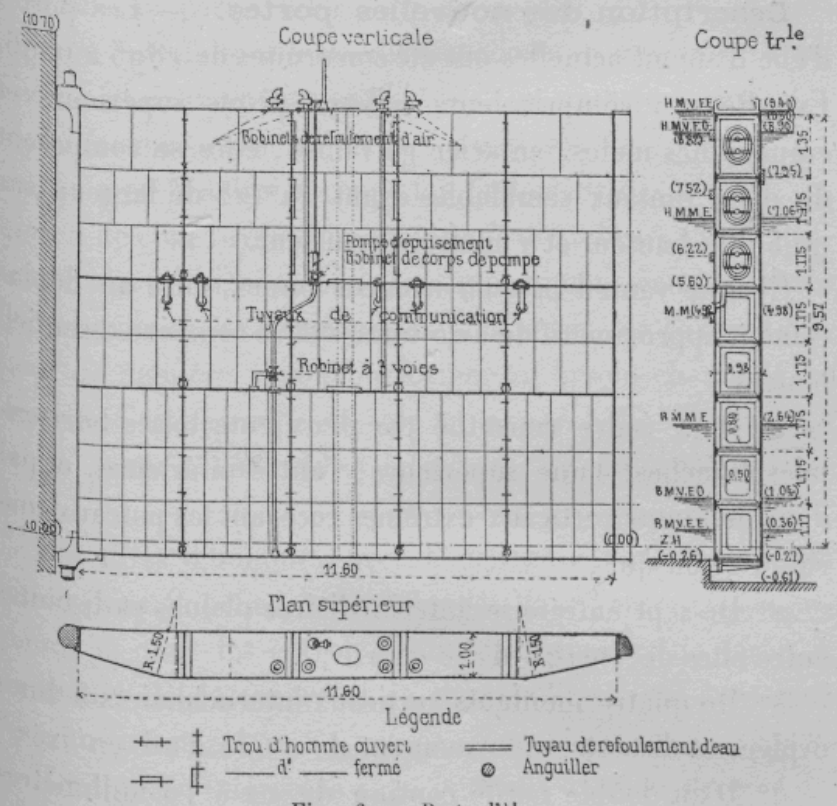


Fig. 76. — Porte d'èbe.

simple était composée de pièces assemblées à redans, avec clefs de serrage en fer; l'épaisseur totale au milieu était de $0^m,85$. La face courbe de chaque vantail était placée à l'amont et portait un bordé en chêne de $0^m,10$ d'épaisseur.

Ces portes, mailletées jusqu'au niveau des hautes mers de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

morte-eau, étaient suspendues au moyen de deux écharpes jumelles en fer, et leur partie supérieure, située à la cote $9^{m},36$, formait une passerelle sur laquelle on descendait au moyen d'un escalier en fer.

Description des nouvelles portes. — Les portes d'èbe d'amont actuelles ont été construites de 1895 à 1896. Exécutées, y compris leurs colliers, pivots supérieurs et crapaudines mâles, en acier galvanisé, elles se composent de deux vantaux semblables ayant $12^{m},28$ de largeur sur $9^{m},57$ de hauteur et 1 mètre d'épaisseur.

Chaque vantail pèse environ 80 tonnes, offre un déplacement approximatif de 100 tonnes et se compose essentiellement :

1° D'un cadre constitué par deux entretoises horizontales étanches, l'une supérieure, l'autre inférieure, et par deux montants verticaux extrêmes recevant les poteaux tourillon et busqué ;

2° De sept entretoises intermédiaires pleines et distantes entre elles de $1^{m},175$ d'axe en axe ;

3° De quatre montants verticaux intermédiaires à âmes évidées et distants uniformément de $2^{m},32$ d'axe en axe ;

4° D'un double bordé continu de 12 à 10 millimètres d'épaisseur ;

5° D'une série de membrures verticales d'un échantillon et d'un espacement variables, sur lesquelles est fixé le bordé.

Les âmes du cadre ont 15 millimètres d'épaisseur ; celles des autres pièces de l'ossature ont 10 millimètres.

Les poteaux tourillon et busqué, la fourrure du busc et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les taquets de butée des valets sont en bois de green-heart provenant de l'Amérique du Sud.

L'entretoise supérieure est arasée à la cote $9^{m},30$ au-dessus du zéro des cartes marines, soit $0^{m},10$ en contre-bas du niveau des hautes mers des marées d'équinoxe.

Toute la partie inférieure du vantail, jusqu'à la cinquième entretoise intermédiaire, constitue une caisse à air divisée en deux parties par la troisième entretoise intermédiaire formant cloison étanche. Au-dessus de cette caisse à air, la mer pénètre librement à l'intérieur de la porte au moyen de cinq tuyaux de communication de $0^{m},10$ de diamètre placés à l'aval ; mais le compartiment compris entre les deux montants verticaux les plus voisins de l'axe est disposé de manière à pouvoir former au besoin cheminée de descente ; une pompe de cale et une échelle qui se prolonge jusqu'à l'entretoise inférieure s'y trouvent installées.

Des trous d'homme, avec bouchons à charnières dans les cloisons étanches, sont ménagés dans l'entretoise supérieure et dans les entretoises intermédiaires, de façon à permettre de descendre et de circuler librement dans tous les compartiments.

L'entretoise inférieure et le montant extrême du côté du poteau tourillon, consolidés par un fort gousset et des tôles de renfort, portent un sabot en acier forgé formant pivot, qui s'engage dans l'ancienne crapaudine en bronze scellée dans le radier ; une lentille en bronze est interposée entre les deux crapaudines.

De même, l'entretoise supérieure porte un tourillon de $0^{m},240$ de diamètre, qui est embrassé par un collier assem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blé au moyen de clavettes avec les ancrages existant dans la maçonnerie.

Un coussinet en bronze garnit le collier, et une plaque en gutta-percha est interposée entre le coussinet et la pièce d'ancrage.

Une passerelle, avec plancher en tôle striée de $0^{m},007$ reposant sur des cadres en tôles et cornières, surmonte chaque vantail au niveau du couronnement du bajoyer; elle est pourvue d'un double garde-corps, celui d'amont pouvant se replier sur celui d'aval.

La face aval du vantail porte quatre défenses en pitchpin. Sur la face amont sont disposés quatre châssis, formés de tôles et cornières, qui reçoivent les fourrures des taquets en green-heart, sur lesquels viennent presser les poteaux de butée des portes-valets correspondantes; une défense en pitchpin se trouve en outre dans le prolongement du taquet de butée supérieur.

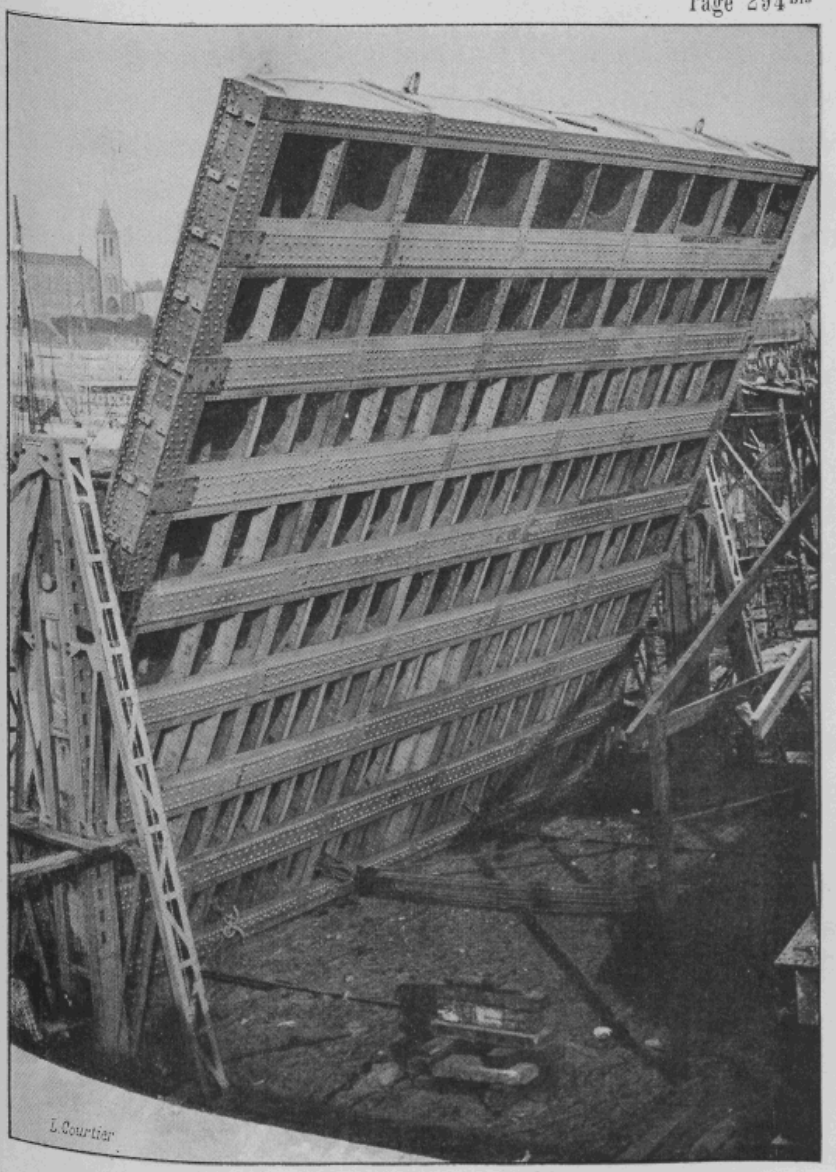
Le travail de l'acier est limité à 7 kilogrammes environ. Les réactions de chaque vantail sur les points d'appui sont données dans le tableau suivant :

		POIDS apparent.	RÉACTION horizontale.
Sas à sec		$79^{t},0$	43^{t}
Sas à la cote	$+1^{m},04$	$64,0$	35
	$+5^{m},60$	$12,5$	6
	$+9^{m},30$ (porte noyée).	$7,0$	3

Mise en place. — Les procédés employés pour la construction et la mise en place des portes présentent quelques particularités qui méritent d'être signalées.

Les pièces principales de l'ossature ont été construites à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



MONTAGE DES PORTES D'ÉCLUSE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paris dans les ateliers de l'entrepreneur, mais leur assemblage et le montage des vantaux ont été effectués à proximité de l'écluse sur un terrain incliné avoisinant les chantiers de construction de bateaux. Le vantail ayant été couché horizontalement sur le sol, il a fallu opérer son retournement après exécution de la face amont; pour cette opération, après l'avoir préalablement muni de deux tourillons placés en son milieu, on l'a soulevé au moyen de deux vérins hydrauliques de 50 tonnes montés sur chevalets, puis élevé à 10 mètres de hauteur, retourné complètement et ramené à son point de départ. Ces manœuvres n'ont demandé chaque fois que quelques heures de travail.

Après achèvement du montage, toutes les pièces ont été recouvertes de quatre couches de peinture à base de gris de zinc. Sauf les rivets et les grosses pièces forgées, elles avaient toutes été galvanisées une à une avant le travail d'usinage.

Après avoir soumis les portes à divers essais d'étanchéité par pression hydraulique, on les a fait glisser jusqu'au niveau voulu pour qu'elles pussent flotter à marée montante.

La mise en place a pu être faite sans interrompre ni même gêner la navigation; elle a comporté quatre opérations successives qui, ensemble, ont duré environ dix heures :

1° Haler le vantail flottant horizontalement jusque dans l'écluse à sas;

2° Le redresser verticalement à l'aide de deux bigues installées sur le bajoyer;

3° Le descendre de manière emboîter son tourillon dans la crapaudine femelle scellée dans le radier;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4° Mettre en place et claveter le collier embrassant le pivot supérieur.

Sauf la première, ces diverses opérations n'ont pu se faire qu'après la fermeture des portes d'aval, en faisant abaisser le niveau de l'eau jusqu'à la cote 7 mètres au-dessus du zéro des cartes marines. L'immersion du vantail après redressement a nécessité l'introduction dans la chambre à air inférieure d'un lest d'eau de 15 tonnes environ. Chacune des bigues de levage était pourvue d'un treuil Mégy de 3 tonnes et d'un palan avec chaînes d'acier mouflé à six brins; elle permettait ainsi de développer un effort de 18 tonnes avec trois ou quatre hommes seulement.

En cours d'exécution, l'on a éprouvé quelques difficultés à raison des déformations notables subies par l'écluse et dont il ne fut possible de se rendre compte qu'après l'enlèvement des anciennes portes.

Des relevés directs faits avec toute la précision possible ont montré :

1° Que la longueur développée du busc présentait un excès de $0^{m},05$ environ;

2° Que les génératrices du chardonnet n'étaient plus verticales;

3° Que les crapaudines femelles scellées dans le radier occupaient des positions anormales.

Ces constatations conduisirent à modifier assez sensiblement le profil des poteaux tourillon et busqué, à diminuer les premiers de 4 à 26 millimètres et augmenter les seconds de 20 à 30 millimètres, ce qui a pu être aisément réalisé, les sections ayant été tenues un peu fortes en exécution.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Finalement, après la pose, les deux vantaux se trouvèrent trop longs de 4 millimètres, et leur busquage parfait fut obtenu par un simple sciage vertical exécuté par deux plongeurs à l'aide du passant.

Leur étanchéité est parfaite, pratiquement, car chacun d'eux ne prend que 50 litres d'eau par mois, soit 600 litres par an, ce qui ne représente qu'une hauteur d'eau annuelle de $0^{m},06$ provenant en partie, sinon pour le tout, de la condensation de la vapeur d'eau de l'air ambiant.

Dépenses. — La dépense totale, y compris l'enlèvement des anciennes portes en bois, s'est élevée à $143,416^{f},14$, qui se décomposent comme suit :

Entreprise	Enlèvement des anciennes portes	$1,754^{f},33$
	Construction et mise en place des nouvelles	118,845,23
Régie		22,816,58
Total pareil		143,416,14

Le projet des nouvelles portes métalliques d'amont a été dressé sous la direction de M. Thanneur, ingénieur en chef, par M. Voisin, ingénieur ordinaire, avec la collaboration de M. Delrue, conducteur.

Les travaux ont été exécutés par MM. Moisant, Laurent, Savey et Cie, constructeurs à Paris, sous la direction de MM. Thanneur, ingénieur en chef, Voisin, ingénieur ordinaire, et la surveillance de M. Lacroix, conducteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VII

PORT DE BOULOGNE.

DRAGUE PORTEUSE À HÉLICES ET À GODETS «PAS-DE-CALAIS».

Un modèle à l'échelle de $\frac{1}{10}$.

Une loi du 4 décembre 1888 a prescrit, outre la reconstruction d'une partie des murs de quai du port d'échouage, l'enlèvement, par dragages, de 530,000 mètres cubes environ de déblais, en vue d'obtenir les résultats suivants :

Approfondissement du chenal.

A l'aval, sur 162 mètres, à la cote — 4m,00.
A l'amont, sur 350 mètres, à la cote — 3m,75.

Approfondissement du port d'échouage pour sa transformation en port de marée.

A l'Est, à la cote — 3m,50.
A l'Ouest, à la cote — 4m,00.

Le prix de l'estimation était de 3f,05 par mètre cube mesuré au profil, avec plus-value de 0f,55 par mètre cube de terrain dur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La dépense prévue était de 1,800,000 francs, dont 1,640,053f,97 à l'entreprise.

MM. Letellier et Mogniat, qui furent déclarés adjudicataires avec un rabais de 11 p. o/o, mirent successivement en service les dragues *Arrache-Tout*, *Avant-Port* et *Amélie*, dont les caractéristiques sont indiquées plus loin.

Mais la présence de bancs de pierres compactes dans le chenal et le collage des déblais argileux de l'avant-port et du port de marée rendirent l'opération si difficile, que l'entrepreneur demanda et obtint la résiliation de son marché.

Une nouvelle adjudication fut tentée sur le prix de 3f,25 le mètre cube mesuré au profil, avec plus-value de 1f,45, 1f,20 et 0f,50 pour les déblais à enlever dans le chenal, mais elle ne donna aucun résultat.

C'est alors que l'Administration prit le parti de faire construire une puissante drague à godets pour la continuation des dragages par voie de régie directe.

Toutefois, en vue de ne pas suspendre les travaux, on s'entendit avec l'entrepreneur qui consentit à continuer les dragages aux prix suivants :

Le mètre cube mesuré au chaland, dragué dans l'avant-port ou le port de marée, 3 francs;

Le mètre cube mesuré au chaland, dragué dans le chenal, 8 francs.

Malgré leur élévation, ces prix ne paraissent pas avoir laissé à l'entrepreneur un bénéfice exagéré, à cause des avaries subies par les dragues.

Description de la drague. — A la suite d'un concours fermé le 6 octobre 1890, l'Administration confia la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

construction de la nouvelle drague, le *Pas-de-Calais*, à M. Henri Satre, de Lyon.

Cette drague à godets, porteuse, à deux hélices, mesure 54m,80 de longueur, sur 10m,10 de largeur et 4m,26 de creux. Son tirant d'eau maximum en charge est de 3m,65 et sa vitesse de 6n,35.

Elle est divisée en cinq compartiments étanches, non compris les deux water-ballast, de manière à la maintenir à flot en cas d'abordage.

Elle peut être éclairée à l'électricité pour le travail de nuit.

Appareil de dragage. — Son élinde, dirigée vers l'avant, mesure 22m,65 de longueur de l'axe de l'arbre de suspension à l'axe du tourteau inférieur, et permet de draguer à 12m,50 au-dessous de la flottaison lège.

Le puits de l'élinde a une largeur de 2m,12, et il est garni d'un doublage en bois de 0m,10; au-dessus de lui, à la proue, s'élève un gaillard arasé à 5m,85 au-dessus de la flottaison lège.

Les coussinets qui supportent l'arbre supérieur sont maintenus au moyen de ressorts Belleville, de manière à amortir les chocs. L'extrémité inférieure est suspendue, par deux bielles en acier avec palonnier, à un câble mouflé quatre fois; elle est munie, en outre, de deux câbles de sûreté.

La manœuvre de l'élinde est faite au moyen d'une machine spéciale, placée à tribord du puits, qui actionne le treuil d'enroulement du câble. Cette machine est conduite par le chef dragueur, qui a sous la main, sur le pont, la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DRAGUE « PAS-DE-CALAIS »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mise en train, le changement de marche, les purges et un télégraphe communiquant avec la chambre des machines. Un curseur à index lui indique très exactement la profondeur du dragage.

Les tourteaux supérieur et inférieur sont pentagonaux. Un tambour de tension est disposé au-dessous de la chaîne à godets, pour diminuer l'amplitude de la chaînette.

Le mouvement est transmis au tourteau supérieur par l'intermédiaire d'un arbre incliné en acier de 200 millimètres de diamètre, et de pignons d'angle. La roue dentée supérieure a $4^{m},39$ de diamètre et pèse 12 tonnes. Elle est composée de deux couronnes concentriques, de manière à faire frein limiteur de force, au cas où il se produirait une résistance anormale.

La chaîne comprend 32 godets en acier coulé. Ce nombre peut être porté à 35, pour permettre de draguer au pied d'un mur vertical; l'attache supérieure de l'élinde, qui est portée par des supports-coulisseaux, est alors déplacée, vers l'avant, d'une longueur de 3 mètres, opération qui est exécutée en 12 heures par le personnel ordinaire.

La drague est munie de deux jeux de godets, les uns de 500 litres, les autres de 320 litres de capacité. Ces derniers peuvent être munis de pioches en acier pour permettre l'arrachage de la pierre.

Deux grues à vapeur sont placées dans le voisinage de l'élinde; l'une de 5 tonnes, sur le gaillard, pour enlever les gros blocs ramenés par les godets; l'autre, de 4 tonnes, vers le milieu bâbord du puits, pour faciliter l'enlèvement et la pose des godets.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Puits à déblais. — Le puits à déblais a $10^{m},08$ de longueur, $8^{m},58$ de largeur au niveau du pont et $6^{m},70$ à la partie inférieure. Sa capacité est de 315 mètres cubes, et il est divisé en compartiments par une forte carlingue longitudinale et deux petites carlingues latérales. La vidange des déblais se fait par 12 clapets en sapin de 200 millimètres d'épaisseur, manœuvrés chacun par trois chaînes en fer de 22 millimètres. Les chaînes de deux portes contiguës sont réunies à la partie supérieure par un palonnier suspendu à une chaîne qui est, elle-même, attelée à la barre de tire. Celle-ci est actionnée, par l'intermédiaire d'un câble métallique mouflé, par un treuil à vapeur avec machines à deux cylindres. Des coins en fer mobiles, prenant appui sur les embases des guides des barres de tire, permettent d'ouvrir indistinctement telle ou telle paire de clapets.

Les déblais peuvent être versés soit dans le puits de la drague, soit dans des chalands, au moyen de portes qui ferment le couloir central et dirigent les déblais dans des couloirs latéraux qu'on actionne avec le treuil à vapeur de relevage des portes du puits. On régularise la répartition des déblais dans le puits à l'aide de papillons mus à bras avec un palan.

Pour faciliter la descente des déblais collants, une puissante pompe centrifuge mue par une machine à vapeur spéciale envoie, quand il y a lieu, sur les couloirs, un fort courant d'eau.

Machines. — Les machines placées à bord de la drague *Pas-de-Calais* sont les suivantes :

1° Deux machines motrices à double expansion mais à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trois cylindres (diamètres, $0^m,57$ et $0^m,70$), du type pilon, à condensation par surface, avec distribution *Gluck* perfectionnée. Elles sont munies chacune d'une pompe alimentaire et d'une pompe de cale. La puissance réalisée aux essais de vitesse a été de 607 chevaux.

Chaque machine peut actionner soit l'hélice correspondante, soit le train d'engrenage qui met en mouvement la chaîne à godets.

Des vireurs à engrenages hélicoïdaux permettent de mettre en mouvement la machine avec toute la lenteur et la précision désirables : celui de la machine bâbord peut être mû par le treuil arrière, celui de la machine tribord ne marche qu'à la main;

2° Une pompe double pour l'alimentation au repos, et qui sert en même temps de pompe de cale. Une vanne multiple permet d'épuiser indistinctement dans les divers compartiments étanches de la drague;

3° Une barboteuse double destinée à produire une circulation d'eau active dans les chaudières;

4° Un treuil d'élinde (voir plus haut), mis en mouvement par une machine type pilon à deux cylindres et à changement de marche;

5° Une machine spéciale placée avec le treuil d'élinde dans le compartiment tribord et qui actionne une dynamo de 65 volts et 70 ampères pour l'éclairage du bateau à l'électricité;

6° Une machine à un cylindre, placée en arrière de la machine d'élinde, et qui actionne deux pompes centrifuges jumelées de 160 millimètres de tubulure; ces pompes sont destinées, l'une à envoyer de l'eau dans les couloirs à dé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blais (voir plus haut), l'autre à établir la circulation dans un condenseur par surface, commun à toutes les machines auxiliaires;

7° Un treuil avant de tire et de papillonnage, de 27 chevaux de force, placé sur le gaillard au-dessus du puits de l'élinde;

8° Un treuil arrière de tire et de papillonnage, de 16 chevaux de force, placé sur le pont;

9° Un treuil central pour le relevage des portes du puits à déblais et la manœuvre des couloirs latéraux (voir plus haut);

10° et 11° Deux grues, l'une de 4 et l'autre de 5 tonnes (voir plus haut);

12° Un servo-moteur à vapeur, système *Caillard*, pour la manœuvre du gouvernail.

Chaudières. — Les chaudières, au nombre de deux, tubulaires, à double foyer intérieur et à retour de flammes, sont timbrées à 8 kilogrammes.

Leur diamètre intérieur est de $3^{m},23$ et leur longueur de $3^{m},38$; chaque foyer a $1^{m},06$ de diamètre. Les tubes à disposition rectangulaire sont au nombre de 172, dont 26 tubes tirants, et ont 76 millimètres de diamètre extérieur.

La surface de chauffe totale est de 262 mètres carrés.

L'eau d'alimentation est épurée dans des dégraisseurs à éponges. Une circulation active est assurée dans la chaudière par la barboteuse dont il a été parlé.

La chambre de chauffe est aérée par deux manches à vent, qui servent en même temps à remonter les escar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

billes au moyen d'un petit treuil à main placé à leur extrémité supérieure.

Il y a, en outre, une chaudière auxiliaire destinée au fonctionnement de la pompe de cale, quand les chaudières sont éteintes, et à celui des barboteuses, au moment du rallumage.

Aménagement. — En haut du beffroi, situé à $10^{m},50$ au-dessus de la flottaison lège, se trouve le poste du capitaine, qui a devant lui le gouvernail à vapeur et les télégraphes de communication avec la chambre des machines motrices.

A tribord du puits à déblais sont situées les cabines de l'administration et du capitaine, et à bâbord les cabines du premier mécanicien et du chef dragueur.

A bâbord du puits de l'élinde sont les postes du second mécanicien, du maître d'équipage, des chauffeurs et de l'équipage; à tribord se trouve le compartiment des machines de l'élinde, de la dynamo et des pompes centrifuges.

A l'avant et à l'arrière, au-dessous des treuils de papillonnage, existent des magasins et des puits à chaînes.

Personnel. — Le personnel du bord se compose de :
Un capitaine;
Deux mécaniciens;
Un chef dragueur;
Un sous-chef dragueur, maître d'équipage;
Quatre chauffeurs;
Trois treuillistes;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un graisseur ;
Quatre matelots ;
Un mousse ;
Soit en tout 18 hommes.

Tableau comparatif. — Le tableau suivant permet de comparer la drague *Pas-de-Calais* à celles de l'entrepreneur et montre son incontestable supériorité.

DÉSIGNATION.	ARRACHE-TOUT.	AVANT-PORT.	AMÉLIE.	PAS-DE-CALAIS.
Prix d'acquisition.....	50,000^{f}	125,000^{f}	250,000^{f}	750,000^{f}
Force des machines en chevaux indiqués.....	75^{chx}	180^{chx}	280^{chx}	610^{chx}
Coque.. ... Longueur..	28^{m},00	33^{m},00	38^{m},84	54^{m},80
Coque.. ... Largeur....	6 ,50	6 ,30	7 ,35	10 ,10
Coque.. ... Creux.....	2 ,00	2 ,90	2 ,80	4 ,26
Tirant d'eau. lège.....	1 ,10	1 ,60	2 ,10	2 ,90
Tirant d'eau. en charge..	?	?	?	3 ,65
Tonnage de jauge.....	?	120^{t}	126^{t},29	586^{t},69
Déplacement	?	?	?	1384 ,036
Vitesse en nœuds, en charge.	?	?	5^{n}	6^{n},35
Capacité des puits à déblais.	Non porteuse.	Non porteuse.	Non porteuse.	315^{m3}
Capacité des godets.....	150^{l}	200^{l} et 250^{l}	300^{l}	320^{l} et 500^{l}
Poids des godets.....	?	?	?	1,209^{k} et 1,140^{k}
Profondeur maxima du dragage au-dessous de la flottaison lège.....	10^{m}	9^{m}	8^{m},75	12^{m},50
Équipage.....	6^{h}	7^{h}	10^{h}	18^{h}
Puissance d'extraction horaire	50^{m3}	80^{m3}	100^{m3}	300^{m3}
Dépense moyenne mensuelle d'entretien et de fonctionnement.....	?	?	?	6,300^{f}

Résultats obtenus. — Le rendement théorique ho-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

raire devait être, d'après le marché, de 300 mètres cubes. Aux essais, on a obtenu 308 mètres cubes.

La consommation de charbon par cheval-heure ne devait pas dépasser 1 kilogramme; on a constaté aux essais le chiffre de $0^{k},940$.

Jusqu'ici, et à part les améliorations de détail que l'expérience journalière conduit à réaliser, on peut dire que l'engin se comporte bien et répond parfaitement à son programme.

La drague est entrée en service régulier le 21 juillet 1893 et, depuis cette époque, elle a travaillé d'une façon continue dans les ports de Boulogne, Dunkerque et Calais.

Elle est actuellement affectée aux ports de Boulogne et de Calais.

Le dragage de l'avant-port et du port de marée de Boulogne n'a présenté pour le *Pas-de-Calais* aucune difficulté; les déblais venaient à pleins godets et se déversaient intégralement, tandis que les godets de l'*Amélie* en gardaient la plus grande partie, malgré les nombreuses modifications qu'on leur fit subir et notamment l'adoption de doublages de fonds en bois.

Dans le chenal intérieur et dans le chenal extérieur, on a rencontré de nombreux blocs isolés et quelques bancs en place, ce qui rendait le travail plus difficile.

Deux fois la chaîne à godets a déraillé, ce qui exposait la drague aux plus graves dangers. Aussi, tant pour faciliter le travail que pour éviter ces accidents, s'est-on résolu à ameublir préalablement ces terrains en faisant exploser, à haute mer, des cartouches de dynamite placées au scaphandre au-dessus du banc.

Comme on le verra, le prix de revient dans ces condi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tions n'a pas été sensiblement plus élevé que celui du travail ordinaire.

Pour permettre de se rendre compte de la difficulté du dragage dans cette partie du port, il suffira d'indiquer les dimensions de quelques-uns des plus gros blocs remontés par les godets, sans d'ailleurs qu'il en soit résulté des avaries à la drague :

$2^{m},50 \times 0^{m},85 \times 0^{m},75 = 1^{mc},594$, soit.....	$3,987^{k}$
$1^{m},70$ (diamètre) $\times 0^{m},50 = 1^{mc},445$, soit.....	3,612
$2^{m},40 \times 1^{m}20 \times 0^{m},40 = 1^{mc},072$, soit.....	2,680

Cube dragué. — Depuis sa mise en service (21 juillet 1893) jusqu'au 31 juillet 1899, le *Pas-de-Calais* a dragué 781,059 mètres cubes de déblais dans le port de Boulogne, savoir :

Dans l'avant-port et le port de marée.....	$579,661^{mc}$
Dans le chenal intérieur.....	65,708
Dans le chenal extérieur et sur la digue basse en enrochements qui prolongeait la jetée Nord-Est.....	135,690
TOTAL.....	781,059

Pendant cette période, la drague a, en outre, été utilisée à Dunkerque et à Calais.

A Dunkerque, elle a enlevé, pour l'élargissement du chenal et l'enlèvement du batardeau de l'écluse Nord, du 12 juillet 1895 au 15 février 1896, et du 15 août au 15 septembre 1896, 37,989 mètres cubes de déblais, dont 469 mètres cubes de blocs de fortes dimensions.

A Calais, elle a travaillé du 18 août 1898 au 31 mars 1899 et a enlevé 46,800 mètres cubes de déblais. Des difficul-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tés particulières y ont été rencontrées pour faire disparaître l'épave d'un vapeur en fer coulé près du musoir de l'Est et qu'il a fallu diviser à la mélinite en morceaux assez faibles pour être élingués à l'aide d'un scaphandrier par la grue d'avant. Ce travail, extrêmement délicat, et qui ne pouvait se faire que par calme plat, a duré plus de deux ans et a coûté plus de 50,000 francs.

Au total, depuis sa mise en service, le *Pas-de-Calais* a donc dragué 865,848 mètres cubes de déblais.

Prix de revient. — Les prix de revient pour Boulogne sont établis mensuellement en tenant compte de toutes les dépenses sans aucune exception, sauf celles d'amortissement et les traitements et indemnités diverses des ingénieurs et conducteurs. L'évaluation du tonnage est donnée avec une assez grande exactitude par des échelles de tirant d'eau, et celle des volumes par des mesurages à la sonde dans les puits.

Les rendements et les prix de revient ainsi établis sont en moyenne, depuis la mise en service du *Pas-de-Calais* (21 juillet 1893) jusqu'au 31 juillet 1899, abstraction faite du travail effectué à Dunkerque et à Calais, les suivants :

	RENDEMENT horaire.	PRIX DE REVIENT par mètre cube.
Avant-port et port de marée de Boulogne	286	0f,51
Chenaux intérieur et extérieur de Boulogne	213	0,68
Dragages avec dynamitage préalable	"	0,70
MOYENNE GÉNÉRALE	269	0,54

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si maintenant on tient compte de la valeur de l'engin supposée répartie sur une période de dix ans et d'une part proportionnelle du traitement du personnel dirigeant, on peut fixer le prix de revient général moyen à 1 franc le mètre cube.

En comparant ces prix de revient aux prix de 3 et 8 francs payés à l'entrepreneur, on se rend immédiatement compte de l'avantage énorme qu'a présenté la solution adoptée par l'Administration.

Et encore serait-il possible, si l'on avait à faire des dragages plus considérables, d'abaisser le prix de revient en adjoignant à la drague deux porteurs à vapeur de 300^{mc}.

Dans une expérience qui vient d'être faite dans le port de marée en employant une suceuse de 300 mètres cubes comme porteuse, le prix de revient du mètre cube a été réduit à 0^{f},28 au lieu de 0^{f},51 ; bien que l'essai ait été de trop courte durée pour qu'il soit possible d'en tirer une conclusion définitive comme chiffre, il paraît hors de doute qu'en immobilisant la drague et en la desservant par deux porteurs, le prix se tiendrait dans les environs de 0^{f},30 par mètre cube. Le rendement quotidien serait, en effet, plus que doublé par ce moyen.

Prix d'acquisition. — Les dépenses se sont élevées à 750,000 francs, savoir :

Dragues proprement dites, y compris deux jeux de godets	697,224^{f},68
Pièces de rechange fournies avec la drague	32,775,32
Somme à valoir pour surveillance, contrôle dans les usines, imprévus, etc.	20,000,00
TOTAL	750,000,00

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le projet d'exécution de la drague *Pas-de-Calais* a été dressé par M. Henri Satre, à la suite de l'ouverture d'un concours dont le programme avait été rédigé par M. Monmerqué, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. Vétillart, ingénieur en chef.

La construction et les essais de réception de la drague ont été effectués sous la direction de MM. Vétillart et Thanneur, ingénieurs en chef, et de M. Voisin, ingénieur ordinaire, avec le concours de MM. Haigneré, conducteur, et Corne, commis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIII

PORT DE DIEPPE.

PONT TOURNANT DU POLLET.

Une vue pittoresque.

Le programme des grands travaux d'amélioration du port de Dieppe, annexé à la loi du 3 avril 1880, comprenait l'ouverture, à travers le faubourg du Pollet, d'un chenal de 40 mètres de largeur minima, destiné à mettre en communication directe l'avant-port avec le nouvel établissement maritime à créer dans la retenue des chasses.

Pour maintenir les communications par route entre Dieppe et le Pollet, par la route nationale n° 25, on décida d'établir, sur le chenal, un pont tournant à deux voies charretières[1].

La route nationale rencontre le chenal sous un angle de 54 degrés. Une déviation, qui à l'avantage de rencontrer normalement le chenal joint celui de donner à la route un tracé plus direct vers le centre de la ville, a permis de réduire au minimum la portée du pont à construire; il couvre donc une passe de 40 mètres d'ouverture.

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1893, 2e semestre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

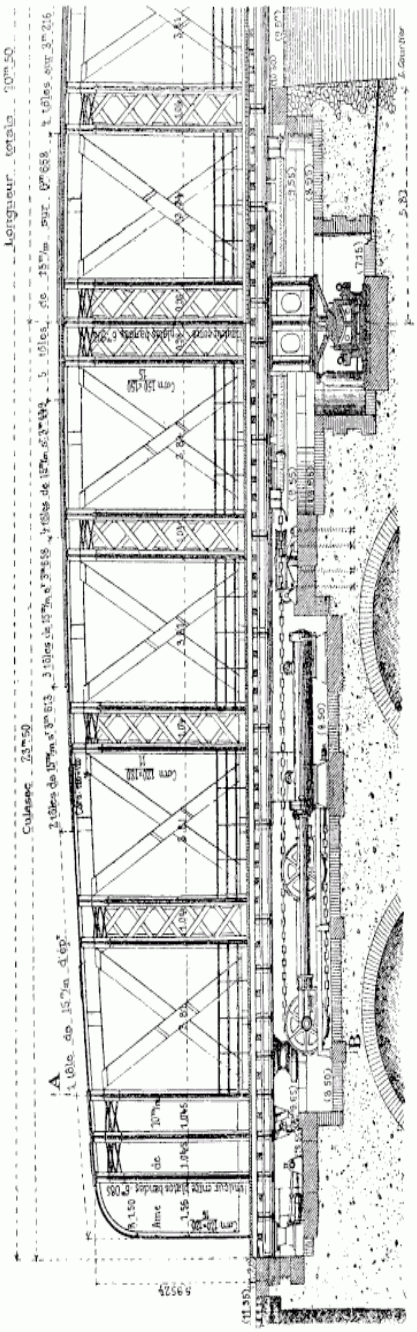


Fig. 77. — Élévation partielle du pont tournant du Pollet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dispositions du tablier et du mécanisme sont indiquées fig. 77.

I. — Tablier métallique.

a. **Dimensions principales.** — La longueur de la volée, 47 mètres, a été déterminée de telle sorte que le tablier repose à son extrémité de 1 mètre environ sur le bajoyer ($1^m,13$ dans l'axe, $0^m,93$ au droit des poutres maîtresses) et qu'une fois le pont ramené parallèlement à la passe, une largeur libre de $1^m,60$ reste disponible le long de l'arête du quai pour le service de la navigation.

Appui extrême	$1^m,13$
Largeur du chenal	40 ,00
Chemin le long du quai	1 ,60
Demi-largeur du tablier	4 ,27
Longueur totale de la volée à partir de l'axe du pivot	$47^m,00$

On a donné à la culasse une longueur égale à la moitié de celle de la volée, soit $23^m,50$. Ce rapport de $\frac{1}{2}$ est assez généralement adopté pour les ponts tournants; on n'aurait pu aller au delà dans l'espèce sans augmenter le chiffre, déjà fort élevé, des expropriations à faire dans l'emplacement de l'ouvrage.

Le tablier a ainsi une longueur totale de $70^m,50$. La largeur libre entre garde-corps a été fixée, comme celle des autres ponts tournants du port de Dieppe, à 7 mètres, dont $4^m,50$ pour la chaussée et $2^m,50$ pour deux trottoirs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

b. **Tablier proprement dit.** — Pour mettre le pont à l'abri de la mer, il fallait placer le dessous du tablier à $0^m,50$ au moins au-dessus des plus hautes eaux d'équinoxe, soit à la cote $10^m,47$ environ. D'autre part, on était obligé, pour éviter d'enterrer les seuils des maisons aux abords, de ne pas élever le platelage au-dessus de la cote

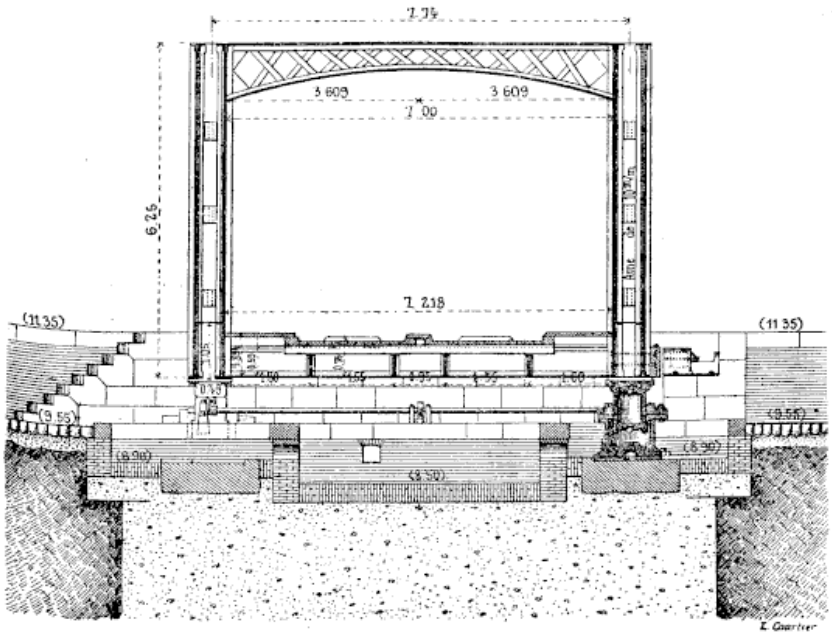


Fig. 78. — Coupe transversale.

$11^m,20$. De là la nécessité de réduire l'épaisseur du tablier à $0^m,70$ au plus. On y est arrivé facilement en le constituant par des entretoises de $0^m,60$ de hauteur, espacées de $2^m,425$ d'axe en axe et reliées deux à deux par quatre cours de longerons en forme de fer à I, placés à une hauteur telle, que les pièces de pont de $0^m,15/0^m,15$ en sapin qu'elles supportent affleurent exactement le niveau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du dessus des entretoises. Les pièces de pont sont écartées de $0^m,455$ d'axe en axe et sont couvertes par un plancher en madriers de sapin jointifs.

La chaussée est divisée en deux zones, l'une pour l'aller, l'autre pour le retour, par un heurtoir de $0^m,12$ de hauteur et de $0^m,50$ de largeur, établi dans l'axe du pont; des bandes de roulage en acier de $0^m,45$ de largeur et de $0^m,014$ d'épaisseur, couvrent le plancher dans l'emplacement réservé aux roues des voitures; celui destiné à la circulation des chevaux est garni, sur toute sa largeur de $1^m,10$, de lames d'orme formant des redans de $0^m,06$ de saillie.

L'épaisseur totale du tablier ne dépasse pas $0^m,684$ au droit des bandes de roulage; les trottoirs sont en saillie de $0^m,15$. Ils sont formés simplement de madriers de chêne de $0^m,06$ d'épaisseur, reposant, d'un côté, sur une longrine fixée aux pièces de pont qui supportent les voies charretières et, de l'autre côté, sur une corniche fixée aux poutres maîtresses.

c. **Poutres maîtresses.** — Les deux poutres maîtresses sont en forme de caissons; leur table inférieure est à peu près horizontale, leur table supérieure est profilée suivant un arc de cercle continu de 65 mètres de rayon. La hauteur des poutres mesure $7^m,113$ au droit du pivot; elle se réduit à $2^m,753$ à l'extrémité de la volée et à $5^m,973$ à l'extrémité de la culasse. La largeur des tables est uniformément de $0^m,80$; leur épaisseur varie de $0^m,070$ au droit du pivot à $0^m,015$ aux extrémités du tablier. Les tables supérieure et inférieure sont réunies par des mon-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tants verticaux espacés de $4^{m},85$ d'axe en axe et des croix de Saint-André. On a constitué chacun des montants par quatre cours de doubles cornières de $\frac{120\times120}{11}$ verticales, réunies deux à deux par des lames de treillis de $0^{m},15$ de largeur et $0^{m},010$ d'épaisseur; on est arrivé ainsi à obtenir une rigidité suffisante sans alourdir le tablier, et l'on a évité l'aspect grêle que présentent toujours les montants simples en forme de I, généralement usités en pareil cas. Les montants sont doubles au droit du pivot.

Quant aux croix de Saint-André, elles sont formées de pièces en I, âmes de $0^{m},50$ de hauteur, tables de $0^{m},40$ de largeur, réunies par des cornières de $\frac{100\times100}{10}$, disposées dans un même plan; l'assemblage a lieu à mi-fer, c'est-à-dire que chacune des pièces est interrompue sur la moitié de sa largeur au point de croisement. On a rétabli les sections en ce point, en réunissant les extrémités des tables coupées par des couvre-joints et en renforçant par des cornières les âmes dans la partie où leur largeur est réduite de moitié.

Les croix de Saint-André sont fixées à leurs extrémités à des tôles formant âmes pleines des poutres maîtresses sur $0^{m},60$ de hauteur à la partie supérieure et sur $1^{m},05$ à la partie inférieure; ces âmes sont doubles, ont $0^{m},010$ d'épaisseur et sont distantes de $0^{m},50$, ce qui correspond à l'écartement des cornières formant l'ossature des montants verticaux.

Le contreventement supérieur est formé par des poutrelles à treillis en forme de caisson, rappelant les montants verticaux au droit desquels on devait les placer, ter-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

minées horizontalement à leur partie supérieure et cintrées à leur partie inférieure suivant un arc de cercle ayant $0^{m},524$ de flèche.

Ces poutrelles sont toutes semblables (sauf celle du pivot qui est double); placées au niveau des tables supérieures des poutres maîtresses, leur hauteur au-dessus du tablier diminue à mesure qu'on s'éloigne du pivot.

Les poutrelles dont il s'agit ne relient les poutres maîtresses que dans une direction perpendiculaire à l'axe du pont; la liaison a été renforcée par des fers en U de $\frac{220\times100}{7}$ joignant en diagonale les tables supérieures des poutres maîtresses et se croisant sur les poutrelles auxquelles on les a fixées par l'intermédiaire de larges goussets.

A leur partie inférieure, les poutres maîtresses sont contreventées par des croix de Saint-André formées de fers plats de 200×10, qui se croisent sur les entretoises du tablier.

d. **Lest.** — Le lest a un poids de 234 tonnes 5, qui dépasse de 20 tonnes environ celui correspondant à l'équilibre du pivot. Cet excédent a été jugé nécessaire pour assurer la stabilité pendant la rotation.

Il est disposé sous le plancher de la chaussée et des trottoirs entre les entretoises qui, sur une longueur de $8^{m},46$, à partir de l'extrémité de la culasse, ont été renforcées et placées à des distances variant de $0^{m},950$ à $1^{m},215$ d'axe en axe. On a également rempli de fonte les extrémités des montants des poutres maîtresses dans l'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tervalle libre de $0^m,50$ laissé entre les âmes pleines verticales ; l'espace occupé mesure $3^m,65$ de longueur sur une hauteur de $2^m,45$, comptée au-dessus des semelles inférieures.

e. **Chevêtre.** — Le chevêtre, par l'intermédiaire duquel le tablier repose sur le pivot, est une poutre en forme de double caisson, ayant une longueur de $8^m,54$, exactement égale à la largeur du tablier, et une largeur de $2^m,30$, égale à celle des doubles montants verticaux placés au droit du pivot.

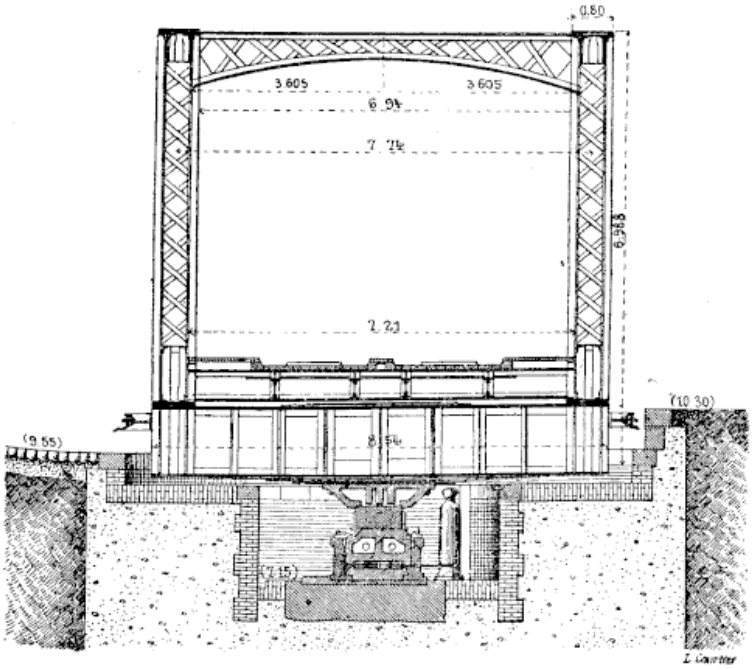


Fig. 79. — Coupe au droit du pivot.

Les tables horizontales ont une épaisseur variant de $0^m,084$ au milieu à $0^m,024$ aux extrémités.

Les trois âmes pleines verticales qui les réunissent sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

formées de tôles doubles de $0^m,013$ d'épaisseur, fixées aux tables par de doubles cours de cornières de $\frac{140 \times 140}{15}$. Ces âmes sont consolidées par des cloisons transversales distantes de $0^m,875$ d'axe en axe, constituées par une tôle de 8 millimètres encadrée de cornières simples de $\frac{150 \times 90}{15}$. L'écartement des cloisons a été réduit à $0^m,50$ aux extrémités du chevêtre, au droit des poutres maîtresses et porté à 1 mètre dans la partie centrale au droit du pivot; en ces points, les cornières formant encadrement des cloisons transversales sont doubles.

Le chevêtre est fixé aux tables inférieures des poutres maîtresses par seize boulons.

Il porte le sommier en fonte par l'intermédiaire duquel le pont repose sur le pivot.

f. **Poids du pont.** — Le tablier pèse 499,500 kilogrammes, soit :

Fers et tôles	445,900^k
Charpente	53,600
TOTAL	499,500

ce qui représente par mètre courant un poids de $\frac{499,500}{70,5}$ = 7,086 kilogrammes.

Pour avoir le poids total porté par le pivot, il faut ajouter aux	499,500^k
Le poids du lest	234,500
Le chevêtre	40,300
A reporter	774,300

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Report.....	774,300k
Le poids de la partie du mécanisme fixée au tablier, soit la couronne en fonte portant la chaîne de rotation (14,200 kilogr.), une portion de cette chaîne (4,600 kilogr.), la rotule et son bâti (11,600 kilogr.), les roulettes, les blocs d'appui supérieurs de culasse (5,600 kilogr.), environ	36,000
TOTAL GÉNÉRAL	810,300
Soit en nombre rond.....	810 tonnes.

g. **Travail des fers.** — Les pièces du tablier ont été calculées en prévision du passage sur chaque voie charretière de voitures à un essieu chargé de 8 tonnes; le travail correspondant des fers est de $5^{kg},68$ par millimètre dans les longerons sous plancher et de $5^{kg},48$ dans les entretoises.

II. — MÉCANISME.

La manœuvre se fait à l'aide de l'eau sous pression.

Les dispositions adoptées sont les suivantes :

Le piston plongeur du corps de presse formant pivot porte un demi-cylindre horizontal concave, sorte de crapaudine dans laquelle peut tourner, lors du basculement, une rotule en forme de demi-cylindre convexe fixée au-dessous du chevêtre.

En service, le tablier ne repose pas sur le pivot; un jeu de quelques millimètres est laissé entre les deux surfaces cylindriques de la rotule et de sa crapaudine. Chaque poutre maîtresse porte, d'une part, à l'extrémité de la volée, sur une plaque de fonte fixée au bord du bajoyer rive

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gauche, d'autre part, à 5m,34 du pivot, sur une autre plaque de fonte fixée au bord du bajoyer rive droite, et enfin, à l'extrémité de la culasse, sur un appui mobile formé d'un coin pouvant glisser entre deux plaques de fonte, l'une boulonnée au-dessous du tablier, l'autre scellée dans la maçonnerie de l'encuvement du pont.

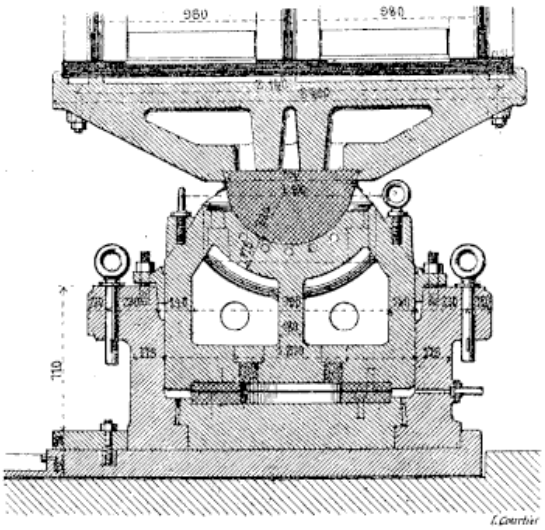


Fig. 80. — Presse centrale formant pivot.

La culasse porte deux roulettes placées à 20m,50 du pivot; ces roulettes sont normalement à 0m,16 au-dessus du chemin de roulement formé d'un rail circulaire fixé dans l'encuvement.

Dans l'encuvement sont également placés, au droit des poutres maîtresses, à 18m,42 du pivot, deux vérins hydrauliques, dits « presses de basculement ».

Le diamètre du pivot est tel, que, sous l'action de l'eau comprimée à 50 kilogrammes, l'effort vertical qu'il exerce sous le tablier soit insuffisant pour le soulever; le soulève-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment ne peut avoir lieu que quand on fait agir l'eau sous pression simultanément dans la presse du pivot (presse centrale) et dans les presses de basculement.

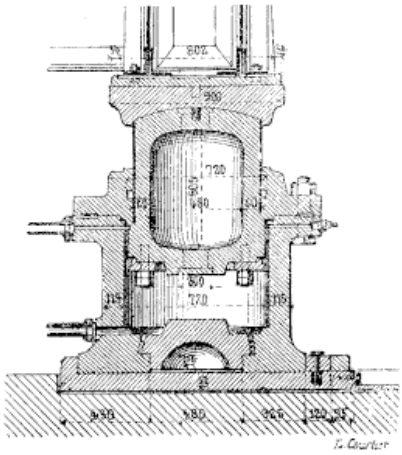


Fig. 81. — Presse de basculement.

La rotation s'obtient au moyen de deux appareils funiculaires placés parallèlement au-dessous du tablier, dans l'encuvement; la chaîne de rotation est fixée à l'un des deux appareils, s'enroule sur la couronne en fonte boulonnée au-dessous du tablier et vient se maillonner sur l'autre appareil.

Le pont étant en service, il faut, pour opérer l'ouverture, manœuvrer de la manière suivante :

1° *Donner la pression dans la presse centrale* (*pivot*). — On ouvre le robinet la mettant en communication avec l'eau comprimée; le pivot se soulève du jeu existant entre sa partie supérieure formant crapaudine et la rotule, et s'arrête quand les deux surfaces cylindriques arrivent au contact, la presse centrale étant insuffisante pour soulever le tablier;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° *Donner la pression dans les presses de basculement.* — On ouvre le robinet les mettant en communication avec l'eau comprimée; les pistons viennent s'appliquer sous les tables des poutres maîtresses de la culasse et le tablier se soulève sous l'effort combiné des presses de basculement et de la presse centrale; il suffit de maintenir le tablier à quelques millimètres au-dessus de sa position normale horizontale pour que les appuis de culasse se trouvent dégagés;

3° *Décaler la culasse.* — On met en communication avec l'eau sous pression l'appareil qui commande le mouvement des coins des appuis de culasse; les coins s'effacent et l'extrémité de la culasse devient libre;

4° *Faire basculer le tablier.* — Le tablier étant toujours soutenu par la presse centrale et les presses de basculement, on met ces dernières en communication avec l'évacuation; les pistons descendent sous la charge du tablier, la culasse (en raison de l'excédent de poids de 20 tonnes) s'abaisse et les galets viennent reposer sur le chemin de roulement. Pendant ce basculement, la presse centrale reste en pression; mais comme elle est insuffisante pour supporter à elle seule le tablier, le pivot descend en même temps que lui pour venir porter sur le fond du pot de presse.

Une fois le basculement effectué, le tablier repose sur le pivot qui exerce sur le fond du pot de la presse centrale une pression égale au poids du tablier diminué de la sous-pression exercée par l'eau; les galets portent l'excédent de poids de la culasse;

5° *Faire tourner le pont.* — La pression étant maintenue

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans la presse centrale, pour diminuer la charge sur la surface frottante du fond du pot de presse, il suffit de mettre l'appareil funiculaire d'ouverture en communication avec l'eau sous pression pour faire tourner le pont. S'il doit rester un certain temps le long du bajoyer, on peut mettre la presse centrale en communication avec l'évacuation.

Les manœuvres à faire pour la fermeture consistent :

1° A faire agir la pression sous le pivot en mettant le pot de presse en communication avec l'eau comprimée;

2° A ramener le pont dans sa position normale à la passe, en faisant agir les presses de rotation;

3° A soulever la culasse à l'aide des presses de basculement;

4° A caler en introduisant les coins entre les blocs d'appui de la culasse;

5° A faire reposer partout le tablier sur ses appuis en supprimant la pression successivement dans les presses de basculement et la presse centrale.

III. — Dépenses.

Les dépenses se résument ainsi :

Maçonneries	89,900f,00
Tablier métallique	224,145,04
Mécanisme	191,120,26
Total	505,165,30
A ajouter pour dépenses en régie et surveillance des travaux, approximativement	24,834,70
Total général	530,000,00

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les travaux ont été exécutés de 1887 à 1889, sous la direction de MM. Alexandre, ingénieur en chef, et Colmet-Daâge, ingénieur ordinaire, avec le concours de MM. Rouland et Bernière, conducteurs. Une partie des projets avait été étudiée par M. l'ingénieur ordinaire Gérardin.

Les entrepreneurs ont été :

M. Molès, pour les maçonneries; la Société des ponts et travaux en fer (anciens établissements Joret), pour le tablier métallique; la Compagnie de Fives-Lille, pour le mécanisme, dont les dispositions d'ensemble, concertées entre feu M. l'ingénieur Barret (des Docks de Marseille) et M. Bassères, ingénieur en chef de la Compagnie, ont été étudiées en détail par M. l'ingénieur Baudet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IX

PORT DU HAVRE.

TRAVAUX D'AGRANDISSEMENT ET D'AMÉLIORATION.

Un cadre de dessins.

Objet des travaux. — Le projet d'amélioration du port du Havre, déclaré d'utilité publique par la loi du 19 mars 1895 et dont l'exécution se poursuit actuellement, a pour but de faire disparaître les principaux inconvénients que présente l'entrée du port et de protéger les passes extérieures contre l'invasion des alluvions de la Seine.

L'entrée actuelle du Havre manque de profondeur. En 1895, on trouvait à peine une profondeur d'eau de 2 mètres au-dessous de zéro des cartes[1] dans les passes extérieures et dans l'avant-port; cette profondeur correspondait à un mouillage de $9^{m},85$ en haute mer moyenne de vive-eau, réduite à $8^{m},15$ et même, exceptionnellement, à $7^{m},50$ environ en haute mer de morte-eau. Ces profondeurs ont été augmentées de 1 mètre seulement par les travaux de dragages exécutés depuis cette époque.

[1] Toutes les cotes de nivellement du port du Havre sont rapportées au zéro des cartes marines; elles sont positives ou négatives, suivant qu'elles sont au-dessus ou au-dessous de ce repère.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La route suivie par les navires est sinueuse, et la courbe à décrire pour s'engager dans l'écluse des transatlantiques n'a pas plus de 700 mètres de rayon.

La principale écluse du port, seule praticable pour les grands navires, est une écluse simple, dont l'accès n'est possible à chaque marée que pendant les trois heures correspondant à l'étale de haute mer. L'évolution des grands paquebots à l'entrée et à la sortie est longue et difficile; elle suspend les mouvements de tous les autres navires. C'est à peine si, pendant les périodes où la navigation est très active, tous les navires qui doivent entrer ou sortir dans la même marée ont le temps d'effectuer leurs opérations.

D'autre part, la passe du Sud-Ouest, pratiquée par tous les grands navires, est menacée par les alluvions et peut être compromise lorsque le chenal de la Seine, dans ses déplacements périodiques, se porte vers le Nord. Le prolongement des digues de la Seine, nécessaire pour améliorer l'accès du port de Rouen, peut aggraver cette situation en provoquant la formation de nouveaux atterrissements dans l'estuaire.

La nécessité de doter le Havre d'une nouvelle entrée a été signalée dès 1869 par M. l'ingénieur hydrographe Héraud; elle a été signalée de nouveau en 1879 par la Commission chargée de se prononcer sur le régime de l'estuaire de la Seine.

Un projet dressé par M. l'ingénieur en chef Bellot, pour répondre aux instructions de M. le Ministre des travaux publics, a été soumis au Parlement en 1884. Ce projet ne fut pas pris en considération.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. le Ministre des travaux publics nomma alors une Commission d'étude chargée d'arrêter un programme d'ensemble pour l'amélioration du port du Havre et des passes de la basse Seine. Les études de cette Commission aboutirent à un nouveau projet très largement conçu, comprenant, comme dispositions essentielles intéressant le port du Havre, la construction de deux avant-ports, dont l'un s'ouvrait vers le Nord-Ouest, dans la fosse relativement profonde de la petite rade, à l'abri des atterrissements de la Seine, tandis que l'autre, où devaient déboucher les bassins à construire ultérieurement, s'ouvrait plus au Sud dans la direction du Sud-Ouest. Ce projet, déposé en 1887 sur le bureau de la Chambre des députés, fut voté par cette Assemblée. Le Sénat, au contraire, rejeta une solution considérée comme trop coûteuse et renvoya le projet au Gouvernement, en recommandant l'approfondissement par dragage de la passe du Sud-Ouest.

L'Administration reconnut que le creusement de la passe du Sud-Ouest ne constituerait qu'une amélioration insuffisante et précaire, et prescrivit de nouvelles études qui ont abouti au programme arrêté par la loi de 1895.

Ce programme comprend :

1° La construction, en avant de l'entrée du port actuel, d'un nouvel avant-port qui s'ouvre dans les fonds stables de la rade, en dehors de la zone menacée par les alluvions de Seine, et dont les passes d'accès seront creusées par dragages ;

2° Le rescindement des jetées Nord et Sud actuelles et d'une partie des fronts de la Floride, pour établir une communication facile et directe entre le nouvel avant-port et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

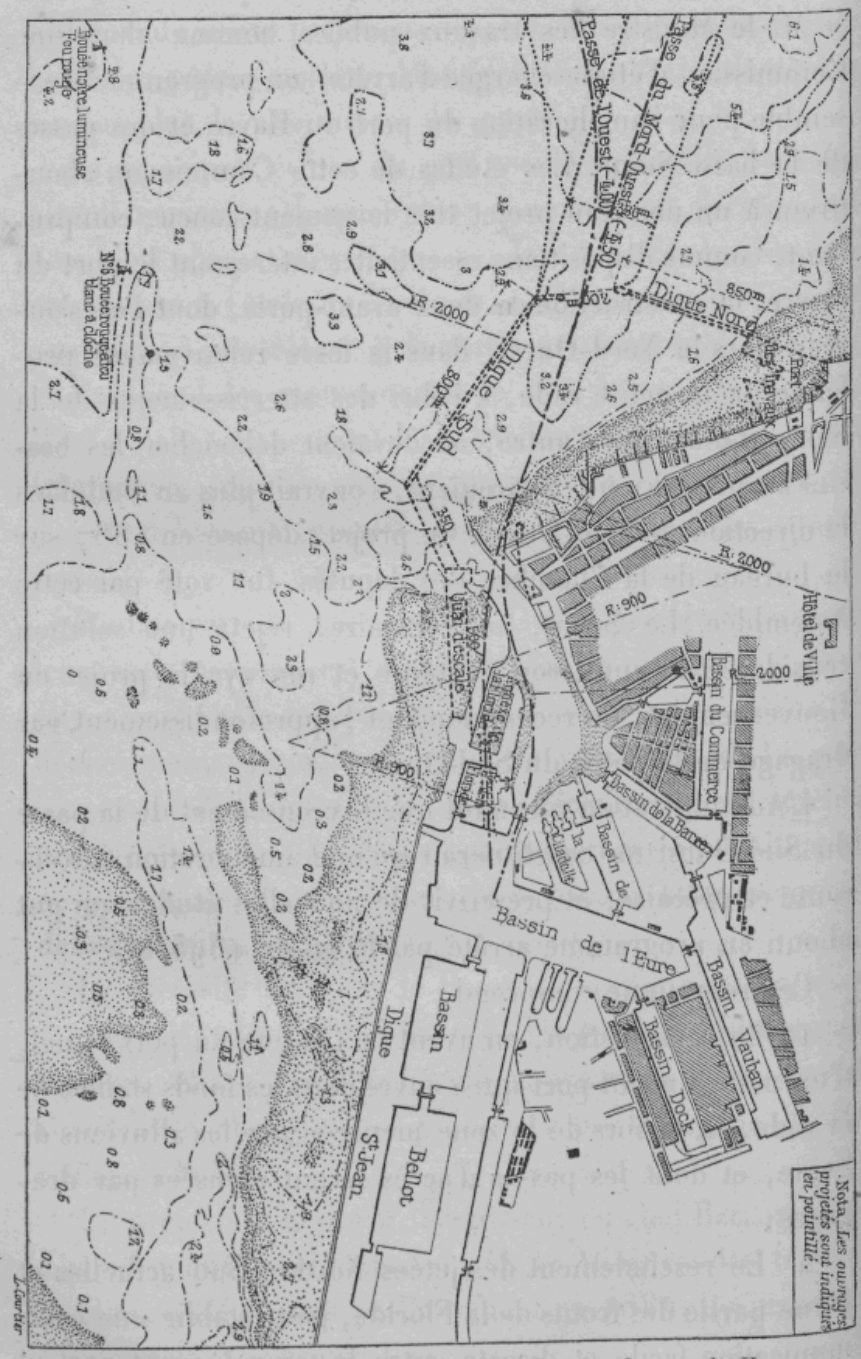


Fig. 82. — Plan général des travaux d'amélioration du port du Havre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'avant-port actuel ou port de marée, notablement agrandi, et la construction dans cette partie du port d'un quai fondé à grande profondeur, où les navires d'escale pourront rester à flot en tout temps sans avoir à pénétrer dans les bassins ;

3° La construction d'une écluse à sas praticable pour les plus grands navires, pendant la moitié au moins de la marée, et donnant accès de l'avant-port dans les bassins ;

4° L'exécution de travaux défensifs au pied des falaises de la Hève.

Les dispositions générales des ouvrages, telles qu'elles résultent des études faites pour l'exécution et des projets définitifs actuellement approuvés et en cours d'exécution depuis le 22 juin 1896, sont les suivantes :

I. — Amélioration de l'entrée du port.

Nouvel avant-port. Entrée. Passes extérieures. — Le nouvel avant-port est compris entre deux digues ou jetées convergentes, dont l'une (digue Nord), longue de 850 mètres, part du saillant de l'ancienne batterie des Huguenots, tandis que l'autre (digue Sud), longue de 875 mètres, se raccorde, par un batardeau provisoire et par le terre-plein du quai d'escale projeté, avec la digue Saint-Jean, à la hauteur du bastion central des fronts de la Floride.

La digue Nord, dirigée vers le S. S. O., est tracée en ligne droite ; elle abrite, dans le voisinage de son enracinement, un petit bassin de marée, entouré de quais et de terre-pleins, qui doit être exclusivement affecté au service des travaux pendant la construction des digues et qui sera

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

utilisé plus tard par les bateaux de pêche, les remorqueurs, dragues, chalands et autres bateaux de servitude du port.

La digue Sud présente un alignement droit de 800 mètres de longueur, dirigé du Sud-Est au Nord-Ouest; elle s'infléchit vers son extrémité et se termine par un alignement droit de 75 mètres de longueur dirigé vers le N. N. O.

Le batardeau, qui relie provisoirement l'origine amont de cette digue avec le terre-plein du quai d'escale, a 350 mètres environ de longueur; il occupe l'emplacement de la passe d'entrée des bassins qui pourraient être construits au sud de la digue Saint-Jean lorsque l'utilité en sera reconnue; la crête de ce batardeau, arasée un peu au-dessous du niveau des plus hautes mers, est surmontée d'une estacade, et le talus intérieur est réglé en pente douce. Ces dispositions permettront au batardeau de jouer le rôle de brise-lames et d'éviter le ressac dans l'avant-port en provoquant le déferlement des lames qui pourraient y pénétrer ou s'y former par les vents du Nord-Ouest. La plage actuelle, dans la partie comprise entre le petit bassin de marée dont il a été parlé ci-dessus et Frascati, sera conservée dans son état actuel pour concourir au même but.

Le nouvel avant-port, dans toute la partie qui sera fréquentée par la grande navigation, doit être immédiatement creusé à la cote $-4^{m},50$ [1]. La passe d'entrée, comprise

[1] Cette profondeur correspond à un mouillage de :

12m,35 en haute mer de vive-eau moyenne;
10m,65 en haute mer de morte-eau moyenne;
10 mètres en haute mer de morte-eau minima;
9 mètres à mi-marée;
7m,15 en basse mer de morte-eau moyenne;
5m.15 en basse mer de vive-eau moyenne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entre les musoirs des digues, sera creusée tout d'abord à la même profondeur; cette passe, ouverte à l'extrémité Sud-Est de la petite rade, par des fonds de 3 mètres à $3^{m},50$ de profondeur au-dessous du zéro, a 200 mètres de largeur. Les musoirs, construits avec parois verticales, seront fondés à une profondeur suffisante pour permettre l'approfondissement ultérieur et progressif des passes et de l'avant-port jusqu'à la cote $-8^{m},50$, qui rendra le port constamment accessible pour les plus grands navires en tout état de marée.

L'alignement tangentiel des musoirs est dirigé du S. S. E. au N. N. O.; la houle venant de l'Ouest, soulevée par les vents de l'Ouest au N. N. O., qui sont les plus dangereux, trouvera, immédiatement après avoir franchi la ligne des musoirs, un large épanouissement de plus de 1,200 mètres, où la lame perdra sa force avant de s'amortir en déferlant sur les talus de la plage et du batardeau.

Deux passes extérieures, de 300 mètres au moins de largeur, draguées l'une à la cote $-4^{m},50$ et l'autre à la cote -4 mètres, aboutiront à l'entrée de l'avant-port; la première, venant du Nord-Ouest, passera au Sud du banc de l'Éclat; elle pourra être ultérieurement approfondie jusqu'à la cote $-8^{m},50$; la seconde, venant de l'O. S. O., passera au Nord du Grand Placard.

Amélioration de l'avant-port actuel. Quai d'escale. — Le rescindement des jetées Nord et Sud et d'une partie des fronts de la Floride dégagera l'entrée de l'avant-port actuel, en ouvrant un accès facile vers l'écluse à sas projetée. La route à suivre, à partir du large, par les grands

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

navires qui se dirigeront vers cette écluse, ne présente aucune courbe dont le rayon soit inférieur à 2 kilomètres.

L'avant-port lui-même, formant port de marée, sera notablement agrandi, et la passe d'entrée, large d'environ 200 mètres, formera encore un étranglement suffisant pour déterminer un nouvel abaissement de la houle. Le calme sur lequel on peut compter permettra d'utiliser cette partie du port pour le stationnement à quai et les opérations commerciales des grands navires d'escale qui voudront éviter d'entrer dans les bassins. Aussi le projet comporte-t-il la construction, au Sud, d'un quai de 500 mètres de longueur fondé assez profondément pour permettre d'y entretenir une souille où les plus grands navires pourront toujours rester à flot. Les services transatlantiques rapides pourront en profiter pour organiser des départs à heure fixe, et l'accès en sera possible à toute heure pour les navires entrants, lorsque des profondeurs suffisantes auront été ultérieurement obtenues dans les passes extérieures et dans l'avant-port.

Toute la partie Sud du port, servant de passage aux navires qui se dirigent vers l'écluse à sas, sera creusée dès l'origine à la cote $-4^{m},50$.

Écluse à sas. — L'écluse à sas, qui doit mettre en communication directe l'avant-port avec le bassin de l'Eure et qui pourra desservir tous les autres bassins, est établie dans l'emplacement du bassin de la Floride. Le sas aura 240 mètres environ de longueur utile; sa largeur est de 30 mètres; le seuil d'aval est à la cote $-4^{m},50$, et le seuil d'amont à la cote $-3^{m},50$. Il pourra donc être utilisé d'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

manière continue pendant la plupart des marées et permettra d'effectuer chaque jour le sassement des plus grands paquebots pendant la moitié du temps, soit trois heures avant et trois heures après la pleine mer.

Défense des falaises de la Hève. — Les travaux de défense de la pointe de la Hève ont pour but de protéger le pied des falaises contre les érosions continues de la mer, afin de conserver à la navigation les avantages résultant de la saillie de la côte qui abrite, du côté Nord, l'entrée du port et le mouillage de la petite rade.

Prévisions de dépenses. — Les dépenses prévues pour la réalisation du programme décrit ci-dessus s'élèvent à 30 millions de francs ; elles doivent être supportées, jusqu'à concurrence d'une somme de 13,750,000 francs, par l'État et, pour le surplus, par la Chambre de commerce, qui recevra elle-même du département de la Seine-Inférieure et de la ville du Havre des subsides fixés respectivement à 2,864,500 francs et 1,200,000 francs. La Chambre de commerce sera couverte des dépenses restant à sa charge par la perception d'un droit de tonnage sur les navires entrants, d'une taxe sur les marchandises embarquées et d'une taxe sur les voyageurs.

L'avant-projet des travaux d'amélioration du port du Havre a été étudié sous la direction de MM. Quinette de Rochemont et Vétillart, ingénieurs en chef, par MM. Desprez et Ducrocq, ingénieurs ordinaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II. — Construction des digues.

Objet de l'entreprise. — Les travaux de construction des digues comprises dans le programme d'amélioration de l'entrée du port du Havre ont été commencés en 1896, en vertu d'un projet approuvé par décision ministérielle du 13 avril et adjugé le 28 mai de la même année.

Ces travaux comprennent, avec les deux digues dont on a indiqué ci-dessus l'emplacement et le tracé général, la construction des quais et terre-pleins du bassin de marée établi dans l'anse formée par l'enracinement de la digue Nord.

La digue Sud, qui comprend deux alignements droits de 800 mètres et de 75 mètres de longueur, doit être construite en mer comme môle isolé, la nécessité de réserver pendant toute la durée des travaux la libre circulation des navires dans la passe actuelle du Sud-Ouest ne permettant pas de rattacher cette digue à la terre avant son complet achèvement.

La digue Nord, au contraire, tracée en ligne droite et longue de 850 mètres, est construite en partant de terre.

Bassin de marée ou port des travaux. — Sur une longueur de 300 mètres, à partir du saillant de l'ancienne batterie des Huguenots, la digue Nord forme mur de soutènement pour la protection, du côté du large, des terre-pleins du bassin de marée ou port des travaux, terre-pleins qu'il a fallu constituer tout d'abord avec leurs murs de quai, pour servir à la réception et à la mise en dépôt des matériaux généralement apportés par mer, et à l'orga-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nisation des chantiers destinés à la préparation des mortiers, à la confection, au dépôt et à la manutention des blocs artificiels.

Un chantier provisoire pour la construction des quais et murs de soutènement du port des travaux fut installé à l'emplacement de la batterie des Huguenots, préalablement dérasée. Les terre-pleins du bassin de marée occupent une superficie de 45,000 mètres carrés environ; ils ont exigé l'emploi de 300,000 mètres cubes de remblais, qui ont été pris dans les basses plaines avoisinant le cap de la Hève et amenés à l'emplacement des travaux par une voie ferrée établie sur la partie haute de la plage. Le bassin de marée, ménagé à l'intérieur des terre-pleins, occupe lui-même une surface de 9,000 mètres carrés; il a la forme d'un quadrilatère, bordé sur trois côtés de quais en maçonnerie dont la longueur totale est de 310 mètres, y compris une cale de 92 mètres de longueur, inclinée à $\frac{1}{10}$, établie pour servir au lancement des blocs artificiels employés à la construction des digues. Ce bassin a été creusé à la cote + 1m,50.

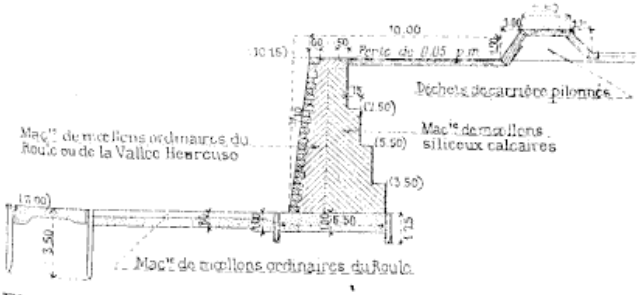


Fig. 83. — Profil du mur de soutènement du terre-plein Ouest.

La partie de la digue Nord qui forme mur de soutènement du terre-plein Ouest, du côté du large, a son couronnement à la cote + 10m,15, c'est-à-dire à 2 mètres au-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dessus du niveau des vives-eaux d'équinoxe. Sur une première partie, longue de 200 mètres à partir de l'origine, ce mur de soutènement repose, comme les murs de quai du bassin, sur une fondation en béton de 1 mètre environ de hauteur, encastrée dans le sable de la plage; cette fondation est protégée contre les affouillements par une large risberme en béton et maçonnerie; la seconde partie du mur, sur une longueur de 100 mètres où la plage ne découvrait pas à basse mer, est fondée sur un matelas d'enrochements. La surface supérieure du terre-plein est protégée contre les effets du déferlement des lames par un revêtement en béton qui s'étend sur une largeur de 10 mètres à partir de l'arête du mur jusqu'au pied d'un cavalier de $1^{m},50$ de hauteur, revêtu par un mur en briques du côté du large et par un parement en béton sur les autres faces.

Digues Nord et Sud. — La partie courante des digues est constituée par un massif en enrochements naturels défendu du côté du large par un revêtement en gros blocs naturels ou artificiels et surmonté d'une muraille pleine en maçonnerie.

Les enrochements naturels sont classés et employés par catégories. Le noyau central de l'infrastructure est formé d'enrochements de troisième catégorie pesant individuellement de 40 à 1,000 kilogrammes. Il est recouvert, sur ses talus, par des blocs naturels de deuxième catégorie pesant individuellement de 1,000 à 5,000 kilogrammes, qui sont eux-mêmes défendus du côté du large, dans les parties les moins profondes et les moins exposées, par des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blocs naturels de première catégorie pesant de 5,000 à 10,000 kilogrammes, et, sur la plus grande partie de la longueur, par une file de blocs artificiels de risberme en béton rangés au pied de la muraille, et par un lit de blocs artificiels, également en béton, déposés sur le talus et arrimés aussi soigneusement que possible. Ces derniers blocs pèsent environ 31,000 kilogrammes.

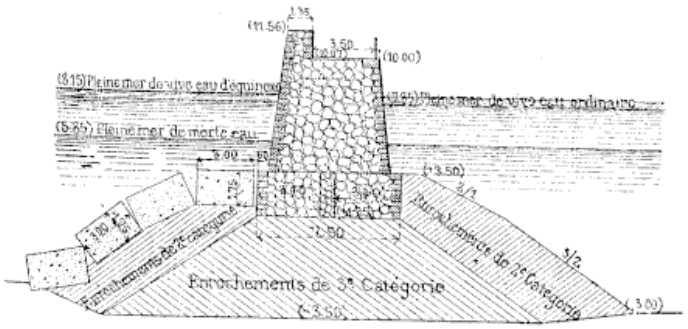


Fig. 84. — Profil courant (type des digues Nord et Sud).

L'infrastructure en enrochements des deux digues devait être arasée à la cote + 1m,25, et sur la plate-forme, soigneusement dressée à ce niveau, on devait, d'après les prévisions du projet, poser en quinconces des blocs artificiels construits sur le terre-plein du bassin de marée et mis en place deux mois au plus tôt après leur fabrication. Le volume de ces blocs devait être de 25 mètres cubes et leur poids d'environ 60,000 kilogrammes. Ces dispositions seront effectivement adoptées pour la construction de la digue Sud.

Mais, pour la construction de la digue Nord, les entrepreneurs, n'étant pas en mesure de construire à terre, de lancer et de mettre en place les blocs artificiels, ont été autorisés, sur leur demande, à les remplacer par des blocs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en maçonnerie construits sur place à la marée. On se borne alors à dresser la surface supérieure du massif d'enrochements de manière que les saillies des pierres ne dépassent pas la cote + 2 mètres et que l'on puisse exécuter entre ces pierres, après un garnissage préalable en pierres sèches hourdées au ciment de Vassy, des maçonneries descendant jusqu'à une cote comprise entre + 1 mètre et + 1^{m},50.

Sauf la différence qui vient d'être signalée, le mode de construction est le même sur la partie courante des deux digues.

Quand les enrochements surmontés des blocs de fondation en maçonnerie, immergés ou construits sur place, peuvent être considérés comme ayant subi un arrimage et un tassement suffisants sous l'action de la mer, on remplit de maçonnerie l'intervalle de blocs et on constitue ainsi, à la cote + 3^{m},50, une assise de 7^{m},50 de largeur, au-dessus de laquelle on élève sur place, à la marée, le massif en maçonnerie de la muraille proprement dite.

Cette muraille présente sur ses deux faces un fruit de $\frac{1}{10}$; elle a 5 mètres de largeur à la cote + 10 mètres, qui est celle de la plate-forme de couronnement de la digue. Cette plate-forme est protégée du côté du large par un parapet de 1^{m},50 d'épaisseur et 1^{m},35 de hauteur, de telle sorte que la largeur libre pour la circulation est réduite à 3^{m},50.

Des échelles en fer sont établies de distance en distance sur les deux parements des digues; des organeaux d'amarrage sont disposés de 50 mètres en 50 mètres sur le parement intérieur de la digue, à la cote + 5 mètres. Des bollards, également espacés de 50 mètres, sont établis sur la bordure de couronnement de la plate-forme du côté du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

port. Un garde-corps en fer régnera sur la digue Nord tout le long de cette bordure.

Musoirs. — Les deux digues se terminent, de part et d'autre de la passe d'entrée, par des musoirs élargis dont les dispositions ont été étudiées pour permettre d'y établir des batteries d'artillerie et les installations accessoires commandées par les besoins de la navigation : phares, machinerie pour signaux sonores de brume, cabestans, mâts de signaux, poste de surveillance, etc.

La largeur des musoirs sera de $13^{m},50$, au niveau de leur plate-forme de couronnement arasée à la cote $+11^{m},50$. Sur une longueur de 30 mètres, ces musoirs, dont le massif supérieur présentera des parements inclinés suivant un fruit de $\frac{1}{10}$ comme pour le reste de la digue, reposeront sur un massif de fondation à parois verticales en maçonnerie de 16 mètres de largeur, foncé à la cote — 11 mètres au moyen d'un caisson à air comprimé. Ce mode de construction permettra aux navires de les approcher sans danger, et rendra possible l'approfondissement ultérieur de la passe à la cote $-8^{m},50$.

Matériaux employés. — Les enrochements naturels qui constituent le corps de l'infrastructure des digues proviennent des carrières de grès quartzites du Roule, près de Cherbourg; ils sont amenés par chemin de fer au port de Trouville, où ils sont chargés au moyen de grues dans les chalands à clapets employés pour leur immersion.

Les blocs artificiels employés au revêtement des talus sont formés de béton de galets des plages de la Seine-Inférieure;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les blocs de fondation et le corps de la muraille sont construits en maçonnerie. Les moellons employés dans l'intérieur des massifs de la muraille proviennent des carrières de calcaire tendre à rognons siliceux des environs du Havre (moellons siliceux-calcaires); les maçonneries exécutées avec ces moellons sont enveloppées de maçonnerie en pierres dures provenant des carrières de grès-quartzite du Roule et des carrières de calcaire-marbre des environs de Marquise (Pas-de-Calais). Les parements sont généralement exécutés en moellons smillés des carrières de Marquise; les tablettes de couronnement, les marches d'escalier, coulisses d'échelles et autres pierres de sujétion sont en granit des carrières de Normandie et de Bretagne. Les blocs de fondation sont entièrement composés de maçonnerie de pierre dure.

Tous les mortiers sont au ciment de Portland provenant des usines du Pas-de-Calais; le sable employé pour la confection des mortiers des digues est du sable granitique à gros grains provenant des dunes de Gattemare près Barfleur (Manche).

Les mortiers sont dosés à raison de 400 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable, pour les maçonneries de remplissage au-dessus de la cote + 8 mètres; de 450 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable, pour les maçonneries intérieures au-dessous de la même cote; de 500 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable pour les maçonneries de revêtement et pour celles des blocs artificiels en maçonnerie ou en béton; de 800 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable pour les rejointoiements.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La construction des deux digues comporte l'emploi de 250,000 tonnes environ d'enrochements et la confection de 155,000 mètres cubes environ de béton et de maçonnerie.

Dépenses. — Le prix du mètre courant de digue, non compris les musoirs, ressort à 4,500 francs environ en moyenne.

Les prévisions de dépenses s'élèvent à 10 millions de francs en nombre rond pour la totalité des ouvrages, y compris 1,500,000 francs pour la construction du port des travaux et de ses terre-pleins.

Les projets ont été dressés et l'exécution des travaux est dirigée par M. Ducrocq, ingénieur ordinaire, sous les ordres de M. Vétillart, ingénieur en chef, avec le concours de MM. Danais, Thomas et Delbeude, conducteurs.

Les entrepreneurs sont MM. Beynel et Vigner.

III. — Écluse à sas.

Données principales de l'avant-projet. — D'après l'avant-projet primitif, l'écluse à sas qui doit faire communiquer l'avant-port avec le bassin de l'Eure avait 225 mètres de longueur utile et 30 mètres de largeur; elle devait être fermée par deux paires de portes extrêmes et par une paire de portes intermédiaires, utilisables pour le sassement de navires de dimensions moyennes; le seuil de la porte d'amont devait être établi à la cote — 3 mètres et celui des autres portes à la cote — 4 mètres. Ces portes devaient être à un seul vantail.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Modifications introduites dans le projet d'exécution. Dispositions générales. — Les études préparatoires des projets d'exécution ont conduit à modifier ces prévisions, sauf en ce qui concerne la largeur de l'écluse toujours fixée à 30 mètres.

Le seuil d'amont a été abaissé à la cote $-3^{m},50$ pour assurer, dans les circonstances les plus défavorables, un mouillage minimum utile de $8^{m},50$, aujourd'hui nécessaire pour les grands paquebots transatlantiques; les conditions de fondation, dont il est parlé ci-après, ont permis, sans augmentation notable, d'abaisser également de $0^{m},50$ le seuil d'aval et le radier général du sas, ce qui permettra, en comptant sur un tirant d'eau maximum de $8^{m},50$, de maintenir à six heures par marée la durée pendant laquelle les grands paquebots pourront entrer dans les bassins.

L'exploration du sol de fondation, au moyen de sondages à air comprimé et de nombreux forages, a mis en évidence le défaut d'homogénéité du sol et sa mauvaise nature dans la plus grande partie de l'emplacement de l'ouvrage : le terrain résistant de sable et gravier se dérobant brusquement un peu en aval de la tête amont, à la rencontre d'une fosse profonde, où l'on ne peut asseoir les maçonneries que sur une argile compacte, assez résistante quoique un peu compressible, située à 16 ou 17 mètres au-dessous du zéro. Cette exploration a fait reconnaître qu'il était impossible de constituer l'ouvrage comme la plupart des écluses maritimes, en le formant d'un massif unique, sorte de monolithe établi sur une fondation générale, et comprenant à la fois les bajoyers et le radier. On a dû renoncer, par raison d'économie, à l'écluse intermédiaire et décider que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le radier du sas, compris entre deux bajoyers indépendants, serait formé d'un simple dallage en béton de peu d'épaisseur, incapable de résister aux sous-pressions, dans lequel on ne chercherait pas à obtenir une indéformabilité et une étanchéité absolues, mais qui cependant serait assez épais et continu pour protéger un sous-sol éminemment affouillable contre tout danger d'érosion. Le sas ainsi formé sera séparé des bassins à flot comme de l'avant-port par les massifs des deux têtes, constitués de manière à former avec les portes d'écluse qui y seront établies deux barrages étanches, capables de résister aux sous-pressions et de s'opposer au siphonnement des eaux sous les fondations.

L'ouvrage se compose donc de trois parties :

1° Massif d'amont comprenant la chambre de porte amont et les musoirs de raccordement avec le bassin de l'Eure dont les fondations, reposant sur un terrain de sable et gravier très résistant, descendant au plus à la cote $-9^{m},50$.

2° Massif d'aval comprenant la chambre de porte aval et les murs en retour de raccordement avec les quais de l'avant-port, dont les fondations, reposant sur une couche d'argile compacte, seront descendues jusqu'à la cote -17 mètres environ.

3° Sas proprement dit, comprenant un radier formé d'un dallage général en béton, et deux bajoyers construits par parties plus ou moins parfaitement reliées entre elles, dont les fondations seront descendues à des profondeurs variables suivant l'allure du terrain.

Le niveau du couronnement des bajoyers du sas est fixé à la cote $+9^{m},50$, supérieure de $0^{m},30$ aux plus hautes marées connues.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La longueur totale de l'ouvrage, du plan vertical extérieur de la tête amont au plan vertical extérieur de la tête aval, est de 340 mètres environ.

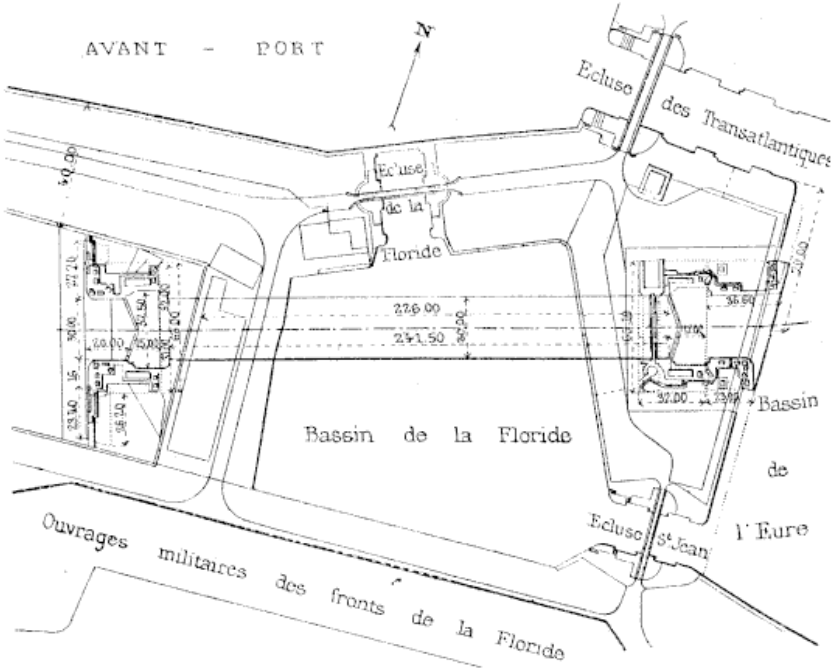


Fig. 85. — Plan général de l'écluse à sas.

L'emplacement, les dispositions générales et les dimensions des diverses parties de l'ouvrage dépendent à la fois des conditions de fonctionnement et de manœuvre commandées par les besoins de la navigation, et des exigences de la construction.

On a dit que l'avant-projet primitif supposait que la fermeture de l'écluse serait effectuée au moyen de portes à un seul vantail. A raison des grandes dimensions de l'ouvrage, il a paru plus prudent, en dressant le projet d'exécution, d'adopter pour la tête amont des portes busquées qui seront toutes semblables à celles de l'écluse actuelle des Trans-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

atlantiques. Le même système est prévu pour la tête aval; toutefois les dispositions prises, à l'origine du travail, permettent de réserver le choix entre les deux types de portes jusqu'à ce qu'il ait été possible d'établir une étude comparative plus complète et plus détaillée.

L'emplacement des deux chambres de portes est commandé par la situation des lieux et par les convenances de la construction des massifs, dont l'un doit être descendu dans le terre-plein du quai Malakoff, et l'autre dans l'annexe de l'avant-port, sans compromettre la circulation publique, ni la solidité des ouvrages existants. Ces conditions déterminent la distance de pointe en pointe des buscs, qui est de 260^{m},50, ainsi que la longueur utile du sas, qui est de 241^{m},50 en adoptant des vantaux busqués pour la porte aval, et de 226 mètres si l'on adopte un vantail unique.

La grande longueur du sas a permis de placer, immédiatement en aval de la porte amont, le pont tournant qui doit établir les communications entre les deux côtés de l'écluse. Ce pont, d'une seule volée, et à double voie, semblable au pont de l'écluse Bellot, servira de protection éventuelle pour les portes d'amont contre l'abordage des navires qui se présentent pour entrer dans les bassins; il pourra demeurer fermé pendant la durée des sassements, tant que la longueur des navires ne dépassera pas 225 mètres ou 210 mètres (suivant le système adopté pour la porte aval).

Le pont tournant ainsi que les portes d'écluses seront manœuvrés hydrauliquement au moyen d'appareils funiculaires semblables à ceux dont on fait actuellement usage au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

port du Havre; les logements de ces appareils sont ménagés sur les bajoyers.

Des engins de retenue hydrauliques établis dans les bajoyers seront disposés pour servir de freins et empêcher les inconvénients du battement des portes sous l'effort de la houle.

Dispositions prises en vue des sassements. — Les manœuvres de remplissage et de vidange du sas seront effectuées au moyen d'aqueducs longitudinaux munis de vannes, pratiqués dans les bajoyers, et de ventelles établies dans les portes d'écluses. On s'est imposé, pour chacune de ces manœuvres d'eau, une durée maximum d'environ dix minutes. Les dimensions des aqueducs ont été calculées d'après cette donnée, en admettant que l'on pourra utiliser vers la fin de l'opération, alors que les dénivellations sont relativement faibles, les ventelles des portes, dont l'ouverture ne pourra, dans ces conditions, occasionner des courants longitudinaux dangereux pour les ouvrages et pour les navires amarrés dans l'écluse. La section totale des aqueducs est de $24^{mq},92$; pour diviser la masse d'eau en mouvement et atténuer l'effet des chocs et coups de bélier contre les maçonneries, cette section totale est répartie entre quatre aqueducs longitudinaux de $6^{mq},23$ de section chacun (deux dans chaque bajoyer). On rendra la manœuvre plus facile et plus sûre en dédoublant chacun de ces aqueducs à leur extrémité, ce qui permettra de diminuer de près de moitié les dimensions des vannes de fermeture.

La durée totale d'un sassement ne dépassera pas, dans les circonstances normales, 45 minutes environ, et le nombre des manœuvres doubles (entrée et sortie) qui pour-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ront être effectuées dans l'intervalle de temps compris entre deux étales de haute mer sera de 6 ou 7 au plus. La déperdition d'eau qui en résultera ne pourra produire dans les bassins un abaissement supérieur à celui que l'on est obligé de déterminer actuellement par le fonctionnement des aqueducs de chasse [1].

Tous les engins mécaniques pour la manœuvre des portes, pont tournant et vannes seront concentrés dans le voisinage des deux têtes de l'écluse.

Mode de construction. — La construction du sas a été provisoirement réservée, et les travaux adjugés sur concours en 1899 comprennent uniquement la construction des deux têtes.

Chacune de ces têtes se compose d'un massif principal qui forme barrage ou batardeau étanche et correspond à la chambre de porte, et de deux massifs secondaires reliés avec le premier, qui prolongent les bajoyers de l'écluse et les raccordent avec les ouvrages existants.

Les trois massifs de chaque tête sont fondés séparément sur des caissons à air comprimé, descendus à la profondeur indiquée ci-dessus.

Le massif principal de la chambre d'amont a 32 mètres de longueur suivant l'axe de l'écluse, et 65 mètres environ de largeur perpendiculairement à cet axe.

Le massif principal de la tête aval a 36 mètres de longueur et 63 mètres de largeur.

[1] Abaissement de $0^m,50$ à $0^m,60$ nécessaire pour permettre l'ouverture des portes des bassins pendant la durée de trois heures environ à chaque marée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dimensions données ci-dessus sont celles des caissons métalliques formant chambre de travail à air comprimé et surmontés de hausses qui seront employées pour leur fondation.

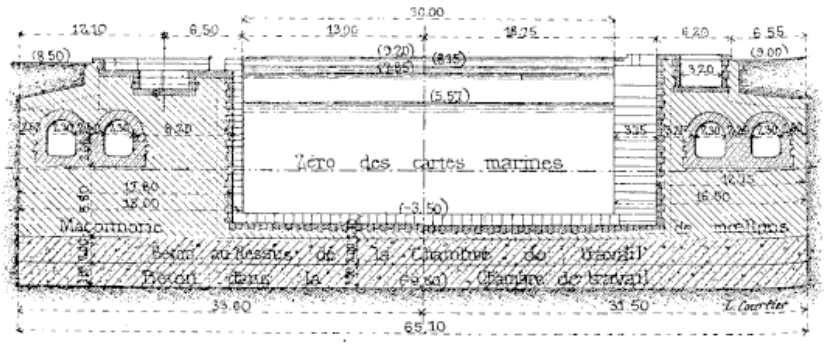


Fig. 86. — Écluse à sas. Coupe en travers de la tête amont.

Le grand caisson d'amont sera construit en place et foncé tout entier à l'abri de la mer à l'intérieur d'une fouille pratiquée dans le terre-plein du quai Malakoff qui sépare le bassin de l'Eure du bassin de la Floride. Établi sur le sol à un niveau voisin du niveau moyen de la mer, il sera descendu jusqu'à la cote $-9^{m},50$ sans autres difficultés que celles qui résultent de ses grandes dimensions et de son mode de chargement.

Le grand caisson d'aval sera construit sur cale et amené flottant dans la position qu'il doit occuper au fond de l'annexe de l'avant-port, pour être descendu jusqu'à la cote $-17^{m},50$, c'est-à-dire jusqu'à une profondeur de 26 mètres à 27 mètres environ au-dessous des plus hautes mers. Les conditions de fonçage de ce caisson présentent des difficultés exceptionnelles dont les principales résultent de sa situation dans un avant-port exposé à toutes les oscilla-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tions de la marée, où le plan d'eau peut varier entre la cote + 0m,30 environ et la cote + 9m,20.

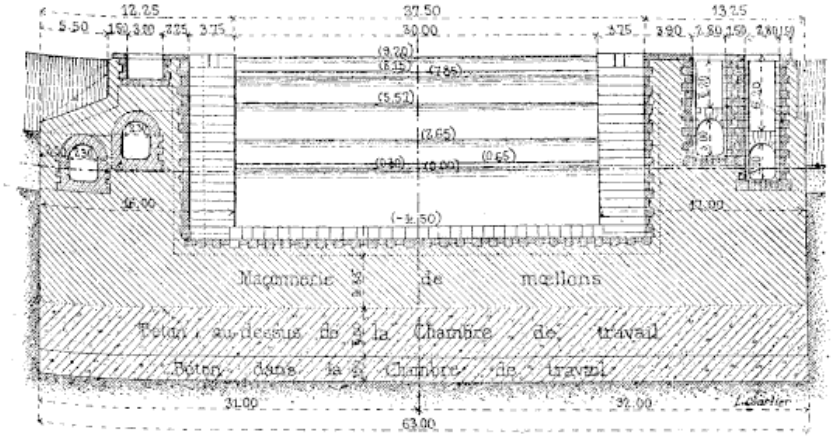


Fig. 87. — Écluse à sas. Coupe en travers de la tête aval.

Pour éviter les inconvénients et dangers qui pourraient résulter de la variation énorme et rapide des sous-pressions produites par la marée, les entrepreneurs dont la soumission a été agréée ont projeté de construire, en travers de l'annexe de la Floride, un batardeau insubmersible, en amont duquel serait maintenu, pendant toute la durée du fonçage, un niveau d'eau à peu près constant, voisin du niveau moyen de la mer. Des buses ménagées dans ce batardeau permettront, au commencement du travail, de faire varier le plan d'eau pour faciliter la mise à flot, puis l'échouage en place du caisson, lequel reposera sur un lit de sable pur déposé sur le fond vaseux du bassin dragué à la profondeur convenable (environ 2 mètres au-dessous du zéro).

Les massifs secondaires seront fondés comme les massifs principaux, mais sur caissons de moindres dimensions. Les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

caissons servant à la construction des bajoyers d'amont présenteront toutefois 38 mètres environ de longueur sur 17 mètres de largeur au Nord, et 23 mètres sur $17^{m},50$ au Sud, et leur fonçage présentera d'autant plus de difficultés, qu'ils doivent reposer en partie sur le terre-plein, en partie sur le mur du quai et s'avancer en porte-à-faux sur le bassin de l'Eure.

Le cadre de cette notice ne permet pas d'entrer dans le détail des dispositions imaginées pour assurer l'exécution successive des différentes parties des ouvrages et la jonction étanche des divers massifs.

On se bornera à signaler que des batardeaux transversaux en maçonnerie, qui devront être ultérieurement démolis, seront construits, pendant le fonçage des grands caissons, en travers des chambres de porte, à l'amont et à l'aval de chacun des massifs principaux; ces batardeaux, qui serviront pendant le fonçage à appuyer les hausses des caissons et à contrebuter les bajoyers, permettront ensuite de construire à sec et en place les vantaux des portes d'écluse.

Matériaux employés. — À raison de la grande épaisseur des massifs résultant du niveau des fondations et des exigences de la stabilité, on a prévu pour le corps des maçonneries l'emploi des matériaux les plus économiques : béton de galets et maçonnerie de moellons siliceux calcaires au mortier de chaux hydraulique du Teil dosé à 350 à 400 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable. Ces maçonneries intérieures seront partout enveloppées, sur une épaisseur moyenne minimum de $0^{m},90$ à $1^{m},50$,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de maçonnerie de revêtement en moellons durs du Roule ou de Marquise avec mortier de ciment Portland dosé à 500 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. On ne fera usage que de sable à gros grain d'excellente qualité provenant des carrières, des dunes ou des plages granitiques de Bretagne ou de Normandie. Les aqueducs seront enveloppés de maçonnerie de briques; les parements extérieurs de l'écluse seront formés de pierres de taille de granit et de moellons smillés provenant des carrières de granit de Bretagne et de Normandie ou des carrières de calcaire-marbre de Marquise (Pas-de-Calais).

Le projet de construction des têtes de l'écluse à sas du Havre a été dressé et l'exécution des travaux a été commencée sous les ordres de M. Vétillart, ingénieur en chef, par M. Renard, ingénieur ordinaire. MM. Vigner et Schneider et Cie ont été chargés de l'exécution comme entrepreneurs, à la suite d'un concours portant sur l'organisation générale du travail, sur les dispositions à prendre pour la construction, sur l'évaluation des ouvrages et la durée des travaux. La dépense prévue s'élève à 7,140,000 francs; les travaux doivent être exécutés en quatre ans.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

X

PORT DU HAVRE.

AQUEDUC-SIPHON SOUS LE CANAL DE TANCARVILLE.

Un cadre de dessins.

Objet et description générale des travaux. — La construction de quais maritimes à l'extrémité aval du quai de Tancarville, sur une longueur d'un kilomètre, et la transformation en bassin à flot de la partie correspondante du canal, comprise entre le garage de Graville et le bassin fluvial du Havre, ont nécessité des travaux d'approfondissement et d'élargissement, qui ont eu pour conséquence la reconstruction d'un aqueduc-siphon, établi pour donner passage aux eaux d'égout de l'un des principaux collecteurs de la ville du Havre.

Cet ouvrage présentait des difficultés sérieuses, parce qu'il devait être exécuté, sans interrompre la navigation, au-dessous du canal, dont la largeur était portée à 100 mètres environ, et la profondeur à $8^{m},30$, et parce qu'il devait reposer tout entier sur un fond de sable vaseux, peu homogène et peu résistant.

Le travail à faire comprenait la construction de deux puisards verticaux en maçonnerie engagés dans les murs de quai de chacune des deux rives, raccordés avec les aqueducs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

établis sur la terre ferme et reliés entre eux, au-dessous du niveau du plafond du canal, coté — 1m,15, par une double conduite horizontale.

La conduite est formée de deux tuyaux parallèles en tôle d'acier rivée, de 1m,10 de diamètre et 0m,012 d'épaisseur, entretoisés l'un avec l'autre et noyés dans un massif trapézoïdal en béton de 2m,10 de hauteur, ayant 5m,10 de largeur à la base et 2m,80 de largeur au sommet. Ces tuyaux, dont la partie rectiligne a 102 mètres environ de longueur, sont prolongés à leurs extrémités par des raccords également en tôle et de 1m,20 de diamètre, coudés à 90 degrés, qui débouchent verticalement au fond des puisards. La distance d'axe en axe des orifices de sortie des tuyaux constituant le siphon est de 106m,30.

Mode de construction. Puisards. — Les puisards en maçonnerie, de section rectangulaire, durent être fondés tout d'abord et construits sur trois de leurs faces jusqu'à un niveau supérieur au plan d'eau du canal, en réservant la quatrième face (côté du canal), qui ne pouvait être montée qu'après l'immersion de la conduite en tôle. Ils formèrent ainsi sur chaque rive une coulisse, dans laquelle purent être engagées les extrémités coudées des tuyaux et qui servit à guider la descente de ces tuyaux pendant l'immersion.

Les maçonneries des puisards reposent sur une plateforme générale en béton descendue à la cote — 5 mètres; leur hauteur est de 13m,30; elles constituent, sur un terrain de mauvaise nature, une charge relativement considérable qui pouvait déterminer des tassements dangereux, suscep-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tibles de produire la rupture de la branche horizontale du siphon à ses deux extrémités. On jugea donc nécessaire d'entourer la plate-forme de fondation d'une enceinte de pieux jointifs prolongée sur toute la hauteur du puisard et reliée avec la plate-forme en charpente sur laquelle sont établis les murs de quai voisins, et on la fit reposer sur des pilots battus préalablement, après dragage à l'intérieur de cette enceinte.

La plate-forme en béton et les maçonneries des parois, sur les trois faces construites tout d'abord, ont été exécutées sur les deux rives, à l'abri d'un batardeau général, au moyen d'un caisson mobile à air comprimé de $5^{m},60$ sur 5 mètres, suspendu à un échafaudage fixe et descendu à l'intérieur de l'enceinte en palplanches qui limitait l'ouvrage; les raccordements des puisards avec les aqueducs existant sur chaque rive ont été exécutés à sec, par épuisements, avant la rupture des batardeaux, qui dut être effectuée aussitôt après pour permettre la construction de la branche horizontale du siphon. La quatrième face des puisards, du côté du canal, fut exécutée également au moyen du caisson mobile à air comprimé, après achèvement de la branche horizontale, dont la construction constitue la partie la plus importante et la plus délicate du travail.

Branche horizontale du siphon sous le canal. — Pour mettre le siphon à l'abri de tout accident pouvant résulter de la navigation, on l'établit tout entier à $0^{m},85$ au-dessous du plafond projeté du canal. Le massif de béton ayant $2^{m},10$ de hauteur dut être fondé à la cote $-4^{m},10$ et son sommet fut arasé à la cote — 2 mètres; tout le tra-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vail de bétonnage fut exécuté à l'air comprimé au moyen d'un caisson mobile de $9^{m},85$ de longueur sur 5 mètres de largeur, suspendu au moyen de vérins par un échafaudage établi sur chalands.

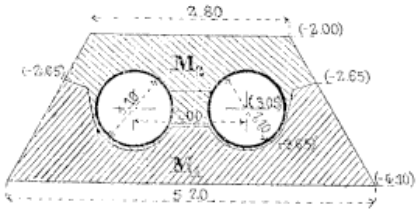


Fig. 88. — Coupe en travers de l'aqueduc-siphon du Havre.

La construction du massif en béton comporta deux périodes bien distinctes : la première, antérieure à l'immersion du siphon, correspondant à l'établissement de la partie inférieure du massif (M_1), servant de lit de pose pour la double conduite en tôle ; la deuxième, postérieure à l'immersion du siphon, correspondant à la confection de la partie supérieure du massif qui enveloppe et recouvre les tuyaux (M_2).

L'un et l'autre massif durent être exécutés par parties, à raison des dimensions limitées du caisson mobile dont on fit usage et des sujétions particulières du travail.

Le fond du canal était primitivement réglé à la cote $+ 1^{m},15$; on dut commencer par pratiquer à la drague, à l'emplacement du siphon, une rigole creusée à la cote de fondation $- 4^{m},10$. Cette rigole, profonde de $5^{m},25$ et trop étroite, se remplit rapidement de dépôts vaseux qui occasionnèrent beaucoup de difficultés pendant l'exécution du massif inférieur.

Ce massif fut, comme on l'a dit, exécuté par fractions

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

successives, dans le sens de la longueur, comme dans le sens de la hauteur. Dans le sens de la longueur, chaque section avait une longueur d'environ $9^{m},50$; elle était montée en deux fois. Après dragage et nettoyage du fond dans la chambre de travail, on exécutait d'abord sur toute la longueur de la chambre de travail la plate-forme A, au-dessous du fond des rigoles réservées pour la pose des tuyaux, puis on relevait le caisson et on montait la banquette centrale B_1, comprise entre les deux rigoles et les murettes latérales B_2 et B_3, jusqu'à la cote $-2^{m},65$, en coulant le béton à l'intérieur d'un encoffrement maintenu par des gabarits transversaux disposés de distance en distance.

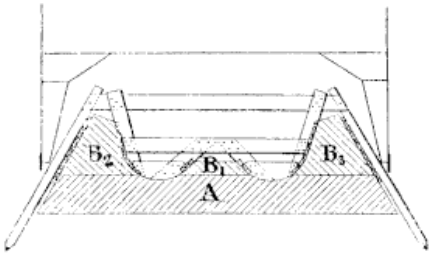


Fig. 89. — Coupe en travers de l'aqueduc en cours d'exécution.

Pour chaque position du caisson, le massif de béton se terminait, du côté de l'avancement, par un talus interrompu par une petite risberme, destinée à servir d'appui au caisson dans sa position suivante et à faciliter les raccords. A chaque reprise, le caisson était déplacé dans le sens de la longueur de l'ouvrage, en prolongement de la position qu'il occupait précédemment, puis, après dragage et nettoyage du fond, on coulait la plate-forme intérieure et l'on relevait progressivement le caisson le long des talus de la reprise précédente, pour effectuer le raccordement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en refoulant le béton sous le couteau, opération rendue fort difficile par l'abondance des vases accumulées au fond de la fouille. Lorsque la plate-forme inférieure était réglée, le caisson était ripé vers l'arrière, de manière à poser, par ses deux extrémités, d'une part, sur la risberme de la reprise précédente, et, d'autre part, sur le béton fraîchement coulé; puis on procédait, à l'intérieur des encoffrements dont il a été parlé, à la construction de la banquette centrale et des murettes latérales; les raccordements s'effectuaient par ces murettes latérales, en glissant des planches sous le couteau jusqu'à la rencontre des parements des murettes de la reprise précédente.

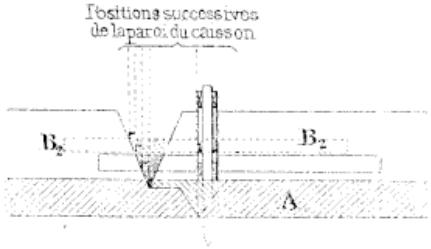


Fig. 90. — Coupe longitudinale de l'aqueduc en cours d'exécution.

Après exécution complète du massif inférieur, sur toute la longueur comprise entre les puisards, toutes les jonctions qui inspiraient quelque inquiétude ont été visitées en les coiffant avec le caisson et établissant de part et d'autre, entre les murettes latérales, de petits batardeaux qui permirent de nettoyer et de réparer à sec toutes celles dont la soudure laissait à désirer par suite de l'interposition de la vase entre les deux reprises consécutives de béton. On put corriger en même temps les irrégularités de gabarit qui furent constatées.

Après achèvement du massif inférieur et nettoyage des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rigoles au moyen d'un appareil Jaudin, les conduites en tôle, qui avaient été construites dans une fosse voisine du canal et dont le poids total était de 93 tonnes environ, furent flottées sur place; puis on les suspendit au moyen de douze vérins, dont quatre établis aux extrémités sur échafaudages fixes et huit intermédiaires établis sur chalands. On les remplit d'eau et on les descendit progressivement au fond du canal où elles occupèrent exactement la place qui leur était assignée dans les rigoles du massif inférieur de béton. Pour ménager un vide d'une épaisseur suffisante entre la tôle et le massif de béton, faciliter le bourrage du mortier autour des tuyaux et assurer ainsi la soudure avec le massif de pose, des ceintures de corde avaient été disposées autour de ces tuyaux de distance en distance.

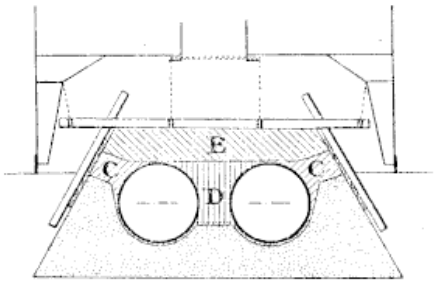


Fig. 91. — Coupe en travers indiquant le mode d'achèvement des travaux.

Il restait à effectuer le bourrage du mortier et du béton entre les tuyaux et le massif inférieur et à exécuter le massif supérieur de recouvrement des tuyaux; opérations d'autant plus délicates que le caisson descendu sur le tuyau restait suspendu de $0^m,15$ à $0^m,20$ environ au-dessus du sommet des murettes latérales précédemment construites.

Ce travail s'effectua, comme pour le massif inférieur, en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avançant par reprises successives dans le sens de la longueur du siphon. On établissait tout d'abord un encoffrement suspendu au plafond du caisson qui prolongeait les parements extérieurs des murettes latérales, et on s'appuyait contre cet encoffrement pour exécuter les massifs latéraux, C, C, en bourrant le plus possible, avec du béton à gravier fin, le vide compris entre les tuyaux et les murettes. Pour remplir l'intervalle entre les tuyaux et le vide existant au-dessous de ceux-ci, D, on établissait à l'extrémité du caisson, du côté de l'avancement, un petit batardeau en sacs de béton, qui permettait d'épuiser l'intervalle compris entre les tuyaux et de faire le bourrage à sec. Le recouvrement en béton au-dessus des tuyaux, E, constituait une troisième opération qui ne présentait aucune difficulté. Les jonctions et soudures étaient effectuées à chaque reprise par des procédés plus ou moins semblables à ceux qui ont été indiqués plus haut pour le massif inférieur.

Les procédés employés sont suffisamment indiqués par ce qui précède pour qu'il n'y ait pas lieu d'insister particulièrement sur les jonctions effectuées aux extrémités du siphon avec les puisards.

Les travaux, commencés le 10 janvier 1899, ont été terminés au mois de septembre suivant.

Dépenses. — La dépense de construction du siphon et des puisards, sans y comprendre les travaux de raccordement exécutés sur les deux rives, est d'environ 300,000 francs.

Les projets ont été dressés et l'exécution des travaux a été dirigée par M. l'ingénieur Collot, sous les ordres de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Vétillart, ingénieur en chef, avec le concours de M. Josserand, conducteur des ponts et chaussées. Les travaux faisaient partie de l'entreprise de M. Thorel; ils ont été exécutés avec le concours de M. Vigner, entrepreneur, pour tous les ouvrages faits à l'air comprimé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XI

TRAVAUX D'AMÉLIORATION

DE LA SEINE MARITIME.

Un cadre de dessins.
Deux plans d'ensemble à l'échelle de $\frac{1}{60000}$ ($0^m,01$ pour 600 mètres).
Un profil en long comparatif à l'échelle de $\frac{1}{100000}$ ($0^m,01$ pour 1,000 mètres) pour les longueurs;
et à l'échelle de $\frac{1}{40}$ ($0^m,025$ pour 1 mètre) pour les hauteurs.

Avant 1848, aucun travail n'avait été entrepris pour améliorer la navigation sur les 125 kilomètres de rivière qui séparent Rouen de la mer. La moitié de cette longue distance, sur 60 kilomètres entre la Mailleraye et la mer, était alors à l'état d'estuaire. La largeur du lit atteignait 1,000 mètres entre la Mailleraye et Villequier, 1,500 mètres à la Vacquerie, 3,200 mètres à Quillebeuf, 4,800 mètres au Marais-Vernier, 7,000 mètres en aval de la Roque et 10,000 mètres en amont d'Honfleur. Le chenal, peu profond et dangereux, décrivait des sinuosités variables à travers des bancs mobiles de sable et de vase. Il fallait alors à des navires dont le tonnage était inférieur à 200 tonneaux et dont le tirant d'eau ne dépassait pas 10 pieds, quatre jours au moins pour venir de la mer à Rouen.

Les travaux d'amélioration entrepris en 1848 ont présenté trois phases distinctes. La première, de 1848 à 1866, correspond à l'exécution d'une série de digues longi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tudinales entre la Mailleraye et la Risle. On commença, en vertu d'une loi du 31 mai 1846, par la construction de digues basses entre Villequier et Quillebeuf. Ce travail était achevé en 1851; il donna des résultats remarquables en faisant passer presque immédiatement de $3^{m},50$ à $6^{m},50$ les profondeurs de pleine mer sur les traverses de Villequier et d'Aizier. On poursuivit alors les travaux d'amélioration en exécutant de nouvelles digues longitudinales en amont de Villequier jusqu'à la Mailleraye et en aval de Quillebeuf jusqu'à la Risle. En 1866, la longueur totale des digues construites entre la Mailleraye et la Risle était de 63 kilomètres, dont 35 sur la rive droite et 28 sur la rive gauche.

En 1866, les travaux entrèrent dans une phase nouvelle. On n'entreprit plus de digues neuves et on se donna pour seule tâche de maintenir et de consolider les digues existantes. Celles-ci, en effet, constituées par les moellons crayeux, légers et gélifs, que donnent les carrières du pays, protégées simplement par des perrés grossiers sans fondations spéciales, subissaient de graves avaries sous l'action des gelées, des courants, de la houle et du mascaret. L'abaissement du niveau des basses mers, conséquence de l'abaissement des seuils, favorisait la destruction des ouvrages en mettant leur empiètement à découvert.

Les travaux de consolidation rendus inévitables par cet état de choses ont consisté, d'une part, dans l'exécution d'un revêtement bétonné de $0^{m},25$ d'épaisseur, protégeant les talus contre les gelées et le mascaret, et, d'autre part, sur tous les points où des affouillements étaient à craindre, dans l'établissement d'une risberme en béton, de 3 mètres de largeur et $0^{m},40$ d'épaisseur, soutenue du côté du large

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par un vannage en charpente formé de pieux moisés et de palplanches continues ou de bordages horizontaux.

En même temps que l'on consolidait les digues construites en aval de la Mailleraye, on exécutait en amont de ce point divers travaux d'amélioration, en fermant les trous de Grand-Couronne, de Moulineaux et du Malacquis, et en transformant la passe de Bardouville par des digues longitudinales et transversales.

La troisième phase des travaux d'amélioration de la Seine maritime doit être considérée comme ayant commencé en 1885, avec l'étude des programmes nouveaux ayant pour objet, d'une part, de perfectionner encore les conditions de la navigation en amont de la Risle, d'autre part, d'entreprendre l'amélioration de l'estuaire en aval de cette rivière, c'est-à-dire dans une région où rien n'avait encore été tenté.

La question du prolongement des digues au delà de la Risle avait bien été étudiée auparavant, mais elle avait donné lieu à de vives controverses portant à la fois sur l'effet utile que ces travaux pouvaient avoir pour la Seine elle-même et sur les inconvénients qui pouvaient en résulter pour l'entrée du port du Havre, par suite des modifications apportées au régime des sables de l'estuaire.

En 1885, le Ministre des travaux publics institua une commission technique chargée d'élaborer un programme général de travaux d'amélioration du port du Havre et des passes de la basse Seine. Le programme adopté, en ce qui concerne les travaux de la Seine, a été inspiré par les préoccupations suivantes :

1° Tracer les rives, autant que possible suivant les lois

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui conviennent aux cours d'eau à fond mobile et faire concorder pour le mieux les actions du flot et du jusant;

2° Régler l'écartement dans la mesure nécessaire pour ne pas gêner la propagation du flot et augmenter, autant que possible, les volumes d'eau introduits par les marées;

3° Régler dans le même but les sections d'écoulement et les profils en recourant aux dragages;

4° Enfin établir et limiter les tracés des digues dans leur partie aval, de telle manière qu'elles ne puissent avoir d'effet nuisible sur les entrées des ports du Havre et de Honfleur.

La nécessité d'assurer la libre propagation des marées a conduit à remanier les anciens endiguements entre Quillebeuf et la Risle. Sur la rive gauche, le nouveau programme comporte, entre Quillebeuf et l'Épi de la Roque, le long du Marais-Vernier, l'établissement d'une digue en arrière de l'ancienne, qui est d'ailleurs presque entièrement détruite : la largeur du lit doit ainsi atteindre 730 mètres au sommet de la courbe de Radicatel.

Sur la rive droite, le tracé de la digue haute en aval de Tancarville a été établi de façon à donner au lit majeur une largeur de 1,200 mètres à la Risle; l'ancienne digue basse a été néanmoins maintenue jusqu'à l'Épi de la Roque, pour limiter le lit mineur.

En aval de la Risle, le tracé de la digue Nord décrit une courbe convexe de grand rayon et s'arrête au méridien de Saint-Sauveur; sa longueur est de 6,500 mètres à partir de la Risle.

Au Sud, le tracé de la digue se détache de la digue Ouest de la Risle et décrit une sinusoïde très aplatie de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4,800 mètres de longueur jusqu'au méridien de Fiquefleur. Au delà est prévu un prolongement éventuel devant raccorder l'endiguement de la Seine aux jetées d'Honfleur.

L'exécution de ces travaux a été autorisée par une loi du 19 mars 1895. Dès 1888, on avait entrepris la construction de la nouvelle digue haute Nord en aval de Tancarville; l'avancement de cette digue atteignait la Risle en 1895. Aussitôt après le vote de la loi, l'administration a pris ses mesures pour exécuter les prolongements des digues en aval de la Risle. Elle a fait construire un important matériel de remorqueurs et de chalands destinés à assurer en régie le transport et la mise en place des matériaux employés, la fourniture de ces matériaux devant seule faire l'objet d'une entreprise. Les travaux proprement dits ont été commencés en 1897. Depuis cette époque, on a exécuté : 1° au Nord, un premier cordon d'enrochements de 4,500 mètres environ de longueur, grâce auquel on peut considérer comme fixés les bancs relativement élevés qui existent actuellement en arrière; 2° au Sud, un tronçon de digue de 1,000 mètres de longueur à partir de la Risle, dont la crête est arasée à 1 mètre environ au-dessus des basses mers de morte-eau.

On a entrepris en outre, en 1899, les travaux de rescindement de la rive Sud, entre Quillebeuf et l'Épi de la Roque. Sur le tracé de la digue à établir, on exécute un cordon constitué par des galets provenant de dragages. Ces galets, pris dans les chalands par un élévateur fixe à godets, sont transportés par voie ferrée au lieu d'emploi.

Les travaux neufs d'endiguements, recommencés, comme nous l'avons vu, en 1888, et aujourd'hui en pleine acti-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

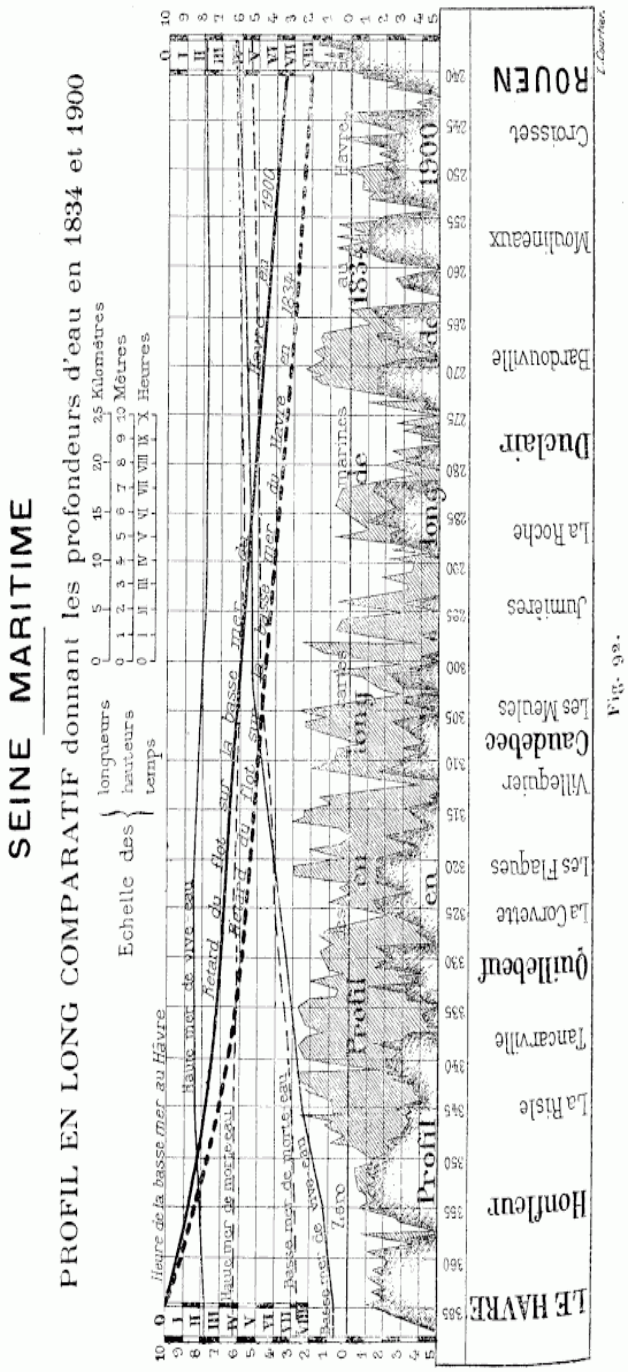


Fig. 92.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vité, ont été, depuis une dizaine d'années, complétés par des dragages qui se sont partagés en dragages de navigation et dragages de régime, suivant qu'ils ont eu pour but principal l'augmentation des profondeurs sur la route suivie par les navires ou l'augmentation des sections d'écoulement. De 1888 à 1895, on a abaissé, par ce moyen, les hauts fonds situés entre Rouen et la Bouille, et celui du Trait. En 1895, l'Administration a mis en service une puissante drague à godets à l'aide de laquelle on a approfondi les passes de Biessard, de Moulineaux, de Bardouville, des Meules et des Flaques; les seuils, qui s'élevaient tout récemment encore au-dessus du zéro des cartes marines, sont partout aujourd'hui à 1 mètre au-dessous de ce niveau.

Dans l'estuaire enfin on a expérimenté, depuis 1897, les dragages par succion. Les essais, faits tout d'abord avec une drague en location, ont été assez concluants pour que l'Administration ait fait construire et mis en service, en 1899, une première drague desservie par des chalands à clapets, et commandé en outre, la même année, deux puissantes dragues porteuses qui sont aujourd'hui en chantier.

Les dépenses faites, depuis 1848, pour améliorer le chenal de la Seine maritime, et celles que comporte l'exécution des programmes actuels, se résument de la manière suivante :

1° Dépense de premier établissement des digues (avant 1866).....	14,000,000f
2° Travaux de réfection et de consolidation en aval de Caudebec.....	15,000,000
A reporter.....	29,000,000

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Report	29,000,000
3° Travaux d'endiguement entre Rouen et Caudebec	3,500,000
4° Dragages en amont de la Risle	2,500,000
5° Programme de la loi du 19 mars 1895 (endiguements et dragages dans l'estuaire)	15,000,000
TOTAL	50,000,000

Ces chiffres ne comprennent pas les dépenses relatives soit à l'aménagement du port de Rouen en quais, terre-pleins, outillage, soit à l'installation de l'éclairage et du balisage du chenal entre Rouen et la mer. Laissant de côté le port de Rouen, dont il n'y a point lieu de décrire ici les travaux, nous ajouterons seulement quelques mots sur l'éclairage et le balisage.

Le premier phare de la Seine a été allumé, en 1818, à Quillebeuf. En 1838, on établit une série de feux entre Caudebec et Berville. Ils durent être remaniés par suite des travaux d'endiguement; puis on les compléta, en 1869, par deux feux placés à la Risle, aux extrémités des digues construites. Enfin, en 1878, on créa tout un système de feux entre Rouen et Caudebec.

Ces feux permettaient aux navires de faire route la nuit en amont de la Risle. Mais l'estuaire n'était praticable que de jour: c'est seulement depuis 1892 que l'installation d'un balisage lumineux, entre la Risle et la mer, a comblé cette lacune.

Le balisage se faisait autrefois par des perches légères surmontées d'un pavillon ou d'une botte de genêt, et jalonnant la laisse de basse mer. Elles furent remplacées d'abord par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des mâtereaux portant des voyants plus volumineux. Puis on fit l'essai de bouées, grâce auxquelles on put marquer d'une manière précise la passe navigable. Ce système fut généralisé en 1888. Dès 1889, on commença des études nouvelles qui devaient aboutir, en 1892, à l'installation d'un balisage lumineux sur toute l'étendue de l'estuaire. Les bouées, en forme de bateaux, portent un réservoir à gaz d'huile alimentant d'une manière continue le brûleur de la lanterne. Le gaz est fabriqué à Honfleur dans une usine construite spécialement à cet effet. Le nombre des bouées en place varie de 25 à 30; elles sont disposées par couples séparés de 1,500 mètres environ.

Le port de Rouen est donc aujourd'hui à même de profiter largement des travaux d'amélioration que nous avons décrits. Il peut recevoir en vive-eau moyenne des navires de 7 mètres de tirant d'eau, qui mettent sept à huit heures à venir de la rade du Havre. Le trafic du port, qui était de 500,000 tonneaux de jauge environ en 1860, a été constamment en croissant et dépasse aujourd'hui 2 millions de tonneaux de jauge. Le tonnage des marchandises a atteint, en 1899, 2,050,918 tonneaux, sans compter le trafic fluvial propre au port de Rouen, ni celui qui transite par le canal de Tancarville.

Les travaux d'amélioration de la Seine maritime ont été exécutés, à partir de 1889, sous la direction de MM. Mengin-Lecreulx, Guiard, Belleville, ingénieurs en chef, par MM. les ingénieurs ordinaires Belleville, Cadart, Dupont, Vieille, Chateau, Godron, Martin, avec l'assistance de MM. les conducteurs Porcher, Gravois, Buignet, Durand, Verdier, Jondet, Dambreville.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XII

JETÉE DU PORT DE LA HOULE-SOUS-CANCALE.

Un cadre de dessins.

La nouvelle jetée de la Houle-sous-Cancale, construite de juin 1895 à juillet 1897, est constituée par un enracinement en maçonnerie de 61^{m},50 de longueur et par une jetée mixte en maçonnerie, fer et bois, opaque à la lame et accessible aux voitures, longue de 66^{m},39.

Cette jetée mixte comprend 22 fermes métalliques espacées de 3 mètres d'axe en axe. Chaque ferme se compose d'un cadre rappelant le profil de l'enracinement, partagé en quatre parties égales, dans le sens vertical, par des traverses horizontales, et fortifié par des diagonales. La traverse inférieure est prolongée du côté de la haute mer et son prolongement est relié au cadre par deux haubans métalliques prolongeant deux des diagonales.

Les traverses supérieures des fermes sont entretoisées par des longerons métalliques supportant le platelage inférieur; au-dessous, l'ouvrage porte un fort contreventement horizontal dessinant, entre trois fermes consécutives, une croix de Saint-André; des longerons horizontaux achèvent d'assurer l'écartement des fermes.

Les traverses inférieures des fermes sont reliées par six cours de longerons horizontaux; le grillage métallique ainsi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

constitué est noyé dans une couche de béton de $0^m,60$ d'épaisseur, surmontée d'un lest en maçonnerie et pierres sèches.

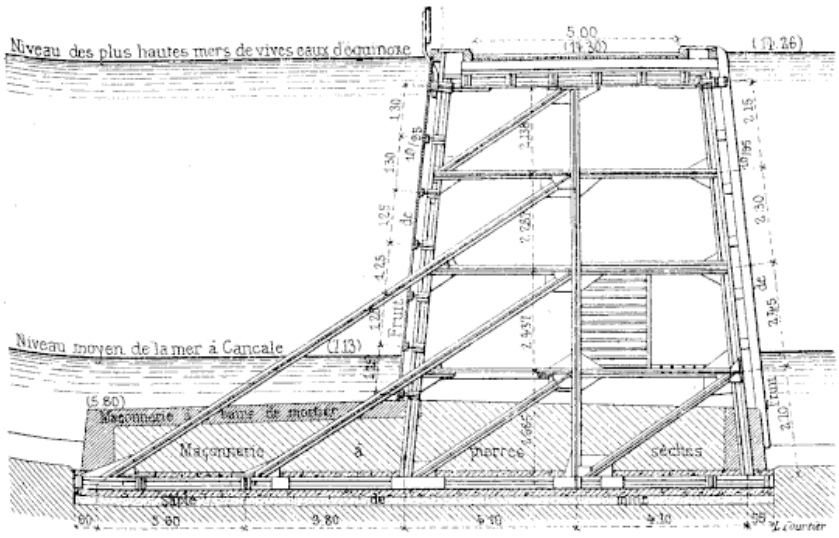


Fig. 93. — Coupe transversale de la jetée de la Houle.

Du côté de la haute mer, l'ouvrage est protégé par un bordage extérieur en madriers de $0^m,23 \times 0^m,08$, séparés par des vides de $0^m,02$ et chevillés sur sept sommiers horizontaux qui reposent eux-mêmes sur autant de longerons métalliques.

Du côté de la baie, les défenses sont des pièces de bois de $0^m,25 \times 0^m,25$, placées dans le plan vertical de chaque ferme, appuyées sur les fermes par cinq dés en bois et encastrées à leur partie supérieure dans une mâchoire en bois.

A l'extrémité de l'enracinement en maçonnerie se trouve un escalier dont l'ouverture libre est prolongée par une baie pratiquée dans le platelage supérieur. Par cet escalier, on accède à une plate-forme en bois établie à $2^m,77$ en contre-bas du couronnement de l'ouvrage; à l'extrémité de cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plate-forme, longue de $1^{m},60$ seulement, un second escalier aboutit à une autre, à $2^{m},29$ en dessous; enfin, à mi-longueur de l'ouvrage, commence une dernière plate-forme plus basse de $2^{m},44$ que la précédente. Il était nécessaire d'offrir aux navires plusieurs niveaux d'accostage : les dispositions adoptées réalisent quatre plates-formes entre les cotes $7^{m},76$ et $14^{m},26$.

Le prix de revient de la jetée mixte a été de 2,909 francs le mètre courant.

Les travaux ont été, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Léon Rousseau, projetés par M. l'ingénieur Javary et exécutés par MM. les ingénieurs Guillet et Lehouchu, avec l'assistance de M. le conducteur Rose.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIII

PORT DE SAINT-NAZAIRE.

CAISSON À AIR COMPRIMÉ EMPLOYÉ À L'EXÉCUTION DES OUVRAGES DE LA NOUVELLE ENTRÉE.

Un modèle à l'échelle de $0^{m},04$ pour 1 mètre ($\frac{1}{25}$).
Un cadre de dessins.

Dispositions générales de l'avant-projet. — Les travaux de construction d'une nouvelle entrée au port de Saint-Nazaire comprennent l'établissement d'un avant-port et d'une écluse.

L'avant-port est limité latéralement par deux jetées convergentes, dont l'écartement est de 370 mètres près de l'écluse et de 120 mètres vers les musoirs. La longueur totale de l'avant-port est de 510 mètres.

Les musoirs des deux jetées sont réunis par un batardeau provisoire formant avec elles une enceinte étanche que l'on épuise et dans laquelle on exécute les déblais à sec.

Jetées et mur batardeau. — Les jetées et le mur batardeau, d'un développement total de 1,300 mètres, sont pleins, en maçonnerie. Leur forme est celle d'un trapèze isocèle dont la plus petite base a 5 mètres de largeur et dont les faces ont un fruit de $\frac{1}{6}$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La plateforme est à la cote $+7^{m},50$, soit $1^{m},60$ au-dessus des plus hautes mers; elle est défendue, du côté du large, par un parapet de $1^{m},50$ de hauteur et $1^{m},50$ de largeur.

Sur 360 mètres environ, les jetées sont fondées directement, à la marée, sur le rocher.

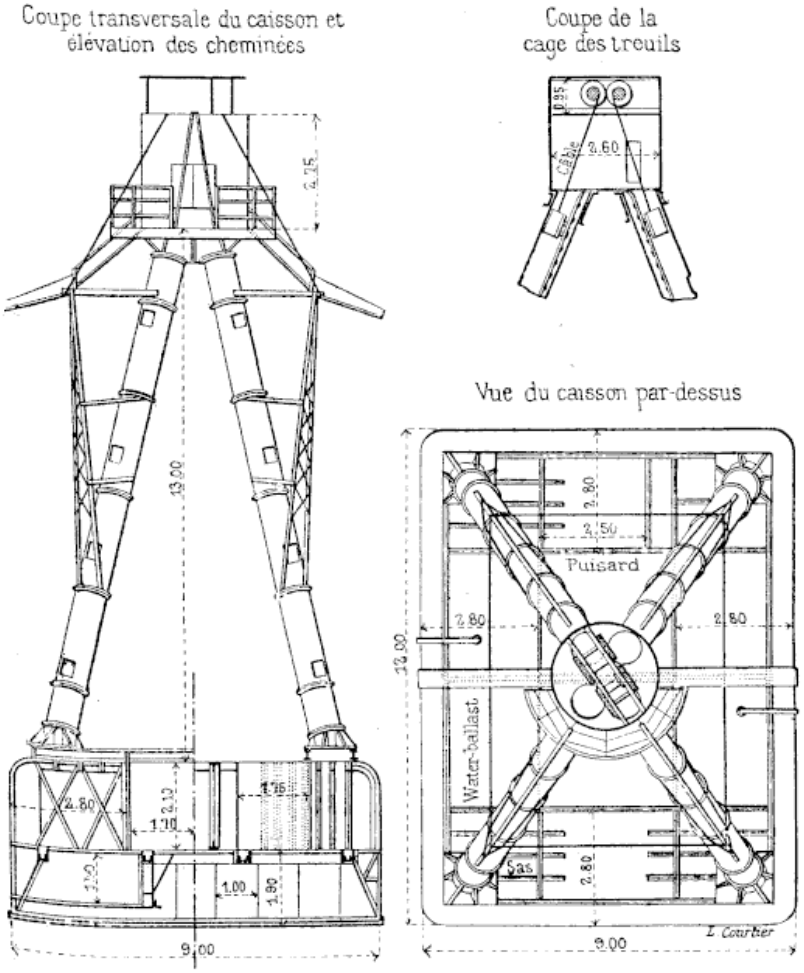
Sur la plus grande partie de leur longueur, les jetées et le mur batardeau sont établis à la cote $+1$ mètre sur un massif à section rectangulaire de 8 mètres de largeur et de hauteur variable suivant la profondeur du rocher. Ce massif est maçonné, à l'air comprimé, au mortier de ciment de Portland.

Caisson à air comprimé. — Le caisson employé aux fondations a été construit en 1897 et mis en service le 2 janvier 1898. Il se compose essentiellement d'une grande cloche parallélépipédique de 12 mètres de longueur, 9 mètres de largeur et 4 mètres de hauteur; des quatre angles s'élèvent quatre colonnes creuses convergentes, débouchant à 13 mètres au-dessus du plafond supérieur de la cloche sur une plate-forme qui supporte deux treuils de manœuvre.

La cloche est divisée en deux parties sur sa hauteur par un plancher étanche. A la partie inférieure est la chambre de travail, de $1^{m},90$ de hauteur; la chambre supérieure est divisée en neuf compartiments et comprend trois sas à air dans les angles, une pompe à air comprimé dans le quatrième angle; les quatre compartiments intermédiaires sont étanches et permettent de couler ou de faire flotter la cloche suivant qu'ils sont pleins d'eau ou d'air. Le compartiment central est ouvert et peut recevoir un lest complémentaire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de gueuses. En fait, ces gueuses sont placées sur le dessus de la cloche.



Echelle de 0.005 p 1 mètre ($\frac{1}{200}$)

Fig. 94. — Caisson à air comprimé de Saint-Nazaire.

Les colonnes creuses qui servent à la descente et à la montée des ouvriers et des matériaux ont $0^m,75$ de diamètre intérieur; des orifices d'accès sont ménagés à différentes hauteurs. Quatre bigues métalliques fixées aux co-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lonnes supportent une passerelle mobile qui se place au-dessus du caisson au niveau de la plate-forme de la partie de jetée déjà exécutée.

Les treuils et la pompe à air sont mus électriquement à l'aide de dynamos recevant le courant d'une usine centrale installée près de l'écluse projetée.

Il y a un caisson pour chacune des deux jetées Est et Ouest.

Exécution des travaux. — Dans chaque caisson, le rocher sain est d'abord mis à nu par l'enlèvement du sable, de la vase et de la roche décomposée; puis la maçonnerie est exécutée et le caisson est soulevé, au fur et à mesure de l'avancement, au moyen de douze vérins hydrauliques, de 50 tonnes chacun. Chaque relevage est de $0^{m},50$ et se fait en deux reprises sur $0^{m},25$ de hauteur à chacune d'elles.

Lorsque les maçonneries sont arasées à la cote + 1 mètre, le caisson est délesté et déplacé de sa longueur pour un nouveau fonçage. Au début, le caisson flottant était déplacé comme un bateau au moyen d'amarres frappées sur des bouées convenablement mouillées. A la suite du renversement d'un des caissons dont le relevage et la réparation durèrent cinq mois, ce procédé a été abandonné. Actuellement, le caisson est maintenu entre deux chalands solidement reliés entre eux, et il est soutenu au moyen de six chaînes actionnées par six treuils de levage placés sur chacun des deux chalands à raison de trois par chaland. La tension sur les chaînes se règle à volonté en délestant plus ou moins le caisson. Cette disposition donne une sécurité à peu près

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

absolue dans les déplacements et mouvements d'ascension ou de descente du caisson.

Le pertuis qui existe entre les massifs correspondant à deux positions contiguës du caisson a une largeur variant entre 1m,50 et 2 mètres; il est fermé latéralement au moyen de palplanches; le fond est dragué, puis nettoyé au scaphandre et l'enceinte est ensuite remplie de béton de ciment coulé sous l'eau au moyen d'un tube en tôle. Lorsque le rocher est à nu et qu'on ne peut battre de palplanches, celles-ci sont remplacées par des murettes en sacs de béton arrimés par un scaphandrier.

L'exécution des jetées se poursuit à l'air libre au fur et à mesure de l'avancement des massifs de fondation. Elle a duré juste deux ans, du 2 janvier 1898 à fin 1899, et quarante massifs ont été exécutés, les derniers de 900 mètres cubes chacun.

Les projets ont été dressés, sous la direction de M. Kerviler, ingénieur en chef, par MM. de Joly et Viallefond, ingénieurs ordinaires.

Les travaux ont été exécutés par MM. Nouteau et Cie, entrepreneurs, sous la direction de M. Kerviler, ingénieur en chef, MM. Viallefond et Bezault, ingénieurs ordinaires, avec le concours de MM. Le Gal, Le Galloudec et Guyot, conducteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIV

PORT DE SAINT-NAZAIRE.

APPAREIL DÉROCHEUR

POUR L'APPROFONDISSEMENT DU BASSIN DE SAINT-NAZAIRE.

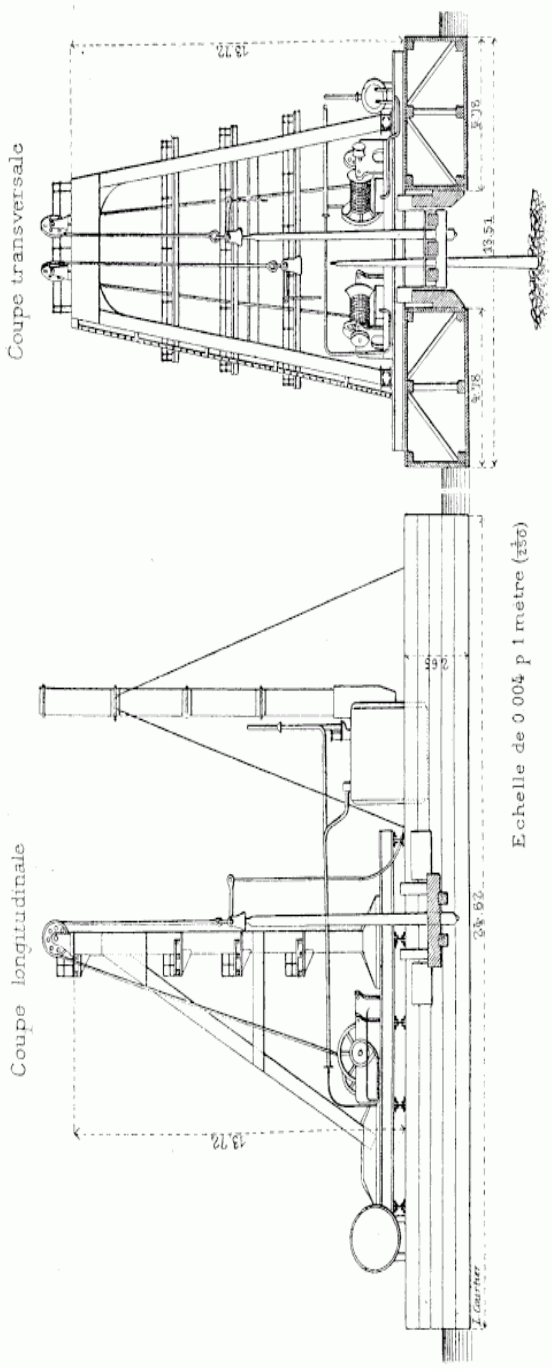
Un modèle à l'échelle de $0^m,04$ pour 1 mètre ($\frac{1}{25}$).
Un cadre de dessins.

Objet des travaux. — Les travaux d'approfondissement du bassin de Saint-Nazaire ont pour but d'amener le plafond de la grande darse à 1 mètre au-dessous des seuils de la plus grande des écluses d'entrée, et le plafond de la petite darse au niveau de ces seuils. Dans ces conditions, l'épaisseur de la couche à déraser varie de $0^m,30$ à $1^m,12$. Le cube correspondant à l'exécution de ce programme s'élève à 100,000 mètres cubes.

Le fond du bassin est constitué par un gneiss à allure plus ou moins schisteuse, au milieu duquel se rencontrent en assez grande quantité des conglomérats de quartzites et des rognons granitiques.

Appareil dérocheur. — On a employé un appareil dérocheur Lobnitz ameublissant la roche par écrasement au moyen de pilons. Parmi les travaux de dérochement exécutés par ce procédé et assimilables à ceux du bassin de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Echelle de 0 004 p 1 mètre ($\frac{1}{250}$)

Fig. 95. — Appareil dérocheur de Saint-Nazaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Saint-Nazaire, on peut citer : ceux de dérasement des seuils rocheux rencontrés lors de l'élargissement du canal de Suez, ceux d'approfondissement du port de Limerick et ceux de régularisation des Portes-de-Fer.

La dérocheuse, construite en 1893 et mise en service en mars 1894, est montée sur deux pontons en bois de 25 mètres de long, $4^{m},75$ de large et $2^{m},45$ de creux, reliés par cinq poutres transversales en I. Sur les cinq poutres transversales repose, par l'intermédiaire de deux poutres longitudinales tubulaires, la charpente de l'appareil, formée d'un portique à montants inclinés réunis à diverses hauteurs par trois passerelles et, à leur sommet, par une poutre horizontale formant chapeau et soutenus par deux jambes de force. Les montants et jambes de force sont formés de poutres tubulaires en tôles et cornières. Le chapeau est également constitué par une poutre tubulaire en forme de caisson de $1^{m},22$ sur $0^{m},34$. Ce chapeau a $4^{m},65$ de longueur. Son sommet est à $13^{m},72$ au-dessus du plancher supérieur des pontons.

Au-dessus du chapeau du portique sont deux gros réats en fonte sur lesquels passent les câbles en fils d'acier qui soutiennent les pilons. Ces câbles viennent s'enrouler sur des treuils de manœuvre disposés sur un plancher établi entre les jambes de force du portique. Les pilons sont suspendus à ces câbles par l'intermédiaire de chapes en acier dans lesquelles viennent s'engager des déclics commandés au moyen de leviers. L'axe autour duquel se meut le levier du déclic traverse la partie supérieure d'une cloche en fonte pesant environ 500 kilogrammes et qui vient coiffer la partie supérieure du pilon. Le déclic est main-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PORT DE SAINT-NAZAIRE — DÉROCHEUSE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tenu dans sa position normale au moyen d'un ressort à boudin.

Tant qu'aucun effort n'est exercé pour tendre ce ressort, le pilon correspondant coiffé par la cloche peut être hissé sans que sa chute se produise.

Les pilons dans leur chute sont guidés par une cage-guide formée de pièces de bois garnies de plaques de tôle.

Plusieurs types de pilons ont été successivement employés. L'expérience a conduit à adopter des pilons d'une longueur moyenne de 11 mètres, pesant de 10 à 12 tonnes. Le dernier type adopté donnant de bons résultats est terminé par un sabot dans lequel on emmanche une pointe d'acier de Commentry.

Exécution des travaux. — La surface à approfondir est divisée en un certain nombre de zones d'opération. La dérocheuse balaye chaque zone en décrivant une série de lignes parallèles ou « passes ».

L'avancement dans chaque passe est obtenu au moyen des quatre chaînes de papillonnage dont deux sont filées d'une quantité égale à celle dont s'enroulent les deux autres. Quand une passe est achevée, on agit sur les chaînes d'avancement de manière à déplacer le plan vertical des pilons de 1 mètre parallèlement à lui-même, et on recommence une passe nouvelle.

L'expérience a conduit à attribuer aux chutes des pilons une hauteur moyenne de 3 mètres. Dans la roche non décomposée, le nombre de coups de pilons nécessaire pour obtenir un enfoncement de $0^{m},90$ à 1 mètre est extrêmement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

variable : il varie de 5 à 10 pour le gneiss feuilleté et de 30 à 140 pour le granit compact.

La dérocheuse est un engin brutal; aussi les avaries survenues aux pilons, à leurs chapes ou à leurs pointes, ont été multiples. Sur des parties de rocher extrêmement dur, quelques pilons se sont rompus dès les premiers coups. Mais en moyenne, avec un même pilon, on a pu, avant sa mise hors d'usage, battre un nombre de coups variant de 35,000 à 40,000; et en somme, la solution est très économique si l'on est en présence d'un cube considérable à exécuter.

Il est impossible, avec la disposition actuelle de la dérocheuse, de pilonner à moins de $6^{m},50$ de l'arête d'un mur de quai. Dans cette zone, les travaux sont effectués à l'aide d'un caisson à air comprimé.

Les produits de l'ameublissement du fond sont enlevés à l'aide d'une drague à godets.

Les travaux ont été exécutés par M. Nouteau, entrepreneur, sous la direction de MM. Kerviler, ingénieur en chef, de Joly, Viallefond et Bezault, ingénieurs ordinaires, avec le concours successif de MM. Guillet, Leclercq, Probestau et Guillon, conducteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XV

PORT DE LA PALLICE

(LA ROCHELLE).

Une vue à vol d'oiseau du port et de la rade.
Un plan du port au $\frac{1}{2000}$.
Un cadre de photographies. — Un album de photographies.

HISTORIQUE DES ÉTUDES.

A la suite de divers vœux émis par la Chambre de commerce de la Rochelle et demandant la création d'un nouveau bassin à tirant d'eau suffisant pour permettre de recevoir, même en mortes-eaux, des bateaux calant 7 mètres, une étude générale et complète du régime de la côte fut faite par M. Bouquet de la Grye, l'éminent ingénieur hydrographe, qui procéda à l'exploration de la baie de la Rochelle et de ses abords, dans le courant des mois d'août et septembre 1876.

La plus petite haute mer de mortes-eaux ne s'élevant à la Rochelle qu'à la cote $4^m,10$, pour assurer le passage dans le chenal, sans talonner, de navires calant 7 mètres, il aurait fallu, au moyen de dragages, abaisser la cote du plafond du chenal à 3 mètres au minimum. Or, les fonds de 3 mètres ne se trouvant qu'à 5 kilomètres environ de l'entrée des bassins, l'approfondissement du chenal et son élargissement auraient entraîné des dépenses considérables,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

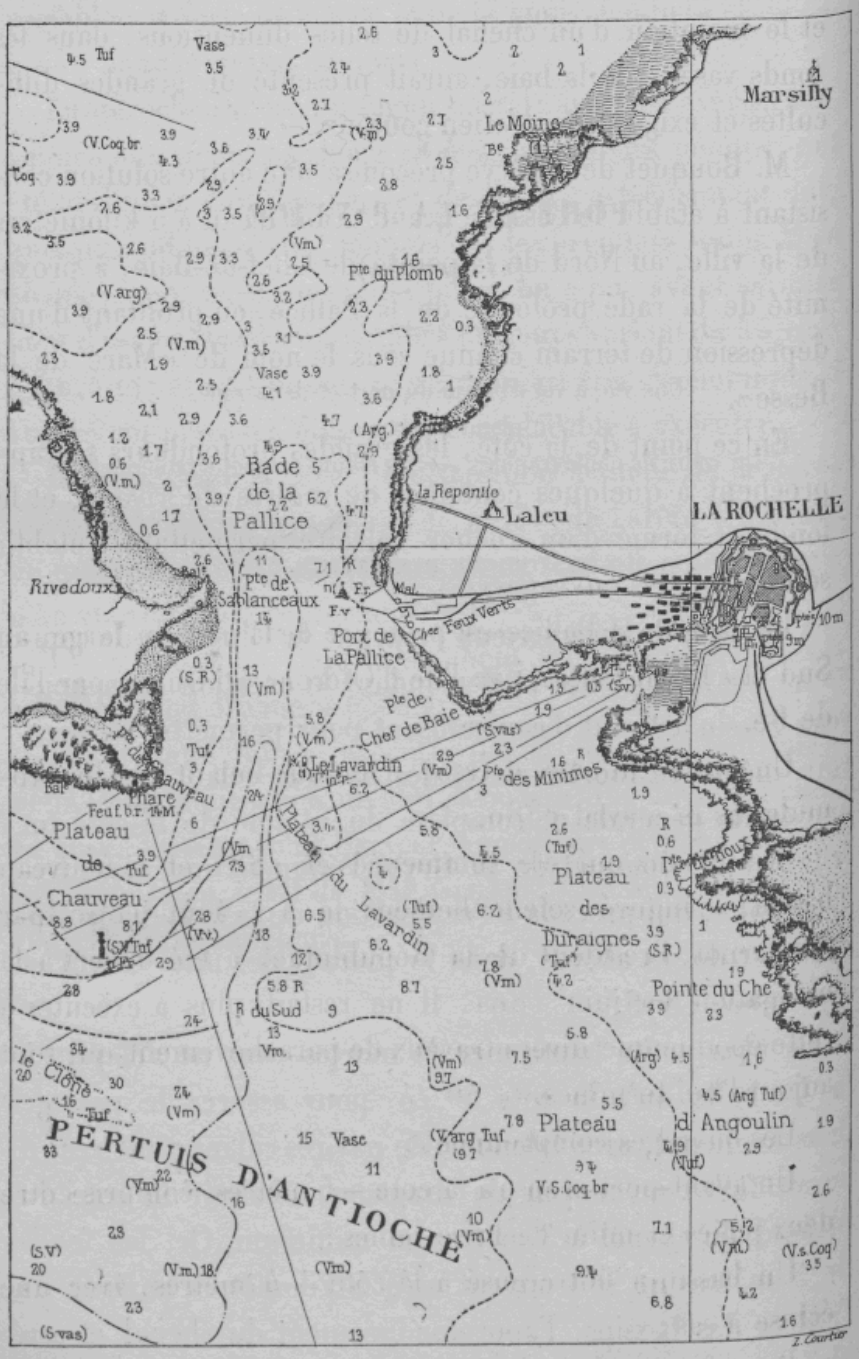


Fig. 96. — Plan de la rade de la Pallice.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et le maintien d'un chenal de telles dimensions, dans les fonds vaseux de la baie, aurait présenté de grandes difficultés et exigé un entretien coûteux.

M. Bouquet de la Grye préconisa une autre solution consistant à établir le bassin à grand tirant d'eau à 5 kilomètres de la ville, au Nord de la pointe de Chef-de-Baie, à proximité de la rade profonde de la Pallice, en profitant d'une dépression de terrain connue sous le nom de « Mare de la Besse ».

En ce point de la côte, les grandes profondeurs se rapprochent à quelques centaines de mètres du rivage, et le fond est formé d'un rocher calcaire permettant d'établir solidement les ouvrages.

La rade de la Pallice est protégée de la mer du large, au Sud et au Sud-Ouest, par l'île d'Oléron; à l'Ouest, par l'île de Ré.

Un projet fut alors dressé; il donna lieu à une loi promulguée le 2 avril 1880.

Les travaux ont été commencés en 1881 et le nouveau bassin, inauguré solennellement le 19 août 1890 par M. Carnot, Président de la République, a été ouvert à la navigation en juin 1891. Il ne restait plus à exécuter à cette époque que divers travaux de parachèvement qui sont aujourd'hui terminés.

Les ouvrages comprennent :

Un avant-port creusé à la cote — 5 mètres, compris entre deux jetées et muni de brise-lames ;

Un bassin à flot creusé à la cote — 4 mètres, avec une écluse à sas ;

Deux formes de radoub.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DESCRIPTION DU PORT.

Régime des marées et des vents. — L'établissement du port est 3 heures 31 minutes.

L'unité de hauteur, d'après l'annuaire du Bureau des longitudes, est $2^{m},67$.

Le zéro des cartes marines est à 3 mètres en contre-bas du nivellement général de la France.

Les diverses hauteurs de marées sont les suivantes :

Hautes mers...	de vives-eaux d'équinoxe.....	$6^{m},56$
	de vives-eaux moyennes.....	5 ,80
	de mortes-eaux ordinaires.....	4 ,66
Niveau moyen de la mer.....		3 ,00
Basses mers...	de mortes-eaux ordinaires.....	1 ,95
	de vives-eaux ordinaires.....	0 ,65
	de vives-eaux d'équinoxe.....	0 ,00

Sur 1,000 observations relevées au phare de Chassiron, situé à l'extrémité Nord-Ouest de l'île d'Oléron, on trouve 490 observations de vents d'amont et 510 de vents d'aval.

Les vents dominants soufflent également de l'Ouest et du Nord-Est en hiver; de l'Ouest-Sud-Ouest et du Nord-Nord-Est en été et en automne; enfin du Nord-Nord-Est au printemps.

Atterrages. Éclairage et balisage des accès. — Les navires font, en venant du large, la même route que pour entrer au vieux port de la Rochelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

S'ils ont pris par le Pertuis-Breton, ils arrivent à la rade de la Pallice, après avoir franchi des fonds de 3 mètres sous le zéro des cartes, par le travers de la baie de l'Aiguillon.

S'ils entrent par le Pertuis d'Antioche, ils doublent la pointe de Chauveau (île de Ré), en laissant à bâbord une bouée lumineuse à feu rouge, et pénètrent dans la rade de la Pallice en passant entre cette pointe et le banc du Lavardin signalé par une tourelle en maçonnerie surmontée d'un feu blanc permanent à occultations. Dans ce trajet, les fonds rencontrés se relèvent progressivement jusqu'à la rade.

On rencontre dans la rade des fonds de vase qui varient de 5 à 15 mètres sous le zéro suivant les lieux de mouillage, avec des courants dont la vitesse ne dépasse pas 2 nœuds et demi.

Deux feux de port de cinquième ordre, sur des tourelles en maçonnerie, marquent l'entrée de l'avant-port de la Pallice : l'un, vert, sur le musoir de la jetée Sud ; l'autre, rouge, sur le musoir de la jetée Nord.

Deux feux verts, supportés par des pylones établis sur le terre-plein du quai Est du bassin, indiquent la direction à suivre pour traverser l'écluse.

Conditions nautiques du port. Profondeurs minima dans les diverses circonstances de marée. — Les profondeurs indiquées ci-après sont celles qu'on rencontre dans la passe d'entrée de l'avant-port, dans l'avant-port et dans l'écluse à sas.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES MARÉES.		PROFONDEUR MINIMUM.
Vives-eaux extraordinaires.	Pleine mer	$11^{m},56$
	Basse mer	5 ,00
Vives-eaux ordinaires.	Pleine mer	10 ,80
	Basse mer	5 ,70
Mortes-eaux ordinaires.	Pleine mer	9 ,66
	Basse mer	6 ,95
Mortes-eaux minima.	Pleine mer	9 ,20
	Basse mer	7 ,50

Les plus grands navires de guerre ou de commerce actuels ayant 170 mètres de longueur peuvent évoluer dans l'avant-port et le bassin à flot.

Les navires de 8 mètres de tirant d'eau peuvent entrer, à toutes les marées de l'année, dans l'avant-port pendant environ six heures et peuvent séjourner en tout temps dans le bassin à flot.

Les navires de moins de 5 mètres de tirant d'eau peuvent entrer en permanence, à toute heure de marée, dans l'avant-port.

L'écluse à sas permet d'introduire dans le bassin, à toute heure, un navire entré dans l'avant-port.

Chenal d'entrée et avant-port [1]. — L'avant-port est limité par deux jetées en maçonnerie qui se détachent du rivage à une distance de 400 mètres environ l'une de l'autre et qui vont en se rapprochant de manière à laisser

[1] Voir, pour les fondations à l'air comprimé des jetées : *Annales des ponts et chaussées*, 1889, 2e semestre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

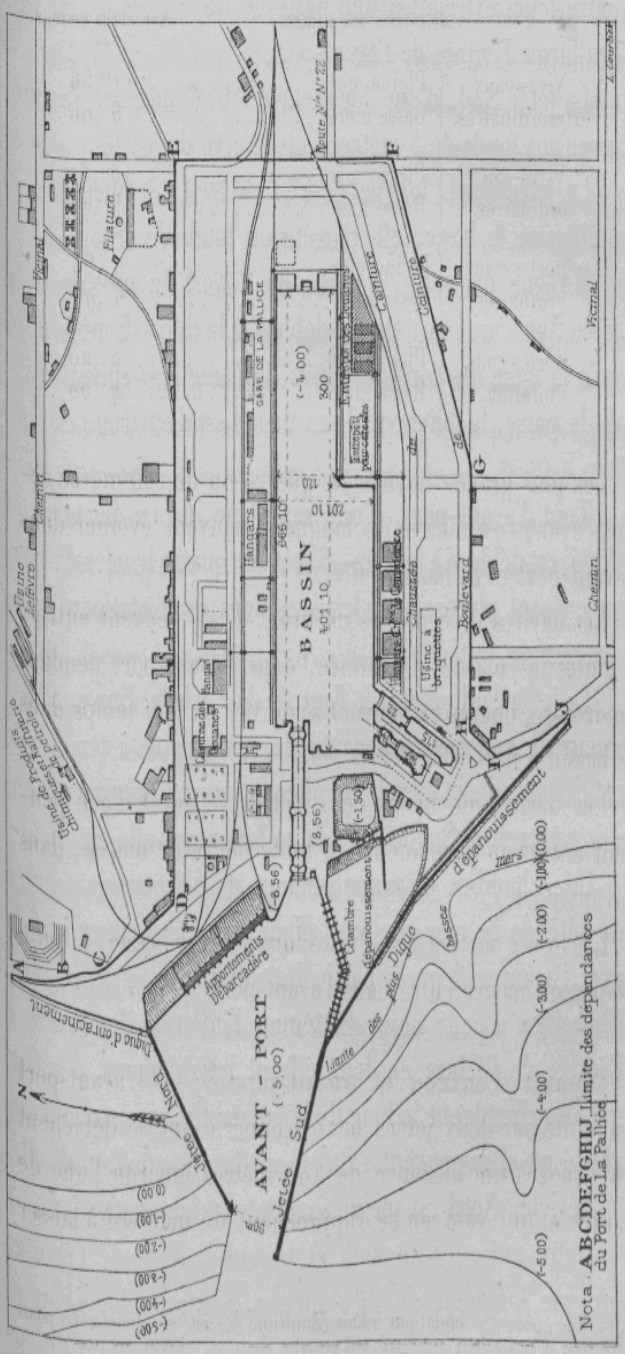


Fig. 97. — Chenal d'entrée et avant-port de la Pallice.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entre leurs extrémités une passe de 90 mètres de largeur qui forme l'entrée de l'avant-port.

La jetée Sud, d'une longueur de 626 mètres, s'avance jusqu'aux fonds de 5 mètres sous le zéro des cartes.

La jetée Nord, longue de 433 mètres, s'avance un peu moins vers le large ; elle s'arrête aux fonds de $2^{m},50$.

Il règne par suite, à partir du travers du musoir de la jetée Nord, un court chenal déblayé à la cote — 5 mètres jusqu'à la ligne des fonds naturels de 5 mètres; suivant l'axe de la passe, la longueur de ce chenal est d'environ 100 mètres.

Tout l'avant-port, d'une superficie de 12 hectares et demi, est déblayé à la cote — 5 mètres ; quatre bouées d'amarrage y sont placées pour les évolutions ou le stationnement des navires.

La jetée Sud aboutit à l'entrée de l'écluse. Sur une longueur de 200 mètres à partir de son origine à terre, elle est discontinue et formée de piles en maçonnerie supportant des passerelles. Sur le reste de sa longueur, elle est pleine.

Une chambre d'épanouissement de 4 hectares, fermée du côté de la mer par une digue, est en communication avec l'avant-port par la partie discontinue de la jetée; cette disposition a pour objet d'atténuer l'intensité des lames à l'entrée de l'écluse en leur offrant latéralement, pendant qu'elles cheminent le long de la passerelle, un espace d'eau abrité où elles peuvent s'étaler en diminuant d'amplitude.

La jetée Nord est pleine sur toute sa longueur.

Entre son enracinement et le musoir Nord de l'écluse, sur une longueur de 360 mètres, règne un brise-lames formé d'un plan incliné en pente douce, descendant depuis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le niveau des terre-pleins jusqu'à la cote 1 mètre; un mur à faible fruit relie le pied du brise-lames au fond de l'avant-port.

Sur le pied de ce brise-lames et sur une longueur de 210 mètres à partir de l'écluse, on a construit un appontement formé de piles en maçonnerie surmontées d'un tablier en fer et bois ayant pour objet de permettre à des navires qui auraient à faire de rapides escales au port de la Pallice, d'effectuer leurs opérations dans l'avant-port sans être obligés de franchir l'écluse et d'entrer dans le bassin. Cet appontement est relié aux terre-pleins par deux petits appontements transversaux et par le musoir de l'écluse.

En avant d'une partie de cet appontement, sur 110 mètres de longueur et 15 mètres de largeur, on a pratiqué un approfondissement de l'avant-port jusqu'à la cote — 7 mètres, destiné à permettre aux navires pétroliers de séjourner dans l'avant-port, sans danger d'échouage.

Les jetées, par leur mode de construction[1], peuvent être rangées de très près par les navires sur leur longueur entière; pourtant, elles ne sont réellement accostables, sans risques, que sur les longueurs ci-après :

Jetée Sud	80m
Jetée Nord	240
En y ajoutant la longueur de l'appontement, ci	210
On trouve un total de	530

de longueur de quais accostables dans l'avant-port. Sur toute cette longueur, la plate-forme des jetées ou le tablier

[1] Les procédés employés pour la construction des jetées de la Pallice ont figuré, en 1889, à l'exposition du Ministère des travaux publics et ont fait l'objet d'une notice insérée dans le catalogue de cette exposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des appontements offrent une largeur utile de 8 mètres. Mais les appontements seuls sont munis de voies ferrées. La plate-forme de ces ouvrages est à la cote $8^{m},56$.

La jetée Sud et la jetée Nord présentent chacune une cale basse de déchargement à la cote $6^{m}.56$, reliée par deux rampes à la plate-forme courante de la jetée.

L'une des travées de la passerelle de la jetée Sud est munie d'un pont roulant qui permet aux petits navires de pénétrer dans la chambre d'épanouissement et d'y échouer à mer basse. Le fond de la chambre d'épanouissement est à la cote 2 mètres.

Écluse. — L'avant-port communique avec le bassin à flot par une écluse à sas munie d'une paire de portes de flot, servant de portes de garde en cas de mauvais temps, et de deux paires de portes d'èbe. La largeur du sas est de 22 mètres; sa longueur utile est de $167^{m},50$.

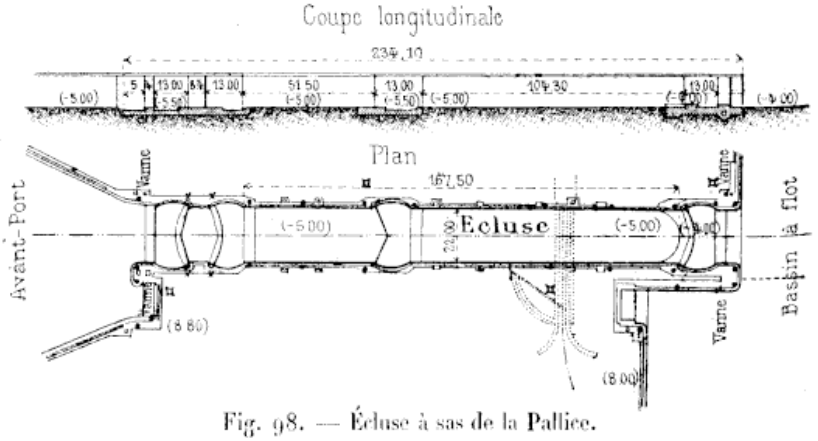


Fig. 98. — Écluse à sas de la Pallice.

La profondeur sur les buses d'aval et dans le sas est la même que dans l'avant-port; on y rencontre donc, suivant les circonstances de marée, les hauteurs d'eau données plus haut.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PORT DE LA PALLICE — AVANT-PORT

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les portes sont manœuvrées à l'aide d'appareils à main qui pourront être ultérieurement actionnés mécaniquement.

Le remplissage et la vidange du sas s'opèrent au moyen d'aqueducs placés dans les bajoyers et munis de vannes levantes, manœuvrées à la main.

La durée moyenne d'un sassement, à partir du moment où le navire s'engage dans l'écluse jusqu'au moment où il en sort, peut être évaluée à 30 minutes.

Le sassement peut se faire à toute heure de marée.

Le busc d'amont de l'écluse est au niveau du fond du bassin à flot (cote — 4 mètres).

Un pont tournant doit être construit sur l'écluse. En attendant, le public franchit l'écluse sur les passerelles des portes quand le bassin à flot est fermé, et au moyen d'une embarcation quand toutes les portes sont ouvertes.

Deux fortes chaînes de garde sont tendues en travers de l'écluse pour la protection des ouvrages, quand les portes sont fermées.

Bassin à flot. — Le bassin à flot a une superficie de 11 hectares et demi et un périmètre de 1,800 mètres. La longueur utilisable des quais est de 1,600 mètres environ.

Le fond du bassin est à la cote —4 mètres dans toute son étendue, sauf immédiatement au pied des quais où il se relève d'un mètre, mais sans que ce relèvement diminue la profondeur utile. On y trouve en conséquence les mouillages suivants :

En vives-eaux extraordinaires	$10^{m},56$
En vives-eaux ordinaires	9 ,80
En mortes-eaux ordinaires	8 ,66

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

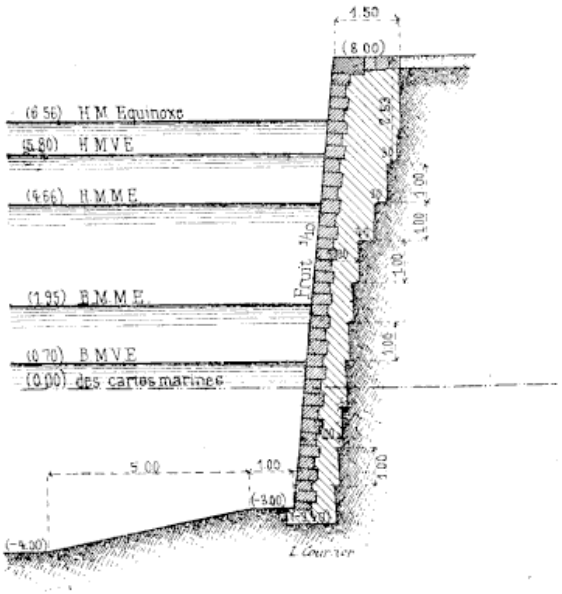


Fig. 99. — Murs de quais Sud et Nord.

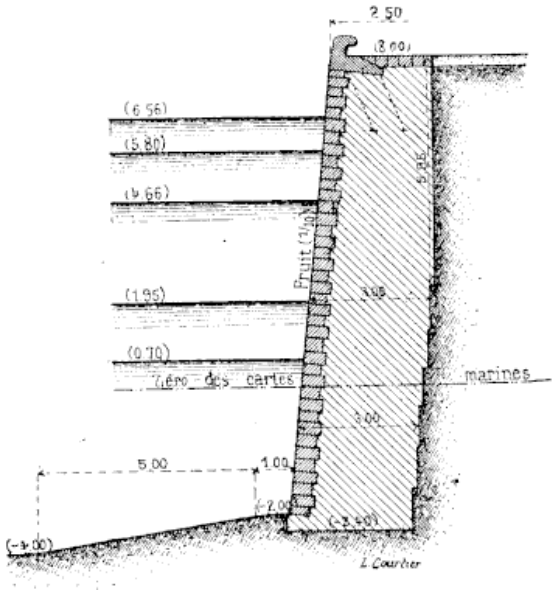


Fig. 100. — Profil dans l'axe du contrefort.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les terre-pleins s'étendent autour du bassin à flot sur une largeur de 200 mètres, comprenant deux zones de 100 mètres chacune : sur la première zone, d'une superficie de 7 hectares environ, sont établies les voies ferrées de quai et d'arrière-quai, les hangars et une chaussée de circulation; la seconde zone est affectée aux magasins.

Aux termes d'une convention en date du 13 novembre 1895, approuvée par la loi du 16 janvier 1897, l'État a concédé à la Chambre de commerce de la Rochelle le droit d'établir et d'administrer, sur 4 hectares environ, des terrains de deuxième zone, des magasins publics et autres établissements relatifs à l'exploitation du port.

Un cahier des charges, annexé à la convention, règle les conditions d'exploitation de ces terrains.

Entretien des profondeurs. — L'entretien des profondeurs est assuré au moyen de dragages exécutés avec le matériel du port de la Rochelle.

Les données qu'on a pu recueillir jusqu'ici permettent d'évaluer l'envasement annuel de l'avant-port à une couche molle de $0^m,25$ à $0^m,30$, susceptible de se réduire de moitié par tassement, et l'envasement du bassin à flot, à une couche de $0^m,05$ par an.

Ouvrages accessoires. Formes de radoub. — Le bassin de la Pallice comprend deux formes de radoub.

Ces deux formes, placées côte à côte, s'ouvrent dans le bassin à l'extrémité Ouest des quais Sud.

Forme n° 1. — La plus grande forme, ou forme n° 1, a une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

longueur de 180 mètres, comptée depuis la feuillure du bateau-porte jusqu'au pied du mur de l'extrémité de la

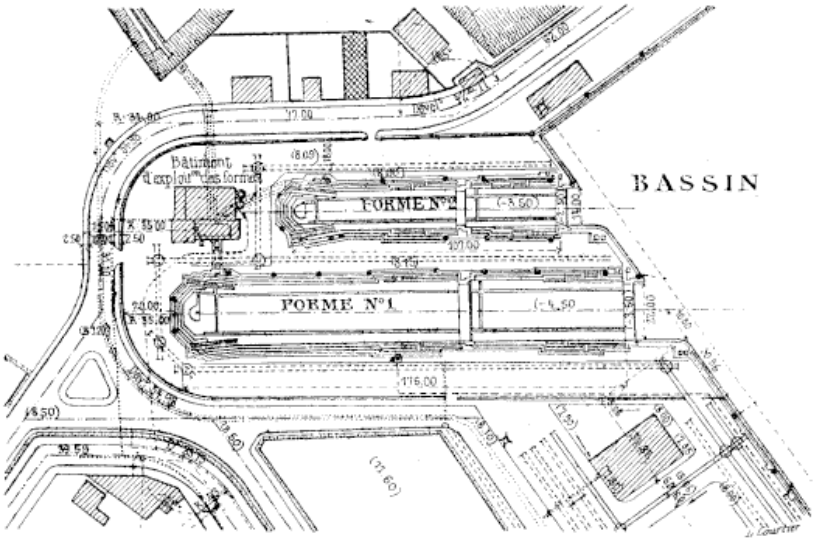


Fig. 101. — Plan des formes de radoub de la Pallice.

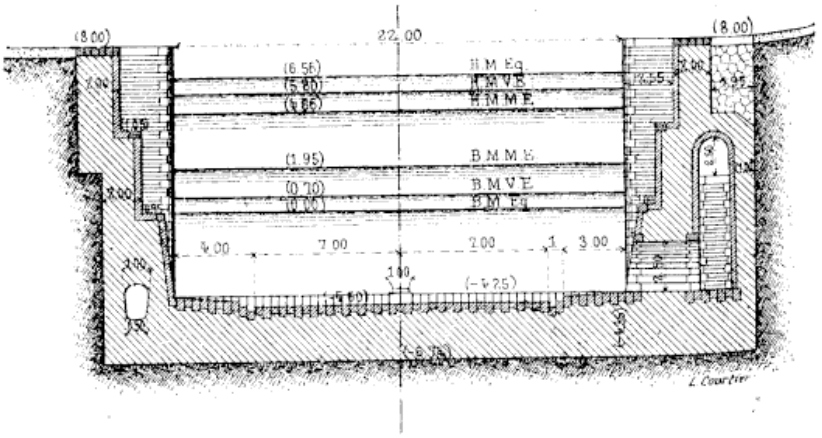


Fig. 102. — Coupe transversale de la forme de radoub n° 1.

forme. Sa largeur d'entrée est de 22 mètres. La cote du seuil est — 3m,50, et cette cote est aussi celle du dessus des tins, qui ont une hauteur de 1 mètre au-dessus du radier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a ainsi les hauteurs d'eau suivantes sur le seuil et sur les tins :

Vives-eaux extraordinaires	$10^{m},06$
Vives-eaux ordinaires	9 ,30
Mortes-eaux ordinaires	8 ,16

Forme n° 2. — La petite forme, ou forme n° 2, a une longueur de 111 mètres, depuis la feuillure d'appui du bateau-porte jusqu'au pied du mur de l'extrémité de la forme. Sa largeur d'entrée est de 14 mètres.

La cote du seuil et du dessus des tins est — $2^{m},50$.

On y trouve les hauteurs d'eau suivantes, sur le seuil et sur les tins :

Vives-eaux extraordinaires	$9^{m},06$
Vives-eaux ordinaires	8 ,30
Mortes-eaux ordinaires	7 ,16

Dispositions accessoires communes aux deux formes. — Chaque forme présente un seuil et des feuillures intermédiaires pouvant recevoir les bateaux-portes et divisant la forme en deux longueurs inégales.

Les bateaux-portes sont en fer, du système de Coppier simplifié par la suppression des caisses à lest d'eau.

Chaque forme est munie d'une fosse à gouvernail.

Les épuisements et l'entretien à sec sont effectués au moyen d'un système de pompes centrifuges à axe vertical, logées dans un puisard et actionnées directement par un moteur horizontal placé sur le sol. Les appareils principaux, fonctionnant ensemble, peuvent épuiser la forme n° 1 dans un délai maximum de cinq heures par une marée moyenne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce maximum pourra être réduit à trois heures et demie par l'addition d'une troisième machine dont l'emplacement a été réservé.

Les appareils d'entretien sont complètement indépendants des grands appareils; ils peuvent extraire de chaque forme, même lorsque l'aspiration se fait dans les fosses à gouvernail, 1,200 mètres cubes d'eau par heure.

Les formes sont actuellement exploitées en régie par l'État.

OUTILLAGE.

Hangars. — La Chambre de commerce de la Rochelle a obtenu un décret d'autorisation d'outillage, en date du 9 janvier 1891.

En vertu de ce décret, elle a fait établir jusqu'à ce jour six hangars couvrant ensemble une superficie de 7,357 mètres carrés.

Grues. — La Chambre de commerce a fait construire et mis en service, pour l'exploitation du port, une grue fixe de 10 tonnes actionnée à bras d'hommes et dix grues à vapeur de 1,500 kilogrammes, pouvant se déplacer en bordure des quais, sur des voies spécialement affectées à cet usage.

Voies ferrées. — La première zone des terre-pleins, sur le quai Nord et les quais Sud du bassin, est garnie de voies de quai et d'arrière-quai.

La longueur des voies actuellement en service est de 10,500 mètres environ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il existe, en outre, en bordure des quais Nord et Sud une voie ferrée, spécialement affectée au service des grues de 1,500 kilogrammes.

Entrepôt réel des douanes. — La ville de la Rochelle a fait construire, sur la première zone du terre-plein Sud, un entrepôt réel des douanes, offrant une surface couverte de 768 mètres carrés, et une surface utilisable d'environ 1,700 mètres carrés, répartie sur trois étages.

Voies desservant le port. — Le bassin de la Pallice est relié à la gare de la Rochelle par une ligne de 8 kilomètres de longueur; les communications avec l'intérieur par voie ferrée sont les mêmes que celles du vieux port de la Rochelle.

Un tramway à air comprimé, qui doit relier la Rochelle et ses faubourgs au bassin de la Pallice, est en construction.

La route nationale n° 22, de Paris à la Rochelle, a été prolongée jusqu'à la Pallice; de plus, le bassin est en communication avec la Rochelle, par des chemins vicinaux et par la route départementale n° 21, de la Rochelle à la Repentie.

La dépense des travaux du port de la Pallice s'est élevée à 23 millions en nombre rond, sans compter les voies ferrées des quais et les installations de la Chambre de commerce.

RENSEIGNEMENTS COMMERCIAUX ET STATISTIQUES.

La navigation au long cours est représentée à la Pallice par des navires à voiles et à vapeur, chargés de pétroles et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de nitrates, venant tous d'Amérique, et par les paquebots de la *Pacific Steam Navigation Company*, reliant Liverpool à Valparaiso, *viâ* la Pallice. D'autres lignes de steamers faisant le cabotage des mers d'Europe font escale à la Pallice. Il n'y a pas de navigation à la grande pêche; la pêche côtière est représentée par quelques chaloupes qui viennent parfois débarquer leur poisson à la Pallice pour gagner une marée.

Des relations existent entre la Pallice et les ports de Marseille, Bordeaux, Saint-Nazaire, Nantes, le Havre, Rouen, Dunkerque, les ports d'Algérie, etc.

Plusieurs établissements industriels importants se sont déjà créés dans le voisinage du nouveau port. Ceux qui figurent sur la vue à vol d'oiseau et le plan exposé, comprennent : deux usines d'engrais et de produits chimiques, une raffinerie de pétrole, une fabrique de gélatine et une filature de jute.

Le tableau et le diagramme ci-après indiquent le mouvement de la navigation dans le port de la Pallice depuis son ouverture, en 1891. Un second diagramme donne le mouvement du vieux port de la Rochelle, depuis 1874.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MOUVEMENT DE LA NAVIGATION DU PORT DE LA PALLICE.

ANNÉES.	ENTRÉES.			SORTIES.			ENTRÉES ET SORTIES RÉUNIES.		
	NOMBRE de navires.	TONNAGE de jauge.	TONNAGE de marchandises.	NOMBRE de navires.	TONNAGE de jauge.	TONNAGE de marchandises.	NOMBRE de navires.	TONNAGE de jauge.	TONNAGE de marchandises.
1891.....	825	72.774	30.692	820	70.784	10.763	1.645	143.558	41.455
1892.....	1.455	107.820	68.312	1.455	107.312	13.531	2.910	215.132	76.043
1893.....	1.378	148.579	69.723	1.367	148.245	21.276	2.745	296.824	90.999
1894.....	1.262	225.708	68.319	1.199	226.864	28.609	2.461	452.572	96.928
1895.....	1.665	359.532	82.237	1.668	359.106	35.664	3.333	718.638	117.901
1896.....	1.594	316.051	74.078	1.573	375.847	38.733	3.167	751.898	112.811
1897.....	1.834	419.728	94.349	1.823	417.591	39.812	3.657	837.319	134.161
1898.....	2.118	423.099	111.516	2.117	421.168	37.641	4.235	844.267	149.157

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

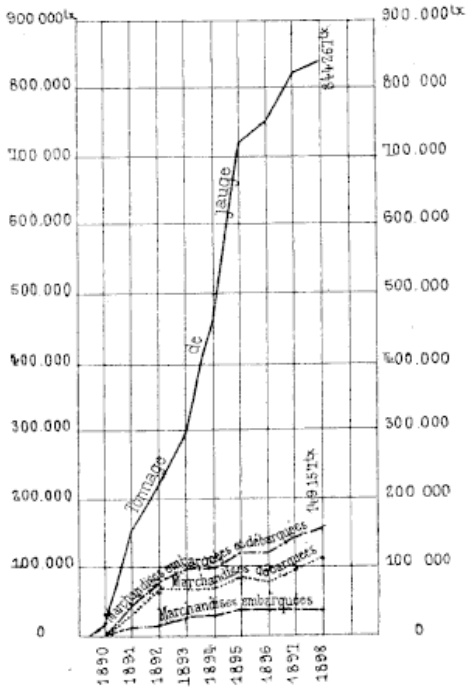


Fig. 103. — Diagramme indiquant le mouvement de la navigation dans le port de la Pallice.

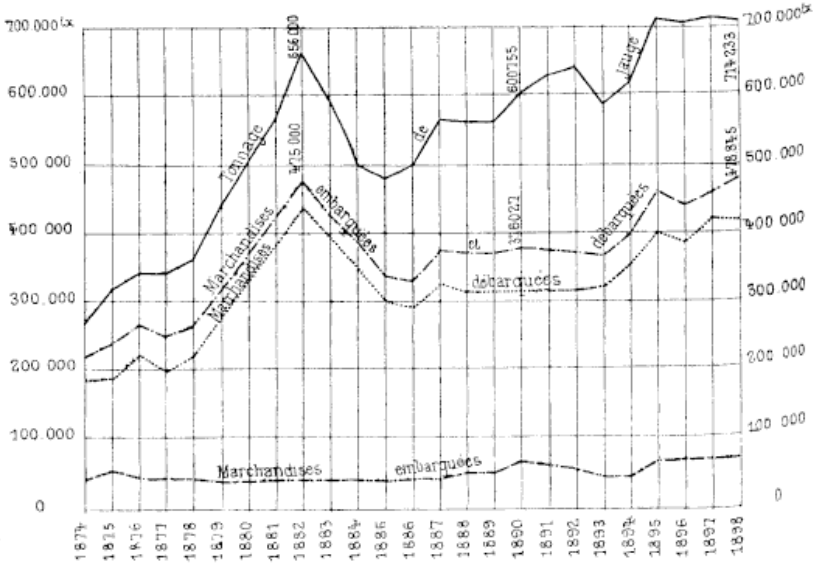


Fig. 104. — Diagramme indiquant le mouvement de la navigation dans le port de la Rochelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les projets pour la création du bassin de la Pallice ont été dressés et les travaux dirigés, jusqu'en 1885, par M. Thurninger, ingénieur ordinaire, sous les ordres de M. de Beaucé, ingénieur en chef.

Les projets complémentaires ont été dressés et les travaux dirigés, de 1885 à 1891, par M. Coustolle, ingénieur ordinaire, sous les ordres de MM. Potel et Thurninger, ingénieurs en chef.

Le bassin de la Pallice a été mis en service en 1891.

Les travaux de parachèvement ont été dirigés par M. Viennot, ingénieur ordinaire, sous les ordres de M. Thurninger, ingénieur en chef.

La surveillance des chantiers a été confiée à MM. Cossevin, Maynard et Robin, conducteurs.

Les entrepreneurs ont été :

Pour les travaux de fondations des jetées à l'air comprimé, MM. Zschokke et Terrier;

Pour les travaux à l'air libre du bassin et de l'avant-port, MM. Defuides, Ferry et Dollot frères;

Pour les formes de radoub, M. Bonnamy;

Pour les appareils d'épuisement des formes, la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée;

Pour les bateaux-portes, la Société des Ateliers et Chantiers de la Loire;

Pour les portes d'écluses métalliques, MM. Daydé et Pillé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVI

AMÉLIORATION

DES PASSES DE LA GARONNE MARITIME

ENTRE BORDEAUX ET LE BEC D'AMBÈS.

Un panneau de dessins.

I. Conditions naturelles du lit du fleuve.

Les fonds de la Garonne entre Bordeaux et le Bec d'Ambès, confluent de la Dordogne, sur une longueur de 25 kilomètres, sont composés de matériaux extrêmement mobiles : ce sont, en général, des vases argileuses ; on rencontre aussi, sur certains points définis, des masses de sables très fins, derniers vestiges de la trituration des galets qui encombrent le lit du fleuve dans sa région supérieure et apparaissent jusqu'à 35 kilomètres en amont de Bordeaux.

Les matériaux mobiles reposent sur des argiles relativement fermes, affouillables cependant à la longue par les courants et qui descendent jusqu'aux sables et galets agglomérés du diluvium. Ces derniers se trouvent à des cotes légèrement variables : on peut admettre qu'ils ne s'élèvent, en moyenne, guère plus haut que la cote — 10 mètres au-dessous du zéro du pont de Bordeaux, c'est-à-dire au-dessous des plus basses mers de la région.

De tout temps, des hauts-fonds encombrèrent le lit du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fleuve; ils se déplaçaient, tantôt lentement, tantôt brusquement, sous l'influence des crues de la Garonne, influence qui demeure considérable jusqu'au confluent de la Dordogne. Les berges sinueuses du fleuve n'étaient pas elles-mêmes complètement fixées, il y a cinquante ans.

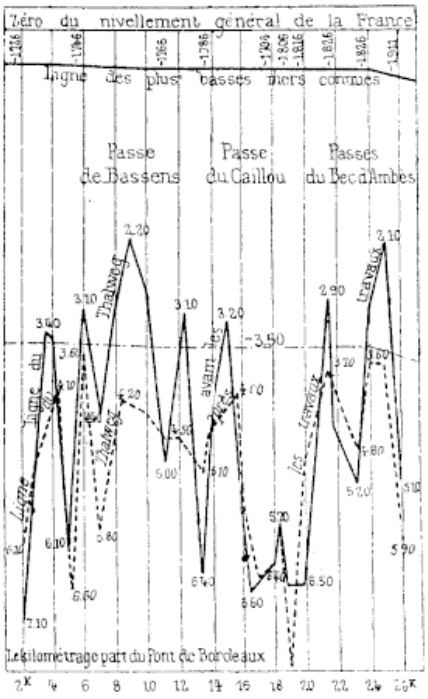


Fig. 105. — Profils comparés de la Garonne maritime avant et après les travaux.

De 1850 à 1880, on chercha à supprimer les passages mauvais pour la navigation par la construction de digues de rive en enrochements, successivement établies sur divers points et par tronçons isolés : on abaissa, en effet, certains hauts-fonds, mais il s'en reforma de nouveaux, et on continua d'observer, sur la ligne du thalweg, une série de fosses et de maigres. La ligne pleine de la figure 105 indique leurs positions respectives dans la période 1885-1890; les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sondes des sommets des maigres sont les plus mauvaises qui aient été observées dans cette période ; ces sondes sont toutes rapportées au-dessous de l'étiage local en chaque point, c'est-à-dire au-dessous du lieu géométrique des plus basses mers connues. Pour assurer, en profitant du jeu de la marée et dans les circonstances les plus défavorables, la circulation des grands navires fréquentant Bordeaux, il eût fallu qu'aucun seuil ne s'élevât plus haut que la cote $-3^{m},50$ au-dessous de cet étiage.

On s'assura, postérieurement à 1880, que, pour réaliser les abaissements nécessaires, des dragages seuls, même intensifs, restaient impuissants : leurs effets disparaissaient dès que le débit fluvial de la Garonne devenait ou très faible (formation de dépôts dans les sillons artificiels), ou très élevé (réapparition brusque après les crues des formes naturelles et mauvaises du fond).

II. Principes de l'amélioration.

On adopta alors un programme basé sur les principes suivants :

Il ne paraissait pas possible d'améliorer sensiblement le régime général de la marée, de manière à obtenir un entretien naturel des profondeurs plus intense dans son ensemble. La propagation du flot, telle qu'elle se présentait naturellement, était déjà satisfaisante.

L'amplitude de marée est sensiblement la même à Bordeaux qu'à l'embouchure (Grave), à 100 kilomètres en aval. Le niveau des pleines mers est plus élevé à Bordeaux qu'à Grave, de 1 mètre en chiffre rond; celui des basses

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mers n'est pas encore sensiblement relevé, sauf pour les grandes vives-eaux; la pente des basses mers en amont du Bec d'Ambès ne dépasse pas 1 centimètre par kilomètre. On ne pouvait agir sur la marée qu'en amont de Bordeaux, où les profondeurs diminuent rapidement, où les seuils sont multiples, saillants, et où l'amplitude s'abaisse assez vite par ressauts brusques. Mais les travaux eussent dû s'étendre sur une longueur considérable (70 kilomètres). Leur effet eût été douteux; on ne pouvait, en effet, obtenir une augmentation importante du volume d'eau emmagasiné à chaque marée, en amont de Bordeaux, à raison de la diminution rapide de la largeur du lit et de la pente du fond qui devient vite très considérable.

Tout en commençant de ce côté des travaux graduels d'aménagement, utiles à la fois pour le régime général et pour la facilité de circulation des bateaux de navigation intérieure, on réalisa une transformation plus rapide et peu coûteuse des maigres d'aval par des remèdes locaux.

Les maigres étaient dus, en effet, à des défauts locaux de l'aménagement du fleuve, tel que l'avaient constitué les travaux d'endiguement antérieurs, peu coordonnés entre eux. Ils étaient de deux sortes :

a. — *Défauts de tracé en plan.* — Des courbures mal dessinées ou non concordantes des rives amenaient soit la formation de maigres aux inflexions, soit la formation, dans un même profil en travers, de deux chenaux différents, parcourus de préférence, l'un par les courants de flot, l'autre par les courants de jusant;

b. — *Défauts dans la succession des sections moyennes d'écou-*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lement[1]. — Celles-ci ne suivaient pas une progression régulière; les vitesses moyennes présentaient alors des accélérations ou des ralentissements locaux accompagnés de surhaussements des fonds.

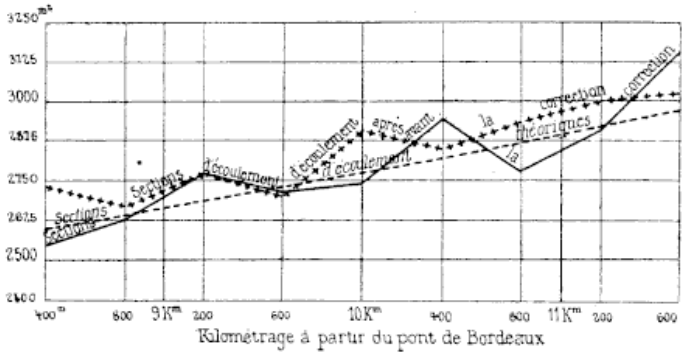


Fig. 106. — Sections comparées d'écoulement avant et après la correction.

On se proposa de supprimer ou d'atténuer, au moins dans une grande mesure, ces défauts, en mettant en œuvre les moyens suivants :

1° Rectifier les courbures du lit des basses mers par des recoupements et, de préférence, par des avancements de la laisse de basse mer ;

2° Réaliser les avancements au moyen d'épis plongeants, entre lesquels se formeraient des plages vaseuses accolées aux berges ;

3° Régler la hauteur et la pente de ces plages de manière que la diminution de la surface dans un profil en travers, combinée avec des dragages simultanés, assurât à

[1] On appelle ici *section moyenne d'écoulement*, de jusant, par exemple, l'expression $S_j = \int_0^T \frac{s.\,dt}{T}$ calculée pour le profil en travers considéré et dans laquelle s est l'aire du profil en travers mouillée à l'heure t du jusant, et T la durée du jusant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la fois des formes convenables pour les profils et des valeurs régulièrement croissantes vers l'aval pour les sections moyennes d'écoulement;

4° Constituer les épis plongeants par de simples files de pieux clayonné, peu coûteuses, et les construire progressivement de manière à suivre leurs effets sur la transformation du lit, à la modérer ou à l'accentuer.

Les dessins exposés indiquent le mode d'application de ce programme à trois des « passes » ou maigres, considérés comme les plus mauvais.

Les résultats ont été satisfaisants : une ligne ponctuée sur la figure 105 indique ce qu'est devenu le profil de thalweg ; les cotes sur les maigres sont celles prises pour Bassens et le Bec d'Ambès, trois ans environ après l'enlèvement du dernier mètre cube de premier approfondissement; pour le Caillou, où le travail est à peine terminé, ce sont les cotes actuelles.

III. Passe de Bassens.

On donnera quelques détails sur le mode d'exécution en ce qui concerne seulement la passe de Bassens, la plus longue et la plus mauvaise jusqu'en 1893.

La principale défectuosité du tracé (fig. 107) résidait dans le rapprochement du sommet de courbure situé sur la rive gauche, vers le kilomètre 12 à partir du pont de Bordeaux, à moins de 2 kilomètres de l'inflexion et dans la petitesse relative du rayon de courbure qui retenait sur cette rive le courant de flot.

Les formes du fond indiquaient l'existence, entre les kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètres 7 et 11, d'un faux chenal entretenu sur la rive droite par les courants de flots qui y prédominaient. Il se terminait en cul-de-sac et restait distinct du chenal où prédominait le jusant; celui-ci suivait la rive gauche; un faîte marqué les séparait.

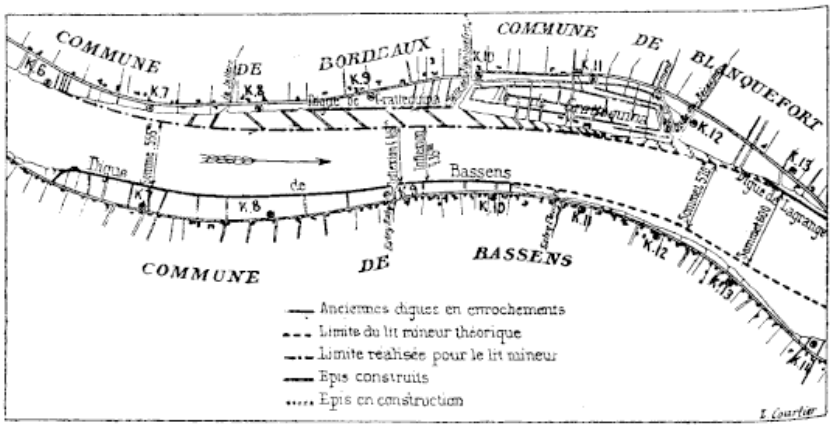


Fig. 107. — Passe de Bassens.

Les observations de vitesse (fig. 108) montraient nettement le rôle différent des deux chenaux au montant et au perdant.

Les sections d'écoulement de jusant[1] (fig. 106, trait plein) étaient irrégulièrement réparties.

On se proposait, d'une part, de réaliser pour le tracé du lit mineur (ligne d'étiage ou de grande basse mer) le tracé

[1] Il faut remarquer qu'étant données l'amplitude des marées, la grande différence de durée du jusant et du flot en amont du Bec (8 heures environ contre 4 heures) et les formes généralement assez accores des berges, on ne peut avoir à la fois un aménagement également satisfaisant pour les sections moyennes de jusant et de flot. A Bassens, où l'influence du jusant est la principale, on s'est préoccupé surtout des sections de jusant. Au Bec d'Ambès, où le flot paraît le principal modeleur des fonds, on a surtout tendu à régulariser les sections de flot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

désigné sur la figure 107 par les traits — · — · — · — ou — — —; d'autre part, de se rapprocher, pour les sections d'écoulement des valeurs données par la ligne interrompue — — — — — du graphique n° 106. Cette dernière avait été obtenue de la manière suivante. En considérant la région de la Garonne s'étendant de Bordeaux au Bec d'Ambès, on avait choisi un certain nombre de profils en travers dont

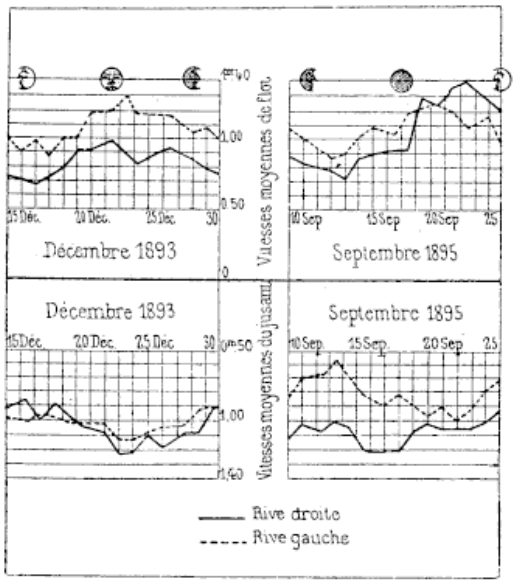


Fig. 108. — Vitesses comparées sur les deux rives de la passe de Bassens.

la surface d'écoulement devait être maintenue intégralement ou à peine modifiée pour une des raisons suivantes: ou bien, en ces points, les profondeurs étaient satisfaisantes et en même temps l'aire d'écoulement était restée constante, depuis de nombreuses années, à travers toutes les modifications des fonds, ce qui montrait qu'elle était bien adaptée au régime; ou bien, des modifications importantes du lit auraient amené à léser de graves intérêts, ouvrages existants ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

industries établies. On avait ensuite déterminé, par la méthode des moindres carrés, les coefficients de la parabole cubique qui, en donnant une loi de succession régulière, passait le plus près possible des points ainsi imposés. Cette parabole avait d'ailleurs été trouvée très tendue et presque assimilable à une droite, dans la région de Bassens[1]. Ce mode de détermination des sections permettait ainsi de suivre les indications fournies par la nature elle-même dans la région sur laquelle la propagation de l'onde-marée était, comme il a été dit, déjà satisfaisante.

Pour procéder graduellement, on se borna, dans une première période de travail, à réaliser seulement sur la rive gauche, où existaient, dans le faux chenal, des profondeurs atteignant — 5 mètres, l'avancement de la ligne de la basse mer jusqu'au trait — · — · — · — · — de la figure 107. Pour cela, on construisit 19 épis; 17 étaient inclinés à 45 degrés environ contre la direction du courant de flot à détourner de la rive; leur espacement était déterminé de telle sorte que deux enracinements successifs comprissent entre eux le double de la distance à la berge de la ligne des extrémités en rivière. Ils étaient formés par deux files moisées de pieux en pin, espacés de 1 mètre à $1^{m},50$, suivant la violence locale du courant. Chaque file portait un rideau de clayonnages; elles convergeaient; leur espacement était de 4 mètres à l'enracinement et de 2 mètres à l'extrémité en rivière. La ligne des têtes s'abaissait graduellement depuis la berge où elle était à la cote + $5^{m},20$ au-dessus des plus basses mers connues,

[1] Sa courbure s'accentue sensiblement vers l'aval.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soit un peu au-dessous des pleines mers de vive-eau, jusqu'à l'extrémité où elle était à la cote + 2^{m},30, soit à 2 mètres environ au-dessus des basses mers de vive-eau. Les pieux des deux files étaient réunis par des moises transversales, et, vers la terre, une troisième file intermédiaire permettait une consolidation énergique. La dépense, non compris les clayonnages, était en moyenne de 130 francs par mètre courant.

Les épis furent d'abord construits de deux en deux, sur la moitié de leur longueur, puis on établit les intermédiaires et on amena enfin partout les ouvrages à leur longueur définitive.

Les clayonnages formés par des faisceaux d'osiers de 0^{m},10 de diamètre et de 5 mètres de longueur, entrelacés sur les pieux, étaient exécutés graduellement, au fur et à mesure que le fond s'exhaussait, sans dépasser jamais de plus de 0^{m},50 le niveau atteint par les vases et en maintenant toujours aux clayons supérieurs la pente que l'on désirait provoquer pour la plage vaseuse artificielle. Le colmatage fut rapide : on obtint près de terre des relèvements de fonds atteignant 5 mètres en deux ans. Cet exhaussement ne se dessina pourtant pas spontanément, au début, entre les épis de l'extrémité aval, directement en butte au violent courant du premier flot. On dut extraire spécialement, sur les bancs sableux de la Garonne, des matières denses qui, déversées ou traînées le long de ces épis, se maintinrent contre le courant; on les protégea même entre les deux derniers épis par un matelas flexible en clayonnage. Les dépôts de vases se développèrent alors derrière cet abri.

En même temps, des dragages étaient exécutés. On com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mença par creuser un sillon profond sur l'axe que l'on désirait voir suivre au chenal définitif; on l'abaissa à $0^{m},75$ au-dessous de la cote désirée $-3^{m},50$ pour ameublir les argiles; pour le terminer rapidement, on le maintint très étroit, sauf à l'aval où il fut largement raccordé avec la fosse existante. Des passages successifs de drague l'élargirent ensuite et le débarrassèrent des premiers apports.

En somme, les épis furent commencés en octobre 1893 et terminés en décembre 1895. On se borna, par la suite, à visiter les clayonnages et à les relever ou régler quand besoin était. Les dragages furent définitivement arrêtés le 8 août 1895.

On avait extrait 785,000 mètres cubes, sans compter les 105,000 mètres cubes de déblais sableux d'autre provenance, destinés à amorcer les plages artificielles.

Dès la fin de l'année 1895, les sections d'écoulement avaient pris la valeur indiquée par la ligne + + + + + au graphique fig. 106; elles s'étaient sensiblement régularisées et, en même temps, avaient tendu à être partout légèrement supérieures aux nombres calculés. En même temps aussi, les observations de vitesses montraient (fig. 108) que l'action du flot avait sensiblement diminué sur la rive gauche; ses vitesses y étaient à peine supérieures à celles relevées sur la rive droite. Sur cette dernière, le jusant avait, au contraire, acquis une prédominance considérable. La ligne de navigation offrait partout une cote minimum de -4 mètres, supérieure de $0^{m},50$ au desideratum.

Depuis cette date, les profondeurs se sont maintenues avec les oscillations habituelles dans la Garonne, où le fond des chenaux se relève chaque année pendant la période

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'eaux basses, pour se creuser ensuite de nouveau. Jamais la cote de $-3^{m},50$ n'a été dépassée.

On a vu cependant une menace pour l'avenir dans ce fait, que le chenal de flot, au lieu de se fondre complètement avec celui de jusant, en était resté distinct tout en s'en rapprochant, et qu'il s'était ainsi maintenu, le long de la ligne de têtes des épis, des profondeurs anormales et inutiles. Pour compléter la correction, l'avancement de la rive gauche est en ce moment poursuivi jusqu'à la limite théoriquement admise pour le lit mineur. Les épis d'aval du premier groupe sont prolongés jusqu'à cette limite, et un nouveau groupe de quatorze épis est en construction. La plus grande partie en est encore orientée de manière à contrarier le courant de flot; mais, pour un certain nombre d'ouvrages intermédiaires, au droit desquels les vitesses du flot et du jusant ont dorénavant des valeurs comparables, on a pu faire une économie en traçant les charpentes normalement à la berge. On en a réalisé une autre d'après l'expérience acquise, en les formant par un rideau de clayonnages unique. L'ossature se compose alors d'une seule file de pieux moisés, contrebutée de distance en distance par des palées de trois pieux également moisés. La dépense par mètre courant est réduite d'un tiers[1].

En même temps, enfin, un léger dragage a été poursuivi

[1] On remarque sur le plan exposé, donnant la situation après les travaux, vers le kilomètre 12, un centre d'affouillement provoqué par la coque d'un grand steamer de 114 mètres, naufragé à la fin de 1894. La partie de la coque comprise dans le lit mineur a été dérasée à la dynamite à la cote -6 mètres sous l'étiage. Les entonnoirs d'affouillement se comblent progressivement depuis que le clayonnage des épis est commencé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au droit du kilomètre 12, de manière, non à approfondir le thalweg qui a naturellement plus de — 4 mètres, mais à l'élargir aux dépens du haut-fond voisin en offrant une plus large surface aux courants concentrés par la convexité; on réduira ainsi leur vitesse locale et on permettra le colmatage désiré entre les nouveaux épis. Ces divers travaux complémentaires ont été commencés en 1898 et vont être terminés en 1900.

IV. Passe du Caillou.

Sur la passe du Caillou, la situation était analogue : deux chenaux juxtaposés dans les mêmes profils en travers et des sections d'écoulement mal réglées. Les travaux ont donc été analogues; ils ont été exécutés de 1897 à 1899. On signalera seulement que, comme les sections étaient plus rapprochées de leur valeur considérée comme désirable et comme l'avancement des berges pour réaliser des courbures convenables était assez grand, on a dû éviter de faire monter aussi haut les plages artificiellement créées : on aurait trop diminué les sections. Les épis, au lieu de s'élever jusqu'à la cote $+5^{m},20$ à leur enracinement, ne montent qu'à la cote $+3$ mètres; les talus des colmatages entre épis sont ainsi beaucoup plus adoucis. Les ouvrages n'ont qu'une seule ligne de pieux.

V. Passe du Bec d'Ambès.

On a exécuté, aux abords du Bec d'Ambès, de 1885 à 1891, une série de travaux beaucoup plus considérables que ceux qui font l'objet de la présente notice. La Garonne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se divise, un peu en amont de son confluent avec la Dordogne, en deux bras : l'un, le bras d'Ambès, constitue le fleuve principal; l'autre, le bras de Macau, forme une dérivation dont l'embouchure, à l'amont, est délimitée par deux digues en enrochements, de construction ancienne. L'île allongée qui sépare les deux bras présentait une forme telle, qu'une saillie de sa rive étranglait le bras principal et donnait au tracé des courbures discordantes. On procéda au rescindement complet de la saillie et on restitua au lit du fleuve une surface de plus de 20 hectares. Cette opération importante permettait d'augmenter au détriment de la Dordogne (rivière où ne circulent pas de grands bateaux de mer) la proportion du flot de la Gironde pénétrant dans la Garonne ; elle permettait également de procéder à un aménagement plus satisfaisant des sections et des rives.

Seule, elle ne devait pas suffire à supprimer les troubles de propagation de l'onde-marée au confluent ni, par suite, les hauts-fonds qui en résultaient, et dont la position oscillait sur une certaine longueur. Suivant les mêmes principes, on a poursuivi la régularisation en donnant aux aires successives des sections d'écoulement de flot (et non de jusant) une graduation régulièrement continue. Pour cela, on combina des dragages dans la direction du chenal avec des remblais latéraux. Les nécessités du tracé et la convenance d'élargir le débouché linéaire de la Garonne par rapport à celui de la Dordogne, dans le profil terminal du Bec d'Ambès, amenèrent à prolonger celui-ci. On abandonna en conséquence la méthode de formation des plages vaseuses par épis inclinés, et on provoqua les colmatages

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ce côté au moyen de lignes de clayonnages convergentes et étagées.

L'éperon nouveau, créé de toutes pièces et reportant à 1 kilomètre environ, vers l'aval, la séparation des deux rivières, dut être défendu contre les attaques du premier flot par un massif d'enrochements; la formation des plages sur les deux côtés, Garonne et Dordogne, fut aussi facilitée par de courts épis additionnels reliés aux lignes de pieux supportant les clayonnages longitudinaux. L'ensemble de ces travaux s'exécuta de 1892 à 1899, par additions successives, conformément au programme tracé.

Les figures du panneau de dessins exposé indiquent la constitution de la partie terminale de l'éperon et la transformation obtenue par le colmatage artificiel du corps de cet éperon; les alluvions ainsi provoquées s'élèvent actuellement jusqu'au niveau des pleines mers moyennes, et les formes du nouveau confluent sont définitivement acquises.

Au cours de ces travaux, les hauts-fonds simultanément dragués s'améliorèrent graduellement. Le maigre existant à l'aval du confluent a définitivement disparu. Celui qui régnait à l'amont se maintient aux environs de la cote désirée, avec des hauteurs dépendant des circonstances météorologiques. Il est parfois trop élevé encore; un trouble de nature spéciale est occasionné sur ce point par la non-concordance de l'arrivée, à l'extrémité amont du bras de Macau, des flux pénétrant par ce bras et par le bras principal. L'entretien artificiel d'une bonne profondeur par dragages restera cependant assez réduit; il paraît ne devoir exiger qu'un curage tous les deux ou trois ans, sur une courte longueur. Il est ainsi douteux qu'il y ait avantage,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour supprimer cette sujétion secondaire, à modifier le régime du bras de Macau; dans sa consistance actuelle, il paraît utile à la fois pour le maintien des chenaux satisfaisants qui existent à l'aval, dans la vaste largeur de la Gironde, et aussi pour de très importants intérêts privés.

Les travaux qui font l'objet de la présente notice ont été, de 1890 à 1900, successivement dirigés par MM. les ingénieurs en chef Pasqueau, Crahay de Franchimont, Fouquet et Voisin.

Les ingénieurs ordinaires chargés des études et de l'exécution, qui a eu lieu totalement en régie directe, ont été : pour les passes d'amont, MM. de Volontat, Charron et Vidal; pour les passes d'aval, MM. Crahay de Franchimont, Kauffmann et Vidal.

Les conducteurs qui ont collaboré à des titres divers aux études ont été : MM. Claveille, Lanave, Soumastre et Dutreil. Ceux qui ont dirigé les chantiers ont été : MM. Basset, Kerbrat et Élie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVII

TRAVAUX DE DÉFENSE DE LA POINTE DE GRAVE (GIRONDE).

Un cadre de dessins.

I. Description générale de la pointe de Grave.

Les terrains formant la pointe Nord de la rive gauche de la Gironde, à son embouchure (côtes du bas Médoc), sont généralement en contre-bas du niveau des pleines mers, qui atteignent, aux équinoxes, la cote $+5^{m},65$, en moyenne, au-dessus du zéro de Grave et la cote $+6^{m},30$ dans certains cas exceptionnels. Ces terrains sont protégés contre les inondations du fleuve par une série de digues continues; ils sont garantis contre les envahissements de la mer, par les dunes littorales constituant le prolongement des dunes des landes de Gascogne.

Jusqu'au commencement du siècle, les dunes littorales, non fixées, et, avec elles, le rivage, reculaient au fur et à mesure des attaques de la mer. Après leur ensemencement, ces dunes durent résister aux lames et aux attaques de la mer; toutefois il se produisit des érosions qui ne tardèrent point à inquiéter.

Un peu au Sud de Soulac, on ne signalait pas de mouvements importants dans les dunes, car le sable, emporté par la mer, était aussitôt remplacé par d'autre sable cheminant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le long de la côte, à peu près dans la direction du Sud-Nord.

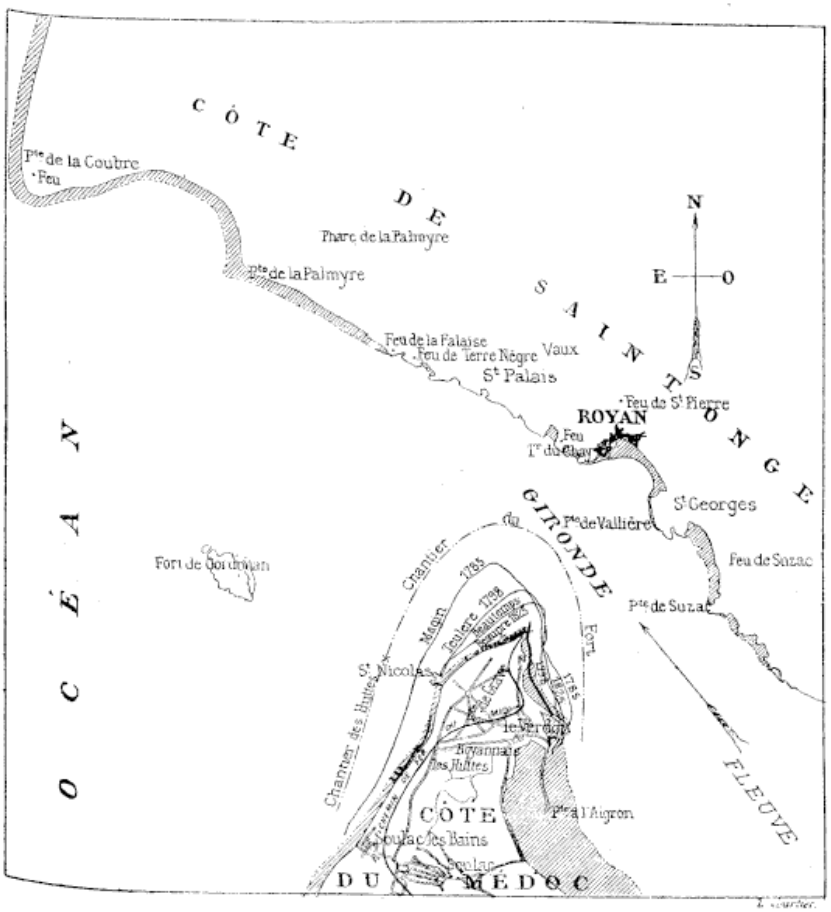


Fig. 109. — Pointe de Grave.

Mais à la pointe de Grave, très probablement à cause du changement de la direction générale de la côte qui court au Nord-Est, à partir de la pointe de la Négade, il n'y avait pas compensation entre les apports de sable et les attaques du rivage; de sorte que la mer gagnait, chaque année, sur la terre ferme.

En 1845, la largeur de la dune littorale, au droit du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

brise-mer des Huttes, était réduite à 330 mètres environ. Quant à la laisse de basse mer, elle reculait, au même point, de 700 mètres environ, de 1785 à 1845, ainsi que le montre le plan ci-contre (voir fig. 109, p. 423).

L'intérêt qu'il y avait à arrêter cette progression lente, mais continue, de la mer vers l'intérieur des terres était, d'ailleurs, considérable pour la navigation, car on pouvait craindre une très fâcheuse répercussion de l'élargissement de la passe du Sud, séparant la pointe de Grave du rocher de Cordouan, sur la tenue des fonds de la passe navigable dite « du Nord », qui dépassent la cote 10 mètres au-dessous du zéro des cartes marines.

L'Administration des ponts et chaussées fut ainsi amenée à prendre, dès 1837, l'initiative des travaux importants qu'elle a entrepris, depuis 1840, pour la défense de toute cette région du littoral.

II. Exécution des travaux. Description des principaux ouvrages.

On peut diviser les travaux de défense de la pointe de Grave en trois groupes :

Le premier groupe, situé du côté de la mer, commence à 2,000 mètres au Nord de Soulac; il est limité par la pointe de Saint-Nicolas, constituée par des rochers émergeant à basse mer.

Le deuxième groupe, également situé du côté de la mer, est compris entre la pointe Saint-Nicolas et la jetée de Grave.

Le troisième groupe comprend tous les ouvrages situés, en Gironde, au Sud de la jetée de Grave.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les ouvrages de défense des premier et deuxième groupes sont destinés à arrêter les érosions de la dune littorale, produites par les lames déferlant sur la côte. Les courants de marée sont relativement faibles; ceux de jusant et de flot sont comparables. Dans ces conditions, il y a peu d'affouillements à craindre.

Ces deux groupes d'ouvrages se distinguent par la nature du sol de fondation sur lequel ils sont exécutés. Tandis que, dans le premier groupe (celui situé au Sud de la pointe Saint-Nicolas), l'argile, qui forme le sous-sol un peu résistant de toute la région, affleure à des cotes relativement élevées (4 à 5 mètres au-dessus du zéro de Grave), dans le second groupe (celui situé au Nord de la pointe Saint-Nicolas), l'épaisseur de sable est, en général, suffisamment grande pour que l'argile du sous-sol n'apparaisse jamais, surtout dans la partie de la plage avoisinant la jetée de Grave.

Dans le troisième groupe (celui situé en Gironde au Sud de la jetée de Grave), la violence des lames est atténuée; mais il y a, pendant 18 heures sur 24, de forts courants de jusant. Ces courants qui existent, même à marée montante, proviennent d'une réflexion du flot sur la rive droite de la Gironde; ils affouillent les ouvrages du troisième groupe, que, dès lors, on a dû établir de façon à ce qu'il soit toujours possible de les recharger facilement.

A. *Premier groupe d'ouvrages de défense* (*les Huttes*).

Ce groupe comprend :

1° Un grand brise-mer longitudinal submersible, de 1,375 mètres environ de longueur;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Six épis transversaux de 170 à 190 mètres environ de longueur, parallèles à la ligne de plus grande pente de l'estran et quatre petits brise-mer longitudinaux;

3° L'épi transversal de Saint-Nicolas, de 200 mètres de longueur environ.

1° **Grand brise-mer longitudinal.** — Le brise-mer longitudinal, dénommé « brise-mer des Huttes », dont la forme, en plan, épouse, avec plus ou moins de régularité, le tracé des dunes littorales, se compose (voir fig. 110 [1])

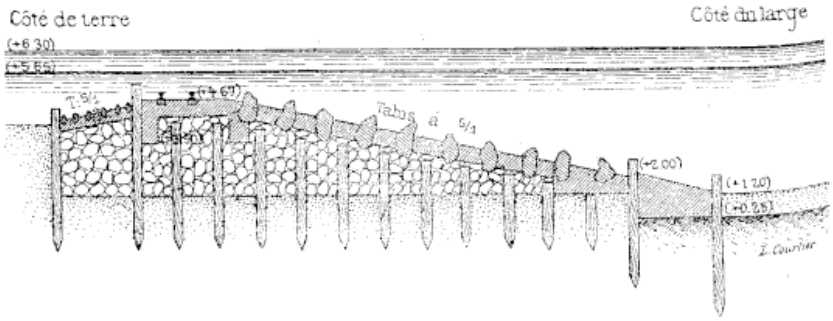


Fig. 110. — Profil type du brise-mer des Huttes.

d'un noyau en moellons ou enrochements d'un poids variant entre 100 et 150 kilogrammes, défendu, tant du côté du large que du côté de terre, par des murs de parafouille. Le mur de parafouille, du côté du large, a 3 mètres de largeur; il est fondé à la cote + $0^{m},25$ environ. Le mur de parafouille, du côté de terre, a $0^{m},50$ de largeur; il n'est fondé qu'à la cote + $3^{m},50$ environ.

Pour faciliter la construction de l'ouvrage, on a battu,

[1] Les pieux indiqués sur la figure 110 sont les pieux de fondation du premier brise-mer en pieux et fascinages exécuté par M. l'ingénieur Le Gros et remplacé postérieurement par un brise-mer en maçonnerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tant du côté du large que du côté de terre, le long de la face extérieure des murs de parafouille, des pieux à 3 mètres de distance les uns des autres, du côté de la face de terre, et jointifs, du côté de la face du large.

En arrière du mur de parafouille, du côté de terre, l'ouvrage a été complété, sur sa plus grande partie et sur une largeur de 3 mètres, par un noyau d'enrochements recouvert par une chemise en maçonnerie avec moellons en hérissons.

Le noyau en enrochements, dont le talus, du côté du large, est réglé à raison de $\frac{5}{1}$, est recouvert par une chemise en maçonnerie de $0^{m},40$ d'épaisseur, protégée par des blocs naturels de 1,000 à 2,000 kilogrammes encastrés dans cette maçonnerie; ces blocs sont destinés à briser les lames.

Une risberme de 3 mètres de largeur, formant couronnement, a été ménagée, à partir du mur de parafouille de terre, à la cote $+4^{m},67$ environ, au-dessus du zéro de Grave. Elle porte une voie ferrée destinée à faciliter l'approche des matériaux nécessaires, tant pour les réparations des avaries causées à l'ouvrage proprement dit par les tempêtes que pour le rechargement des gros blocs, naturels ou artificiels, disposés à son pied.

Le pied du talus du brise-mer, côté du large, avait été d'abord protégé par des blocs naturels pesant jusqu'à 3,000 kilogrammes; mais, ces blocs ayant été enlevés par la mer, on les a remplacés, au fur et à mesure de leur enlèvement, par des blocs artificiels en maçonnerie de ciment de 3 mètres sur 3 mètres que l'on a fondés directement sur l'argile. Ces blocs descendent quand il se produit des af-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fouillements; leur descente est, d'ailleurs, guidée par deux pieux battus au moment de leur exécution.

Le brise-mer qui vient d'être décrit a été construit dans la période de 1853 à 1863. Il a produit les meilleurs résultats en permettant à la dune littorale de se reformer en arrière; les abaisssements de la plage et le recul de la laisse des basses mers vers l'intérieur des terres ont été ainsi arrêtés.

2° **Épis des Huttes et petits brise-mer longitudinaux.** — a. *Épis.* — La défense de cette région était complétée par six épis transversaux, parallèles à la ligne de plus grande pente de l'estran et placés à 200 mètres environ de distance les uns des autres. Le premier de ces épis se trouvait à l'extrémité Sud du grand brise-mer longitudinal.

Ces épis, mesurant 120 mètres de longueur, se composaient d'un noyau d'enrochements pesant 100 à 150 kilogrammes, ou d'argile, recouvert par une chemise en maçonnerie de 0^m, 40 d'épaisseur, en forme de dos d'âne. Les risbermes et la tête étaient défendues par des fascinages.

Les épis transversaux se sont mal comportés. Des affouillements importants n'ont pas tardé à les ruiner, et ils sont maintenant presque entièrement démolis.

b. *Petits brise-mer longitudinaux.* — Les épis n'ayant pas produit les résultats qu'on espérait, on les remplace, maintenant, par de petits brise-mer longitudinaux placés à la partie supérieure de l'estran.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces brise-mer se composent (fig. 111 et 112) d'un noyau de sable, jusqu'au niveau moyen de la plage, recouvert par des enrochements en blocs de 75 à 150 kilogrammes. Cet ouvrage, mi-partie en sable, mi-partie en enrochements, est protégé contre les attaques de la mer par une chemise en maçonnerie de ciment, de $0^{m},40$ d'épaisseur (avec pierres en hérissons) du côté du large, de $0^{m},20$ d'épaisseur (sans hérissons) du côté de terre, et par deux murs de parafouille encastrés dans l'argile.

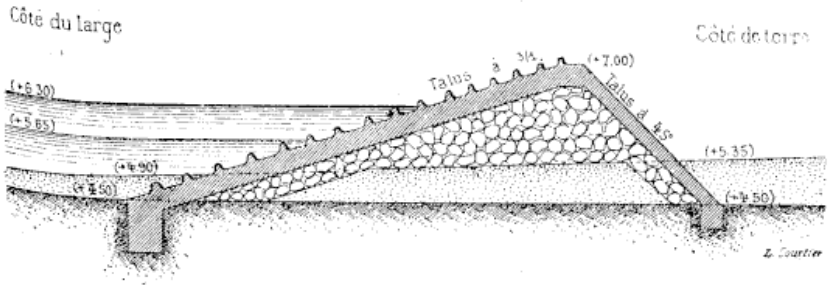


Fig. 111. — Profil type du brise-mer entre les épis 2 et 5 des Huttes.

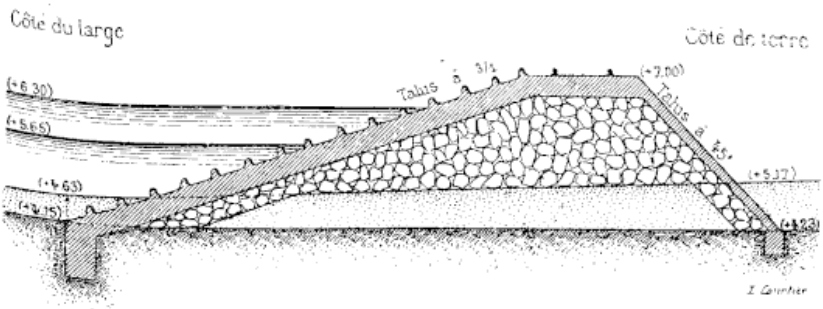


Fig. 112. — Profil type du brise-mer entre les épis 5 et 7 des Huttes.

Dans le brise-mer destiné à protéger la dune comprise entre les trois derniers épis, du côté du Sud, la largeur de la risberme formant couronnement a été portée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 2 mètres, pour permettre l'établissement d'une voie de travaux.

Pour localiser les avaries qui pourraient se produire, on a prévu, tous les 40 mètres, des murs de refend de $0^{m},80$ d'épaisseur, encastrés dans l'argile; entre ces murs, on établit des buses en ciment de $0^{m},60$ de diamètre, afin d'assurer l'écoulement des eaux des embruns.

3° **Épi de Saint-Nicolas.** — Le barrage, ou épi de Saint-Nicolas, a été exécuté de 1863 à 1865, sur une longueur de 200 mètres environ. Il a son enracinement au pied de la dune littorale et s'appuie, à son extrémité, sur le rocher de Saint-Nicolas; sa direction est à peu près normale au pied de la dune.

Le profil transversal de l'épi est constitué par un noyau en enrochements de 80 à 160 kilogrammes, reposant sur l'argile du sous-sol de la plage. Ce noyau est protégé contre les attaques de la mer par une chemise en maçonnerie de ciment de $0^{m},40$ d'épaisseur (avec pierres en hérissons) et par deux murs de parafouille encastrés dans l'argile. La risberme de couronnement, en forme de dos d'âne, a 3 mètres de largeur.

L'enracinement de l'épi est à la cote + 7 mètres et son extrémité à la cote + 2 mètres. Cette extrémité est constituée par un mur maçonné de 20 mètres de longueur reposant sur le rocher. Des murs de refend de 1 mètre d'épaisseur existent tous les 20 mètres, en vue de circonscrire les avaries qui pourraient se produire.

Depuis son exécution, l'épi de Saint-Nicolas a toujours exercé une action protectrice très efficace sur la plage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comprise entre lui et le brise-mer des Huttes. Le pied de la dune, au lieu d'être attaqué, a été constamment renforcé par des apports de sable.

B. *Deuxième groupe d'ouvrages de défense (la Claire).*

Ce groupe comprend :

1° Une jetée, dite «jetée de Grave», de 260 mètres de longueur environ;

2° Onze épis transversaux, de 100 à 120 mètres de longueur environ, et un épi transversal, de 180 mètres de longueur environ, parallèles à la ligne de plus grande pente de l'estran;

3° Un brise-mer longitudinal, dit «brise-mer de la Claire», de 1,030 mètres environ de longueur, actuellement en cours d'exécution. Ce brise-mer est destiné à remplacer les six premiers épis situés immédiatement au Sud de la jetée de Grave.

1° **Jetée de Grave.** — Cet ouvrage a été construit en 1844-1845, en vue d'arrêter le recul, vers l'intérieur des terres, de l'extrémité Nord de la pointe de Grave. Il se compose de deux parties distinctes : une partie insubmersible de 166 mètres de longueur environ ; une partie submersible ou sous-marine de 93 mètres de longueur environ.

La partie insubmersible de la jetée est constituée par un noyau d'enrochements naturels et de blocs artificiels en béton, recouvert par une chemise en maçonnerie de $0^m,50$ d'épaisseur; le revêtement a une partie horizontale de 6 mètres environ de largeur avec voie ferrée, réglée à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cote $+7^{m},60$ environ au-dessus du zéro de Grave et des talus à 45 degrés, tant du côté Ouest que du côté Est. Pour défendre ces talus, on a placé devant eux des blocs artificiels parallélépipédiques, ayant de 40 à 45 mètres cubes.

La partie sous-marine de la jetée est formée d'enrochements en blocs naturels de 1,000 à 2,000 kilogrammes ; elle a été exécutée de 1853 à 1856.

2° **Épis de la Claire.** — Les épis de la Claire sont semblables à ceux des Huttes. Ils ont été exécutés dans la période comprise entre 1844 et 1854. Le noyau de ces épis est constitué par des enrochements ou par de l'argile rapportée, recouverte de béton sur une épaisseur de $0^{m},25$; une chemise en maçonnerie de $0^{m},40$ d'épaisseur, avec moellons smillés, en forme de dos d'âne, protège, comme aux Huttes, les épis contre les attaques de la mer. Aux pieds des talus du dos d'âne, on a disposé des risbermes de défense de $4^{m},50$ de largeur, en fascinages recouverts de moellons.

Les résultats que ces épis ont produits n'ont pas été satisfaisants; on a, par suite, été obligé d'en remplacer un certain nombre (les six premiers au Sud de la jetée) par un brise-mer longitudinal, sur une longueur de 1,030 mètres environ.

3° **Brise-mer de la Claire.** — Le brise-mer de la Claire, actuellement en cours d'éxécution, se compose (voir fig. 113) d'une série de blocs creux de 4 mètres sur 4 mètres, espacés de $0^{m},40$ les uns des autres, que l'on descend, par havage, jusqu'à la cote $+2^{m},30$ environ,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c'est-à-dire à un niveau inférieur à celui des plus basses cotes constatées après désablement.

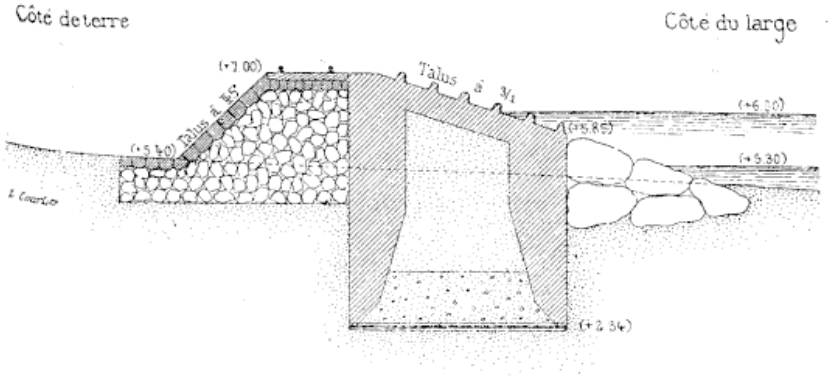


Fig. 113. — Profil type du brise-mer de la Claire.

Lorsque ces blocs sont arrivés à la cote prévue, on ferme leur partie inférieure par une galette de béton de chaux hydraulique de $0^{m},80$ d'épaisseur; on les remplit ensuite de sable soigneusement pilonné. Enfin on recouvre les blocs par une chemise en maçonnerie de $0^{m},50$ d'épaisseur avec talus à 3 de base pour 1 de hauteur $(\frac{3}{1})$ du côté du large, terminé, du côté de terre, par une petite risberme formant couronnement, de $0^{m},50$ de largeur, à la cote + 7 mètres au-dessus du zéro de Grave. Sur le talus, du côté du large, on dispose, dans la maçonnerie, des moellons en forme de hérissons, de façon à briser la mer.

Pour empêcher que les lames, en déferlant, produisent des affouillements trop considérables de l'estran, on placera, en avant des blocs havés, des enrochements naturels de 1,000 kilogrammes à 2,000 kilogrammes, qui seront manutentionnés par une grue de la force de 3,000 kilogrammes, se déplaçant sur un massif situé en arrière des blocs havés et constitué par des enrochements ordinaires de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

75 à 150 kilogrammes, recouverts d'une chemise en maçonnerie avec mortier de chaux hydraulique, de $0^{m},35$ d'épaisseur.

La crête de ce massif, qui aura une largeur de $1^{m},50$, sera à la même cote que celle des blocs, c'est-à-dire à la cote $+7$ mètres; le talus de terre sera réglé à 45 degrés; à la cote $+5^{m},40$ environ, on ménagera une risberme maçonnée, de 1 mètre de largeur, pour amortir les chocs des lames qui passeraient par-dessus l'ouvrage.

Enfin l'écoulement des eaux qui franchiront la digue sera assuré par des buses en ciment de $0^{m},30$ de diamètre, placées à 40 mètres les unes des autres.

La dépense prévue pour la construction de l'ouvrage est évaluée à 1,100,000 francs.

C. *Troisième groupe d'ouvrages de défense (le Fort).*

Ce groupe comprend :

1° Un éperon, dit « Éperon de Grave », de 250 mètres de longueur environ;

2° Des digues intérieures, sur une longueur de 1,420 mètres environ;

3° Une digue, dite « Digue de la Chambrette », de 1,230 mètres de longueur environ;

4° Un épi, dit de « Barbe-Grise », de 210 mètres de longueur environ.

1° Éperon de Grave. — L'éperon de Grave a été construit de 1845 à 1847, pour protéger l'enracinement de la jetée. Il se compose de deux parties distinctes : une partie de 120 mètres de longueur environ, au-dessus des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

basses mers ; une partie de 130 mètres environ, au-dessous des basses mers.

Cet ouvrage est constitué par des enrochements naturels de 12 à 150 kilogrammes, avec talus à 45 degrés. Sur une longueur de 90 mètres environ, la crête de l'éperon, de 2 mètres de largeur, est arasée, en moyenne, à la cote +7 mètres ; sur une longueur de 160 mètres environ, les enrochements ont été dispersés, et la crête de cette partie de l'ouvrage est comprise entre la cote +7 mètres et la cote — 30 mètres.

Sur les premiers 90 mètres, la crête et la partie supérieure des talus sont maçonnées ; au-dessous de la partie maçonnée du talus Nord, on a disposé des enrochements naturels de 1,000 à 2,000 kilogrammes.

2° Digues intérieures. — Les lames du large, en tournant autour de la jetée, venaient attaquer la côte au Sud de cet ouvrage ; les érosions étaient, d'ailleurs, augmentées par les courants du fleuve, très violents dans cette région, à cause du resserrement de l'embouchure. Il a fallu défendre le littoral, à partir de l'enracinement de la jetée, par des ouvrages constitués généralement avec des enrochements en blocs, soit naturels, soit artificiels, que l'on recharge au fur et à mesure des éboulements du pied.

Ces digues en enrochements, que l'on a commencé à construire en 1849, ont un profil très variable d'un point à un autre. Sur une longueur de 320 mètres environ, à partir de la jetée, elles s'appuient contre l'ancienne dune littorale ; le talus est réglé à 2 de base pour 1 de hauteur. Au-dessus de l'étiage, la partie supérieure de ce talus, dé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fendu par des enrochements de 800 à 2,400 kilogrammes, s'arrête aux environs de la cote $+7^{m},30$, qui est la cote du terre-plein des voies de service.

Le restant des digues intérieures, sur une longueur de 1,100 mètres environ, a été construit en avant de la dune qu'il s'agissait de défendre; il y a ainsi un talus du large et un talus de terre. La crête maçonnée sur $0^{m},40$ à $0^{m},50$ d'épaisseur, d'une largeur de 2 mètres, est arasée à une cote variant entre $+5^{m},15$ et $+7$ mètres; on a réglé le talus de terre généralement à 3 de base pour 2 de hauteur, et le talus du large à 3 de base pour 1 de hauteur. Le noyau est formé par des enrochements de 100 à 150 kilogrammes; le talus du large et la crête sont défendus par des blocs de 1,000 à 2,400 kilogrammes; le talus de terre est défendu par des blocs de 500 à 1,000 kilogrammes.

3° Digue de la Chambrette. — La mer ayant une tendance à former une anse en arrière de l'extrémité Sud des digues intérieures, il a fallu, dès 1876, se préoccuper d'arrêter le recul de la dune littorale ; on a exécuté alors une digue en argile défendue contre les lames par un tapis de fascinages réunis par des clayons; mais, comme l'entretien de cette digue était très onéreux, on a décidé de la remplacer, en 1893, par un ouvrage en enrochements désigné sous le nom de « digue de la Chambrette » (fig. 4), et situé à 300 mètres environ en avant, vers le large.

Cette digue, d'une longueur de 1,230 mètres environ, est constituée par un noyau d'enrochements de 12 à 150 kilogrammes, avec talus du large à 2 de base et 1 de hauteur, et talus de terre à 3 de base pour 2 de hauteur;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

elle a, en couronne, à la cote $+4^{m},70$, une largeur de 3 mètres.

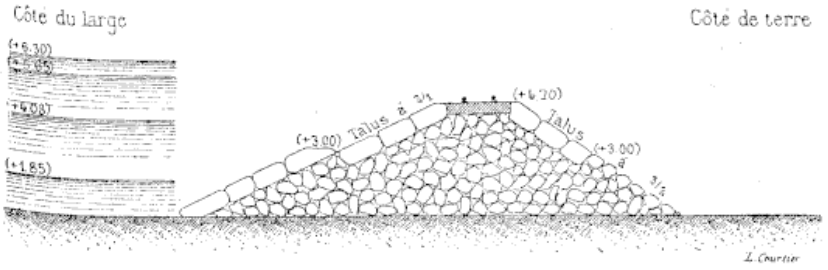


Fig. 114. — Profil type de la digue de la Chambrette.

Les talus du large et de terre depuis la cote + 3 mètres et la crête sont protégés par des blocs de 1,000 à 2,000 kilogrammes; à la cote + 3 mètres, du côté du large, on a établi une risberme de $1^{m},50$ de largeur, constituée par des blocs de 1,000 à 2,000 kilogrammes.

Une voie de 1 mètre, établie sur le couronnement de l'ouvrage et posée sur une partie maçonnée de $0^{m},35$ d'épaisseur et de 2 mètres de largeur, sert à la mise en place des blocs du revêtement et de la risberme.

4° Épi de Barbe-Grise. — Afin de détourner les courants qui longent la pointe de la Chambrette, située au Sud des digues intérieures, on a construit, en 1877, l'épi-jetée de Barbe-Grise, qui a une longueur de 210 mètres environ. Il relie le pied de la dune avec la laisse des basses mers.

Cet ouvrage consiste en un simple épi formant débarcadère pour les embarcations de la rade du Verdon. Il est constitué, à son enracinement, et sur une longueur de 50 mètres environ, par un noyau en argile rapportée de $1^{m},15$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'épaisseur environ, reposant sur le sable de la plage. A son extrémité et sur une longueur de 160 mètres environ, le noyau d'argile est remplacé par un noyau en enrochements.

Les enrochements et l'argile sont défendus par une chemise en maçonnerie de $0^{m},35$ d'épaisseur, avec encastrement dans le sable de la plage, sur 1 mètre de hauteur.

Les talus de cette chemise sont réglés à 45 degrés; ils sont raccordés par une risberme formant couronnement, de 3 mètres de large, partant de la cote $+6^{m},50$, à l'enracinement de l'ouvrage, pour aboutir à la cote $+3$ mètres, à son extrémité.

III. Dépenses. Personnel.

En résumé, les dépenses faites pour l'exécution des travaux de défense de la pointe de Grave se sont élevées, depuis l'année 1839 jusqu'au 1^er^ janvier 1900, à 13 millions 205,788 fr. 16, se décomposant comme il est indiqué dans le tableau ci-contre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION.	1re PÉRIODE. — 10 août 1839 au 6 août 1853.	2e PÉRIODE. — 6 août 1853 au 31 décembre 1861.	3e PÉRIODE. — Janvier 1862 à décembre 1869.	4e PÉRIODE. — Janvier 1870 à 1874.	5e PÉRIODE. — 1875 à 1889.	6e PÉRIODE. — 1890 à 1899.	TOTAUX.
1° *Chantier des Hattes*, comprenant les ouvrages de défense du 1er groupe.....	1,977,570f,13	1,658,728f,97	1,047,022f,74	247,214f,07	296,850f,39	401,926f,63	5,629,312f,93
2° *Chantiers de la Claire et du Fort*, comprenant les ouvrages de défense des 2e et 3e groupes.....	1,383,303,80	614,266,52	1,378,360,56	420,465,78	742,456,94	895,827,06	5,374,040,66
3° Service général et dépenses diverses..	534,372,56	448,004,11	449,716,70	140,320,15	395,030,79	234,450,26	2,201,894,57
TOTAUX.....	3,835,246,49	2,720,999,60	2,875,000,00	808,000,00	1,434,338,12	1,532,203,95	13,205,788,16

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le projet de la digue de la Chambrette, tel qu'il a été approuvé à la date du 3 novembre 1892, a été dressé par M. Crahay de Franchimont, comme ingénieur ordinaire et comme ingénieur en chef.

Les projets de brise-mer entre les épis nos 2 et 7 des Huttes et le brise-mer de la Claire entre la jetée et l'épi no 9, actuellement en cours d'exécution, ont été dressés par M. Kauffmann, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. Soumastre, conducteur, sous la direction de MM. Crahay de Franchimont et Fouquet, ingénieurs en chef.

Les travaux sont exécutés par M. Kauffmann, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. Voisin, ingénieur en chef.

Les conducteurs chargés de la conduite des chantiers sont : MM. Albert, conducteur principal, pour le chantier des Huttes, et Laurentjoye, conducteur, pour le chantier du Fort.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVIII

PORT DE CETTE.

ÉPIS DELLON.

Un cadre de dessins.

Objet des travaux. — Les épis Dellon, tels qu'ils ont été exécutés, faisaient partie d'un ensemble d'ouvrages projetés en 1879 pour la création, au port de Cette, d'une rade et d'une passe ouvertes dans les grands fonds; leur établissement a été déclaré d'utilité publique par la loi du 14 juin 1878, et les travaux de construction ont été exécutés de 1881 à 1895.

Ils ont eu pour objet de protéger les passes d'entrée du port contre les tempêtes du large et d'améliorer les profondeurs de ces passes que les sables de la côte, soulevés par les tempêtes, ou chassés de l'Est à l'Ouest par un courant littoral, tendent sans cesse à diminuer.

De nombreuses études avaient été faites pour réaliser cette double amélioration; parmi les projets présentés comme conséquences de ces études, les uns, ayant surtout pour but de supprimer les dragages d'entretien, barraient la route des sables à l'Est par une jetée enracinée au rivage et reportaient la passe dans les grands fonds par un prolonge-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

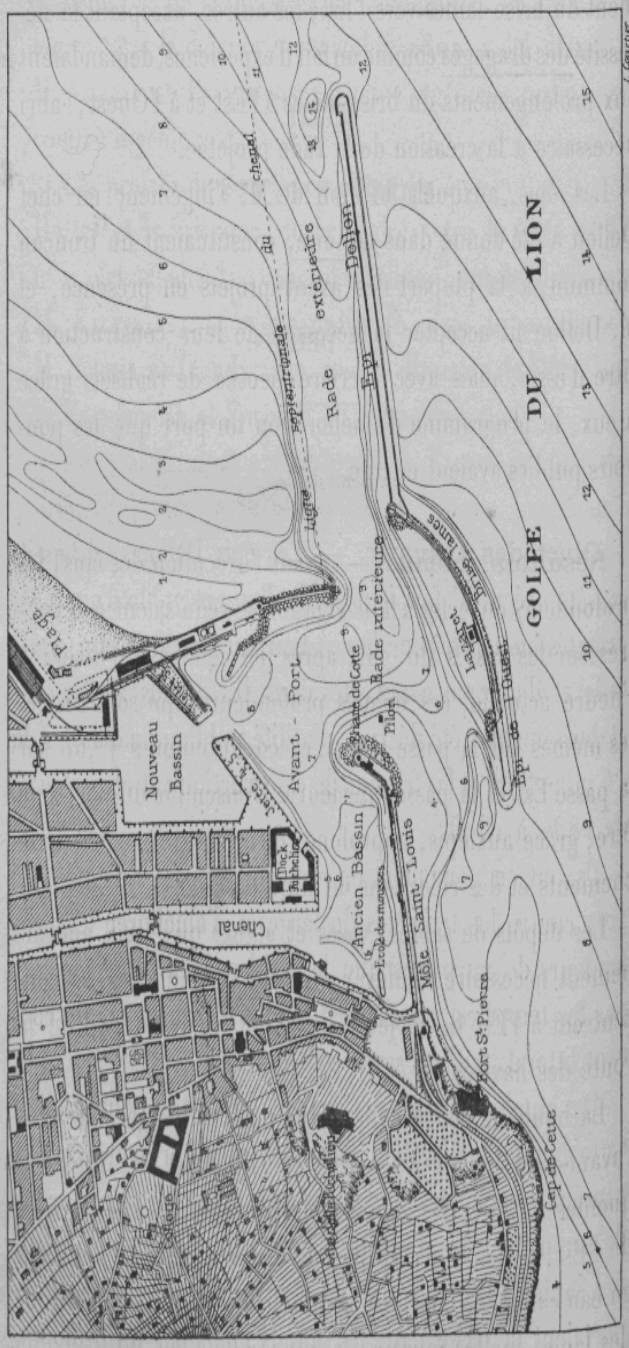


Fig. 115. — Plan du port de Cette.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment du brise-lames vers l'Est; les autres, acceptant la nécessité des dragages comme un fait d'expérience, demandaient aux prolongements du brise-lames à l'Est et à l'Ouest, l'abri nécessaire à la création de la rade projetée.

Les épis, auxquels le nom de M. l'ingénieur en chef Dellon a été donné dans la suite, constituaient un tronçon commun à la plupart des avant-projets en présence, et M. Dellon fit accepter la nécessité de leur construction à titre d'essai, mais avec l'arrière-pensée de réaliser, grâce à eux, le programme d'amélioration du port que les pouvoirs publics avaient en vue.

Résultats obtenus. — Avant l'exécution des épis, les profondeurs ouvertes à la navigation se réduisaient à 6 mètres sur les passes du port après les tempêtes d'hiver; à l'heure actuelle, ces mêmes profondeurs, qui sont restées les mêmes sur la passe Ouest, excèdent toujours $7^{m},50$ sur la passe Est et la passe intérieure. L'ensemble du port a pu être, grâce aux épis, approfondi de 1 mètre par des dérochements et des réfections de murs de quai.

Les dépôts de sables, vases et algues qu'il était anciennement nécessaire d'enlever sur les passes mêmes, se concentrent à l'Est de la jetée de Frontignan, au Sud de la route des navires.

La houle ne pénètre plus d'une manière dangereuse dans l'avant-port et, par les tempêtes du Sud-Est, les plus fréquentes à Cette, les mouvements des navires sur la passe de l'Est, la seule accessible par mauvais temps, s'opèrent en eau calme, et non plus, comme jadis, au milieu du ressac des lames sur les musoirs de la passe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En résumé, les résultats obtenus sont pleinement satisfaisants.

Description des travaux. — Le projet des épis approuvé le 11 juillet 1881 par l'Administration supérieure comprenait l'ouverture de carrières à 3 kilomètres du port de Cette, l'établissement d'un chemin de fer de service pour leur exploitation et la construction des deux jetées de 1,000 mètres de longueur totale.

Le profil-type approuvé était formé d'un massif de blocs artificiels, immergés à pierres perdues s'élevant à 1 mètre au-dessus des basses mers et reposant sur un noyau central d'enrochements dont la crête, arasée à 4 mètres sous basses mers, devait avoir $20^{m},50$ de largeur; les talus étaient constitués, du côté du large, par des blocs et, du côté du port, par des enrochements. Un couronnement en maçonnerie de 13 mètres de largeur et de 5 mètres de hauteur maxima devait compléter le profil. Les enrochements étaient divisés en deux catégories, composées, la première, d'enrochements ayant un poids individuel de 200 à 4,000 kilogrammes; la deuxième, d'enrochements ayant un poids individuel supérieur à 4,000 kilogrammes. Le cube individuel des blocs artificiels (en maçonnerie de chaux du Teil, comme la superstructure) était fixé à 20 mètres cubes.

En exécution, on a supprimé la superstructure et substitué à ce profil celui qui est représenté fig. 116, et qui a permis l'utilisation des moellons et pierrailles, comprenant : les moellons, toutes les pierres d'un poids individuel de 5 à 200 kilogrammes; la pierraille, toutes les pierres d'un poids

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

inférieur à 5 kilogrammes par échantillon. La mise en place des enrochements et celle des blocs immergés à plus de 4 mètres de profondeur ont été faites avec des chalands.

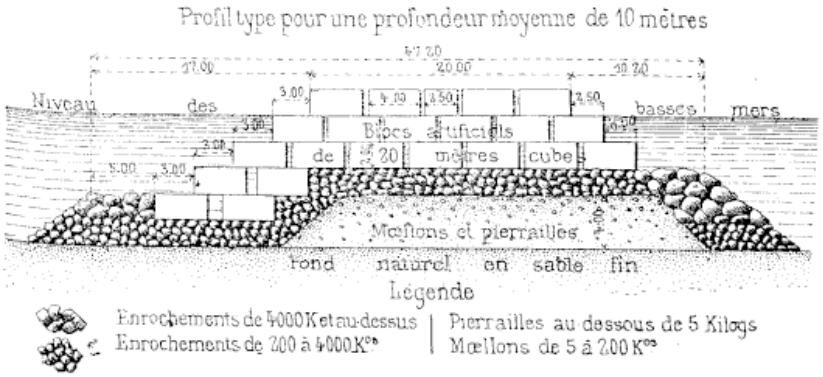


Fig. 116. — Épis Dollon.

Au-dessus de 4 mètres de profondeur, on a utilisé une grue flottante; on a cherché à réaliser un arrimage régulier des blocs; cette dernière opération a pleinement réussi, et la fixité des blocs a été assurée par le remplissage des joints sous l'eau à l'aide de moellons, au-dessus de l'eau à l'aide de massifs de béton ou de maçonnerie.

Exécution des travaux. — L'adjudication des travaux à l'entreprise a eu lieu le 22 novembre 1881 et leur réception provisoire a été faite le 20 avril 1889.

Les carrières ont été ouvertes dans du calcaire oolithique en masses compactes coupées de veines terreuses, dont l'exploitation a nécessité l'usage de la poudre et de la dynamite, et a été faite à l'aide de puits à l'acide et de galeries creusées à bras d'homme. La hauteur maxima du front de carrière a été de 35 mètres, et, au moment de la plus grande

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

activité des travaux, en août 1887, le débit maximum mensuel de l'exploitation a été le suivant :

Pierrailles	882[t]
Moellons d'enrochements	1,469
Enrochements de 1re catégorie	3,764
Enrochements de 2e catégorie	1,661
Moellons pour maçonnerie	8,794
TOTAL	16,570

Le transport a exigé dans la même période l'emploi de 2 locomotives, 50 wagons plate-formes et 106 wagons à caisse. Il s'effectuait à l'aide de voies appartenant à l'entrepreneur, placées par lui sur la plate-forme du chemin de fer de service construit par l'État, plate-forme qui était tracée, en pente continue, des carrières au point d'embarquement.

Les blocs artificiels étaient construits dans deux chantiers distincts, dont l'un était desservi directement par le chemin de fer et dont l'autre nécessitait un transbordement des matériaux par chalands. Les mortiers étaient fabriqués au manège au dosage de 350 kilogrammes de chaux du Teil (fournie par l'État à l'entrepreneur) par mètre cube de sable de la plage de Cette. La durée de séchage des mortiers était fixée à cinq mois.

Ces blocs étaient immergés à la bande à l'aide, de chalands portant trois à quatre blocs dont le déversement était provoqué par l'addition d'eau de mer dans les cales, ou à l'aide d'une grue flottante à vapeur.

Les enrochements de toute nature étaient immergés à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PORT DE CETTE — ÉPI DELLON

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'aide de chalands, et le déplacement à bras d'homme de quelques enrochements assurait leur déversement.

Le maximum d'activité mensuelle des chantiers de construction a atteint les chiffres ci-après :

Nombre de blocs	construits (juin 1884)....	175
	immergés (juin 1884)....	224
Enrochements immergés (août 1883).....		12,470 tonnes.

Dépenses. — Le prix de revient moyen du mètre courant de jetée, applicable à une profondeur d'eau d'environ 10 mètres, a été de 5,750 francs, décomposé comme suit :

I. *Travaux à l'entreprise.*

Enrochements de 2e catégorie (87t,60 à 4f,50).....	394f,20	
Enrochements de 1re catégorie (265t,55 à 3f,50).....	929,42	
Moellons (63t,80 à 2f,50).....	159,50	
Pierrailles (149t,50 à 2f).....	299,00	
Blocs artificiels (nombre $\frac{22}{3}$ à 271f)...	1,987,33	
Immersion de blocs à la bande (nombre $\frac{4}{3}$ à 80f).....	106,66	
Immersion de blocs à la mâture (nombre $\frac{18}{3}$ à 110f).....	660,00	
Maçonnerie de ciment pour remplissage entre les blocs (8mc,6 à 18f).....	154,80	
Moellons et enrochements.....	33,63	
	4,724,54	
Rabais de 14 p. 0/0.....	661,44	
		4,063f,10
A reporter.....		4,063f,10

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Report.....		4,063^{f},10
II. *Travaux sur soumission.*		
Fourniture de chaux (22^{t},6 à 23^{f},50)..	531^{f},10	
Rabais de 1 p. 0/0.....	5 ,31	
		525 ,79
Fourniture de ciment (1^{t},906 à 42^{f}).....		80 ,05
III. *Dépenses accessoires.*		
Indemnité accordée par décision ministérielle pour l'immersion des blocs (nombre $\frac{18}{3}$ à 4^{f},30).....		25,80
Les frais de recherche et d'ouverture de carrières et construction du chemin de fer de service ayant absorbé une somme de 303,485^{f},75; les frais de surveillance et de travaux divers directement applicables à la construction des épis, une somme totale de 743,935^{f},42, l'ensemble représente, par mètre courant de jetée, une dépense de $\frac{1,047,421^{f},17}{1,000}$..		1,047 ,42
TOTAL.....		5,742 ,16

Situation des travaux. — En 1896, un feu permanent élevé sur une tour en maçonnerie et placé à 21 mètres au-dessus du niveau des basses mers a été construit sur le musoir de l'épi Est.

L'expérience acquise depuis l'achèvement des travaux à l'entreprise a fait ressortir la nécessité de renforcer les talus du musoir Est exposé aux tempêtes du Sud-Est et de porter à 30 mètres au moins le cube individuel des blocs de ce musoir. L'arrimage régulier des blocs du talus a été détruit par les tempêtes sur plusieurs points, mais aucun mouve-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment ne s'est produit dans le corps même des jetées, bien qu'elles soient complètement submergées dans les tempêtes. L'entretien est assuré à l'aide de blocs de 20 à 30 mètres en maçonnerie de ciment, au dosage de 500 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable, construits sur les jetées mêmes et immergés par déversement sur le talus après un mois de séchage; ce système est imposé par l'absence de grue flottante au port de Cette.

On a renoncé à la construction de la superstructure prévue au projet, le profil réduit suffisant pour assurer même en forte tempête un calme complet dans la rade extérieure.

Les projets des épis Dellon ont été préparés par MM. Dellon, ingénieur en chef, Delestrac, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. J.-B. Chevalier, conducteur.

Les travaux à l'entreprise ont été exécutés par MM. Dellon, ingénieur en chef, Batard-Razelière, ingénieur ordinaire, et les parachèvements ont été faits par MM. Parlier, ingénieur en chef, Batard-Razelière et Herrmann, ingénieurs ordinaires, avec le concours de MM. J.-B. Chevalier, Donnat et Nougaret, conducteurs.

Les entrepreneurs étaient MM. Dussaud, Rabattu et Borderie et, à dater du 13 septembre 1883, MM. Dussaud et Borderie pour la construction proprement dite, et M. E. Pavin de Lafarge pour les fournitures de chaux et de ciment.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIX

PORT DE MARSEILLE.

TRAVAUX DE CONSTRUCTION DU BASSIN DE LA PINÈDE.

Un panneau de dessins et de photographies.

Dispositions générales du port de Marseille[1]. — Le port de Marseille, qui ne comprenait encore au commencement de ce siècle qu'un seul bassin, le Port-Vieux, a été successivement agrandi vers le Nord par la construction d'autres bassins établis à l'abri d'une digue parallèle à la côte (fig. 117).

Ces bassins sont : le bassin de la Joliette, le bassin du Lazaret, le bassin d'Arenc, le bassin de la Gare maritime et le bassin National.

Il sont séparés entre eux, ainsi que de l'avant-port Sud et de l'avant-port Nord, par des traverses dans lesquelles on a ménagé des passes de communication; les passes des traverses intérieures sont couvertes par des ponts tournants.

Tous ces bassins ont une forme rectangulaire, sauf le bassin d'Arenc qui est situé dans le voisinage du point où la digue extérieure change de direction.

Chaque bassin, sauf celui de la Joliette, comporte, du côté de terre, un ou plusieurs môles enracinés au quai de

[1] Voir *Ports maritimes de la France*, t. VII, deuxième partie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

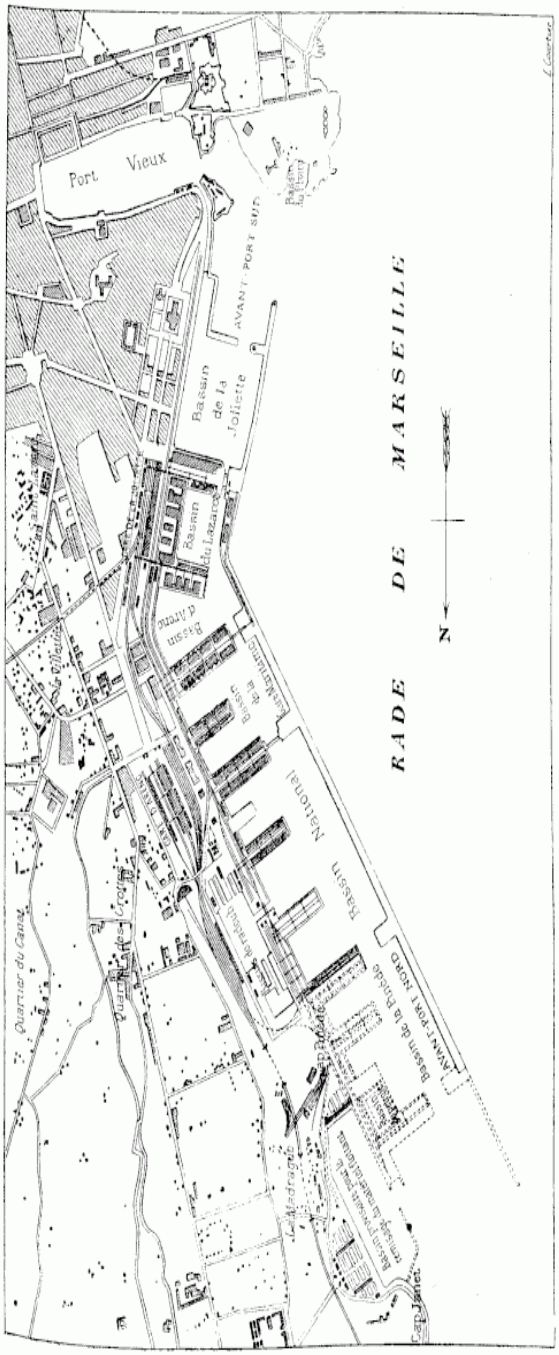


Fig. 117. — Plan du port de Marseille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rive et, du côté du large, un grand espace vide réservé pour les mouvements d'évolution des navires et pour l'appareillage.

Dans le bassin de la Joliette, qui est affecté spécialement aux services postaux, l'encombrement est tel, qu'aucun navire ne peut opérer bord à quai; les navires se placent perpendiculairement aux quais et débarquent ou embarquent leurs marchandises par l'intermédiaires d'allèges.

Dans les autres bassins, les navires opèrent généralement bord à quai, soit le long du quai de rive ou du quai du large, soit le long des quais des môles et traverses. Les navires de commerce désarmés ou en relâche, ainsi que ceux qui n'ont à prendre ou à laisser que des passagers ou qui attendent une place à quai, et les navires de guerre sont mouillés au milieu des espaces d'eau compris entre les môles, ou bien en tête des môles, ou enfin parallèlement à la digue extérieure, dans le bassin National, sur une ligne de coffres d'amarrage, disposés à une certaine distance de cette digue.

Le quai de rive, ainsi que tous les môles et traverses et une partie du quai du large, sont reliés aux gares par des voies ferrées et sont desservis par un outillage hydraulique très complet. La plupart des môles et traverses sont pourvus en outre de hangars pour le dépôt des marchandises.

La profondeur, le long du quai de rive, est de 6 à 7 mètres[1]; elle va en croissant régulièrement jusqu'au quai du

[1] Toutes les profondeurs indiquées dans la présente notice sont rapportées au niveau de la basse mer qui correspond au zéro de l'échelle du fort Saint-Jean à Marseille; le niveau de la basse mer se trouve à 0m, 33 environ au-dessous du niveau moyen de la mer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

large, où elle atteint 10 mètres dans les bassins de la Joliette, du Lazaret, d'Arenc et de la Gare maritime, et jusqu'à 18 mètres dans le bassin National; mais la profondeur au pied même des quais fait malheureusement défaut; les fondations des murs de quai n'ont pas été descendues en général au-dessous de 5 mètres dans le bassin de la Joliette, de 6 mètres dans les bassins du Lazaret, d'Arenc et de la Gare maritime, et de 7 mètres dans le bassin National; il n'existe actuellement dans l'intérieur des bassins que deux places à quai accostables à des navires de 8 mètres de tirant d'eau.

Utilité d'agrandir le port. — Les chiffres suivants donnent une idée du rapide accroissement du mouvement de la navigation dans le port de Marseille depuis le commencement du siècle :

ANNÉES.	ENTRÉES ET SORTIES RÉUNIES.		OBSERVATIONS.
	NOMBRE de navires.	TONNAGE de jauge net.	
1820.....	//	742,781	Les agrandissements du port ont été décidés au fur et à mesure du développement de son trafic, savoir :
1840.....	13,380	1,374,067	Le bassin de la Joliette, par une loi du 5 août 1844;
1860.....	16,910	2,759,652	Les bassins du Lazaret et d'Arenc, par une loi du 10 juin 1854;
1870.....	18,153	4,372,687	Le bassin de la Gare maritime, par un décret du 24 août 1859;
1880.....	19,615	7,235,174	Le bassin National, par un décret du 29 août 1863 et une loi du 5 août 1874;
1890.....	18,074	9,918,190	Les bassins de radoub, par des décrets des 29 août 1863, 17 novembre 1865 et 17 mai 1884;
1898.....	16,781	12,074,132	Enfin l'achèvement de l'avant-port Nord, par une loi du 27 juillet 1880.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'importance du trafic en marchandises s'est développée d'une manière analogue. En 1898, la quantité totale de marchandises embarquées et débarquées dans le port s'est élevée à 6,274,752 tonnes.

Pour faire face à ce mouvement maritime et commercial, le port de Marseille dispose d'une longueur totale de quais de 17,030 mètres[1], dont 12,220 mètres seulement susceptibles d'être régulièrement utilisés pour les navires en opérations et 4,810 mètres affectés aux navires en réparation, en démolition ou désarmés, aux bateaux de pêche ou de plaisance, aux embarcations de servitude (chattes, mahonnes, grues flottantes, remorqueurs); cette dernière longueur comprend également les quais des passes et les quais insuffisamment abrités, tels que le quai Nord de la traverse de la Pinède situé dans l'avant-port Nord.

L'utilisation commerciale des quais est extrêmement variable d'un point à un autre, suivant la situation de chaque quai, sa destination et l'outillage dont il est pourvu; alors que la longueur générale d'utilisation des quais correspond, pour 1898, à 460 tonnes de marchandises par mètre courant de quai et par an, ce qui est déjà un chiffre élevé, certains quais dont l'exploitation est particulièrement intensive font face à un trafic encore plus considérable; on peut citer, comme exemples, les quais du bassin du Lazaret et d'Arenc concédés à la Compagnie des Docks et Entrepôts de Marseille, pour lesquels le coefficient d'utilisation atteint 700 tonnes, et le quai de rive du bassin de la Joliette pour

[1] Les quais du canal des Douanes, dont la longueur totale est de 994 mètres, ne sont pas comptés dans ce développement; leur trafic est d'ailleurs insignifiant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lequel il atteint 900 tonnes; ce dernier chiffre a même été dépassé antérieurement à 1898. De pareils résultats, que l'on ne peut obtenir qu'au détriment de la commodité et de l'économie des opérations de manutention des marchandises, montrent que le port de Marseille manque de quais; il arrive parfois, d'ailleurs, que des navires sont obligés d'attendre pendant plusieurs jours une place à quai.

La surface d'eau fait également défaut à raison du nombre toujours croissant des navires en réparation, en démolition ou désarmés et des embarcations de servitude nécessaires à l'exploitation du port.

C'est pour remédier à cette insuffisance qu'une loi du 17 juillet 1893 a autorisé une dépense de 20 millions de francs pour la construction d'un nouveau bassin, dit «bassin de la Pinède», au Nord du bassin National. Les travaux ont été commencés en mai 1897.

Description du bassin de la Pinède. — Le bassin de la Pinède aura la forme d'un rectangle de 600 mètres de longueur sur 500 mètres de largeur, limité : au Sud, par la traverse de la Pinède; au Nord, par une nouvelle traverse, dite «la Madrague», qui sera établie parallèlement à la première; à l'Ouest, par la partie de la digue extérieure qui abrite aujourd'hui l'avant-port, et enfin à l'Est, par un quai de rive dont l'arête sera établie à 15 mètres en avant de la direction prolongée du quai de rive parallèlement à cette direction (fig. 118).

Une passe de 100 mètres de largeur sera ménagée dans la traverse de la Madrague en face de celle de la Pinède.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

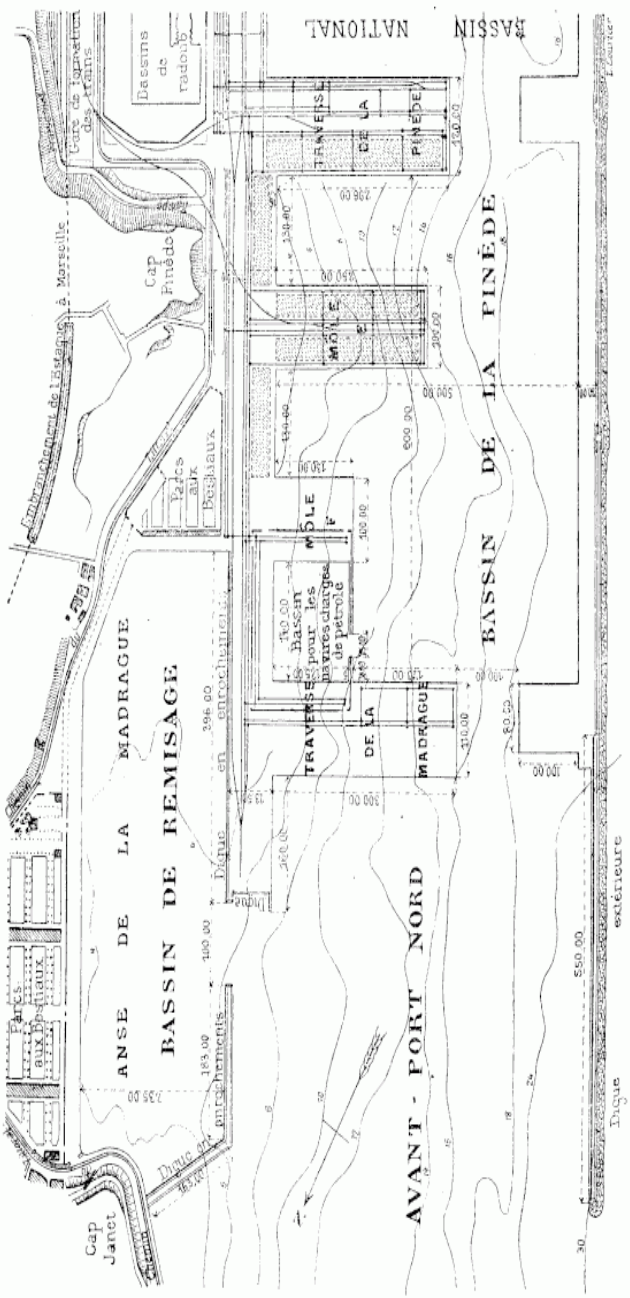


Fig. 118. — Bassin de la Pinède.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La digue extérieure sera prolongée de 550 mètres, de façon à former un nouvel avant-port.

C'est à dessein que l'on n'a donné au nouveau bassin qu'une longueur de 600 mètres. Le bassin National a une longueur plus grande, 925 mètres, mais le vent de Nord-Ouest ou mistral, qui souffle très fréquemment et avec une grande violence, y soulève une agitation telle, que le bassin devient impraticable aux embarcations et que, dans beaucoup de cas, il est très difficile d'accoster les navires qui sont au mouillage en avant du quai du large.

Le quai de rive doit être établi à 15 mètres en avant de la direction prolongée du quai de rive du bassin National, afin de réduire l'importance des travaux de dérochement à exécuter pour la construction des fondations du mur et pour l'approfondissement au pied de cet ouvrage.

La position de la passe d'entrée a été choisie de telle sorte qu'entre la route suivie par les navires et le quai du large, il reste un espace suffisant pour que les navires puissent stationner le long de ce quai sans crainte d'être abordés. Avec la longueur de 100 mètres donnée à la branche occidentale de la traverse de la Madrague, l'espace libre sera même assez grand pour qu'on puisse placer une file supplémentaire de navires au mouillage, ainsi que cela se pratique dans le bassin National.

Dans l'intérieur du bassin, du côté de la rive, il sera construit deux môles E et F, ayant tous les deux 100 mètres de largeur et, comme longueur, le premier 250 mètres, le second 130 mètres.

La traverse de la Madrague aura 110 mètres de largeur et 300 mètres de longueur pour la branche de l'Est, 80 mè-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tres de largeur et 100 mètres de longueur pour la branche de l'Ouest.

Les intervalles libres entre les môles et traverses auront les largeurs suivantes :

Entre la traverse de la Pinède et le môle E.....	130m
Entre le môle E et le môle F.....	130
Entre le môle F et la traverse de la Madrague....	140

La darse comprise entre le môle F et la traverse de la Madrague sera aménagée en vue de recevoir les navires chargés de pétrole. A cet effet, elle sera fermée, du côté du large, par un mur à travers lequel on laissera une passe de 25 mètres de largeur; cette passe pourra être barrée à volonté au moyen d'une porte flottante.

La longueur du môle E a été déterminée par la condition de laisser un certain espace libre entre la tête du môle et la route suivie par les navires qui entrent ou qui sortent; cet espace aura une largeur de 45 mètres, ce qui permettra de faire accoster, au besoin, un navire le long du quai formant la tête du môle, sans inconvénient pour sa sécurité.

La longueur du môle F a été limitée à 130 mètres, afin de ménager à l'entrée du bassin, au débouché même de la passe, un large espace pour l'évitage des navires entrant vent arrière; cet espace présente la forme d'un carré de 370 mètres de côté. Quand un nouveau bassin aura été établi au Nord du bassin de la Pinède, la zone d'évitage sera reportée dans le nouveau bassin et le môle F pourra être prolongé jusqu'à l'alignement de la tête du môle E.

Les môles et traverses seront aménagés comme ceux du bassin de la Gare maritime et du bassin National, à l'excep-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion, bien entendu, des quais qui entoureront le bassin à pétrole.

La largeur de 100 mètres du môle E pourra être divisée ainsi qu'il suit :

Le long de chaque quai, un espace libre de 8 mètres sur lequel on posera une voie de chemin de fer et une voie de grues	16m
A la suite, de chaque côté du môle, une zone de 30 mètres de largeur pour le dépôt des marchandises ou un hangar de 29 mètres de largeur intérieure	60
Le long de chaque zone ou de chaque hangar, deux voies ferrées avec accotement	17
Une voie charretière centrale	7
TOTAL	100

Sur la traverse de la Madrague, la largeur de la zone affectée au dépôt des marchandises ou celle du hangar pourra être portée à 35 mètres, et, sur la traverse de la Pinède, à 38 mètres, avec voie charretière centrale de 11 mètres de largeur dans ce dernier cas, en prévision du pont tournant qui sera établi plus tard pour franchir la passe de la Pinède.

On disposera, pour le terre-plein, d'une partie du quai de rive, d'une largeur totale de 115 mètres; mais le quai proprement dit, y compris les voies ferrées d'opérations et de circulation, n'occupera qu'une largeur d'environ 70 mètres; le reste de la largeur sera utilisé pour des voies de remisage, pour des magasins ou entrepôts et pour une voie de circulation urbaine avec tramway, qui existe déjà.

Les voies ferrées du quai de rive seront reliées à celles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des môles et traverses au moyen d'aiguilles et de plaques tournantes.

Les fondations des murs de quai seront descendues à 9 mètres au moins de profondeur et l'on exécutera les travaux de dragages et de dérochements nécessaires pour qu'il n'y ait nulle part, dans le bassin, moins de $8^{m},50$ de profondeur.

Les murs qui bordent le quai Nord de la Pinède et le quai du large et dont les fondations ont été établies à 8 mètres de profondeur ne sont pas modifiés.

Le développement total des quais intérieurs du bassin de la Pinède, tous utilisables pour les opérations d'embarquement et débarquement, s'élèvera à 2,780 mètres, dont 1,940 mètres de côté de rive, y compris la tête des môles, et 840 mètres du côté du large.

Le quai Nord de la traverse de la Madrague, et la partie du quai de rive située au Nord de cette traverse, dans le nouvel avant-port, ne seront pas utilisables faute d'abri.

Enfin, en même temps que le bassin de la Pinède, on exécutera, dans l'anse de la Madrague, un bassin de remisage pour les navires désarmés ou en démolition et pour une partie du matériel flottant qui encombre le port actuellement. Ce bassin sera constitué par le prolongement du quai de rive du bassin de la Pinède, et par une jetée établie suivant la même direction jusqu'au cap Janet; on y accédera par une passe de 100 mètres de largeur, ménagée entre l'extrémité du quai de rive et l'origine de la jetée.

La dépense de 20 millions de francs, autorisée par la loi du 17 juillet 1893, s'applique à tous les travaux que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'on vient d'indiquer, à l'exception de l'outillage des quais : hangars, grues et voies ferrées ; d'autre part, ne se trouve comprise dans ladite dépense que celle relative à l'établissement du noyau du prolongement de la digue extérieure; la construction du mur d'abri et du quai correspondant feront l'objet d'une autre loi.

Exécution des travaux. — Les deux principales entreprises actuellement en cours pour la construction du bassin de la Pinède sont: l'entreprise des travaux d'enrochements et l'entreprise des travaux de fondation des murs de quai et d'approfondissement du bassin.

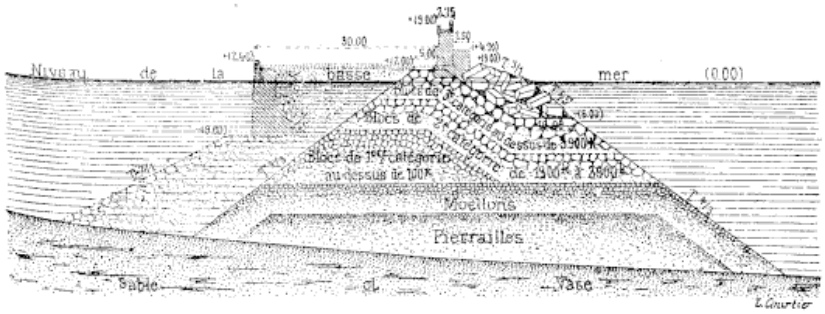


Fig. 119. — Profil de la digue extérieure.

La première entreprise a pour objet la construction du noyau du prolongement de la digue extérieure, des digues sous-marines pour fondation de murs de quai et de la digue du bassin de remisage. Ces travaux ne présentent rien de particulier à signaler; les matériaux sont extraits de carrières nouvellement ouvertes au quartier de l'Estaque, au Nord de Marseille, et sont embarqués sur chalands dans un port spécialement créé à cet effet dans le voisinage des carrières. Le prolongement de la digue extérieure est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

exécuté par des fonds de 25 à 35 mètres, suivant un profil en travers, analogue à celui qui a été antérieurement appliqué (fig. 119, p. 461).

La seconde entreprise met au contraire en œuvre, pour l'établissement de la fondation des murs de quai, des procédés spéciaux sur lesquels il paraît intéressant de fournir quelques détails, bien qu'ils ne constituent pas une innovation, si ce n'est par l'économie que leur emploi en grand a permis de réaliser.

Description des procédés employés pour la fondation des murs de quai. — La fondation des murs de quai est établie sur le terrain résistant (poudingue, grès ou argile dure), tant que ce terrain est rencontré au-dessus de la cote — 12 mètres. Le profil-type que l'on applique est représenté dans ce cas par les figures 120 et 121, suivant que le terrain résistant se trouve au-dessous ou au-dessus de la cote — 9 mètres; lorsque la fondation repose sur de l'argile, la maçonnerie y est encastrée sur 3 mètres environ de largeur, comme l'indique la figure 120. La galerie ménagée dans la partie hors d'eau des murs est destinée à recevoir les canalisations d'eau comprimée, d'électricité, etc., nécessaires à l'exploitation des quais.

Lorsque le terrain résistant ne se trouve qu'au-dessous de la cote — 12 mètres, on drague jusqu'à cette cote partout où le fond du bassin, qui est formé de vase, de sable et d'algues pourries, n'y descend pas naturellement, puis l'on construit une digue en enrochements, arasée à la cote — 9 mètres, et ayant à ce niveau $12^{m},50$ de largeur; c'est sur cette digue, qui remplace le terrain résistant, que l'on élève

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

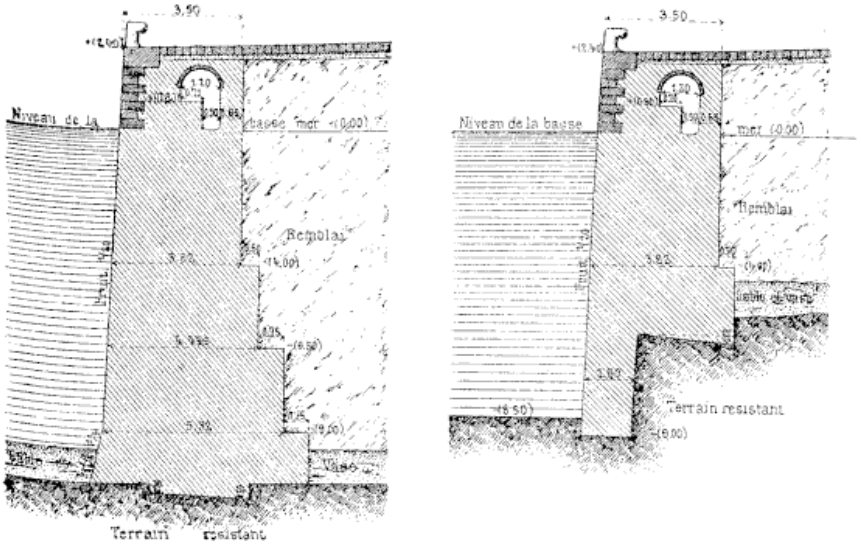


Fig. 120 et 121.
Profils-types des murs de quai pour les profondeurs inférieures à 12 mètres.

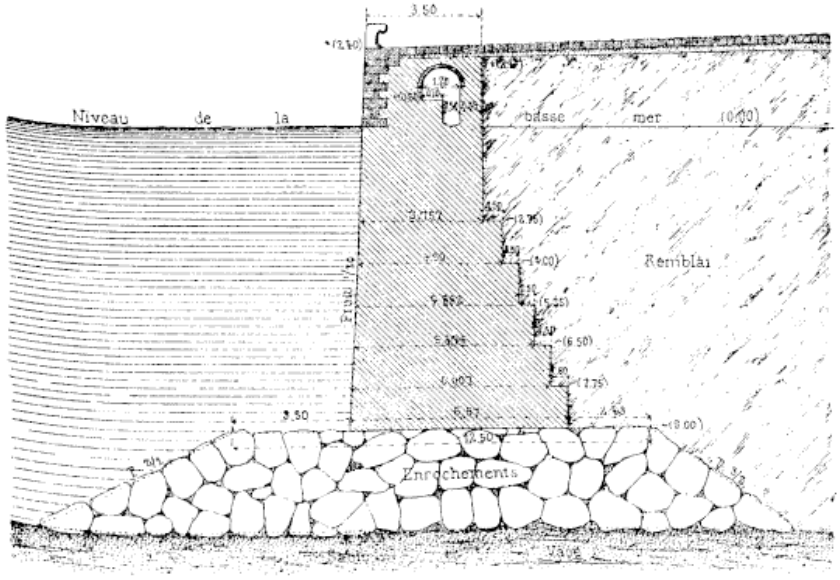


Fig. 122.
Profil-type des murs de quai pour les profondeurs supérieures à 12 mètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ensuite la fondation des murs, en appliquant le profil type indiqué par la figure 122, p. 463.

Au-dessous de la cote — 1m,50, la maçonnerie des murs est exécutée, au moyen de l'air comprimé, à l'intérieur de grands caissons métalliques fonctionnant à la manière de cloches à plongeur. Entre les cotes — 1m,50 et + 0m,50, elle est exécutée à l'air libre, au moyen d'épuisements, à l'intérieur d'un grand caisson métallique sans fond formant batardeau. Au-dessus de la cote + 0m,50, la maçonnerie n'est plus considérée comme faisant partie de la fondation; elle est exécutée hors d'eau dans les conditions ordinaires.

Les murs sont construits entièrement en maçonnerie ordinaire, sauf un couronnement en pierre de taille et un parement en moellons piqués entre le niveau de la basse mer et le dessous du couronnement; le mortier employé est dosé à raison de 350 kilogrammes de chaux Lafarge du Teil par mètre cube de sable de mer; il est fabriqué au manège. On n'emploie le mortier de ciment qu'à titre exceptionnel.

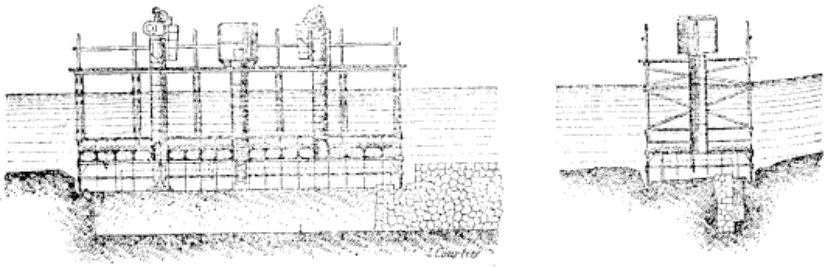
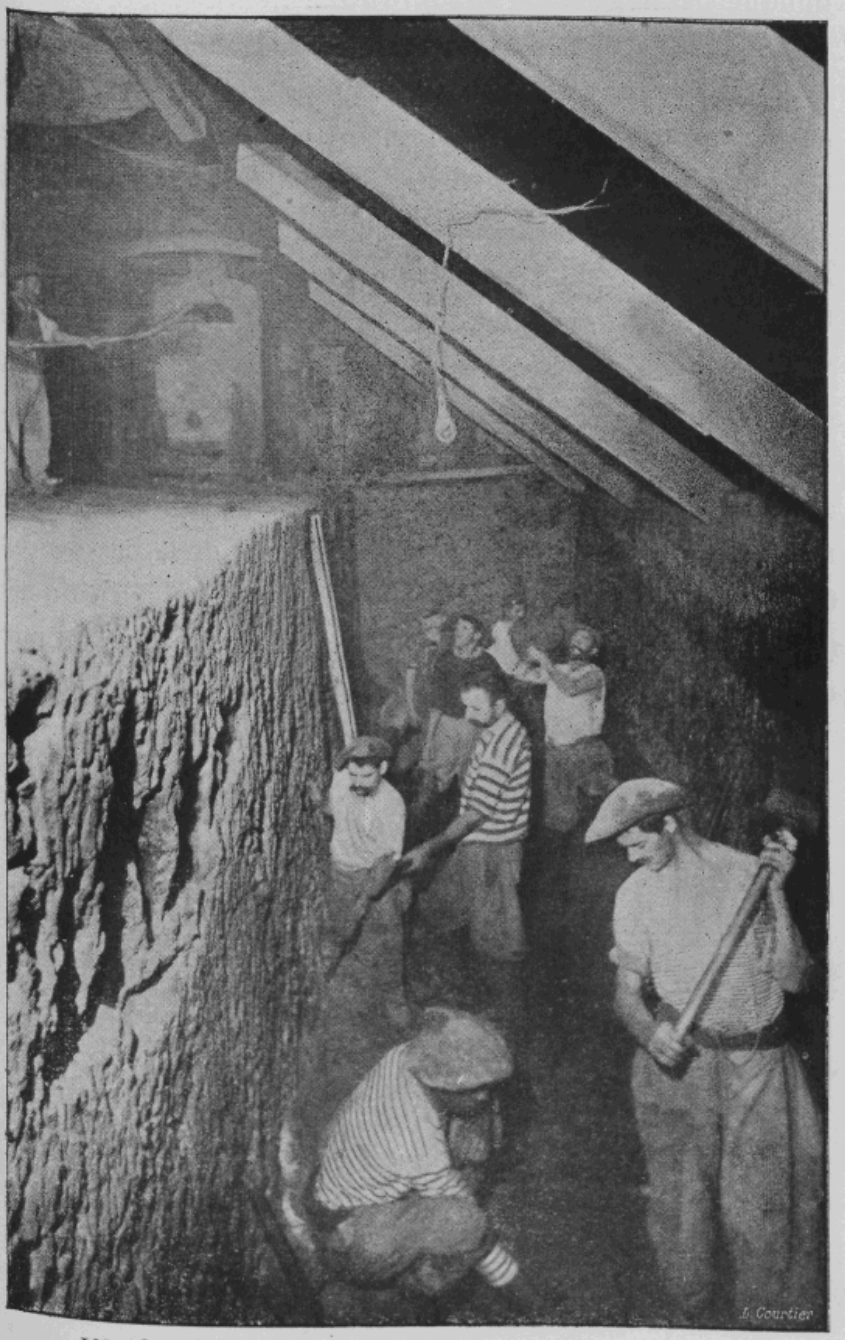


Fig. 123. — Caisson à air comprimé.

Cinq caissons sont affectés à l'exécution de la maçonnerie à l'air comprimé; ces caissons sont amovibles et le travail s'effectue de manière à obtenir un massif continu, sans aucune interposition de métal à l'intérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



INTÉRIEUR DU CAISSON A AIR COMPRIMÉ

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quatre de ces caissons sont identiques comme dispositions (fig. 123); la hauteur intérieure de la chambre de travail est uniformément de 2 mètres; mais ses dimensions en plan varient d'un caisson à l'autre : la plus grande chambre a $20^{m},20$ de longueur sur $6^{m},67$ de largeur; la plus petite 18 mètres de longueur sur $5^{m},40$ de largeur. Au-dessus du plafond de la chambre de travail se trouve une caisse ayant les mêmes dimensions que la chambre et dans laquelle on dispose le lest nécessaire; ce lest est formé, en partie, par une couche de maçonnerie ou de béton, et, en partie, par des gueuses de fonte. Du plafond de la chambre de travail s'élèvent, d'autre part, trois cheminées verticales placées sur l'axe longitudinal du caisson et surmontées chacune d'une écluse qui dépasse le niveau de l'eau. La cheminée du milieu sert au personnel; son diamètre, suivant les cas, est de $0^{m},70$ ou de $1^{m},05$; l'écluse d'accès forme une chambre cylindrique de $2^{m},50$ de diamètre. Les deux autres cheminées servent pour la montée des déblais ou la descente des matériaux; elles ont $1^{m},05$ de diamètre ainsi que les écluses correspondantes; pour le fonctionnement, en quelque sorte automatique, de ces dernières écluses, la benne est adaptée au-dessus d'un plateau qui forme tampon à l'orifice supérieur de la cheminée, quand la benne se trouve à bout de course; la manœuvre des robinets se fait de l'extérieur; la montée de la benne s'opère au moyen d'un treuil actionné par un moteur électrique, et la descente au moyen d'un frein (fig. 124). Les diverses cheminées sont formées de viroles en tôle qui sont boulonnées bout à bout, et dont le nombre varie suivant la profondeur à laquelle on travaille. L'air comprimé est amené par une conduite qui débouche au sommet de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cheminée centrale, immédiatement au-dessous du plancher de l'écluse. La chambre de travail est éclairée à l'électricité. L'air comprimé est envoyé d'une usine centrale placée à terre par une conduite qui longe le quai de rive et de laquelle partent des branchements en tuyaux flexibles, qui sont supportés jusqu'aux divers caissons par des poteaux

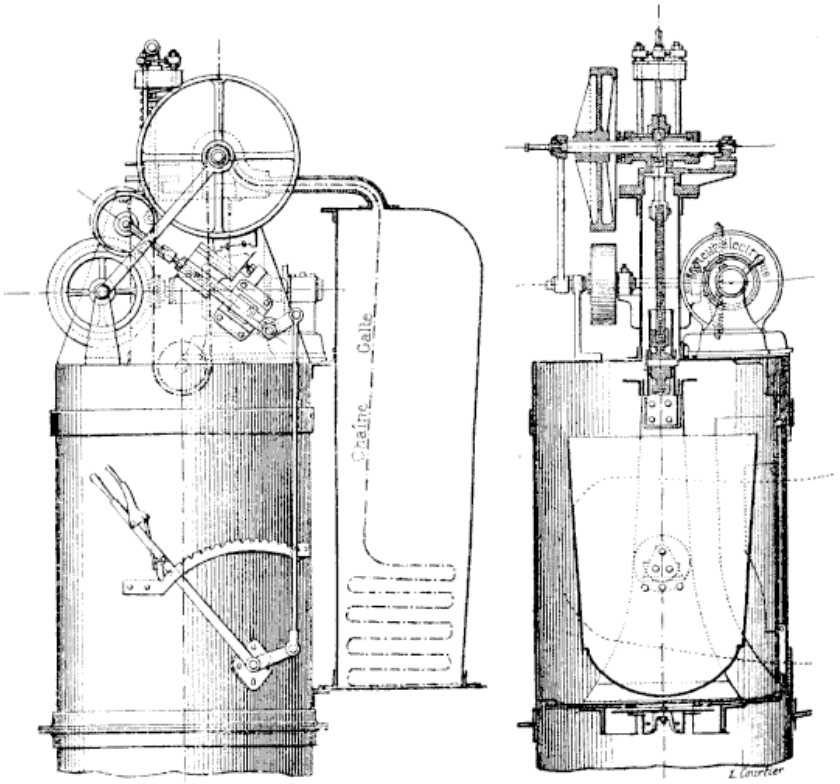


Fig. 124. — Élévation et coupe d'une écluse d'accès du caisson.

posés de distance en distance. Les canalisations électriques suivent le même chemin. Enfin un plancher en bois, supporté par une charpente s'appuyant sur le plafond de la chambre de travail, est établi à la hauteur des écluses, à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

INTÉRIEUR DU CAISSON A AIR COMPRIMÉ

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1m,50 environ au-dessus de l'eau pour le service de chaque caisson.

Le poids total d'un caisson est, en moyenne, de 410 tonnes, y compris 350 tonnes de lest; ce poids se réduit à 290 tonnes quand le caisson est immergé, en raison du volume d'eau déplacé par ses différentes parties, et à 30 tonnes quand le caisson est échoué et que la chambre de travail est remplie d'air.

L'emploi des caissons, du type ci-dessus décrit, consiste dans la série des opérations suivantes. Après avoir enlevé à la drague le terrain meuble qui recouvre le terrain résistant, on amène le caisson en place, suspendu entre deux bateaux rendus solidaires par une charpente qui forme pont au-dessus du caisson (on appelle « batterie » l'ensemble des deux bateaux et de la charpente formant pont). La manœuvre de déplacement s'effectue avec la chambre de travail remplie d'air. On le descend ensuite au moyen de vérins auxquels sont accrochées les tiges de suspension. Aussitôt que le caisson repose sur le sol, on décroche les tiges qui le soutenaient et l'on dégage la batterie. On relie alors la chambre de travail avec la conduite générale d'air comprimé et l'on exécute les déblais nécessaires pour nettoyer et niveler le terrain sur lequel doit reposer la fondation. Quand le terrain est très inégal, cette opération se fait pendant que le caisson est encore suspendu. Une fois le terrain préparé, on exécute dans la chambre de travail un bloc de maçonnerie de 1m,20 à 1m,25 de hauteur, ayant comme largeur la dimension correspondante à l'épaisseur de la fondation à la base du mur, et comme longueur celle du caisson, déduction faite d'un certain jeu à chaque extrémité. Après l'achèvement du bloc en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

maçonnerie, on ramène la batterie au-dessus du caisson, on accroche les tiges de suspension, et l'on soulève le caisson pour aller l'échouer dans une autre position, à la suite et le plus près possible du bloc exécuté. La même série d'opérations recommence pour construire un second bloc identique au précédent. Ainsi de suite, sur toute la longueur du mur; on établit de la sorte une première assise de maçonnerie, sauf les intervalles vides d'environ 1 mètre laissés entre les blocs.

Un autre caisson, qui suit le premier à distance, sert à construire la seconde assise et à remplir en même temps les vides de l'assise précédente. Ce caisson est échoué à cheval sur deux blocs consécutifs, de manière à reposer sur leur face supérieure par les tranchants de ses parois extrêmes et dans des rainures transversales de $0^{m},25$ environ de profondeur, ménagées à dessein sur cette face; cette dernière précaution a pour but de permettre d'abaisser le plan d'eau, dans la chambre de travail, un peu en contre-bas du dessus des blocs de la première assise. Un scaphandrier établit alors sous l'eau une murette en briques et ciment à prise rapide à chaque extrémité du vide laissé entre les blocs de la première assise et sur toute la hauteur de cette assise. On épuise la cuvette ainsi constituée, et, après l'avoir mise à sec, on la remplit de maçonnerie. Le bloc de la seconde assise est ensuite exécuté comme l'un quelconque des blocs de la première assise.

Le cinquième caisson peut flotter ou s'échouer par ses propres moyens (fig. 125). Les dimensions de la chambre de travail sont: hauteur 2 mètres, longueur 18 mètres, largeur 9 mètres; au-dessus de cette chambre en existe une seconde

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dite « chambre d'équilibre », qui présente en plan les mêmes dimensions, mais dont la hauteur atteint $2^{m},50$. Un lest en gueuses de fonte est disposé entre les contre-fiches de la chambre de travail; ce lest est complété par un lest en

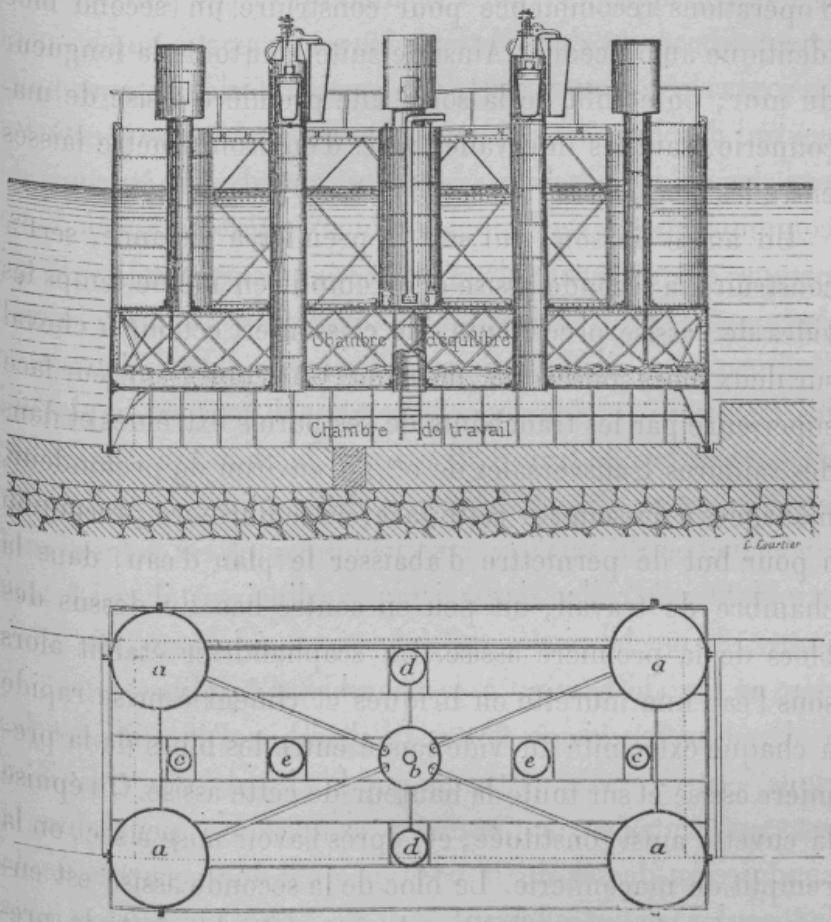


Fig. 125. — Caisson à air comprimé.

béton reposant sur le plancher de la chambre d'équilibre et recouvert lui-même par un lest en gueuses de fonte dont l'importance varie avec la profondeur à laquelle le caisson est appelé à fonctionner. Au moyen d'un simple jeu de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

robinets, on peut, à volonté, remplir la chambre d'équilibre d'air comprimé ou d'eau. Au-dessus des quatre angles de cette chambre, mais sans communication avec elle, s'élèvent, jusqu'au-dessus de l'eau, quatre cheminées de 3 mètres de diamètre, appelées « puits régulateurs »; ces puits débouchent librement dans l'atmosphère à la partie supérieure; ils sont reliés, d'autre part, à la partie inférieure, à un puits central de plus petit diamètre, par des conduites terminées par des robinets-vannes; le puits central peut être mis en communication avec la mer, ou bien épuisé au moyen d'une pompe, ce qui permet d'opérer le remplissage ou la vidange des quatre puits régulateurs, ensemble ou séparément. Enfin, quatre cheminées verticales avec écluses, deux pour les matériaux, et deux pour le personnel, partent du plafond de la chambre de travail, traversent la chambre d'équilibre et s'élèvent au-dessus du niveau de l'eau jusqu'à la hauteur du plancher de service; ces cheminées et ces écluses sont semblables à celles des caissons ordinaires; il existe, en outre, deux cheminées spéciales, avec écluses, pour accéder, en cas de besoin, à la chambre d'équilibre.

Lorsque le caisson flotte, la chambre d'équilibre et les puits sont vides d'eau, tandis que la chambre de travail en est, au contraire, entièrement remplie; on peut alors le conduire au-dessus de la position qu'il doit occuper; on le fait couler en introduisant de l'eau dans les quatre puits régulateurs; dès qu'il porte bien sur le sol, on envoie de l'air dans la chambre de travail, pendant qu'on laisse entrer de l'eau en quantité à peu près équivalente dans la chambre d'équilibre, afin de ne changer sensiblement ni le poids ni les conditions de stabilité du caisson; une fois la chambre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de travail remplie d'air et la chambre d'équilibre remplie d'eau, on peut travailler à l'intérieur du caisson en toute sécurité. Pour relever le caisson en vue de son déplacement, on exécute la même série d'opérations, mais en sens inverse.

Pendant les manœuvres de déplacement, le caisson est accompagné d'un chaland qui porte un compresseur d'air et une pompe centrifuge actionnés par la vapeur; dès que le caisson est échoué, le chaland est retiré, et la conduite d'air comprimé est reliée à l'usine centrale.

Ce dernier caisson, plus large que les autres, sert généralement à exécuter les assises inférieures de la fondation; mais son emploi exige un terrain assez bien nivelé au préalable; on ne peut pas, en effet, opérer ce nivellement dans l'intérieur du caisson, comme dans les caissons suspendus, parce qu'il est impossible d'envoyer de l'air comprimé dans la chambre de travail tant que le caisson n'est pas échoué sur tout son pourtour; on peut admettre à la rigueur, d'un côté à l'autre du caisson, une dénivellation atteignant 1 mètre, quitte à en faire disparaître rapidement la cause après avoir envoyé de l'air dans la chambre de travail; au delà de cette limite, l'échouement du caisson serait dangereux, et l'on préfère compléter, au moyen de la drague ou d'un autre caisson, la préparation du sol.

Le caisson flottant est disposé pour travailler à diverses profondeurs; il suffit, pour cela, d'ajouter ou d'enlever une ou plusieurs viroles aux cheminées et aux puits et de modifier l'importance du lest; la profondeur maxima à laquelle on pourrait descendre est de 16 mètres; dans ces conditions, le poids total du caisson, y compris un lest de 390 ton-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nes en maçonnerie et en gueuses de fonte, atteindrait 577 tonnes; mais, quand le caisson serait échoué, la pression qu'il exercerait sur le sol, la chambre d'équilibre et les puits régulateurs étant remplis d'eau et la chambre de travail remplie d'air, ne dépasserait pas 126 tonnes. Dans le cas de dispositions prises pour travailler à 9 mètres de profondeur, le poids total du caisson n'atteint plus que 464 tonnes et la pression exercée sur le sol, en fonctionnement, se réduit à 83 tonnes.

Généralement, on n'exécute pas de déblais à l'intérieur des caissons, sauf ceux qui sont nécessaires pour préparer l'assiette de la fondation; dans quelques cas cependant, on a pu descendre à 2 mètres environ en contre-bas de la position initiale de la chambre de travail; il serait imprudent de descendre plus bas, parce qu'on risquerait de ne plus pouvoir dégager le caisson.

Si un caisson se trouve à une distance de la rive n'excédant pas une dizaine de mètres, on établit une passerelle qui relie le plancher du caisson à la rive et qui sert à approcher les moellons, ainsi que le mortier préparé à terre; mais s'il se trouve plus éloigné, comme c'est le cas le plus habituel, on amarre d'un côté un chaland chargé de moellons et de l'autre un chaland chargé de sable et de chaux, sur lequel est installé un manège à mortier; ce manège est actionné par un moteur électrique relié, comme les moteurs des bennes, à la canalisation générale.

Lorsque le terrain résistant est rencontré au-dessus du plafond du bassin, ce qui a lieu tout le long et dans le voisinage du quai de rive, la fondation des murs n'est établie sur toute son épaisseur qu'au-dessus dudit terrain; à la par-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tie inférieure, on se borne à exécuter, comme l'indique la figure 121, un revêtement de $1^{m},50$ d'épaisseur. La construction de ce revêtement est opérée dans les conditions ci-après, en profitant de ce que le terrain est d'une imperméabilité presque complète : le caisson se trouvant dans la position indiquée par la figure 123, on creuse, à l'intérieur de la chambre de travail, en contre-bas du couteau du caisson et sur l'emplacement du revêtement, une fouille qui est descendue jusqu'à la cote — 9 mètres; on épuise, au besoin, cette fouille, si quelques filtrations y amènent de l'eau; on maçonne le revêtement et on travaille ensuite dans la chambre de travail dans les conditions ordinaires. Afin de pouvoir exécuter le revêtement sans solution de continuité, on a soin de donner à la partie de revêtement qui correspond à chaque position de caisson une plus grande longueur qu'au bloc construit dans le caisson. Le caisson étant échoué dans la position suivante, la partie de revêtement précédemment exécutée déborde ainsi dans la chambre de travail, ce qui donne la possibilité de s'y raccorder. La fouille du revêtement a une largeur un peu plus grande que l'épaisseur de la maçonnerie, afin de permettre le rejointoiement du parement extérieur, le parement intérieur étant appliqué contre le talus du terrain. A l'extrémité du caisson, la largeur du déblai est réduite toutefois à celle du revêtement, et la maçonnerie remplit exactement la fouille, en vue d'empêcher toute rentrée d'eau dans la fouille suivante. On ménage également sur la face supérieure du revêtement, dans la partie qui déborde le bloc, une rainure dans laquelle viendra s'engager plus tard le couteau du caisson.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

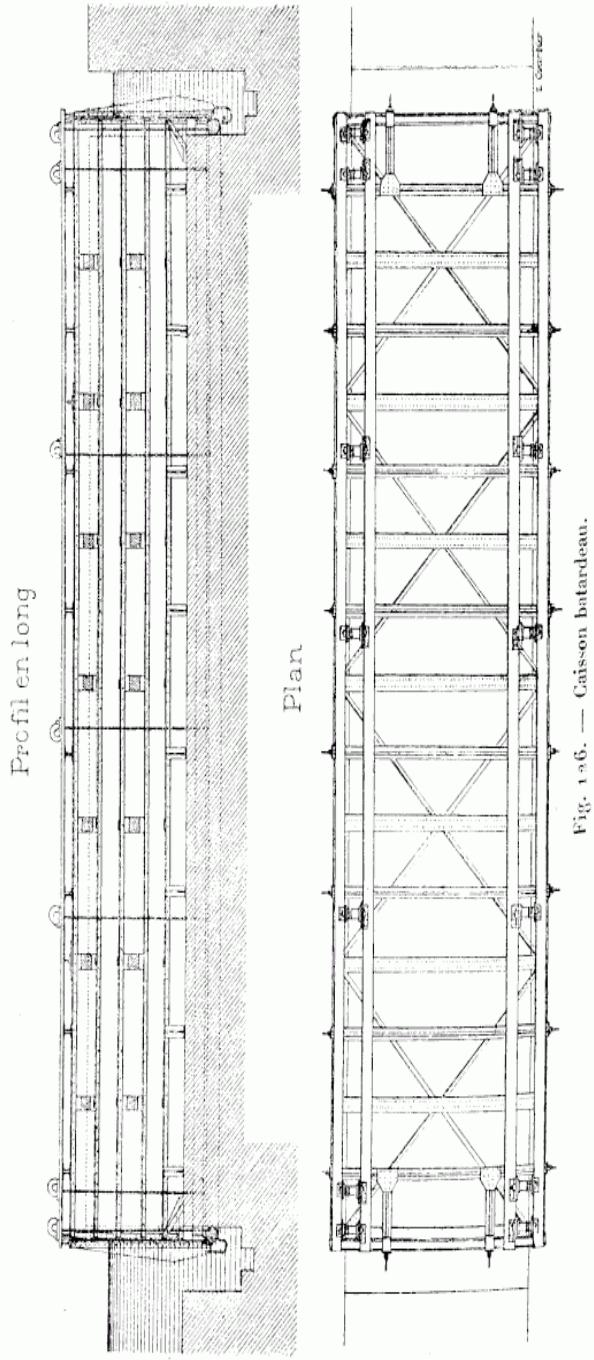


Fig. 126. — Caisson batardeau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le caisson batardeau, à l'aide duquel on exécute à l'air libre les maçonneries de fondation au-dessus de la cote — 1m,50, est formé par un caisson sans fond, en tôle, de 17 mètres de longueur, 4m,20 de largeur et 2m,90 de hauteur, pesant 25 tonnes (fig. 126); les parois de ce caisson sont renforcées par des armatures, à la partie inférieure desquelles sont boulonnées des consoles; d'autre part, tout le long de l'arête inférieure des parois, et du côté intérieur, est rivée une tôle de 0m,25 de largeur, qui s'écarte obliquement desdites parois et forme avec celles-ci une sorte de coin. Chaque bloc de la dernière assise exécutée à l'air comprimé, mesurant 16m,50 de longueur sur 3m,70, peut être coiffé exactement par le caisson batardeau; le caisson repose sur la face supérieure du bloc par l'intermédiaire des consoles, et il reste tout autour du bloc un vide de 0m,25 de largeur, limité, d'un côté, par le parement de la maçonnerie et, de l'autre, par le coin qui règne tout le long de l'arête inférieure des parois du batardeau. L'engin étant ainsi disposé, on hisse à l'intérieur, au moyen de treuils, de longs paillets qui viennent se coincer entre la maçonnerie et la tôle oblique; ces paillets sont formés de pièces de bois, de section circulaire, entourées d'une épaisse garniture en corde tressée et recouvertes d'une forte toile. On épuise l'intérieur du batardeau au moyen d'une pompe centrifuge actionnée par un moteur électrique; la sous-pression de l'eau achève de serrer les paillets entre la maçonnerie et la tôle, et le joint devient suffisamment étanche; on a eu soin, au préalable, d'étrésillonner les deux parois longitudinales du batardeau l'une contre l'autre, au moyen de pièces de bois. Il ne reste plus alors qu'à maçonner dans l'intérieur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du caisson jusqu'à la cote $+0^{m},50$; on enlève les consoles inférieures au fur et à mesure de l'avancement du travail et l'on remplace les longs étrésillons par des étrésillons plus courts, qui s'appuient sur la maçonnerie. On enlève ensuite le caisson, au moyen d'une grue flottante, pour aller le placer dans la position suivante.

Les intervalles laissés entre les blocs successifs sont remplis à l'air libre par un procédé analogue à celui employé à l'intérieur des caissons à air comprimé; mais comme les joints ont une plus grande hauteur, puisqu'ils correspondent à deux assises de blocs et qu'ils sont exposés, d'autre part, à l'action des vagues, on a soin de placer d'abord, aux deux extrémités de chaque joint, des panneaux en bois, qui sont fortement serrés contre la maçonnerie par des tirants en fer les reliant l'un à l'autre; des murettes en briques et ciment, destinées à compléter l'étanchéité, sont établies contre ces panneaux et du côté intérieur; l'épuisement de la cuvette ainsi formée s'opère ensuite sans difficulté.

L'usine centrale, installée à terre pour la production de l'air comprimé et de l'électricité, comporte :

Trois machines à vapeur, savoir : une machine fixe de 80 chevaux, une machine demi-fixe de 50 chevaux et une autre du même type de 25 chevaux;

Quatre compresseurs d'air pouvant fournir chacun 5 mètres cubes par minute;

Un cinquième compresseur d'air pouvant fournir 21 mètres cubes par minute et capable d'alimenter à lui seul tous les caissons;

Deux dynamos pouvant débiter chacune 175 ampères à la tension de 115 volts;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une troisième dynamo pouvant débiter seulement 80 ampères à la même tension.

La machine à vapeur de 80 chevaux suffit largement pour actionner, par l'intermédiaire d'un arbre général de transmission, le nombre des compresseurs d'air dont on peut avoir besoin, ainsi que deux dynamos; la deuxième machine sert uniquement de machine de secours. Pendant la nuit, la troisième machine sert à faire fonctionner la troisième dynamo, pour assurer le service de l'éclairage général du chantier, les autres dynamos étant alors affectées à la force motrice.

A l'usine centrale est annexé un petit atelier pour les réparations courantes du matériel de l'entreprise.

Un manège à mortier, actionné par une locomobile spéciale, sert à fabriquer le mortier employé dans les caissons à air comprimé travaillant près de la rive, ainsi que dans le caisson batardeau qui est toujours accessible par les parties de fondation précédemment élevées à la cote $+0^{m},50$.

La chaux hydraulique est entreposée dans un magasin qui peut contenir 450 tonnes; elle arrive directement sur le chantier par chemin de fer.

Renseignements sur la marche des travaux à l'air comprimé. — Dans les caissons à air comprimé, on travaille nuit et jour, sans aucune interruption, quand les circonstances le permettent; les équipes d'ouvriers se relaient de huit en huit heures : à 6 heures du matin, 2 heures et 10 heures du soir.

Chaque caisson est éclairé intérieurement par 10 lampes à incandescence de 12 bougies.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On peut y faire travailler simultanément 25 à 30 terrassiers, ou bien 1 chef maçon, 6 à 7 maçons et 10 à 12 manœuvres.

La rapidité du travail de déblai varie suivant la nature du sol; dans le cas d'un terrain très dur ne s'attaquant qu'à la pointerolle, la descente du caisson ne dépasse pas $0^{m},15$ par journée de vingt-quatre heures.

Pendant la confection du mur, chaque maçon exécute $2^{mc},500$ environ de maçonnerie par période de huit heures. La confection d'un bloc de maçonnerie demande ainsi trois jours, y compris le déplacement du caisson qui exige trois à quatre heures, et le remplissage du joint de l'assise inférieure.

Mais le travail à l'air comprimé est loin d'être continu, à raison des interruptions dues au mauvais temps. L'avant-port Nord est, en effet, très exposé au vent de Nord-Ouest qui souffle fréquemment avec une grande violence. Ce vent s'oppose au déplacement des caissons, parce qu'il empêche la manœuvre des batteries; il entrave également l'exécution des maçonneries, parce que, par suite des vagues qu'il soulève, les chalands portant les matériaux heurtent les caissons et risquent d'y causer des avaries. Enfin la houle se fait sentir parfois jusqu'à 5 à 6 mètres de profondeur à l'intérieur des caissons, et le travail des maçons devient impossible. Dans ces conditions, on ne peut exécuter pratiquement que 400 mètres cubes environ de maçonnerie par caisson et par mois.

Travaux d'approfondissement. — Les travaux d'approfondissement sont effectués avec une drague à godets;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le terrain résistant est préalablement ameubli au moyen de mines sous-marines à la dynamite; on a recours, d'autre part, à une grue flottante pour enlever de nombreux blocs détachés qui tapissent le fond.

Dépenses. — Les dépenses autorisées, pour l'exécution des travaux de fondation des murs de quai et d'approfondissement du bassin, sont les suivantes :

Travaux à l'entreprise	4,967,009f,27
Fourniture de chaux Lafarge du Teil	487,000,00
Somme à valoir	626,032,02
TOTAL	6,080,041,29

Les deux principaux prix d'application sont les suivants :

Maçonnerie ordinaire exécutée au-dessous de la cote — 0m,50, non compris la chaux qui est fournie à l'entrepreneur par l'Administration, le mètre cube	31f,00
Déblai de terrain résistant au moyen de la drague ou dans les caissons à air comprimé, le mètre cube	19,75

Ces prix sont passibles d'un rabais de 4 p. 100.

Le projet a été dressé, sous la direction de M. GUÉRARD, ingénieur en chef, par M. CORDIER, ingénieur ordinaire.

Les travaux ont été commencés sous la direction de M. GUÉRARD, ingénieur en chef, et de M. MARGAINE, ingénieur ordinaire; ils sont continués sous la direction de M. BATARD-PAZELIÈRE, ingénieur en chef, et de M. MARGAINE, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. le conducteur AUBENTI, chargé de la surveillance des travaux.

L'entrepreneur est M. Conrad ZSCHOKKE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XX

TRAVAUX DU PORT ET DE L'ARRONDISSEMENT DE BÔNE.

Un album de photographies.

1° PORT DE BÔNE.

Vues du port actuel.

N° 1. *Entrée du port de Bône.* — Passe de 250 mètres de longueur entre la jetée Nord ou Babayaud, à gauche, et la jetée Sud, à droite; cette entrée donne accès à l'avant-port; elle est signalée la nuit par un phare de 4e ordre à l'extrémité de la jetée Babayaud et un feu de port (vert) à l'extrémité de la jetée Sud.

N° 2. *Entrée du port de Bône.* (*Vue de l'extrémité de la jetée Babayaud.*) — Cette jetée de 700 mètres de longueur, établie par des fonds de 9 mètres de profondeur, est formée par un massif de blocs naturels recouvert, du côté du large, d'une couche de blocs artificiels s'élevant jusqu'au couronnement.

N° 3. *Entrée du port de Bône.* (*Vue prise du quai en construction.*)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

N° 4. *Vue de la darse (côté Nord).* — La darse a la forme d'un rectangle de 400 mètres de longueur sur 265 mètres de largeur, dont les grands côtés sont orientés O.-E. Elle est séparée de l'avant-port par deux musoirs laissant une passe libre de 70 mètres vers le milieu du côté Est du rectangle. La darse est limitée au Nord et en partie à l'Ouest par un quai dont la bordure est arasée à $1^{m},40$ au-dessus du niveau de la mer. Du côté du Sud, la darse est fermée par une jetée en enrochements, à l'intérieur de laquelle se trouvent les appontements servant à l'embarquement des minerais de la Compagnie de Mokta-El-Hadid.

N° 5. *Vue de la darse (côté Sud).*

N° 6. *Vue de la darse. (Le quai Nord, vu du musoir Sud.)*

N° 7. *Vue de la darse et du nouveau port, prise du musoir Sud.* — Les deux bassins (ancienne darse et nouvelle darse formée par l'ancien port) sont séparés, du côté du Nord, par le musoir Nord et l'ancien fort Cigogne, aujourd'hui déclassé, établi sur un promontoire rocheux. Un tunnel est percé sous cette fortification pour laisser passage au chemin de l'avant-port.

N° 8. *Vue du fort Cigogne prise du nouveau port (côté Est).*

N° 9. *Le mouillage des torpilleurs, réservé à l'angle Sud-Est de la darse, contre le musoir Sud.* — La photographie représente le torpilleur de haute mer le *Téméraire* au mouillage.

N° 10. *Le chemin de l'avant-port.* — Ce chemin borde la mer au pied de la falaise formant le côté Est de la ville ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il est l'amorce du remblai à faire pour l'établissement du terre-plein du quai de la nouvelle darse.

N° 11. *Tranchée dans la falaise pour mettre le nouveau port en communication avec la ville et pont métallique.* — La falaise, située à l'Est de la ville, a une hauteur de 30 mètres environ au-dessus du niveau de la mer; elle est à pic du côté de la mer et en pente douce du côté de la ville. Une tranchée de 25 mètres de profondeur maxima a été ouverte dans cette falaise, de 1896 à 1895, pour mettre la ville en communication avec le nouveau port. Les communications ont été rétablies au moyen d'un pont de 32 mètres d'ouverture, en arc de cercle, biais à 81°56′, construit en 1890 par la Société des ponts et travaux en fer, sous la direction du Service des ponts et chaussées : MM. Dormoy, ingénieur en chef, Burger, ingénieur ordinaire, Dunand, conducteur.

La photographie représente l'ensemble pris du côté de la ville.

N° 12. *Mêmes ouvrages pris du côté du port.*

Travaux neufs.

N° 13. *Vue d'ensemble du chantier de réparations du matériel du port de Bône.* — A la suite de la résiliation de l'entreprise Danton et Vaccaro, l'État a dû reprendre le matériel important de cette entreprise, comprenant une grande drague à godets, trois remorqueurs, quatre grands chalands, un ponton-mâture, wagons, voies, etc. Ce matériel, en assez mauvais état, a dû être remis à neuf pour pouvoir être utilisé de nouveau. Les travaux de réparations ont été

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

exécutés, pour la plupart, en régie par le Service des ponts et chaussées, sous la direction de MM. Bousigues, ingénieur en chef, Saint-Romas, ingénieur ordinaire, Dunand, conducteur principal.

N° 14. La photographie représente *la grande drague à godets* et *le ponton-mâture* au moment des réparations sur cale sèche.

Travaux en cours d'exécution (1899-1900).

N° 15. *Vue d'ensemble des travaux en cours* (*côté Ouest*) : le nouveau quai, l'élargissement du chemin de l'avant-port pour la constitution du terre-plein, les dragages.

N° 16. *Vue d'ensemble des travaux en cours* (*côté Est*) : la jetée du Lion, la jetée Babayaud, le nouveau quai, le chantier à blocs artificiels.

N° 17. La *carrière des Saintons*, ouverte dans une colline située au Nord du cours National, fournit les enrochements pour la construction des ouvrages du port et les débris pour les remblais du terre-plein du nouveau quai; le front de carrière est d'environ 40 mètres de hauteur et 250 mètres de développement. Le chargement des blocs sur wagons se fait au moyen de grues à bras, d'une grue à vapeur ; celui des débris se fait à la pelle.

N° 18. *Grue à vapeur*, de 15 tonnes de puissance, à portée variable pour le chargement des blocs à la carrière des Santons (entreprise Jammy et Galtier).

N° 19. *Déchargement du sable.* (*Entreprise* Jammy et Gal-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TIER.) — Le sable est pris sur les plages voisines du port de bateliers qui le vendent aux entrepreneurs, il est débarqué à proximité du manège à mortier au moyen d'une grue à vapeur et transporté à pied d'œuvre par wagonnets.

N° 20. *Un coin du chantier à blocs artificiels.* (*Entreprise* JAMMY ET GALTIER.) — Les blocs artificiels destinés à la construction du mur de quai ou des jetées sont alignés sur le terre-plein du quai en construction, où ils demeurent jusqu'à prise complète des mortiers.

N° 21. Au moment de l'emploi, les blocs sont soulevés au moyen du bardeur, puis transportés jusqu'au bord du quai. Le bardeur de l'entreprise JAMMY ET GALTIER soulève des blocs de 15 mètres cubes.

N° 22. *Le ponton-mâture Antée.* (*Entreprise* JAMMY ET GALTIER; *force 60 tonnes.*) — Les blocs artificiels, de 15 mètres cubes pesant 35 tonnes, sont mis en place en parement du mur de quai ou chargés sur chalands au moyen de ponton-mâture.

N° 23. *Chargement des moellons et des blocs naturels sur chalands.* — Ces matériaux sont destinés à former le noyau des jetées; ils sont immergés soit à la main, soit en faisant basculer les chalands.

N° 24. *Chaland chargé de quatre blocs artificiels destinés à être immergés aux jetées.*

N° 25. *Immersion de blocs artificiels aux jetées.* — Les blocs étant posés sur des longrines en bois légèrement inclinés, l'un d'eux est poussé au moyen de vérins; en glissant,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il fait basculer le chaland et les quatre blocs tombent à la mer.

N° 26. *Dragages.* — Le programme des travaux du port comprend l'approfondissement jusqu'à la cote 8m,50 de la darse actuelle et du nouveau bassin. Les dragages sont exécutés directement, en régie, par le Service des ponts et chaussées, au moyen du matériel provenant de l'entreprise résiliée Danton et Vaccaro, conservé par l'État. Drague à godets construite par la maison Satre, à Lyon, et ayant coûté, neuve, 250,000 francs. Ayant exécuté jusqu'à 1,800 mètres cubes de dragages par jour.

N° 27. *Dragages.* — Comme ci-dessus.

Les travaux en cours d'exécution sont dirigés par MM. Leloutre, ingénieur en chef, Saint-Romas, ingénieur ordinaire.

2° PORT DE LA CALLE.

Les divers ouvrages du port de La Calle ont été exécutés en 1890-1891.

Le port se compose d'une crique de 600 mètres de profondeur, 150 mètres de largeur à l'entrée et 80 mètres de largeur en moyenne. Superficie, 6 hectares. Profondeur, 4 mètres. Les côtés Nord et Est sont bordés de quais qui servent en même temps de voies de communication entre l'îlot de France et la nouvelle ville. Le port est coupé en deux parties par un épi qui laisse, entre l'avant-port et l'arrière-bassin, une passe de 20 mètres de largeur.

Les travaux ont été exécutés par l'entreprise Nicolas,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous la direction de MM. Dormoy, ingénieur en chef, Burger, ingénieur ordinaire, Bavoillot, conducteur.

N° 28. *Vue générale de la ville prise de la falaise (côté Est).*

N° 29. *Vue du port prise de la falaise (côté Sud de l'entrée).*

N° 30. *L'épi et la plage formant la partie Sud du port.*

N° 31. *L'entrée du port prise du côté Sud.*

N° 32. *L'extrémité Nord de l'ilot à l'entrée du port.*

N° 33. *L'ilot de France et le quai Nord.*

N° 34. *Les quais Nord et Est au fond de la crique. Côté Est du port.*

N° 35. *Vue du port (côté Sud) prise de l'extrémité Est.*

3° PORT D'HERBILLON.

N° 36. *Vue générale de la baie.*

N° 37. *Jetée-débarcadère* de 15 mètres de longueur, prolongée de 25 mètres en 1895, pour permettre l'accostage aux bateaux ayant jusqu'à 3m,50 de tirant d'eau et constituant, avec une petite cale de halage pour les bateaux de pêche, les seuls ouvrages du port.

4° PONT DE MIRBECH.

N° 38. *Pont métallique*, de 90 mètres d'ouverture, sur la Seybouse, pour le passage du chemin d'intérêt commun n° 25. Pont à poutres droites à travées solidaires construit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en 1890 par la Société de construction des Batignolles, sous la direction du Service des ponts et chaussées : MM. Dormoy, ingénieur en chef, Burger, ingénieur ordinaire.

5° pont sur l'oued-djedra.

Pont en maçonnerie de 30 mètres d'ouverture, voûte en arc de cercle, construit en 1887, sous la direction du Service des ponts et chaussées pour la traversée de la rivière par le chemin de grande communication n° 4.

N° 39. *Vue prise de la rive droite (aval).*

N° 40. *Vue prise de la rive gauche (aval).*

6° pont de tebessa.

Ancien pont romain, restauré en 1896 pour le passage d'un chemin vicinal ordinaire sur un ravin près de la ville.

N° 41. *Vue prise du côté droit du ravin (aval).*

N° 42. *Vue prise du côté gauche du ravin (aval).*

7° pont de barral.

Fondation à l'air comprimé de la culée de rive droite du pont à construire sur la Seybouse.

Un pont-aqueduc suspendu, de 100 mètres d'ouverture, est en construction pour la traversée de la rivière par le canal principal de rive droite des irrigations de la Seybouse. La culée de rive gauche sera établie sur un banc de grès,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais celle de rive droite a dû être fondée à l'air comprimé jusqu'au terrain solide, à 9 mètres au-dessous de l'étiage.

Les travaux ont été exécutés en juin 1899 par la Société des ponts et travaux en fer, sous la direction du Service des ponts et chaussées : MM. Bousigues, ingénieur en chef, Saint-Romas, ingénieur ordinaire, Baurès (Th.), conducteur.

N° 43. *Vue des chantiers le 27 juin 1899.*

8° hôpital civil de bône.

N° 44. *Vue générale des bâtiments*, construits par le Service des ponts et chaussées.

9° siphon de l'oued-guerid.

Siphon en ciment avec ossature en acier, de 85 mètres de longueur et de $1^{m},40$ de diamètre intérieur, construit pour la traversée de l'Oued-Guérid par le canal principal de rive gauche des irrigations de la Seybouse. La charge au point le plus bas est d'environ $6^{m},50$.

Les tuyaux sont constitués par une ossature formée par 48 génératrices en acier rond de $0^{m},011$ et 36 génératrices secondaires en acier rond de $0^{m},006$ de diamètre, sur lesquelles sont attachées les spires de la directrice en acier rond de $0^{m},008$, espacées de $0^{m},07$.

Cette ossature est noyée dans un tuyau de $0^{m},07$ d'épaisseur en mortier dosé à 700 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable graveleux.

Les travaux ont donné lieu à une dépense de $10,500^{f}$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

environ et ont été exécutés en régie directe par le Service des ponts et chaussées en décembre 1898 et janvier 1899 : MM. Bousigues, ingénieur en chef, Saint-Romas, ingénieur ordinaire, Baurès (Th.), conducteur.

N° 45. *Pose de la première ossature.*

N° 46. *Coulage du mortier de la première ossature.*

N° 47. *Les travaux en cours (côté aval).*

N° 48. *Les travaux en cours (côté amont).*

N° 49. *Confection d'une ossature métallique sur tambour.*

N° 50. *Attachage des génératrices principales d'une ossature.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIADUC DE COSNE — VUE D'ENSEMBLE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUATRIÈME SECTION.

CHEMINS DE FER.

I

VIADUC DE COSNE SUR LA LOIRE

(LIGNE DE BOURGES À COSNE).

Un modèle à l'échelle de $0^{m},05$ pour 1 mètre ($\frac{1}{25}$).
Un panneau de dessins.

La ligne de Bourges à Cosne, construite par l'État, traverse la Loire, un peu en amont de la ville de Cosne, sur un viaduc métallique à double voie d'une ouverture totale de 826 mètres, entre culées, comprenant 14 travées indépendantes égales, ayant chacune $57^{m},96$ de portée d'axe en axe des appuis.

La voie est à la partie inférieure du tablier.

La revanche entre le dessous du tablier et les plus hautes crues observées est de $2^{m},76$.

Les piles, terminées par deux demi-cercles, ont $11^{m},60$ de longueur et $2^{m},70$ d'épaisseur au-dessous du couronnement, avec un fruit de $0^{m},05$ dans les deux sens. Les culées se composent de deux massifs rectangulaires de 4 mètres d'épaisseur et de $11^{m},60$ de longueur, réunis par une voûte de $5^{m},18$ d'ouverture.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les fondations des piles et culées ont été exécutées à l'air comprimé.

Élévation d'une travée

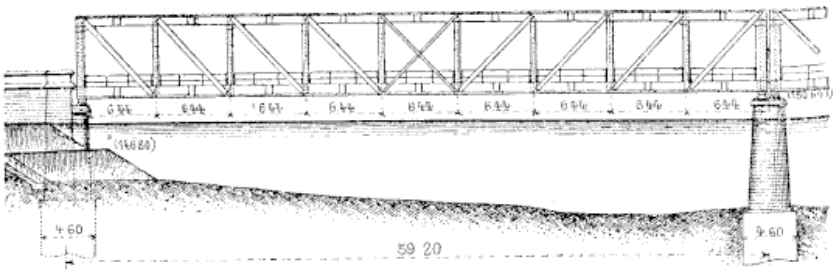


Fig. 127. — Viaduc de Cosne.

Elles ont été descendues à une profondeur au-dessous de l'étiage variant de $1^{m},74$ (culée rive droite) à $14^{m},46$ (pile n° 2) et atteignant en moyenne $9^{m},80$.

Les terrains rencontrés ont été d'abord les sables et graviers d'alluvions, puis l'argile à silex blanche ou jaune peu résistante, enfin la marne calcaire, de dureté en général croissante, dans laquelle on s'est encastré en prenant pour règle de descendre au minimum à 4 mètres au-dessous des alluvions.

Toutes les maçonneries dans l'eau ont été faites avec mortier de ciment. Les chambres de travail et tubes ont été remplis en béton de ciment.

Les couronnements des piles et culées, les sommiers d'appui des poutres, les plinthes et bahuts des parapets sur culées sont en pierre de taille.

Les parements vus sont en moellon smillé pour les piles et les avant-corps des culées, en moellons tétués à bossage pour les culées proprement dites, en moellon piqué pour le fût des parapets.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pierre de taille provenait des carrières de Villebois (Ain); les moellons smillés et à bossage, de Sénozan près Mâcon, et de Champlive près Massangis (Yonne); les moellons épincés, de Champvert près Decize (Nièvre), et les moellons bruts, des carrières voisines de l'ouvrage.

Le ciment à prise lente pour fondations était fourni par l'usine de Pont-à-Vendin (Pas-de-Calais), et la chaux hydraulique pour maçonneries en élévation par l'usine Pavin de Lafarge.

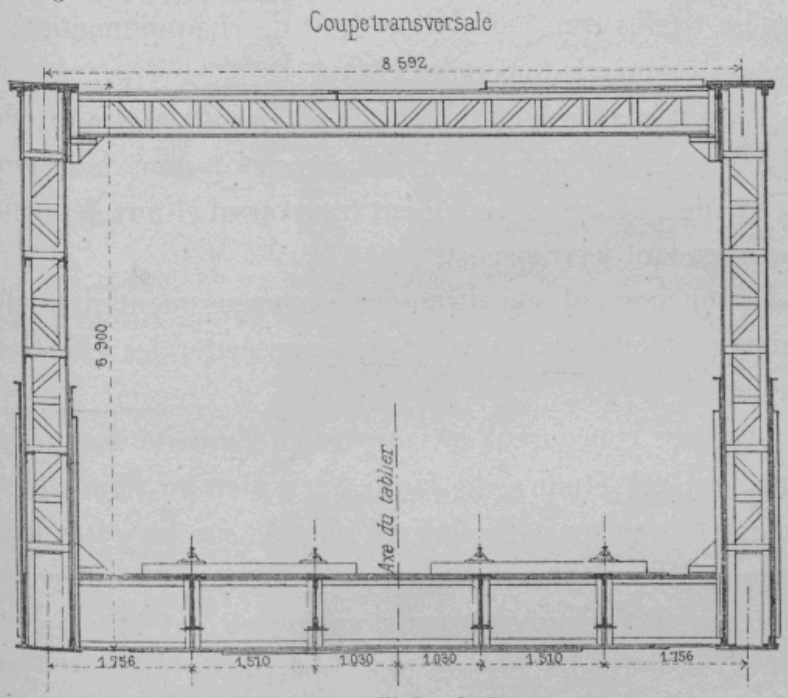


Fig. 128. — Viaduc de Cosne.

Les poutres maîtresses du tablier métallique ont 58m,66 de longueur et 6m,90 de hauteur entre semelles. Elles sont écartées de 8m,592 d'axe en axe. Les âmes sont doubles; elles sont écartées de 0m,57 et hautes de 0m,90; les semelles ont 0m,85 de largeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chaque poutre est divisée par des montants verticaux en neuf panneaux égaux, de $6^{m},44$ de largeur. Dans chaque panneau, sauf dans le panneau médian, il n'y a qu'une seule diagonale travaillant à l'extension.

Les pièces de pont, de $0^{m},90$ de hauteur, supportent des longerons de $0^{m},65$ de hauteur correspondant à chacune des quatre files de rails.

Le platelage est en tôle striée de 8 millimètres d'épaisseur. Le contreventement supérieur est assuré par des poutres en treillis transversales au droit de chaque montant et par des cornières diagonales.

Toutes les pièces travaillant à l'extension ont été armées de cornières ou formées de sections en U, pour leur permettre de résister au voilement transversal et aux déformations pendant le transport.

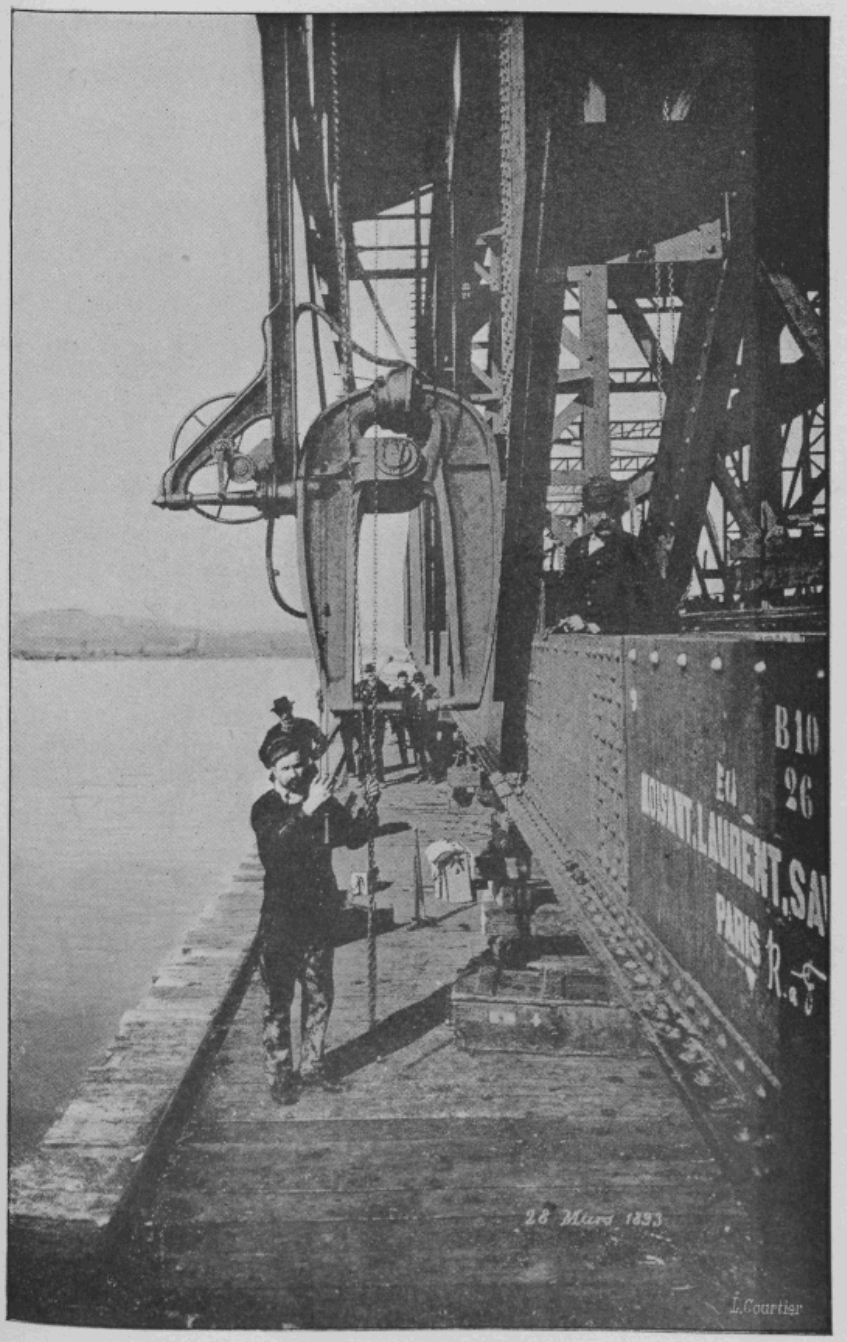
Les pièces ont été disposées rigoureusement dans les plans longitudinaux de symétrie pour éviter les efforts de torsion.

Les axes concourent aux centres de gravité. Les montants ont été étudiés de façon à résister au flambement dans les deux sens. Ils ont été ouverts sur les côtés pour permettre l'accès des riveuses, mais cloisonnés à différentes hauteurs. Des cloisonnements analogues ont été répartis entre les âmes des membrures supérieures qui sont comprimées.

Les diagonales ont, de même, été réunies par des diaphragmes, de manière à réduire le fouettement causé par les vibrations.

Les appuis sont en acier moulé. L'axe de rotation est venu de fonte avec les balanciers inférieurs. Les rouleaux de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



VIADUC DE COSNE — RIVEUSE MÉCANIQUE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dilatation sont des secteurs cylindriques réunis par des bielles en acier forgé.

Le montage a été effectué sur échafaudages constituant un plancher continu, sur lequel les poutres étaient appuyées par l'intermédiaire de tasseaux et de vérins.

Quand une travée était entièrement assemblée, elle était livrée au chantier de rivetage.

La halle de rivetage, bâtiment couvert de la longueur d'une demi-travée, roulait sur les plates-bandes supérieures des poutres. Elle était divisée en deux chantiers distincts par une poutre centrale longitudinale, de sorte que les ponts roulants supportant les riveuses hydrauliques pouvaient se mouvoir indépendamment sur la demi-largeur de la travée.

Le bâtiment contenant la locomobile et l'accumulateur suivait à peu de distance, sur les longerons extrêmes du pont, la halle de rivetage.

Les riveuses étaient au nombre de trois, deux pour les rivets à axe horizontal et une pour les rivets à axe vertical.

Elles étaient à genouillère, c'est-à-dire que la puissance et la résistance agissaient de part et d'autre d'un axe de rotation.

Leur déplacement dans le sens vertical s'effectuait sous l'action de l'eau comprimée; les mouvements de translation et celui d'inclinaison s'effectuaient à la main.

La pression de l'eau dans les conduites était de 120 atmosphères, ce qui permettait d'exercer sur un rivet de 22 millimètres, seul diamètre employé, une pression de $79^{k}.5$ par millimètre carré.

Un ventilateur, actionné par la même locomobile que les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pompes de compression, fournissait le vent nécessaire aux fours à rivets.

Chaque riveuse occupait quatre hommes : deux à la riveuse, un pour placer les rivets et un manœuvre pour les lancer.

On est arrivé, après complète mise en marche, à placer une moyenne journalière de 550 rivets par machine, soit 1,100 rivets par journée de dix heures, deux riveuses seulement marchant simultanément.

Sur les 70,000 rivets que comportait une travée (défalcation faite des rivets du platelage en tôle striée posés à la main), 55,000 environ ont été posés hydrauliquement à l'atelier et 15,000 à pied d'œuvre; 95 p. 100 de ces derniers ont été placés aussi hydrauliquement, de sorte que la proportion des rivets placés à la main n'a été en définitive que de 1 p. 100.

Les fondations de l'ouvrage ont été commencées en octobre 1890 et terminées en octobre 1891. Les maçonneries en élévation ont été achevées le 12 août 1892.

La construction du tablier a commencé le 10 mars 1891. Le montage sur place, commencé le 15 juin 1892, a été terminé le 10 avril 1893.

Les dépenses se sont élevées :

Pour les maçonneries, à.....	871,400[f]
Pour le tablier métallique, à.....	1,420,000
Soit pour l'ensemble de l'ouvrage.....	2,291,400

ce qui correspond à 2,775 francs par mètre courant et à 345 francs par mètre superficiel en plan.

Le poids total de métal mis en œuvre a atteint 4,116 ton-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nes, ce qui correspond à 4,985 kilogrammes par mètre courant et 620 kilogrammes par mètre superficiel utile en plan.

Les projets ont été dressés et les travaux ont été exécutés par MM. Lethier, ingénieur en chef, et Guillot, ingénieur ordinaire.

Les travaux ont été surveillés par MM. Comte et Mégrot, conducteurs des ponts et chaussées.

Les entrepreneurs ont été : M. Soubigou (Jean), pour les fondations à air comprimé et les maçonneries, et MM. Moissant, Laurent, Savey et Cie, pour la partie métallique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

VIADUC DE GIEN SUR LA LOIRE [1]

(LIGNE DE BOURGES À GIEN).

Un panneau de dessins.

La ligne de Bourges à Gien franchit la vallée de la Loire à Gien par une suite d'ouvrages qui comprend, en partant de Gien :

1° Un viaduc en maçonnerie sur le val de rive droite;

2° Un pont métallique sur la Loire;

3° Un viaduc en maçonnerie sur le val de rive gauche.

Ces ouvrages sont à une voie.

Ils ont été exécutés de 1887 à 1893.

1° Viaduc de rive droite. — Ce viaduc se compose de quinze arches en plein cintre de 16 mètres d'ouverture, réparties en trois groupes de cinq arches, séparées par des piles culées.

Il est établi en pente de $0^{m},009$ par mètre et en ligne droite. La hauteur maximum est de 15 mètres entre le niveau du rail et le sol naturel, et la longueur totale est de $291^{m},79$.

Les piles ont une épaisseur de 2 mètres aux naissances,

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1893, 2e semestre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et les piles culées, qui comprennent chacune deux contreforts supportant des refuges à leur partie supérieure, ont une épaisseur de 4 mètres au niveau des naissances.

Tous les parements latéraux ont reçu un fruit de $\frac{1}{40}$, à l'exception des faces des contreforts dont le fruit a été porté à $\frac{1}{20}$.

La largeur entre les axes du garde-corps est de $4^{m},56$, sauf en face des refuges où elle atteint $5^{m},50$.

La largeur entre les parements des tympans, immédiatement au-dessous de la plinthe, est de $4^{m},50$.

Les bandeaux des têtes font sur les tympans une saillie de $0^{m},03$.

Les garde-corps sont en fonte, sauf ceux des refuges qui sont en maçonnerie.

Les fondations ont été exécutées à l'air libre et descendues à des profondeurs au-dessous du sol, variant de $6^{m},50$ à $12^{m},44$. Elles reposent (comme celles du pont métallique et du viaduc de rive gauche) sur du calcaire de Beauce, dont les parties supérieures, moins résistantes, ont été enlevées.

Les deux fouilles les plus rapprochées de la Loire, et les plus profondes, ont donné lieu à des difficultés exceptionnelles.

2° Pont métallique. — Le pont sur la Loire se compose de sept travées métalliques indépendantes, reposant sur les deux culées extrêmes des viaducs de rive droite et de rive gauche et sur des piles en maçonnerie.

Les deux travées de rive ont $43^{m},65$ de portée et les travées intermédiaires $54^{m},30$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Maçonneries. — Les piles, dont la section à la partie supérieure est constituée par un rectangle de 3m,60 sur 2m,80, terminé sur les deux petits côtés par deux demi-circonférences, sont surmontées d'un couronnement en pierre de taille de 0m,65 d'épaisseur, destiné à recevoir les appareils d'appui des poutres métalliques.

Les fondations des piles en Loire ont été exécutées à

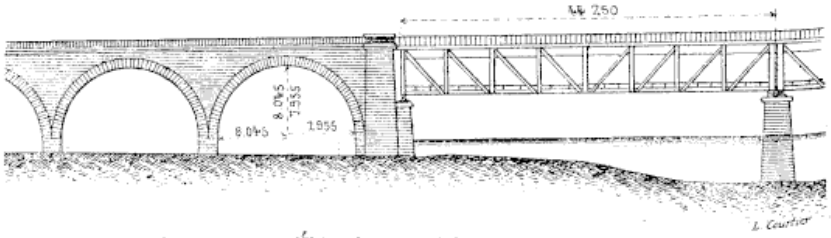


Fig. 129. — Élévation partielle du viaduc de Gien.

l'aide de caissons métalliques foncés à l'air comprimé. Elles ont été descendues à des profondeurs variant de 6m,50 à 11m,30 au-dessous de l'étiage.

Tablier métallique. — Chaque travée du tablier métallique est constituée par deux poutres en treillis, système Pratt, supportant la voie à leur partie supérieure; les assemblages des barres de treillis avec les membrures sont consolidés par des goussets énergiques qui s'opposent à leur déformation.

Les travées de rives se composent de huit panneaux, et les travées intermédiaires de dix.

La largeur entre garde-corps est de 4m,50 en voie courante et de 5m,20 en face des refuges.

Les poutres sont à âme simple, espacées de 3m,50 d'axe en axe, et leur hauteur entre les semelles supérieures et inférieures est uniformément de 5m,24.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Elles sont entretoisées dans chaque panneau par des croix de Saint-André; les semelles inférieures sont également réunies par des entretoises horizontales et des croix de Saint-André.

Ces dernières pièces de contreventement supportent la passerelle de service.

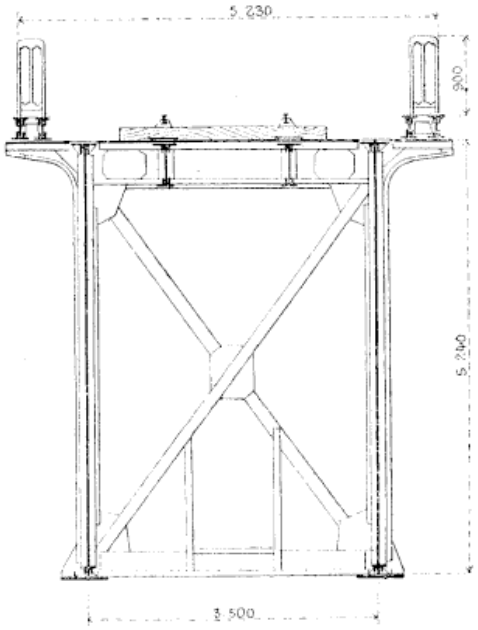


Fig. 130. — Coupe transversale du viaduc de Gien.

Le tablier est recouvert en tôle striée.

Toutes les pièces principales sont en acier, les pièces accessoires seules sont en fer.

Le rivetage a été exécuté à la machine pour les pièces travaillées aux ateliers; partie à la main, partie à l'aide de riveuses hydrauliques à action directe, mues par l'électricité pour le montage sur place.

Le poids total du métal employé est de 987,738 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes, ce qui correspond à 2,710 kilogrammes par mètre courant de tablier.

3° Viaduc de rive gauche. — Ce viaduc a une longueur de $1,209^{m},785$, dont $1,128^{m},45$ en alignement droit et $81^{m},335$, partie en raccordement parabolique et partie en courbe de $399^{m},17$ de rayon; il est établi en pente de $0^{m},005$ par mètre, et se compose de 30 arches de 16 mètres d'ouverture, 15 de 15 mètres, 15 de 14 mètres et 10 de 13 mètres. Les arches sont partagées en 14 groupes de 5, séparés par des piles culées avec contreforts portant des refuges. Les 10 premières sont en plein cintre; les 60 suivantes sont elliptiques, et, parmi celles-ci, les 50 dernières sont semblables; le rapport de la montée à la demi-ouverture y est égal à tg. 30°; les 10 premières forment un groupe de transition entre celles-ci et les arches en plein cintre.

L'épaisseur des piles aux naissances est uniformément du $\frac{1}{8}$ de l'ouverture; celle des piles culées est de $\frac{1}{4}$ de la somme des demi-ouvertures des arches adjacentes.

La hauteur varie de $13^{m},67$ à l'origine à $7^{m},20$ à l'extrémité.

La largeur de la plate-forme et les fruits des parements sont semblables aux éléments analogues du viaduc de rive droite. Les garde-corps sont en fonte, sauf sur les refuges.

Les fondations ont été exécutées à ciel ouvert et leur profondeur a varié de 6 mètres à 12 mètres; 33 fouilles ont été descendues au delà de 10 mètres.

Ces fondations ont présenté les plus sérieuses difficultés.

Les parements vus des ouvrages en maçonnerie sont en moellons tétués; les plinthes et les couronnements seuls sont en pierre de taille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les moellons tétués et pierres de taille proviennent des carrières de Souppes; les autres moellons, partie de ces mêmes carrières, partie de celles d'Ouzouer-sur-Trézée. La chaux employée a été celle du Theil.

La dépense de l'ensemble des ouvrages s'est élevée à 2,542,857f,38, savoir :

1° Viaduc en maçonnerie de rive droite.....		345,568f,06
2° Viaduc en maçonnerie de rive gauche.....		1,615,411 ,30
3° Pont métallique :		
Maçonneries.....	163,841f,35	581,878 ,02
Tablier métallique.....	418,036 ,67	
TOTAL.....		2,542,857 ,38

Ces chiffres correspondent aux prix de revient suivants :

VIADUCS EN MAÇONNERIE.

PRIX.	VIADUC de RIVE DROITE.	VIADUC de RIVE GAUCHE.	ENSEMBLE des DEUX VIADUCS.
Prix par mètre linéaire.....	1,184f, 29	1,335f, 29	1,305f, 94
Prix par mètre carré :			
a. En plan au-dessous de la plinthe.....	257 ,58	294 ,50	287 ,24
b. En élévation entre la ligne du rail et le terrain naturel.....	83 ,53	130 ,34	118 ,62

PONT MÉTALLIQUE.

Prix par mètre linéaire.....	1,596f,48
Prix par mètre carré :	
a. De platelage.....	352 ,65
b. En élévation.....	95 ,39

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les travaux ont été dirigés par M. Lethier, ingénieur en chef, et MM. Rossignol et Couvreux, ingénieurs ordinaires, avec la collaboration de MM. Raimbault et Sanglé, conducteurs chefs de section.

Ils ont été exécutés par MM. Veysseyre frères, pour les ouvrages en maçonnerie, et par la Société des ponts et travaux en fer, pour le pont métallique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III

VIADUC DE SAINT-FLORENT SUR LE CHER

(LIGNE D'ISSOUDUN À SAINT-FLORENT).

Une vue pittoresque. — Un panneau de dessins.

Le viaduc de Saint-Florent, situé dans la vallée du Cher, à 600 mètres avant la gare de Saint-Florent, a été construit de juin 1889 à la fin de 1892.

Il est en palier et en alignement droit.

La hauteur des rails est de $24^{m},70$ au-dessus de l'étiage du Cher et $21^{m},60$ au-dessus du niveau moyen de la vallée.

L'ouvrage se compose de quatorze arches en plein cintre de 30 mètres d'ouverture chacune, avec piles de $4^{m},50$ d'épaisseur aux naissances et culées à murs en retour.

Dans la première culée est ménagée une arche de 8 mètres d'ouverture, qui donne passage au chemin de grande communication n° 27.

La longueur totale de l'ouvrage atteint $524^{m},46$.

La largeur entre les parapets est de : 8 mètres sur les voûtes, 8 mètres et $8^{m},60$ sur les culées, et $8^{m},76$ sur les refuges à l'aplomb des piles.

Les plans des têtes et les parements des piles dans le sens transversal ont un fruit de $0^{m},02$ par mètre.

Les piles en rivière, au nombre de quatre, sont munies d'avant-becs avec fruits de $0^{m},05$ par mètre, normalement à l'ouvrage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'épaisseur à la clef est de $1^{m},25$, tant pour le corps des voûtes que pour leurs bandeaux; ces derniers sont d'ailleurs extradossés avec un rayon de $17^{m},28$ jusqu'à $2^{m},40$ au-dessus des naissances.

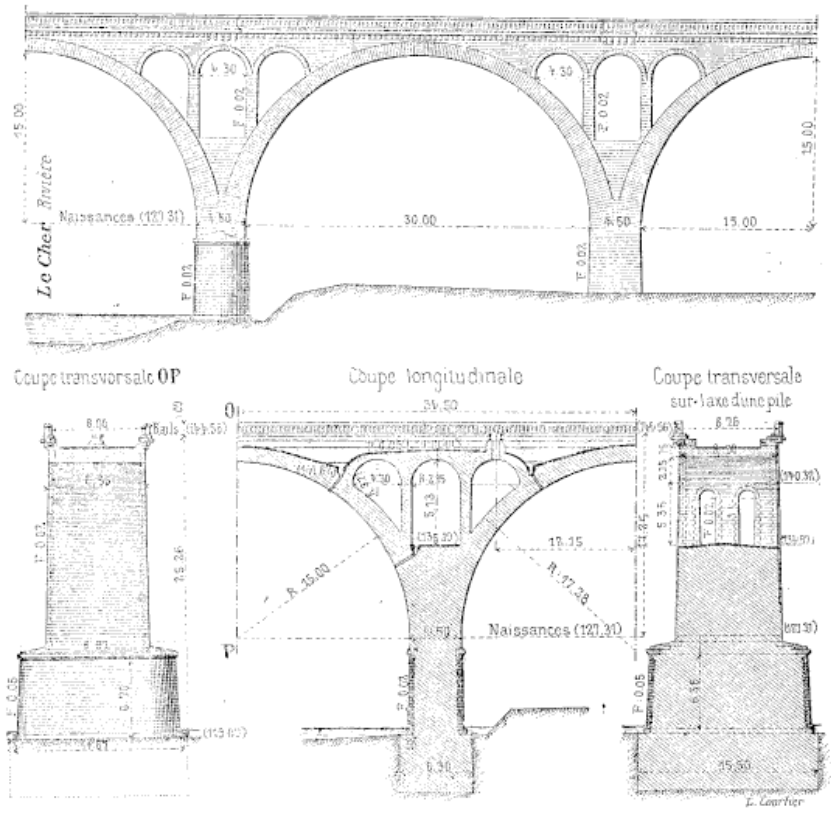


Fig. 131. — Élévation partielle et détail des piles du viaduc de Saint-Florent.

Les tympans sont élégis, au-dessus de chaque pile, par trois évidements en plein cintre de $4^{m},30$ d'ouverture, et d'une hauteur maxima de $7^{m},50$ sous clef. Deux petites voûtelles semblables sont disposées dans les parties attenantes aux culées.

Les piliers de ces évidements, qui ont $0^{m},80$ d'épaisseur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux naissances, sont eux-mêmes élégis dans le sens transversal par deux ouvertures en plein cintre de $1^{m},50$ de largeur aux naissances et de $4^{m},87$ de hauteur sous clef.

Les bandeaux des voûtelles de $4^{m},30$ ont $0^{m},40$ d'épaisseur.

Les parements des piles et les bandeaux des grandes voûtes sont dans un même plan; les bandeaux des voûtelles, les piliers et la partie inférieure des tympans qui les supporte sont dans un second plan à $0^{m},03$ en arrière du précédent et à $0^{m},02$ en avant de la partie des tympans au-dessus des voûtelles.

Le parapet est en pierre, évidé au-dessus des voûtes et des piles, et plein au-dessus des culées.

Les piles 2, 3 et 4 ont été fondées à l'air comprimé, les dix autres piles et les culées à l'air libre.

La plinthe, le parapet, les socles et les couronnements des avant-becs des piles en rivière, les dallages des radiers des élégissements des tympans et les entonnoirs des gargouilles sont en pierre de taille; les modillons, les entre-modillons et les parements des avant-becs, en moellon piqué; les parements des piles en rivière entre les avant-becs, en moellon smillé; les bandeaux des voûtes, voûtelles et évidements des piliers, les arêtiers des piles, piliers et culée et les angles rentrants des culées, en moellon parementé; le surplus des parements vus, en moellon tétué à bossage; le remplissage entre les poutrelles du dessus de la chambre de travail des caissons à l'air comprimé est en béton avec addition de ciment. Tout le reste de l'ouvrage est en maçonnerie ordinaire avec mortier de chaux hydraulique. Pour les fondations à l'intérieur des caissons à l'air comprimé,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour les voûtes au-dessus des radiers d'élégissement, les voûtelles et leurs piliers, le mortier a été additionné de ciment.

Toutes les maçonneries, tant de moellon que de pierre de taille, sont en calcaire dur de Saint-Florent, à la seule exception du fût du parapet qui est en calcaire demi-dur de Vallenay, près Bigny (Cher).

La dépense totale de la construction s'est élevée à la somme de 1,325,000 francs, se répartissant comme suit :

Fondations.	à l'air libre.....	240,645f	343,955f
	à l'air comprimé.	103,310	
Élévation.....			981,045
Total pareil.....			1,325,000

Soit, par mètre courant d'ouvrage, 2,526 francs.

Les projets ont été rédigés et les travaux exécutés sous la direction de M. Faure, ingénieur en chef, avec le concours de MM. Pérard et Guibert, ingénieurs ordinaires.

Les chantiers ont été surveillés par M. Compain, conducteur principal, avec l'aide de MM. Thomas, Périneau et Marazel, conducteurs des ponts et chaussées.

Les entrepreneurs étaient : MM. Chaumont, Graveron et Allary.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV

CHEMINS DE FER DÉPARTEMENTAUX

DE LA SARTHE.

BÂTIMENTS ET OUVRAGES D'ART.

Trois cadres de photographies.

GARE DU MANS.

1. Bâtiment des voyageurs.
2. Remise des machines.
3. Remise des voitures, à charpente et couverture en béton armé.
4. Grand hall.
5. Remise des machines et bâtiment des voyageurs.
6. Viaduc sur la Sarthe. (Plancher en ciment armé.)
7. Vue d'ensemble sur rue.
8. Vue d'ensemble sur la Sarthe.
9. } Types de clôture en fer, briques et béton revêtu de mosaïques
10. } polychromes.
11. }

GARE DE LA FERTÉ-BERNARD.

12. Bâtiment des voyageurs, en béton armé décoré de mosaïques.
13. Remise des machines.
14. Pont en X sur la Sarthe (béton armé).
15. } Pont Saint-Georges sur la Sarthe.
16. }
17. } Pont de Fillé sur la Sarthe.
18. }

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

19. } Pont d'Allonnes sur la Sarthe.
20. }
21. } Viaduc de Dehault.
22. }
23. Pont Denfert-Rochereau sur la Sarthe.
24. Élargissement du pont du Greffier sur la Sarthe.
25. Pont Louis-Blanc sur la Sarthe.
26. Passage supérieur, en béton armé, à Bonnétable.
27. Viaduc d'Enfer.
28. Élargissement du pont de Pontvallain (briques et béton armé).
29. Consolidation de Saint-Rémy.
30. Passage inférieur sous voie ferrée à Bonnétable.
31. Passage inférieur biais à 3 arches.
32. Pont de Tripoulain à Bonnétable.
33. Pont de Rouperroux en fer avec jambe de force.
34. Pont du Rhonne.
35. Viaduc de Loué sur la Vègne (arcs métalliques encastrés).
36. P. I. de Pont-Martin sur le ruisseau des Vallées.
37. } Pont suspendu de Beaumont (rigide).
38. }
39. Consolidation de la tranchée de Montmirail, en béton armé.
40. Gare de Montmirail, avec abri.

Les bâtiments et ouvrages d'art représentés par les photographies ci-dessus désignées ont été exécutés de 1895 à 1898. Ils ont été projetés et construits par M. Harel de la Noë, ingénieur en chef de la Sarthe, avec la collaboration de MM. les conducteurs Maillard, Plet et Plard.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V

PONT EN X, AU MANS, SUR LA SARTHE

(CHEMINS DE FER DÉPARTEMENTAUX DE LA SARTHE).

Un cadre de dessins.

Le pont en X, exécuté du mois d'août 1897 au mois d'avril 1898, est construit sur la Sarthe, au Mans; il est composé en réalité de deux ponts distincts, qui se coupent au milieu de la rivière. L'un de ces ouvrages sert à la traversée du chemin de fer d'intérêt local du Mans à Saint-Denis-d'Orques; l'autre, à la traversée d'une des lignes municipales à traction électrique.

Le pont en X est construit près d'un pont préexistant, dont les culées lui sont communes. Cette circonstance a exercé de l'influence sur les dispositions architecturales et sur le système de construction qui ont été adoptés.

L'ouvrage compte (outre les quatre culées) cinq piles en rivière, dont une, de forme spéciale, est située au croisement des deux tabliers. Les quatre piles du même type sont des fûts cylindriques de 1 mètre de diamètre, élargies à leurs parties supérieures par des potences qui supportent les poutres du tablier, distantes de $1^{m},80$ d'axe en axe. Ces piles sont construites en béton armé d'un faisceau de vieux rails placés verticalement et descendant jusqu'au fond de la fondation. Les potences supérieures sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

établies d'après le même système de construction, de manière à résister aux efforts de cisaillement et de flexion qui les sollicitent.

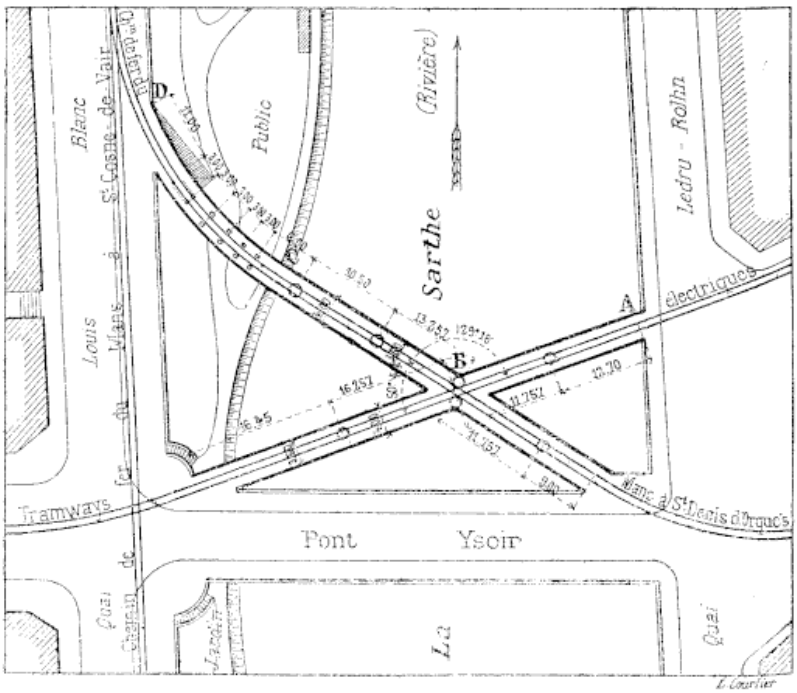


Fig. 132. — Plan d'ensemble du pont en X du Mans.

Chaque pile ainsi construite repose sur six pieux de $\frac{0,25}{0,25}$ d'équarrissage, par l'intermédiaire d'un plancher en béton de ciment armé de vieux rails dans les deux sens. A sa partie inférieure, ce plancher assure la répartition uniforme des charges verticales sur les pilotis et donne au système dans le sens transversal une rigidité considérable.

Le tablier est supporté par des poutres métalliques à âme pleine, dont la semelle supérieure, fort légère pour la partie métallique, est consolidée en béton armé. Les âmes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ces poutres, distantes l'une de l'autre de 1m,80, sont traversées (grâce à des orifices ménagés à cet effet) par de vieux rails pesant 30 kilogrammes au mètre linéaire, qui

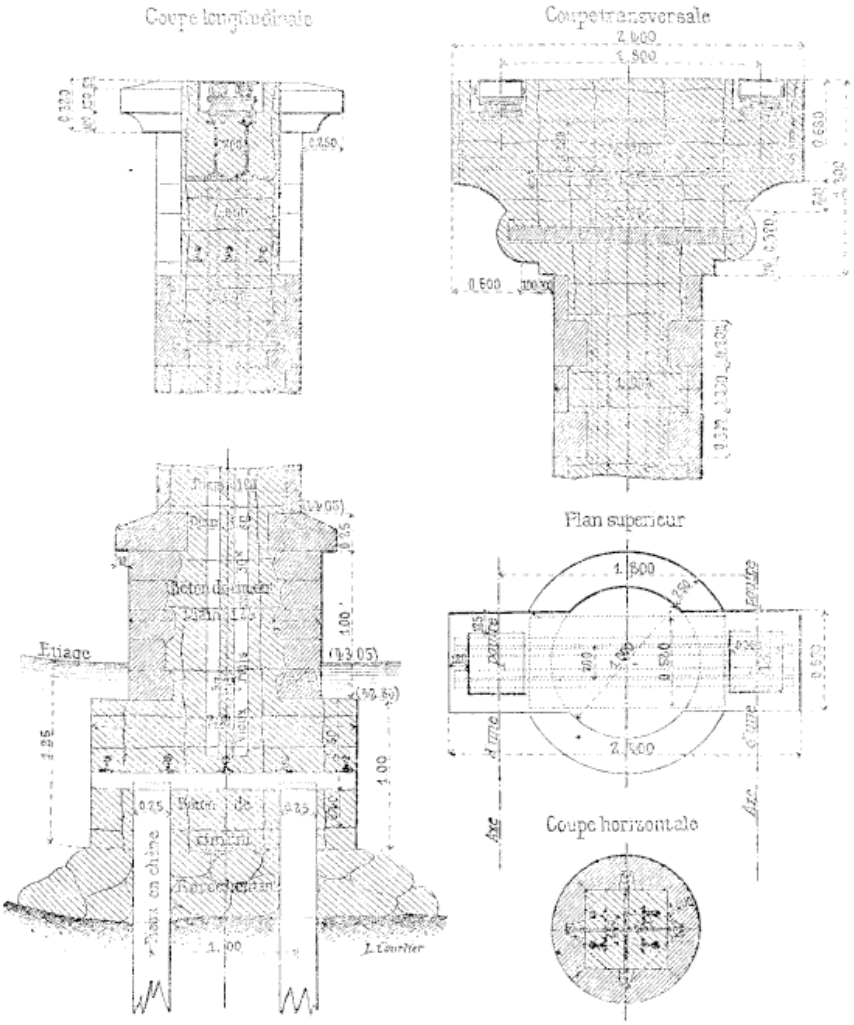


Fig. 133. — Détails d'une pile du pont en X.

forment les entretoises du tablier. Comme la résistance de ces rails eût été insuffisante, on s'est servi, pour compléter l'entretoise, du béton de ciment qui charge les reins des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voûtes en briques du plancher. Ce système si économique a parfaitement réussi et a assuré au plancher une rigidité parfaite, sans qu'aucune fente se soit jamais produite.

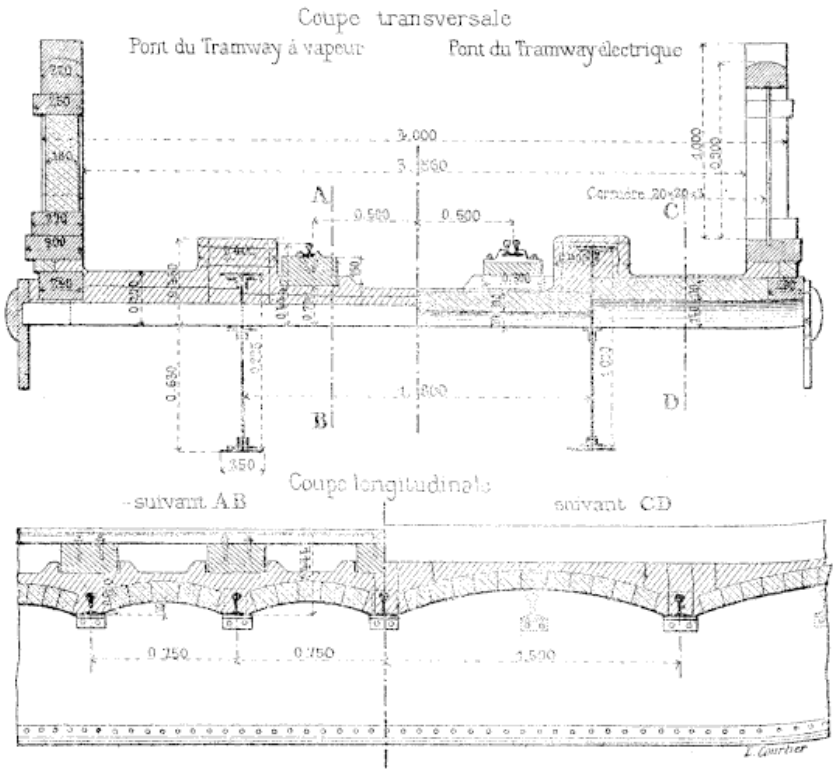


Fig. 134. — Détails du tablier du pont en X.

Les trottoirs, placés en encorbellement, font une vigoureuse saillie de $1^{m},10$ sur le plan des âmes des poutres métalliques. Ils constituent la corniche de l'ouvrage, surmontée d'un garde-corps décoratif.

Tous les parements vus du ciment sont décorés de mosaïques polychromes, aisément, économiquement et solidement obtenues par le procédé suivant : sur le parement vu de la pierre artificielle, on étend un enduit de 5 millimètres d'épaisseur en mortier de ciment Portland dosé à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

600 kilogrammes, un peu compacte. Sur cet enduit frais, on colle, par une légère pression, soit des cailloux identiques à ceux qui entrent dans la composition du béton, soit des fragments de scories provenant des dépôts de vieilles verreries.

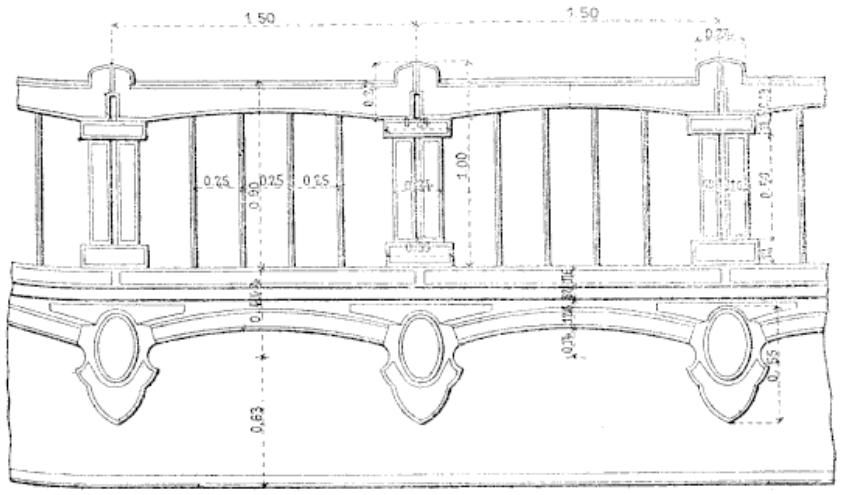


Fig. 135. — Détail du garde-corps du pont en X.

Les bétons de ciment du pont en X ont été faits en plein hiver, et même en temps de gelée. Le mortier était fait avec une dissolution chaude de carbonate de soude, suivant le procédé indiqué par M. l'ingénieur en chef Rabut. Le même procédé, modifié simplement par la réduction au tiers de la dose de carbonate de soude, a été employé avec succès pour hâter la prise du béton dans les moules. Il n'entraîne aucun inconvénient.

La dépense totale a été de 33,000 francs (fondations comprises) et de 28,620 francs (sans fondations). Le prix du mètre carré de plancher ressortit ainsi à 66 francs. Il avait atteint 392 francs pour le pont Ysoir, construit en 1884 à côté de l'emplacement qu'occupe le pont en X.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La dépense totale se décompose ainsi :

Fondation sur pilotis (y compris plancher en ciment armé jusqu'à l'étiage)	4,380f
Maçonnerie ordinaire des culées	650
Béton armé	13,126
Vieux fers (21,500k à 60f)	1,290
Fers neufs (31,507k à 0f,43)	13,548
TOTAL	33,000

L'ouvrage a été projeté, calculé et construit par M. HAREL DE LA NOË, ingénieur en chef de la Sarthe, avec la collaboration de MM. les conducteurs PLARD (pour les projets et les calculs) et PLET (pour la construction). La partie métallique a été fournie par les ATELIERS DE CONSTRUCTION DE HAUTMONT (Nord); le reste de l'ouvrage a été construit en régie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VI

PONT DE FILLÉ SUR LA SARTHE

(CHEMINS DE FER DÉPARTEMENTAUX DE LA SARTHE).

Une vue pittoresque. — Un cadre de dessins.

Le pont de Fillé, exécuté du mois de juillet 1895 au mois d'août 1896, est établi sur la Sarthe pour la traversée du chemin de fer d'intérêt local à voie étroite du Mans à Foulletourte et pour la double voie charretière d'un chemin vicinal.

La hauteur maxima, comptée entre le rail et l'étiage de la rivière, est de 7 mètres. La largeur totale du tablier est de $7^{m},825$ entre les garde-corps. La voie ferrée est placée sur l'un des trottoirs, de telle sorte que l'intervalle libre entre le garde-corps et la saillie réglementaire du matériel roulant soit de $0^{m},70$.

Le trottoir affecté à la voie ferrée a une largeur de $2^{m},325$; celle de l'autre trottoir est réduite à 1 mètre. La largeur de la chaussée est de $4^{m},50$.

Le tablier est supporté par des arcs en fer. Les fermes métalliques sont au nombre de deux. Celle d'amont est placée à l'aplomb du rail extérieur; celle d'aval, à l'aplomb de la bordure du trottoir correspondant. La largeur entre les axes des fermes est de $5^{m},75$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La portée des arcs métalliques est de 56m,33 d'axe en axe des rotules. La flèche est de 5 mètres.

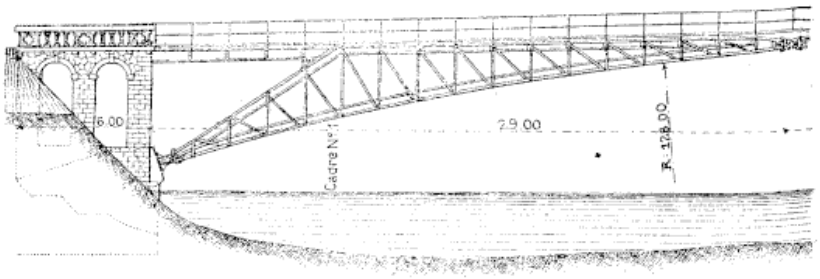


Fig. 136. — Demi-élévation du pont de Fillé.

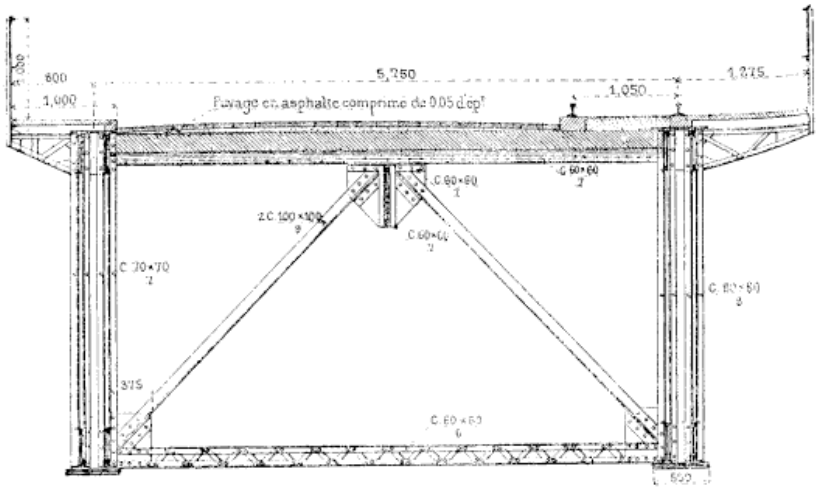
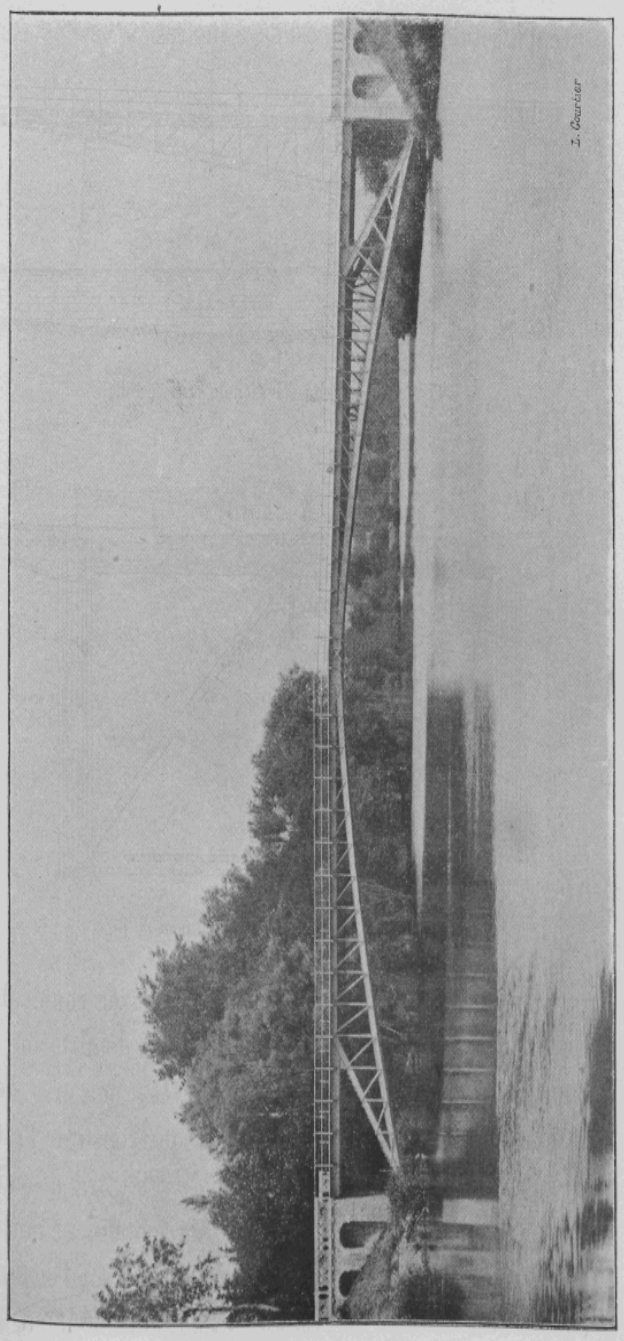


Fig. 137. — Coupe transversale du pont de Fillé.

Chaque ferme compte trois rotules en acier coulé, deux aux naissances et une à la clef. Chaque demi-ferme est tracée suivant un triangle mixtiligne. Les nervures de la périphérie sont rectilignes, sauf celle qui constitue l'intrados de l'arc. Cette nervure se compose d'un arc de cercle dont la tangente à la clef n'est pas horizontale; et ainsi la courbe d'intrados est une ogive surbaissée dont l'angle au sommet est de 172 degrés. Ces dispositions donnent à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



PONT DE FILLÉ SUR LA SARTHE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

section de l'arc une hauteur variable qui atteint son maximum dans la région où le moment fléchissant est lui-même

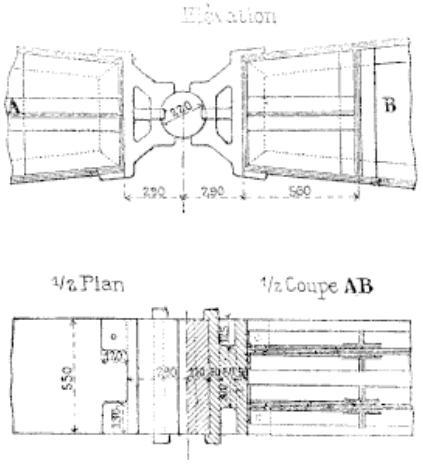


Fig. 138. — Détails des rotules supérieures du pont de Fillé.

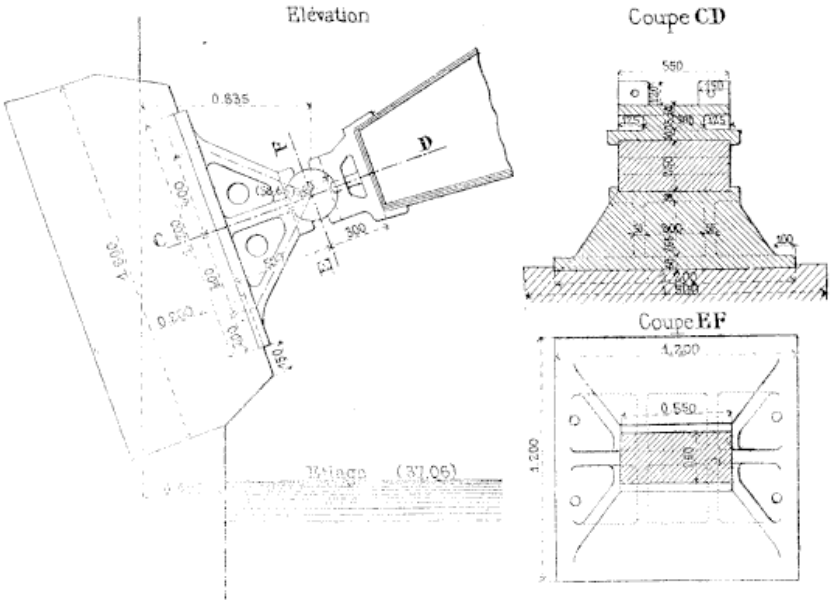


Fig. 139. — Détails des rotules aux retombées du pont de Fillé.

maximum. Elles attribuent à la ferme les propriétés d'une pièce d'égale résistance. La forme de la courbe d'intrados a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

été adoptée en vue de répartir convenablement les pressions résultant de la charge permanente entre les deux nervures d'une même section.

Les deux fermes sont réunies par quatre cadres situés dans des plans verticaux. Ceux-ci ont été étudiés de manière à soutenir un longeron central qui réduit de moitié la portée des entretoises. Il n'existe pas de contreventement dans le plan tangent au cylindre d'intrados. Mais le plancher est contreventé par des croix de Saint-André rivées sous les entretoises.

Les culées n'offrent qu'une particularité : elles sont en grande partie composées d'un béton de chaux hydraulique, dont la prise a été hâtée par l'addition de 100 kilogrammes de Portland par mètre cube de mortier. On a pu ainsi, vu la nature du sol, éviter la construction d'un coffrage en charpente.

L'ouvrage satisfait aux conditions prescrites par le règlement de 1891, sauf que le poids des machines d'épreuve a été réduit à 20 tonnes.

La dépense totale a été de 62,200 francs, ce qui fait ressortir la dépense par mètre carré à 81 francs, sans compter les fondations, et à 111 francs, tout compris.

La dépense totale se décompose ainsi :

Maçonnerie et béton des culées			23,110[f]
Fers et acier coulé.	Fers : 86,041[k] à 33[f],75 = 29,039[f]		33,945
	Fonte : 322 à 22,50 = 73		
	Acier : 9,206 à 52,50 = 4,833		
Voûtes en briques et ciment			3,185
Pavage en pavés d'asphalte comprimé			1,960
TOTAL			62,200

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans cet ouvrage, on a commencé à utiliser les reins des voûtes en briques, chargées de béton de ciment, pour augmenter la raideur des entretoises métalliques, qui sont de véritables pièces en ciment armé et ne présentent pas de flèche appréciable, malgré le faible poids du fer.

L'ouvrage a été projeté, calculé et construit par M. Harel de la Noë, ingénieur en chef de la Sarthe, avec la collaboration de MM. les conducteurs Plard (pour les projets et les calculs) et Plet (pour la construction). La partie métallique a été fournie par les Ateliers de construction de Hautmont (Nord); les maçonneries ont été faites par M. Barré, entrepreneur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VII

PONT DE SAINT-GEORGES SUR LA SARTHE

(CHEMINS DE FER DÉPARTEMENTAUX DE LA SARTHE).

Un cadre de dessins.

Le pont de Saint-Georges, exécuté du mois de novembre 1895 au mois d'avril 1897, est établi sur la Sarthe pour la traversée du chemin de fer d'intérêt local du Mans à Mayet et pour la double voie charretière d'un chemin vicinal.

La hauteur comptée entre le rail et le niveau de l'étiage de la rivière est de $5^{m},60$; la hauteur libre entre le dessous des poutres et le niveau de l'étiage est seulement de $4^{m},20$, la Sarthe n'étant pas navigable dans cette partie de son cours.

Dans le profil en travers, les dispositions de la voie ferrée, de la voie charretière et des trottoirs sont à peu près les mêmes qu'au pont de Fillé. Cependant la chaussée de Saint-Georges, au lieu d'être composée d'un pavage en asphalte comprimé, est un simple empierrement : il n'y avait pas d'intérêt à diminuer le poids mort du tablier à raison du système de construction adopté.

Le tablier du pont compte six travées solidaires, d'une longueur totale de 96 mètres. La portée des travées varie de $13^{m},60$ à 20 mètres.

Les fermes métalliques sont au nombre de trois, dont deux sont à l'aplomb des rails de la voie ferrée, la troisième

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PONT DE SAINT-GEORGES SUR LA SARTHE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étant placée sous la bordure du trottoir réservé à la circulation des piétons.

Les entretoises ont $4^{m},66$ de portée. Ce sont des poutres à treillis du genre Fink, ayant une seule barre verticale au milieu de la portée.

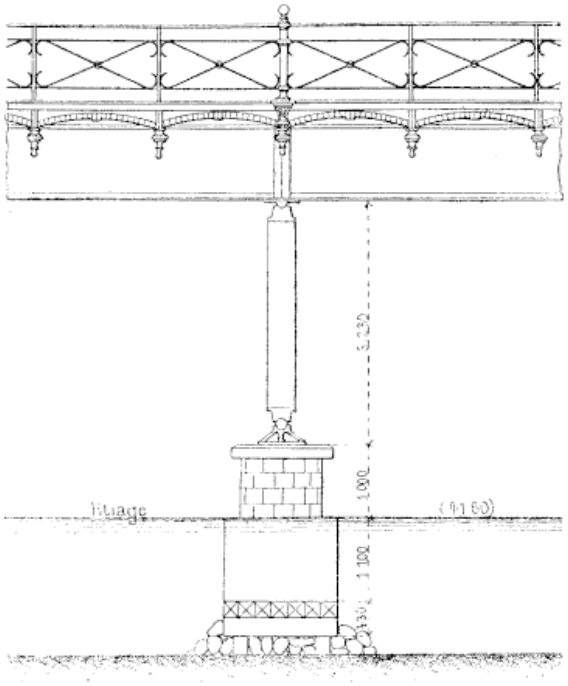


Fig. 140. — Élévation particlle du pont de Saint-Georges.

La semelle supérieure, légèrement arquée suivant le bombement de la chaussée, portant les voûtes en briques du tablier, est très légère et consolidée par le béton de ciment armé qui garnit les reins des voûtes. Cette disposition économique assure aux entretoises une rigidité considérable et soulage beaucoup les tirants qui forment la semelle inférieure.

Les piles du pont de Saint-Georges sont en fer. Elles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont trois montants verticaux, placés à l'aplomb de chaque rail et de la bordure du trottoir libre. Les deux premiers sont réunis par une triangulation de contreventement complète. Le troisième est réuni au second par une traverse établie au niveau du couronnement des dés en maçonnerie qui servent de supports, et par une pièce en écharpe. Ces deux pièces, à raison de leur longueur, sont des caissons évidés.

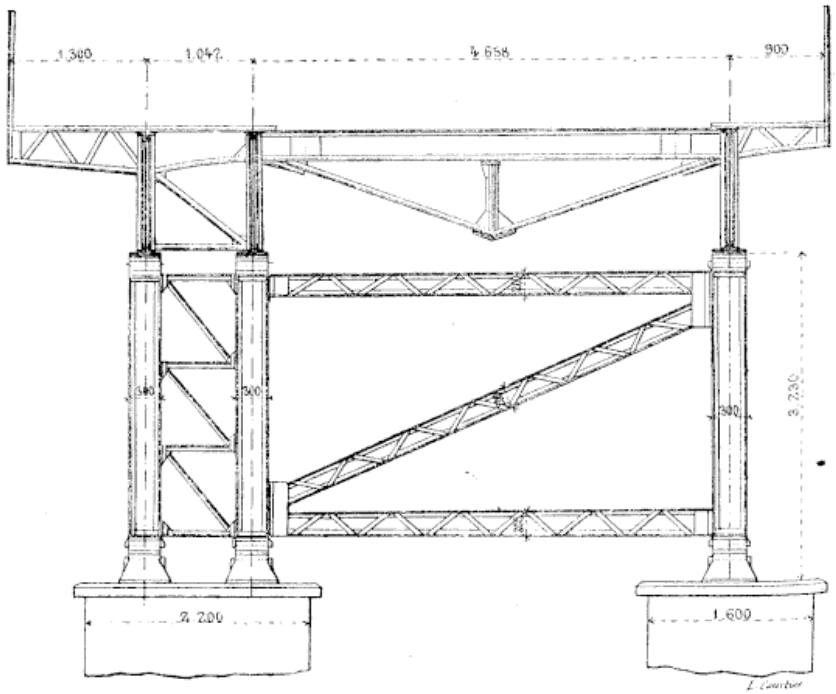


Fig. 141. — Entretoises sur piles du pont de Saint-Georges.

Les piles métalliques de Saint-Georges sont oscillantes. Elles ont, aux deux extrémités, des rotules en acier coulé. Cette disposition résout la question de la dilatation du tablier qui est solidement attaché à une culée. Cette attache étant essentielle, on a multiplié les précautions contre un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouvement des maçonneries, qui peuvent être sollicitées vers le vide par un effort de 20,000 kilogrammes dans le cas où un train serait subitement bloqué. A cet effet, les sommiers sont reliés par un chaînage en ciment armé à un bloc en béton de ciment placé à 30 mètres en arrière de la culée et noyé dans le remblai.

Les piles métalliques sont établies sur des dés en maçonnerie à mortier de Portland, qui reposent sur les pilotis des fondations. Le nombre de pieux pour une pile est de six (équarissage $0,25 \times 0,25$), et le cube total de la maçonnerie, de $4^{m3},282$.

La dépense totale a été seulement de 81,025 francs; ce qui fait ressortir le prix du mètre carré de plancher à 101 francs (fondations comprises) et à 89 francs (sans fondations).

Elle se décompose ainsi :

Pilotis de fondation	10,000^{f}
Maçonnerie des culées	17,000
Maçonnerie des socles des piles	3,000
Fers et aciers (116,474^{k},360 à 0^{f},39)	45,425
Voûtes en briques du tablier et chaussée	5,600
TOTAL	81,025

L'ouvrage a été projeté, calculé et construit par M. HAREL DE LA NOË, ingénieur en chef de la Sarthe, avec la collaboration de MM. les conducteurs PLARD (pour les projets et les calculs) et MAILLARD (pour la construction). La partie métallique a été fournie par les ATELIERS DE CONSTRUCTION DE HAUTMONT (Nord); les maçonneries ont été faites en régie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIII

VIADUC DE DEHAULT

(CHEMINS DE FER DÉPARTEMENTAUX DE LA SARTHE).

Une vue pittoresque. — Un cadre de dessins.

Le viaduc de Dehault, exécuté du mois de juillet 1896 au mois de novembre 1897, appartient au chemin de fer à voie étroite de Mamers à La Ferté-Bernard. La hauteur comptée entre le niveau supérieur du rail et l'étiage du ruisseau est de 19 mètres. La longueur totale (entre garde-corps) est de $144^{m},20$. La surface en élévation est de 1,950 mètres carrés.

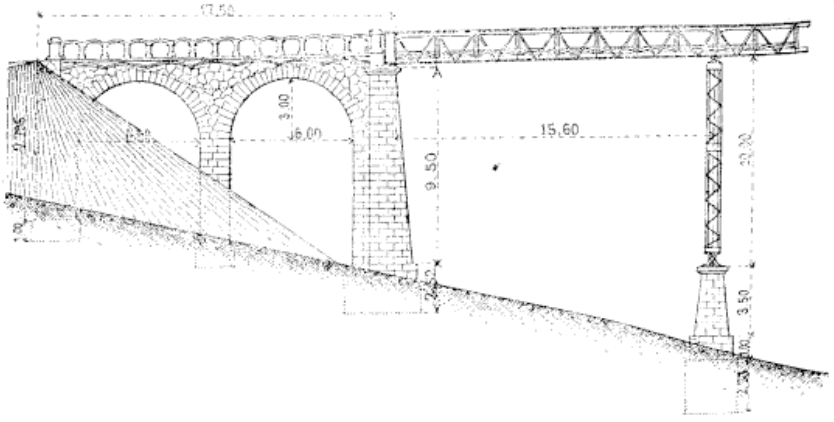


Fig. 142. — Élévation partielle du viaduc de Dehault.

L'ouvrage se compose de deux petits viaducs en maçonnerie, comptant chacun deux arches en plein cintre de 6 mètres de diamètre, et d'une partie métallique constituée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une poutre continue de $109^{m},20$ de longueur, à travées solidaires, reposant sur cinq piles métalliques.

Les travées de rives ont $15^{m},60$ de portée; les travées intermédiaires, $19^{m},50$.

Les poutres métalliques, qui ont une hauteur constante de $1^{m},50$, forment garde-corps. Entre leurs saillies extrêmes, le tablier a la largeur réglementaire de $3^{m},60$ ($2^{m},20$ pour le gabarit du matériel roulant, $0^{m},70$ d'espace libre de chaque côté).

Les âmes sont des treillis simples sans lignes surabondantes. Les barres cornières forment des triangles équilatéraux; elles sont rigoureusement symétriques par rapport aux âmes pleines des semelles; les assemblages sont renforcés de telle sorte que le centre de rivure coïncide avec le centre de gravité de la section des barres.

Les entretoises sont des poutres évidées, du genre Fink; elles comptent deux montants verticaux à l'aplomb de chaque rail. Assez légères pour que l'ossature métallique du plancher accusât une flèche de 8 millimètres sous les machines d'épreuve (somme des flèches des entretoises et des longerons), elles ont été renforcées avec du ciment de manière à réduire la flèche totale à moins d'un millimètre. La rigidité du tablier a été ainsi augmentée, et les vibrations de l'ouvrage ont été réduites dans une proportion considérable.

Les piles métalliques sont oscillantes, à double rotule. Le tablier est attaché solidement à l'un des viaducs terminaux en maçonnerie, et cette attache essentielle a été consolidée par un chaînage en ciment armé prolongé jusqu'à la culée du viaduc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les piles métalliques se composent de nervures en caisson dont le rayon de giration est au moins égal à la

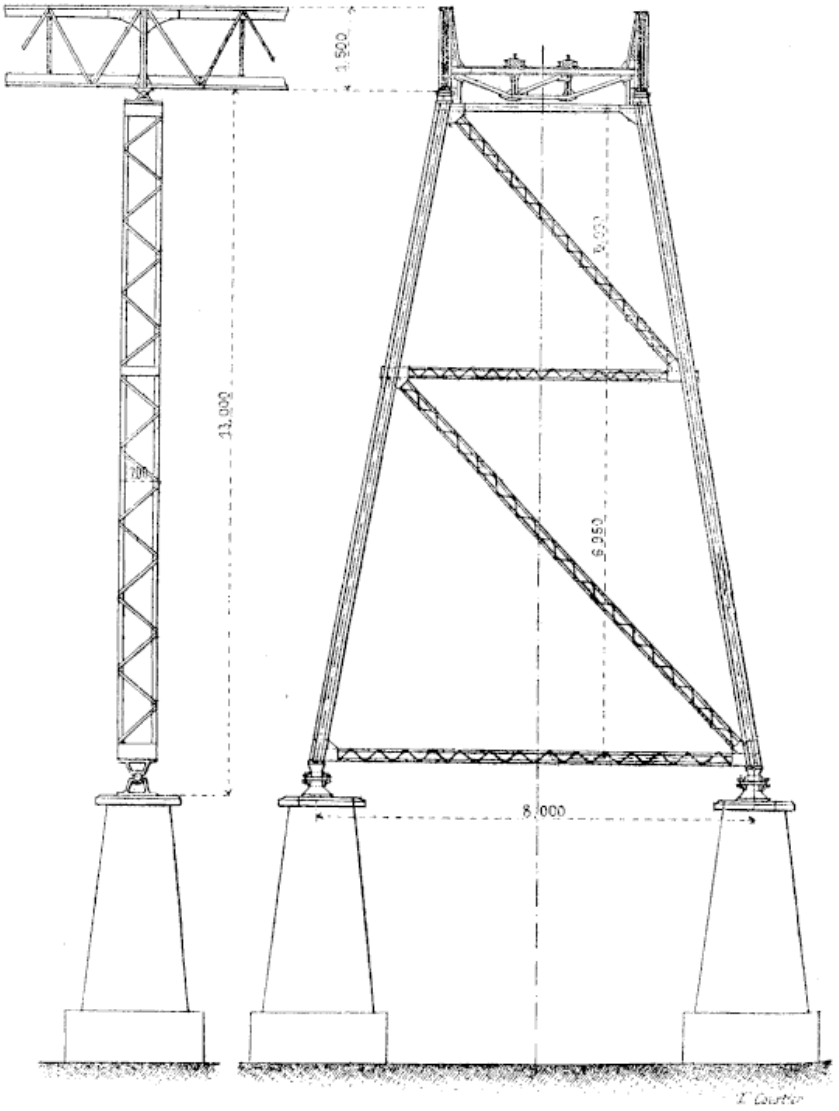


Fig. 143. — Viaduc de Dehault : élévation et coupe transversale au droit d'une pile.

5oe partie de la hauteur. Le contreventement, d'un dessin très simple, est composé des pièces strictement suffisantes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour rendre le support géométriquement indéformable dans le sens transversal; ces pièces sont également des caissons à âmes évidées, dont le rayon de giration est considérable relativement à la portée.

Chaque pile métallique est supportée par deux dés, en maçonnerie ordinaire, de hauteur variable. La répartition de la hauteur totale du support entre la pile métallique et le dé en maçonnerie a été faite suivant la combinaison qui donnait le minimum de dépense.

La section de chaque dé étant seulement de $1^{mq},44$ au niveau du couronnement, on a établi dans la maçonnerie ordinaire des tranches horizontales de $0^{m},10$ de hauteur en béton de ciment armé, espacées de $1^{m},50$. En s'opposant ainsi au mode de rupture habituel des maçonneries ordinaires, on a donné à celles-ci une résistance considérable.

La dépense totale a été de 59,560 francs (fondations comprises) et de 54,560 francs (sans fondations). Le mètre carré du viaduc, en élévation, ressort ainsi à 30 francs ou à 28 francs suivant les cas.

La dépense se décompose comme il suit:

Fondation sur pilotis et béton de ciment.....	5,000f
Maçonnerie de toute espèce	16,000
Fers et aciers : $84,257^{k}$ à $0^{f},39$.....	32,860
Consolidation du plancher en ciment armé.....	5,700
TOTAL.....	59,560

L'ouvrage a été projeté, calculé et construit par M. HAREL DE LA NOË, ingénieur en chef de la Sarthe, avec la collabo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ration de MM. les conducteurs Plard (pour les projets et les calculs) et Maillard (pour la construction). La partie métallique a été fournie par les Ateliers de construction de Hautmont (Nord); les maçonneries ont été faites par M. Mounot, entrepreneur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IX

LIGNE DE NONTRON À SARLAT.

OUVRAGES DIVERS.

Un panneau de dessins.

Les ouvrages figurant sur le panneau exposé sont :

1° Un type de ponts métalliques;

2° Un type de souterrains;

3° Le pont de l'Auvézère;

4° La passerelle du Fornial, dont la présente notice donne une description très succincte.

Type de ponts métalliques. — Le type des ponts métalliques, d'une grande légèreté, se distingue des types ordinairement employés par la suppression de la poutre de rive et par la position des poutres principales placées latéralement à la voie.

La poutre de rive est remplacée par une poutre en N, de poids moindre que la plupart des garde-corps courants.

En mettant les poutres principales en dehors des rails, on peut augmenter leur hauteur de l'épaisseur des longrines ou traverses, coussinets et rails; et par suite, sans diminuer le passage, réaliser une économie de métal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant aux pièces de pont, elles subissent un moment fléchissant peu important à cause de la faible distance du rail aux poutres principales.

Une tôle striée solidement rivée sur les entretoises donne une grande rigidité transversale.

Type de souterrains. — Le type de souterrain appliqué depuis 1892 sur la partie de ligne comprise entre Hautefort et Sarlat présente cette particularité, d'avoir l'aqueduc sur le côté. Cette disposition offre un grand avantage au point de vue de l'exploitation, car elle permet de procéder au curage de cet aqueduc sans dégarnir la voie.

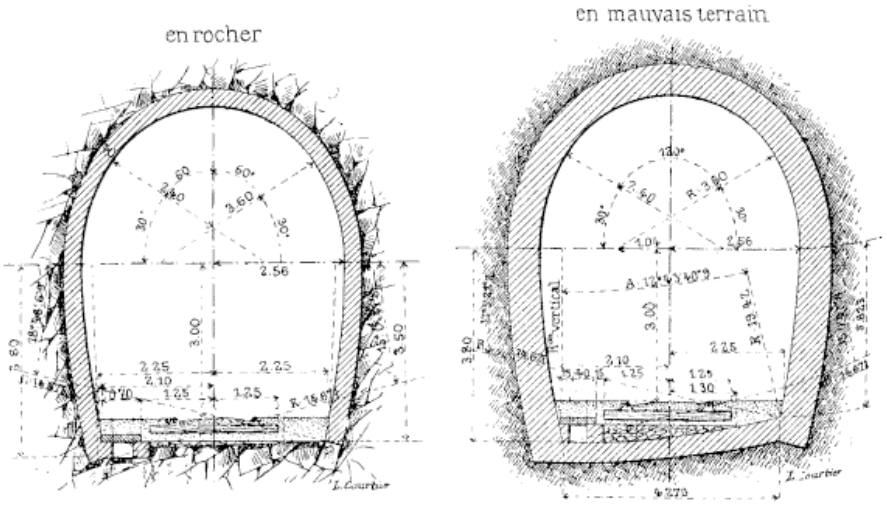


Fig. 144 et 145. — Types de souterrain de la ligne de Nontron à Sarlat.

Elle est de plus économique, car, avec ce système, le cube des déblais est moindre qu'avec le type à aqueduc central.

Son application dans des terrains très différents a donné partout de très bons résultats.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pont métallique de l'Auvézère. — Ce pont, en acier, est constitué par deux poutres principales de 54m,50 de portée, dont la hauteur totale est de 6m,40; elles sont à âme simple, formées d'N simples (poutre Pratt) et comportent dix panneaux de 5m,45.

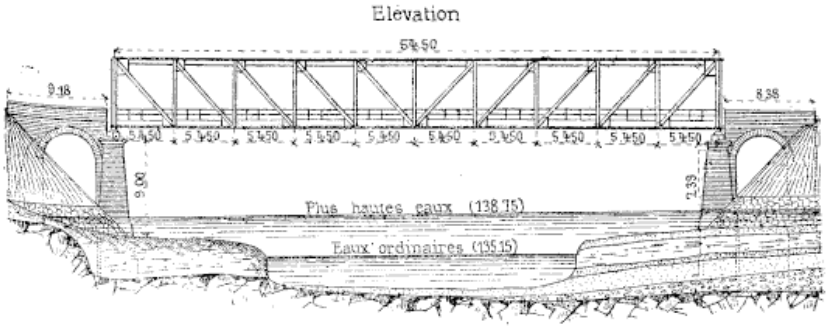


Fig. 146. — Pont métallique de l'Auvézère.

La rivure, faite sur le chantier, a été exécutée, en grande partie, au moyen de riveuses à l'air comprimé.

Le C à river employé était un type à excentrique actionné par un compresseur d'air fonctionnant à 4 ou 5 kilogrammes de pression par centimètre carré et mu par une locomobile de la force de 8 à 10 chevaux-vapeur.

La suspension adoptée au début présentait quelques inconvénients et on l'a remplacée par une autre, formée d'une sorte de poulie en acier doux de 1 mètre de diamètre, qui permettait de donner facilement à l'axe de rotation des inclinaisons variables, à l'aide d'un palan manœuvré par une vis sans fin.

Pour lever ou baisser le C à river, on utilisait un second palan de même système placé au-dessus du premier.

La manœuvre, suivant les deux axes rectangulaires du pont, était assurée par le chariot-grue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Malgré les fausses manœuvres du début, le rivetage à la machine s'est effectué à raison de $0^{f},60$ par rivet de 20 millimètres en moyenne de diamètre et y compris les frais d'installation.

Le rivetage à la main s'est exécuté à raison de $0^{f},39$ par rivet de 18 millimètres de diamètre moyen.

Le poids du tablier par mètre linéaire est de 2,614 kilogrammes.

Le montage du pont s'est effectué sur échafaudages, en mai 1897, et il a duré quinze jours.

Le rivetage, tant à la main qu'à la machine, a été exécuté en un mois et demi et terminé le 3 juillet 1897.

Passerelle du Fornial. — Cette passerelle en fer, pour piétons, a été calculée pour supporter une surcharge de 400 kilogrammes par mètre carré, répartie d'une manière quelconque, et pour une pression de vent de 270 kilogrammes par mètre carré.

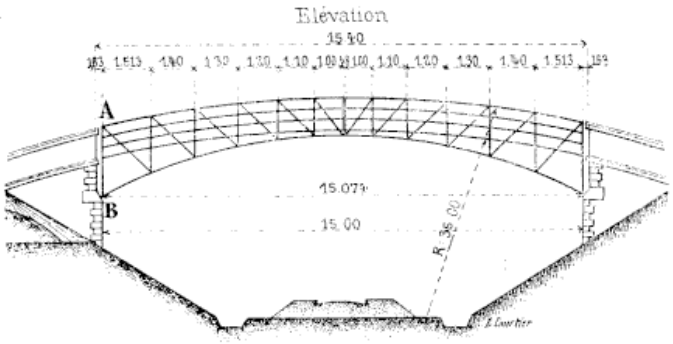


Fig. 147. — Passerelle du Fornial.

Elle est constituée par deux poutres en N réunies par un joint flexible à la clef et articulées aux naissances.

Le contreventement est placé le long de l'arc, et le plate-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lage est formé par une tôle striée de 5 millimètres, sur laquelle est posée une couche d'asphalte de $0^{m},015$.

Coupe transversale suivant **AB**

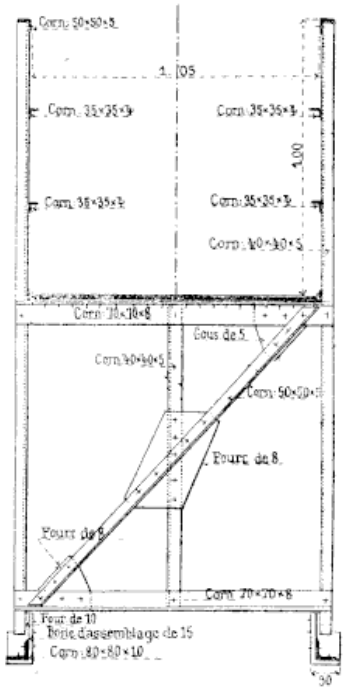


Fig. 148. — Passerelle du Fornial.

Le montage de cette passerelle, exécuté en juillet 1897, a été fait en douze jours.

La dépense s'est élevée :

Pour les maçonneries, à.....	1,221f,16
Pour la partie métallique, à.....	843,02
TOTAL.....	2,064,18

Soit, par mètre linéaire, $94^{f},68$.

Personnel. — Les ingénieurs et les principaux collaborateurs qui ont concouru à la rédaction des projets ou à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'exécution des travaux du pont métallique de l'Auvézère et de la passerelle du Fornial sont les suivants :

	MM.
Ingénieurs en chef.	Pihier (1891-1894).
	Chastellier (1894-1899).
	Robert (1899).
Ingénieurs ordinaires. . .	Mesnager (1891-1899).
	Nouailhac-Pioch (1899).
Conducteurs	Durand.
	Mazel.
	Mouton.
Constructeur.	La Société des établissements métallurgiques d'Onnaing (Nord).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

X

VIADUC DU VIAUR

(LIGNE DE CARMAUX À RODEZ).

Un modèle au $\frac{1}{50}$.
Une vue pittoresque. — Un album de photographies.
Un carton de dessins d'exécution.

Avec les 220 mètres de portée de sa travée centrale, le viaduc du Viaur [1] est, après le *Forth bridge*, l'ouvrage métallique rigide qui présente le plus grand écartement entre ses points d'appui.

Ce viaduc est en construction sur le chemin de fer de Carmaux (département du Tarn) à Rodez (département de l'Aveyron). La rivière qu'il franchit est le Viaur, petit affluent de l'Aveyron, et la cote du rail au-dessus du fond de la vallée est de 116 mètres.

I. HISTORIQUE.

Les études du chemin de fer ayant montré qu'avec les courtes vallées secondaires qui descendent dans le Viaur, le tracé ne pouvait franchir cette rivière à moins de 82 mètres de hauteur, au prix, d'ailleurs, de déclivités de 25 millimètres par mètre, il fut décidé de maintenir la ligne sur

[1] Voir *Annales des ponts et chaussées*, 1898, 1er et 2e trim. ; 1899, 1er et 4e trim.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les plateaux avec un maximum de déclivités de 20 millimètres et de franchir le Viaur à grande hauteur.

Les nombreuses solutions étudiées par les ingénieurs de l'État (M. Pacull, ingénieur en chef, M. Berget, ingénieur ordinaire), et parmi lesquelles se trouvait un arc de 220 mètres d'ouverture, ayant mis en évidence les difficultés que présentait, pour une semblable traversée du Viaur, le choix d'un ouvrage pleinement satisfaisant, le Ministre des travaux publics décida d'ouvrir, pour cet objet, un concours entre les constructeurs français.

Huit projets furent présentés par les cinq concurrents admis. Celui de la Société de construction des Batignolles fut classé le premier, et ses dispositions furent adoptées en principe pour l'exécution.

La solution consistait essentiellement en un arc de 250 mètres de portée et de $45^{m},37$ de flèche, partiellement équilibré par des encorbellements formant travées de rive et muni d'articulations à la clef et aux naissances ; la dépense était évaluée à 1,800,000 francs environ. Cette solution avait le double avantage de réduire au minimum le cube et les pressions dans les maçonneries, la région ne présentant pas de matériaux de bonne qualité, et d'éviter, dans l'ossature métallique, l'emploi de pièces surabondantes, de l'influence desquelles les calculs ne savent pas encore tenir un compte exact.

Toutefois le projet devait, pour l'exécution, subir les remaniements suivants : toutes les pièces des poutres principales devaient être abaissées au-dessous du niveau du rail, de manière à prévenir, dans la mesure du possible, une catastrophe générale au cas d'un déraillement ; d'autre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

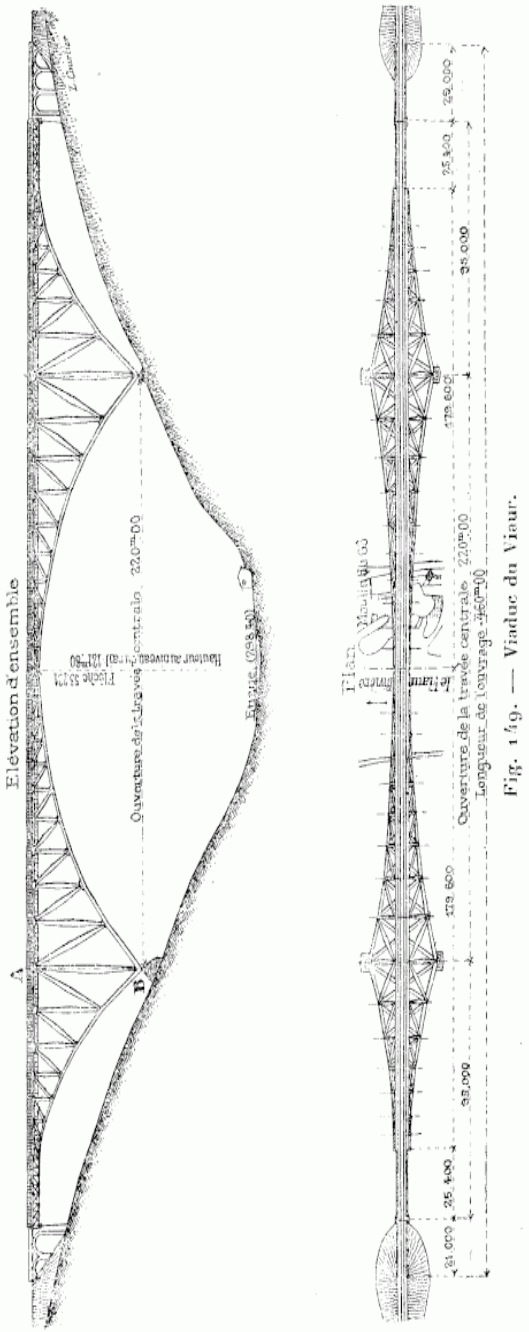


Fig. 149. — Viaduc du Viaur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

part, le plancher métallique et le garde-corps devaient être faits assez robustes pour maintenir sur l'ouvrage un train déraillé, afin d'éviter, le cas échéant, la catastrophe partielle de la chute d'un train du haut en bas de l'ouvrage. De plus, au cours des études du projet définitif, le règlement du Ministère des travaux publics pour le calcul des ouvrages métalliques fut modifié le 29 août 1891. Ces diverses causes relevèrent le prix de l'ouvrage à 3 millions de francs ; mais l'ingénieur de l'État, M. Théry, établit que la réduction d'ouverture et l'augmentation de la flèche de l'arc central permettaient une économie notable.

Finalement, on s'est arrêté aux données actuelles, qui comportent une travée centrale de 220 mètres d'ouverture avec $53^{m},731$ de flèche et conduisent à une estimation de 2,500,000 francs.

II. Dispositions générales. Matériaux.

Description générale de l'ouvrage. — L'ouvrage est à voie unique.

Il comprend, à ses extrémités, deux petits viaducs en maçonnerie, l'un de trois, l'autre de deux arches en plein cintre de 7 mètres d'ouverture. Ces viaducs sont désignés sous le nom d'*arrière-culées*.

Entre les arrière-culées, la partie métallique présente l'apparence d'un arc central de 220 mètres d'ouverture, articulé à la clef, et de deux encorbellements de 95 mètres chacun, le tout reposant par des articulations sur des massifs de maçonnerie, qui ont reçu le nom de *piles-culées*. La distance entre les arrière-culées est donc de 410 mètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIADUC DU VIAUR

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La longueur totale de l'ouvrage est de 460 mètres.

La table de roulement du rail se trouve à la cote 410,20 au-dessus du niveau de la mer, soit à 116 mètres au-dessus du thalweg de la vallée du Viaur.

Description de la partie métallique. — La partie métallique de l'ouvrage présente, à chacune de ses extrémités, une travée de 25m,40 de portée, dénommée *travée de raccordement* et reposant, à un bout, sur l'arrière-

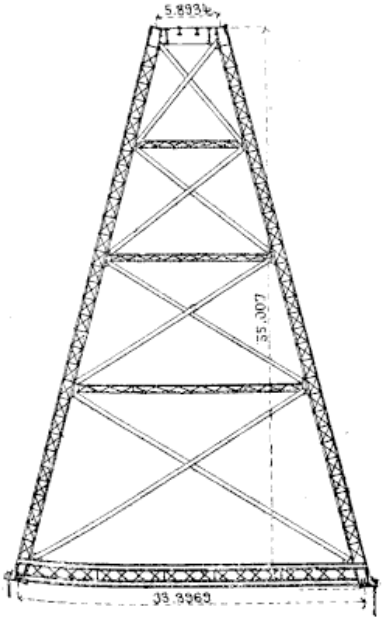


Fig. 150. — Viaduc du Viaur : coupe suivant AB (fig. 149).

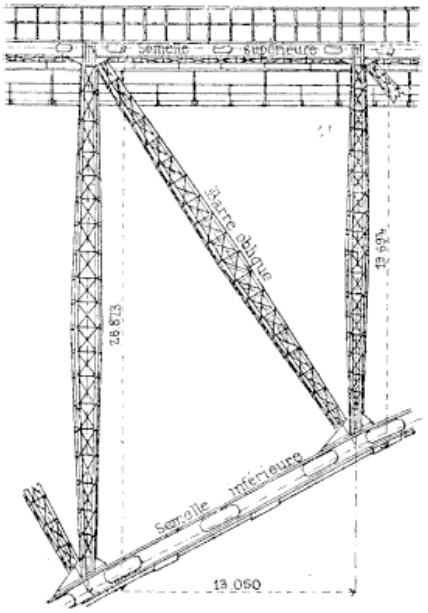


Fig. 151. — Élévation partielle du viaduc du Viaur.

culée et, à l'autre bout, sur le sommet du demi-arc d'encorbellement, de manière que les déformations de ce dernier, par l'effet de la température ou le passage des trains, puissent se faire avec une entière liberté.

Entre la travée de raccordement et l'articulation du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sommet de l'arc central, la charpente métallique est constituée par deux poutres ou fermes principales, convenablement entretoisées et soutenant le tablier et la voie ferrée.

Les poutres ou fermes principales ont la forme d'un triangle à base rectiligne horizontale, à côtés curvilignes, reposant par son sommet sur une pile-culée. Les semelles sont triangulées par montants verticaux et barres obliques sans pièces surabondantes. La longueur de la base du triangle est de $179^{m},60$ et sa hauteur de $56^{m},96$. Les points d'aboutissement des montants, des barres et des semelles sont dénommés *nœuds*.

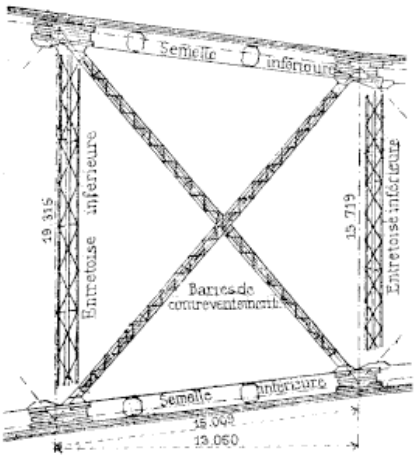


Fig. 152. — Contreventement des semelles supérieures du viaduc du Viaur.

Les deux fermes sont inclinées l'une vers l'autre, à raison de 25 p. 100 sur la verticale, de telle manière que l'écartement de leur plan médian, qui est de $33^{m},40$ sur les piles-culées, n'est que de $5^{m},74$ à la partie supérieure.

L'écartement des deux fermes est maintenu à l'aide de séries d'entretoises horizontales et de croix de Saint-André

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ou de contre-fiches, disposées entre les montants et les barres obliques qui se correspondent dans les deux fermes. De plus, les semelles inférieures sont contreventées par de robustes croix de Saint-André, allant de nœud en nœud.

Les efforts reçus par le tablier sont transmis exclusivement aux nœuds des semelles supérieures, à l'aide d'entretoises qui jouent le rôle de *pièces de pont principales;* deux cours de poutres longitudinales, dénommées *longerons principaux*, vont d'une pièce de pont principale à l'autre et supportent des *pièces de pont secondaires*, sur lesquelles s'appuient les deux cours de *longerons secondaires,* au-dessus et à l'aplomb desquels règnent les longrines en chêne supportant les rails. Entre le tablier et les longrines est interposé un plancher de fers Zorès jointifs, impénétrable à une locomotive déraillée.

Le contreventement des nœuds supérieurs est obtenu à l'aide de larges plats en acier.

Un robuste garde-corps de $1^{m},94$ de hauteur au-dessus du tablier est rivé sur les semelles supérieures. Il a été calculé pour résister au choc d'une locomotive déraillée.

L'épaisseur des fermes, perpendiculairement à leur plan, est de 80 centimètres entre les faces intérieures des tôles. En section transversale, les semelles présentent la forme d'un U et ont les parois pleines; la majeure partie des montants et des barres, ainsi que les pièces du contreventement inférieur, sont à section rectangulaire, avec faces à claire-voie ; les autres sont à double T, avec âme à treillis. Les montants et les barres les plus chargés ont reçu, dans le plan des fermes, une forme en fuseau ; la section transversale des montants verticaux aboutissant aux piles-culées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

présente, à l'intérieur des fers, $0^{m},800 \times 0^{m},880$ aux extrémités et $0^{m},800 \times 2^{m},250$ au milieu.

Les dispositions en treillis de la plupart des parois des pièces, se prêtant à la circulation des ouvriers, ont permis de réduire les appareils de visite de l'ouvrage à quelques courtes échelles, placées dans le voisinage des nœuds.

Les poids ont été calculés de telle manière qu'il y ait poussée à la clef de l'arc central. Cette poussée, pour deux fermes opposées, peut varier avec le vent et la circulation des trains, entre 153 et 420 tonnes. Malgré l'importance du minimum de poussée, les abouts de chaque ferme, au sommet de l'arc central, ont été rendus solidaires par deux bielles placées dans le plan horizontal médian de l'articulation, afin de ne pas gêner le fonctionnement de cette articulation; ces deux bielles pourraient, en toute sécurité, supporter un effort de 112 tonnes.

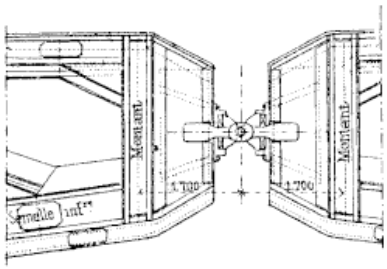


Fig. 153. — Articulation à la clef du viaduc du Viaur.

De même, dans les conditions les plus défavorables où peut souffler le vent, le coefficient de stabilité de la charpente métallique ne descend pas au-dessous de 1,24 : cependant, par mesure de sécurité, le pied de chacune des fermes a été ancré dans les maçonneries de la pile-culée par un tirant de 17 centimètres de diamètre, qui, dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'hypothèse d'un travail normal du métal, porte le coefficient de stabilité à 1,67.

La charpente métallique des fermes se termine, à la partie inférieure, par une surface de $1^{m},250$ sur $1^{m},690$, normale au plan longitudinal des fermes; cette surface s'appuie, par l'intermédiaire d'une lame de plomb, sur une chaise en acier coulé, dont la base a été usinée en forme de segment de cylindre droit de $0^{m},350$ de rayon. Ce cylindre constitue l'articulation des naissances; il s'emboîte dans un segment de cylindre creux de $0^{m},360$ de rayon, creusé dans une chaise inférieure en acier coulé, qui repose, par l'intermédiaire de coins, sur une plaque en fonte.

Cette plaque en fonte transmet les pressions au couronnement de granit des piles-culées, par l'intermédiaire d'une plaque de plomb. Sa surface d'appui a la forme d'un dièdre, dont l'arête est parallèle à l'axe d'articulation et dont les plans sont, l'un horizontal, l'autre incliné à 30 p. 100 sur l'horizontale; ces dispositions sont commandées par les variations de la résultante des poids pendant et après le montage. Ces variations ont, d'ailleurs, conduit à maintenir la plaque de fonte par un tirant de 13 centimètres de diamètre, ancré dans les maçonneries.

Le réglage définitif des articulations de la base s'obtiendra à l'aide des coins engagés dans la face supérieure de la plaque de fonte et à l'aide de coins latéraux agissant également sur la chaise inférieure.

Les deux arbres qui constituent l'articulation du sommet de l'arc ont 20 centimètres de diamètre. Ils sont pris entre deux demi-mâchoires en acier coulé, boulonnées sur l'about des fermes principales.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Maçonneries. Piles-Culées. — Les maçonneries des viaducs d'approche ne présentent aucune particularité à signaler.

Les deux piles-culées sont constituées, chacune, par deux massifs, à raison de l'écartement du pied des deux fermes principales, lequel atteint 33m,40 d'axe en axe.

Ces massifs de maçonnerie, fondés dans le rocher qui est apparent sur les flancs de la vallée, dépassent le terrain naturel de quantités variables, mais seulement dans la mesure nécessaire pour placer les quatre points d'appui de la charpente métallique dans un même plan horizontal. Ces massifs sont couronnés par trois assises de granit, sur lesquelles s'appuie, comme il a été dit, le sommier de fonte qui reçoit et transmet aux maçonneries les pressions de la charpente métallique.

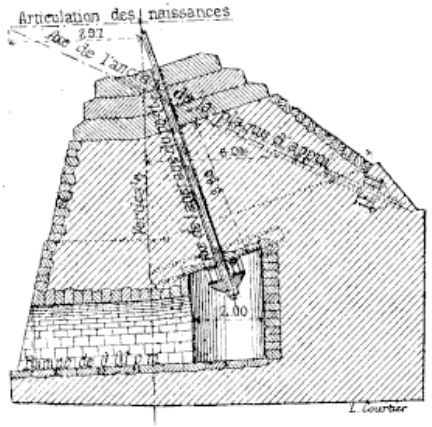


Fig. 154. — Coupe du massif aval de la culée Carmaux.

L'assise inférieure des pierres de taille présente à sa base une largeur de 4m,80 et une longueur développée de 5m,50.

Chaque massif de pile-culée a reçu, dans sa partie inférieure, une armature métallique, sur laquelle s'appuient

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les tirants d'ancrage de la ferme correspondante et du sommier de fonte. Des galeries permettent de visiter la tête et l'appui des ancrages des fermes.

La pression maximum par centimètre carré atteint :

35 kilogrammes sous le sommier de fonte ;

12 kilogrammes à la base des pierres de taille du couronnement ;

7 kilogrammes sur le sol de fondation.

Le coefficient minimum de stabilité des massifs est de 2,80.

Matériaux. — Sauf les fers Zorès du tablier et les travées de raccordement qui sont en fer, toute la charpente métallique est en acier laminé ; quelques équerres de fortes dimensions sont en acier coulé.

Les rivets sont exclusivement en fer.

Les articulations sont en acier coulé ; les tirants d'ancrage, en fer forgé, et les sommiers d'appui sur la maçonnerie, en fonte.

Le poids total du métal se répartit comme suit en nombres ronds :

Tôlerie d'acier, rivée en fer	2,900,000^{k}
Tôlerie de fer, rivée en fer	500,000
Fer forgé, acier moulé ou forgé	65,000
Fonte	30,000
Plomb	5,000
TOTAL	3,500,000

L'acier doit satisfaire, au minimum, aux conditions sui-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vantes : charge de rupture, 42 kilogrammes par millimètre carré ; allongement avant rupture, 20 p. 100 au moins et 22 p. 100 en moyenne ; limite d'élasticité, 24 kilogrammes; striction, 45 p. 100.

Le fer à rivets doit réaliser, au minimum, une charge de rupture de 36 kilogrammes et un allongement avant rupture de 16 p. 100; il doit, de plus, satisfaire à diverses épreuves à chaud, destinées à reconnaître les conditions de soudure des fibres.

Les métaux sont soumis aux épreuves du cahier des charges et reçus aux usines par le personnel de la Marine nationale, qui a bien voulu prêter son concours au Service des ponts et chaussées. De plus, des éprouvettes sont adressées, à raison d'une éprouvette par 20 tonnes de métal, au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, pour être étudiées, d'une manière plus complète, avec les appareils perfectionnés que possède ce laboratoire pour les essais des métaux.

Les maçonneries, dont le cube est d'environ 4,000 mètres, ont été exécutées :

Pour le remplissage, avec les moellons, de schiste porphyroïde quartzeux ou de gneiss, trouvés à proximité de l'ouvrage;

Pour les parements, en calcaire de Bruniquel (Tarn-et-Garonne);

Pour le couronnement des piles-culées, en granit du Sidobre (Tarn);

Pour le sable, avec les dépôts du Viaur;

Pour la chaux, avec les produits du Teil;

Pour le ciment, avec des produits à prise lente,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III. Exécution des travaux.

Ateliers. — À raison de la grande longueur des pièces, des sujétions résultant de l'inclinaison des fermes principales et enfin de la complexité des assemblages (car à certains nœuds aboutissent jusqu'à neuf pièces), il a été décidé de dresser, pour chaque pan de charpente, une épure en vraie grandeur et de présenter chaque pièce sur chacune des épures auxquelles elle appartiendrait, de manière à effectuer, avant le montage en place, un assemblage complet de la totalité de chaque pan de charpente. C'est avec cette méthode seulement que l'on pouvait avoir la certitude de réaliser, dans l'espace, l'assemblage des pièces, sans y développer des efforts anormaux.

C'est ainsi qu'il y a :

Une épure de ferme principale;

Une épure des entretoisements, y compris la pièce de pont principale, des montants verticaux correspondants de deux fermes principales;

Une épure des entretoisements des barres obliques correspondantes;

Une épure des contreventements des semelles inférieures.

Les ateliers de la Société de construction des Batignolles ne comprenant pas des dépendances assez vastes pour le tracé de ces épures, c'est sur le plateau de la rive gauche de Viaur (côté Carmaux), dans la proximité immédiate de l'ouvrage et en plein air, que ces épures ont été tracées. Ce plateau est ainsi devenu une annexe importante des ateliers de la Société.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les ateliers de Paris, s'effectue la préparation première des métaux (calibrage, planage, sciage, meulage, poinçonnage, etc.), d'après les épures partielles des divers membres de la charpente. On y a aussi effectué, pour des tronçons de faible importance, l'alésage et le rivetage.

Mais c'est dans les ateliers du Viaur que s'effectuent la présentation des pièces sur épure d'ensemble et, par suite, les divers assemblages, l'alésage de la majeure partie des trous et leur rivetage soit à plat sur l'épure, soit dans l'espace, pour solidariser les divers tronçons construits et terminés sur les épures.

Pour desservir ces importants ateliers, des voies ferrées courent autour de chaque épure et la force motrice est fournie aux outils par une machinerie électrique. Cette même machine fournit la force électromotrice aux appareils du chantier.

L'alésage des trous de rivets, qui a pour objet principal d'enlever, avec un anneau de 2 millimètres d'épaisseur au minimum, le métal que le poinçon a écroui au moment du perçage, se fait avec des outils mobiles. Ces outils se composent essentiellement d'une dynamo réceptrice, montée sur chariot et actionnant, par une transmission flexible, une mèche, dont deux hommes assurent, à la main, l'approche et la direction, à l'aide de deux traverses en croix. L'alésage se fait sur l'épure même et peut être réalisée aussi bien sur des tôles verticales que sur des tôles horizontales.

Le rivetage qui, dans le principe, était prévu à la machine hydraulique, est fait, à peu près exclusivement, à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

main. Toutefois les rivets posés dans les ateliers de Paris le sont à la machine. Au Viaur, se trouve une riveuse hydro-électrique assez facilement orientable, mais dont l'utilisation est très limitée par suite du poids même de cet outil et par suite des formes tubulaires de la plupart des pièces de la charpente métallique.

Les tronçons de sectionnement des pièces ne doivent pas dépasser, en principe, le poids de 4,000 kilogrammes, pour la facilité des manutentions des chantiers.

Montage en place. Chantiers. — La conduite de l'opération du montage en place est ainsi arrêtée :

Chacun des encorbellements sera construit en totalité et tout d'abord, à l'aide d'un échafaudage dont l'établissement est relativement facile, bien que sa hauteur atteigne jusqu'à 70 mètres.

L'encorbellement exécuté, on construira l'arc central en porte-à-faux à l'aide d'un échafaudage mobile, en porte-à-faux lui-même et progressant sur les semelles supérieures au fur et à mesure de leur avancement. Le poids d'un encorbellement étant inférieur au poids d'un demi-arc central, des haubans métalliques, frappés sur l'extrémité de l'encorbellement et ancrés dans le rocher, s'opposeront au renversement des charpentes par rotation autour des articulations des piles-culées.

Pour l'encorbellement, comme pour l'arc central, l'ordre de montage est le même :

Les pièces des deux fermes du même demi-viaduc sont montées symétriquement, en partant de la pile-culée; et l'établissement des entretoisements ou des contreventements

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de deux pièces correspondantes suit l'avancement de ces pièces;

Les montants s'établissent en progressant du nœud inférieur vers le nœud supérieur; les barres obliques, en progressant du nœud supérieur vers le nœud inférieur; et les semelles, de manière à compléter la maille triangulaire dont elles font partie;

Les tronçons des pièces sont amenés à pied d'œuvre à l'aide d'un plan incliné à deux voies, qui sont reliées aux voies ferrées de desserte des épures. Pour faire franchir la vallée aux tronçons du demi-viaduc Rodez, un câble transbordeur, pouvant porter 4,000 kilogrammes, a été installé entre le plan incliné et la pile-culée-Rodez.

La mise en place des tronçons se fait à l'aide d'un chariot muni de deux treuils électriques roulants, de la force chacun de 4 tonnes; le chariot roule sur l'échafaudage, pour les encorbellements, et roulera, pour l'arc central, sur les semelles supérieures et sur l'échafaudage volant dont il a été parlé plus haut.

Durée des travaux. — Pendant la préparation, l'examen et la discussion des dessins d'exécution, la Société a procédé à l'établissement des maçonneries et à l'installation des chantiers.

Le montage en place de la charpente métallique a été commencé le 29 mars 1899.

Au 31 octobre, le poids de métal en place atteignait 374,000 kilogrammes, et trois triangles de l'encorbellement Carmaux étaient terminés, ainsi que la majeure partie de leurs entretoisements et de leurs contreventements; il y

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avait, rendus au Viaur, 2,300,000 kilogrammes de tôlerie d'acier et 400,000 rivets, dont 225,000 étaient posés.

La Société pense que l'articulation du sommet de l'arc pourra être posée au mois de septembre 1900, et l'ouvrage, livré vers le milieu de l'année suivante.

Les études préliminaires du viaduc, les études des nombreux avant-projets présentés à l'Administration avant la mise au concours et la vérification des avant-projets déposés au concours ont été poursuivies par M. Berget, ingénieur des ponts et chaussées, sous les ordres de M. Pacull, ingénieur en chef, et la haute direction, successivement, de M. Croizette-Desnoyers et de M. Renoust des Orgeries, inspecteurs généraux, ainsi que de M. l'inspecteur général Robaglia, président de la Commission de classement du concours et d'examen des projets définitifs.

La vérification des projets définitifs présentés par l'adjudicataire, d'abord avec un arc central de 250 mètres de portée, puis avec un arc central de 220 mètres, a été faite successivement par MM. Berget, Husson et Théry, ingénieurs ordinaires, sous les ordres de MM. Richou, Callon et Fouquet, ingénieurs en chef.

L'approbation des dessins d'exécution et la direction des travaux ont été ou sont confiés, sous la direction de M. de Volontat, ingénieur en chef, à M. Théry, ingénieur ordinaire, jusqu'au 1er août 1898, et à M. Jacquerez, depuis cette date.

Les principaux collaborateurs des ingénieurs ont été ou sont : M. Andrieu, conducteur des ponts et chaussées, chef de section, qui a suivi les études depuis leur origine et qui est actuellement chargé de la surveillance des travaux, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Ferras, Blatgé et Aussenac, conducteurs, sous-chefs de section.

C'est la Société de construction des Batignolles, à Paris, qui a rédigé l'avant-projet, ainsi que le projet définitif et les dessins d'exécution, et qui est chargée de la construction du viaduc qui vient d'être décrit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XI

VIADUC DE LA GASCARIE-SOUS-RODEZ

(LIGNE DE CARMAUX À RODEZ).

Une vue pittoresque.
Un modèle de trois arches à l'échelle de $0^m,04$ pour 1 mètre ($\frac{1}{25}$).

Le chemin de fer de Carmaux à Rodez, concédé à la Compagnie du Midi par la loi du 20 novembre 1883, est destiné à assurer les relations entre Rodez, Albi et Toulouse, et traverse les départements du Tarn et de l'Aveyron sur une longueur totale de 66 kilomètres.

La ligne est construite à une seule voie. Les déclivités maxima y sont de 20 millimètres par mètre, et le tracé traverse deux rivières importantes : le Viaur, entre les villages de Tanus et de Malphètes, et l'Aveyron, aux portes de Rodez.

Le viaduc de la Gascarie assure le passage de cette dernière rivière, immédiatement avant la halte de la Gascarie.

L'ouvrage se compose de douze arches en plein cintre de 20 mètres d'ouverture et présente une longueur totale de $296^m,30$. La hauteur maximum des rails au-dessus des eaux de l'étiage de l'Aveyron est de $49^m,13$.

Il est construit en maçonnerie : la découverte d'une carrière de gneiss bleu et dur sur la rive droite de l'Aveyron et sous le viaduc même ayant permis d'éviter l'emploi de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

travées métalliques prévues au projet de tracé et de terrassements.

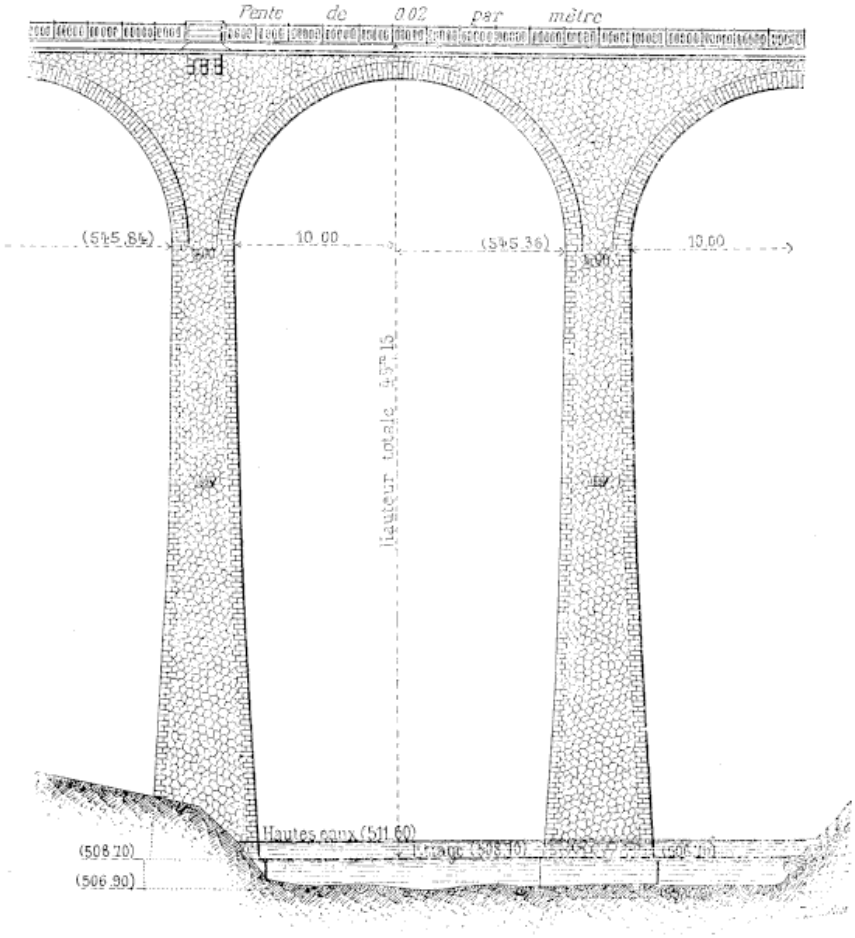


Fig. 155. — Élévation partielle du viaduc de la Gascarie.

Il est à un seul étage, en rampe de 20 millimètres, en alignement droit sur 226m,70 et en raccordement parabolique précédant une courbe de 300 mètres de rayon sur le reste, soit sur 69m,60. Sa largeur prévue pour une seule voie est, au niveau des rails, de 4m,50, comprenant deux parapets en fonte, deux trottoirs de 0m,44 formés par les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIADUC DE LA GASCARIE-SOUS-RODEZ

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plinthes et $3^{m},62$ de ballast. Au droit des refuges placés en encorbellement sur les piles, la largeur est de $5^{m},30$, dont $0^{m},50$ pour les parapets exécutés en maçonnerie.

Le parapet en fonte est ajouré et repose sur des plinthes du genre Robaglia, de $0^{m},90$ d'épaisseur et $0^{m},40$ de queue. Grâce à ces fortes proportions, en rapport d'ailleurs avec la hauteur de l'ouvrage, la largeur entre les tympans est réduite au minimum.

Les piles sont construites de manière à égaliser partout la pression sur les assises maçonnées, c'est-à-dire que, sur toutes leurs faces, elles présentent des fruits variant tous les 4 mètres et croissant graduellement du sommet à la base.

Aucun contrefort n'a été exécuté, et la profondeur maximum des fondations est de $13^{m},24$ à la pile n° 2 du côté Carmaux, la moyenne étant égale à $4^{m},96$.

Les pressions par centimètre carré aux diverses sections des piles, en supposant que le train type, indiqué à l'article 4 de la circulaire ministérielle du 29 août 1891, passe sur le viaduc, varient entre $7^{k},33$ au pied du fût de la plus grande pile et $7^{k},73$ à 12 mètres au-dessous des naissances.

Elles sont de $7^{k},29$ sur le sol des fondations.

A la clef, la pression moyenne est de $5^{k},63$ pour la voûte correspondant à la plus haute culée (côté Carmaux).

Fondations. — Le viaduc repose sur le gneiss bleu identique à celui qui a servi à le construire, et les fondations n'ont présenté aucune difficulté, sauf à la pile n° 2 où il a fallu descendre à $13^{m},24$ et où l'on a rencontré,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

selon toute vraisemblance, le lit majeur de la rivière de l'Aveyron.

Piles. — Les angles des piles des culées et des refuges sont en moellons smillés, calcaires, légèrement rosés; les parements vus sont en moellons ordinaires de gneiss bleu à joints incertains.

La maçonnerie de remplissage est faite de moellons bruts de gneiss, constituant des assises grossièrement arasées suivant un plan horizontal, dont la hauteur maximum est de $0^{m},75$ et correspond sensiblement à trois assises des moellons d'angles.

Cintres. — Les cintres, composés de quatre fermes, étaient soutenus sous chaque ferme par deux rails traversant les piles et pesant 36 kilogrammes au mètre courant; un jeu de quatre cintres a suffi pour l'exécution de l'ouvrage.

Voûtes. — L'extrados de chaque voûte est formé de deux quarts de cercle ayant respectivement $9^{m},76$ et $10^{m},24$ de rayon, de manière à racheter la rampe de 20 millimètres par mètre, tout en maintenant au même niveau les naissances des deux arcs adjacents.

Les voûtes ont $1^{m},10$ d'épaisseur à la clef et $2^{m},20$ au joint de rupture. En élévation, elles présentent un bandeau uniforme en moellons smillés de 1 mètre de largeur, en saillie de 3 centimètres sur les tympans dont le fruit est de $\frac{1}{49}$ millimètres par mètre.

Entre les naissances et le joint de rupture à 30 degrés sur l'horizontale, la maçonnerie des voûtes est composée de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moellons ordinaires choisis parmi les méplats et appareillés en voûte.

Au-dessus de ce joint, à 30 degrés, les voûtes sont entièrement constituées par des moellons calcaires, dressés sur toutes leurs faces; elles ont été exécutées en deux rouleaux, à l'exception du bandeau des têtes qui a été construit tout entier en même temps que le premier rouleau.

Le premier rouleau a été clavé en sept jours et le deuxième en quatre jours, ce qui donne, pour la construction entière d'une voûte, onze jours. Le décintrement a été péré dix jours après le clavage du deuxième rouleau, et le tassement moyen des cintres n'a pas dépassé 18 millimètres.

Une chape en mortier gras de $0^{m},05$ d'épaisseur, au dosage de 400 kilogrammes de chaux Pavin de Lafarge au Teil (ficelle blanche) par mètre cube de sable, est appliquée sur la surface convexe de l'extrados des voûtes et sur la surface concave obtenue par un cercle de 3 mètres de rayon disposé tangentiellement aux extrados de deux voûtes consécutives.

L'espace compris entre les voûtes et les tympans est rempli de pierres sèches rangées à la main, disposées à plat sur l'asphalte.

Enfin une couche de ballast de $0^{m},50$ recouvre le tout et sert à poser les rails.

Montage. — Il n'a pas été fait de pont de service parallèle, et le montage s'est effectué, depuis le niveau du sol naturel jusqu'au sommet, au moyen de passerelles métalliques de 21 mètres de portée et de 1 mètre de largeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les piles furent commencées simultanément des deux côtés, mais comme tous les matériaux provenaient du côté Rodez, et en particulier les moellons ordinaires de la carrière de la Gascarie, deux plans inclinés, disposés parallèlement au viaduc, permettaient de les répartir à la hauteur de chaque pile. Une passerelle, sur l'Aveyron, des voies de 1 mètre de large et quelques wagons traînés par des chevaux assuraient l'approvisionnement régulier des divers chantiers. Dès que deux piles adjacentes s'élevaient au-dessus du sol, elles étaient reliées entre elles par une passerelle métallique et au sol par une autre disposée en pente douce et aboutissant aux abords des stations des plans inclinés. Les matériaux et le mortier étaient alors amenés à pied d'œuvre sans difficultés par des wagonnets circulant sur des rails placés sur les passerelles et mus à bras d'homme.

Une fois arrivées en contre-haut des naissances, les passerelles servirent au montage des cintres et à la construction des voûtes, grâce au moyen suivant :

Elles furent, pour le montage des cintres, repoussées sur la face latérale du viaduc et à peu près entièrement en dehors en s'appuyant sur de grandes longrines fortement chargées du côté opposé et solidement amarrées aux piles par des fils d'acier.

Cette première opération effectuée, et dès que deux cintres contigus furent achevés, la passerelle fut enlevée tout entière à l'aide de bigues et de treuils à la hauteur de l'intrados et amenée ensuite au milieu du cintre en glissant sur des longrines comme pour quitter les piles.

La construction des voûtes s'est opérée par cascades en allant de Rodez vers Carmaux, et les passerelles placées à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la suite l'une de l'autre, la première étant reliée à la terre et aboutissant au sommet du plan incliné, côté Rodez.

La charge du cintre était disposée sur les reins de la voûte de chaque côté de la passerelle et, pour assurer une égale répartition, placée sur un plancher très rigide, qui, à son tour, reposait sur deux longrines traversant le cintre sur toute sa largeur.

Matériaux employés. — Le dosage des mortiers était fixé à 330 kilogrammes de chaux Pavin de Lafarge (ficelle blanche) par mètre cube de sable, et la nature des matériaux employés déterminée comme ci-après :

Pierre de taille, moellons smillés et tétués : calcaire de Bertholène.

Moellons ordinaires : gneiss de la Gascarie.

Sable : sable du Lot, pris à Penchot.

RÉSUMÉ.

Les conditions d'établissement du viaduc de la Gascarie sont résumées ci-après :

Longueur totale (comprise entre les abouts des parapets)		296m,30
Largeur entre les parapets (garde-corps métalliques)		4 ,50
Largeur entre les têtes (au-dessous de la plinthe)		4 ,55
Hauteur maximum des rails au-dessus du terrain naturel (lit de l'Aveyron)		49 ,00
Superficie en élévation entre la ligne du rail et le terrain naturel, les 1/4 de cône supposés construits	Vide	6,133 ,30
	Plein	2,857 ,15
	Ensemble. S_1 =	8,990 ,45
Rapport du vide au plein		2,15

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Superficie totale entre la ligne du rail, les abouts des culées et le polygone circonscrit aux fondations	Vide	$7{,}542^{m},80$
	Plein	$3{,}481\ ,36$
	Ensemble S_2	$= 11{,}024\ ,16$
Rapport du vide au plein		$2{,}17$
Volume des maçonneries	En fondations	$3{,}101\ ,53$
	En élévation	$15{,}216\ ,68$
	Ensemble C	$= 18{,}313\ ,21$

Dépenses totales.

Fondations non comprises	$D' = 434{,}082^{f},71$
Fondations comprises	$D = 484{,}170\ ,99$

Prix par mètre linéaire.

Fondations non comprises	$\frac{D}{L} = 1{,}465^{f},01$
Fondations comprises	$\frac{D'}{L} = 1{,}634\ ,05$

Prix par mètre superficiel.

Fondations non comprises	$\frac{D'}{S} = 48^{f},28$
Fondations comprises	$\frac{D}{S_2} = 43\ ,92$

Prix moyen du mètre cube.

Au-dessus des fondations	$\frac{D'}{C} = 23^{f},69$
Fondations comprises	$\frac{D}{C} = 26\ ,04$

Prix de revient de mètre carré de la surface d'élévation. $169^{f},45$

Les travaux de maçonnerie, exécutés à l'entreprise par MM. Appay et Vanel, ont été commencés en août 1894 et terminés en 1897.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le parapet métallique a été posé en 1899 par les soins de M. Bousquet, ingénieur-constructeur à Castres.

Le projet, dressé par M. Mahieu, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Renardier, a été exécuté par les mêmes ingénieurs, M. l'ingénieur en chef Le Cornec ayant succédé à M. Renardier, vers la fin des travaux; ces ingénieurs étaient assistés par M. Joffre, conducteur principal, chef de section, et M. Bonnefous, conducteur, sous-chef de section.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XII

VIADUC DE LAVASSAC

(LIGNE DE TOURNEMIRE AU VIGAN).

Un panneau de dessins.

Le viaduc de Lavassac a été établi pour le passage du chemin de fer de Tournemire au Vigan, au point où il franchit la vallée de la rivière d'Arre.

Il est à simple voie et se compose d'une travée unique de 80 mètres d'ouverture.

Cette grande portée a été adoptée par raison d'économie, malgré la faible hauteur du rail au-dessus du fond de la vallée ($27^{m},50$), les sondages ayant fait craindre des difficultés sérieuses pour l'établissement de piles en rivière.

Maçonneries. — Les massifs de maçonnerie formant culées ont, au-dessus du socle, des sections horizontales de $9,34 \times 6,70$, et sont prolongés dans les deux sens par deux voûtes d'évidement de 5 mètres d'ouverture chacune.

Les fondations ont été établies sur des bancs de marne dure, à des profondeurs de $11^{m},92$ et $14^{m},10$ au-dessous du niveau de la rivière à l'étiage. Elles ont été exécutées au moyen de fouilles blindées, qui ont nécessité de forts boisages et des épuisements importants.

Les parements des culées sont en maçonneries à joints

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Page 564 bis

VIADUC DE LAVASSAC

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

incertains avec chaînes d'angle, plinthes et parapets en moellons piqués ou pierre de taille. Tous les matériaux sont calcaires et proviennent soit des carrières de Ruoms (Ardèche), soit des exploitations du pays.

Le tablier métallique est constitué par deux poutres droites de $83^{m},72$ de longueur et de $9^{m},96$ de hauteur, lesquelles sont réunies par des longerons, des pièces de pont et des contreventements.

Les poutres principales sont du système Linville (poutre double du système Pratt). Elles sont constituées par des semelles à âme double, des montants à double T avec ailes renforcées (I) et des diagonaux doubles en fers plats renforcés à leurs extrémités par des cornières. Les longerons, pièces de pont et de contreventement sont du type usuel.

Le tablier est placé à $1^{m},80$ au-dessous des membrures supérieures; il est formé par une tôle striée de 6 millimètres reposant sur les longerons et pièces de pont; une passerelle de visite a été prévue à la partie inférieure.

Les appuis sont l'un fixe et l'autre mobile avec rouleaux, en vue de permettre la libre dilatation du métal. En outre, le tablier qui, à raison de la pente de 18 millimètres suivant laquelle la ligne est établie, tend à s'appuyer sur la culée aval, vient buter contre elle au moyen d'un appareil à clavettes.

L'ouvrage a été monté à son emplacement définitif au moyen d'une passerelle en charpente.

Le métal employé est l'acier doux, ayant une résistance de 45 kilogrammes par millimètre carré et un allongement de 22 p. 100. Toutefois la tôle striée est en fer, et les appuis en acier coulé et forgé. Les rivets, qui sont en acier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus doux que celui du corps de l'ouvrage, ont été, sauf 10 p. 100 environ, mis en place à la machine, soit à l'atelier, soit sur les chantiers.

Les métaux proviennent des usines de La Providence à Hautmont (Nord) et ont été mis en œuvre aux ateliers de la Société des ponts et travaux en fer, à Montataire (Oise).

Le poids total du métal employé a atteint 417,171 kilogrammes, soit, déduction faite des appuis, 4,743 kilogrammes par mètre courant.

Les dépenses se sont élevées à :

Maçonneries.....	183,618f,85
Partie métallique.....	198,041,97

Les épreuves ont été faites conformément aux prescriptions de la circulaire ministérielle du 29 août 1891, et la plus grande flèche constatée sur les poutres principales a été de 28mm,4, inférieure de 1mm,6 au résultat du calcul.

La partie métallique, adjugée le 21 février 1893, a été commencée à l'usine le 9 janvier 1894. On en a opéré le montage du 9 avril 1894 au 27 mars 1895.

Les projets ont été dressés et les travaux dirigés par MM. Renardier, ingénieur en chef, Gérard, sous-ingénieur, pour les maçonneries, Faure, ingénieur ordinaire, pour le tablier métallique, Pigneret et Saix, conducteurs des ponts et chaussées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIII

PONT DE BELLEPERCHE SUR LA GARONNE

(LIGNE DE CASTEL-SARRASIN À BEAUMONT).

Une vue pittoresque. — Un cadre de dessins.

Le pont de Belleperche est construit sur la Garonne, à 6 kilomètres environ de Castelsarrasin. Sa longueur totale est de 203 mètres; sa hauteur est de $13^{m},58$ au-dessus de l'étiage, et de $21^{m},89$ au-dessus du point le plus bas des fondations.

Il est formé de cinq arches elliptiques de 33 mètres d'ouverture et de $8^{m},25$ de montée. Il repose sur des piles de 4 mètres de largeur aux naissances, avec fruit de $\frac{1}{20}$. Les épaisseurs des culées, aux naissances, sont de 11 mètres pour la culée Castelsarrasin et de 8 mètres pour la culée Beaumont.

La largeur libre entre les pilastres des parapets est de $4^{m},24$ sur les arches, $4^{m},64$ sur les culées et $5^{m},04$ sur les piles où sont établis des garages. L'ouvrage ne peut recevoir qu'une voie.

Fondations. — Les piles et culées sont fondées dans le tuf marneux, qui est une formation du terrain tertiaire (oligocène). Les fondations ont été exécutées d'après le système pneumatique, avec caissons métalliques ordinaires; la profondeur maximum des fondations est de $8^{m},55$ au-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dessous du niveau de l'étiage de la Garonne. Les matériaux employés sont le moellon ordinaire en remplissage et la brique en parement.

Piles et culées. — Les piles et les culées sont construites en moellons ordinaires avec parements en briques blanches marneuses pour les piles, et en briques rouges pour les culées. Les chaperons des avant-becs des piles et les chaînes d'angle des pilastres au-dessus sont en pierre de taille de la Baïse.

Cintres et voûtes. — Les cintres étaient formés de quatre fermes en éventail, du type Séjourné, reposant sur des pieux battus dans le lit de la Garonne.

Les voûtes sont en maçonnerie de briques blanches marneuses, avec bandeaux en pierre de taille de Chancelade; leur épaisseur est de $1^{m},35$ à la clef et $2^{m},43$ au joint correspondant au milieu de la montée. Le remplissage est en moellons ordinaires. Ces diverses maçonneries sont exécutées avec mortier de chaux hydraulique du Teil.

Couronnement. — Le couronnement est formé d'une plinthe en pierre de taille tendre supportant des pilastres dans lesquels vient s'adapter un garde-corps métallique constitué par des rails à double champignon et fers méplats rivés entre ces rails.

Durée de l'exécution. — Les fondations ont été attaquées au mois de juillet 1895 et terminées au mois de décembre de la même année.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les maçonneries du pont en élévation ont été commencées au mois de juillet 1898 et seront terminées en 1900.

Dépenses.

La dépense totale s'est élevée à.....	290,800f,00
Ce qui fait ressortir le prix :	
Du mètre linéaire, à.....	1,432,60
Du mètre superficiel en plan, à	312,20
Du mètre superficiel en élévation, fondations comprises, tant plein que vide, à.....	71,60
Du mètre cube du solide rectangulaire ayant la largeur utile de 4m,24 et pour hauteur la distance de la voie au-dessus du libage des fondations, à	26,30
Du mètre cube de maçonnerie, en moyenne, à..	43,63

Ingénieurs et personnel ayant concouru à la rédaction des projets et à l'exécution des travaux. — Le projet du pont et de ses fondations pneumatiques a été dressé, sous la direction de MM. les ingénieurs en chef Bauby et Pugens, par MM. les ingénieurs ordinaires Moffre et Hivonnait.

Les travaux ont été exécutés sous la direction de MM. les ingénieurs en chef Courtois et Le Secq Destournelles, et de MM. les ingénieurs ordinaires Hivonnait, Picarougne et Boulzaguet, et sous la surveillance de M. Boué, conducteur des ponts et chaussées, chef de section, assisté de MM. Sizes et Piquemal, également conducteurs des ponts et chaussées.

Les fondations pneumatiques ont été exécutées par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Richard et Varigard, entrepreneurs de travaux publics à Lyon.

Les maçonneries en élévation au-dessus des fondations ont été exécutées par MM. Fabre et Floret, entrepreneurs de travaux publics.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PONT DE BELLEPERCHE SUR LA GARONNE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIV

PONTS MÉTALLIQUES

SUR LE CANAL LATÉRAL À LA GARONNE

ET SUR LE RUISSEAU DE LAZIN

(LIGNE DE CASTEL-SARRASIN À BEAUMONT).

Un cadre de dessins.

1° PONT MÉTALLIQUE SUR LE CANAL LATÉRAL À LA GARONNE.

Cet ouvrage, situé à 3 kilomètres de Castelsarrasin, est à travée indépendante de $44^{m},10$ de portée; il est établi en palier.

La voie est posée à la partie inférieure.

Les poutres principales forment un treillis composé de montants et de croix de Saint-André; elles ont sept panneaux et leur hauteur moyenne entre les centres de gravité des membrures est de $6^{m},30$.

La section des montants est en forme de croix (+); celle des croix de Saint-André en forme d'U (⊔) et celle des pièces de pont et des longerons en forme de double T (⌶).

Le contreventement horizontal supérieur forme une poutre avec montants et croix de Saint-André : les montants extrêmes ont la section d'un double T composé de quatre cornières et de deux semelles; les montants intermédiaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont une section semblable mais sans semelles; les branches des croix de Saint-André ont la section d'un L (⌞).

Le contreventement horizontal inférieur est constitué par les pièces de pont et la tôle striée.

L'ensemble de la travée repose, du côté de Castelsarrasin, sur des balanciers en acier moulé s'appuyant sur un chariot de dilatation; du côté de Beaumont, l'appui fixe est constitué par un balancier avec socle encastré dans la maçonnerie.

Le métal employé est l'acier.

2° PONT MÉTALLIQUE SUR LE RUISSEAU DE LAZIN.

Cet ouvrage, situé à 4 kilomètres de Castelsarrasin, est établi en pente de $0^{m},01$ par mètre; il est à travée indépendante de $37^{m},80$ de portée.

La voie est posée à la partie inférieure.

Les poutres principales forment un treillis composé de montants et de croix de Saint-André; elles ont dix panneaux et leur hauteur moyenne, entre les centres de gravité des membrures, est de $3^{m},78$.

La section des montants est en forme de croix (+); celle des croix de Saint-André en forme d'U (⊔); celle des pièces de pont et des longerons en forme de double T (⌶).

Le contreventement horizontal inférieur est formé par les pièces de pont et par la tôle striée.

L'ensemble de la travée repose, du côté de Castelsarrasin, sur des balanciers en acier moulé s'appuyant sur un chariot de dilatation; du côté de Beaumont, l'appui fixe est constitué par un balancier avec socle encastré dans la maçonnerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le métal employé est l'acier.

Les projets de ces deux ouvrages, dont les parties métalliques seront construites en 1900, ont été dressés, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Le Secq Destournelles, par M. l'ingénieur ordinaire Boulzaguet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XV

VIADUC DE RÉBUZO

(LIGNE DE QUILLAN À RIVESALTES).

Un modèle en bois à l'échelle de $0^{m},04$ pour 1 mètre ($\frac{1}{25}$).
Un panneau de dessins.

Le viaduc de Rébuzo est situé sur la ligne de Quillan à Rivesaltes, à 7 kilomètres de Quillan et à quelques centaines de mètres de la station de Saint-Martin-Lys. Il franchit la vallée de l'Aude, très encaissée en ce point, entre deux souterrains, dont les têtes ne sont distantes que de 111^{m}.

Sa longueur totale est de 95 mètres. Il est en alignement droit et en rampe de $0^{m},018$. Au milieu, le rail est à 20 mètres au-dessus de l'étiage de la rivière.

Établi pour une seule voie, il présente $4^{m},50$ de largeur entre parapets et 5 mètres entre tympans.

Les berges de la rivière sont rocheuses et très abruptes; le lit est formé de blocs roulés, au milieu desquels il est difficile de pousser profondément au-dessous de l'eau les sondages préparatoires. C'est pourquoi on a adopté une arche centrale de 40 mètres, qui permettait d'établir l'une et l'autre culée sur le roc de la berge sans avoir à descendre les fondations à plus de 2 mètres en contre-bas de l'étiage.

Le viaduc fut donc formé d'une arche centrale en plein cintre de 40 mètres, et de deux arches latérales de 13 mè-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIADUC DE REBUZO

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tres, dont une sert au passage de la route nationale n° 118, d'Albi en Espagne.

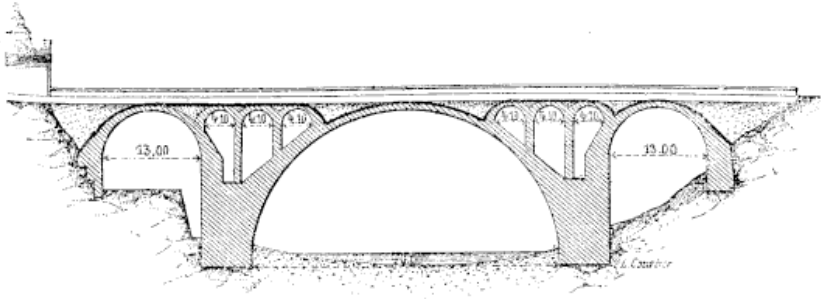


Fig. 156. — Coupe longitudinale du viaduc de Rébuzo.

L'arche centrale, la seule dont nous nous occuperons ici, est encadrée par deux contreforts qui la séparent des arches latérales. Ils ont $2^{m},75$ de largeur à la plinthe et $0^{m},50$ de saillie, avec un fruit de $0^{m},02$ latéralement et de $0^{m},03$ sur la face; ce qui leur donne, aux naissances de la grande arche, une largeur de $3^{m},60$ et une saillie de $1^{m},13$.

Les tympans sont évidés par trois petites arches de $4^{m},10$ d'ouverture, de chaque côté de la clef centrale. L'une d'elles est masquée par le contrefort; les deux autres ont leurs voûtes apparentes, mais leurs pieds-droits sont reliés par un mur de masque de $0^{m},60$ d'épaisseur, en retraite de $0^{m},15$ sur le plan de tête. Cette disposition allégit la vue de l'ouvrage sans lui ôter de la fermeté; elle abrite l'extrados des intempéries, tout en rendant sa visite facile [1]; enfin, en cachant les reins de la voûte, elle permet d'extradosser le bandeau sans lourdeur.

La voûte présente une épaisseur de $1^{m},30$ à la clef et

[1] Un trou d'homme permet de descendre sous les voûtains, et chaque pied-droit est percé d'une ouverture ovoïde de $1^{m},75$ de haut et de 1 mètre de large.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

$2^{m},60$ à l'angle de 30 degrés; et la culée, de 6 mètres aux naissances.

Le bandeau a $1^{m},30$ à la clef et $1^{m},45$ au joint de 28 degrés, où l'archivolte qui le dessine se retourne horizontalement jusqu'au contrefort. Il est, comme la voûte elle-même, en moellons smillés de $0^{m},20$ d'épaisseur d'assises, et formé de trois rangs de moellons de $0^{m},40$ et $0^{m},50$ donnant $0^{m},10$ de découpe. Le moellon supérieur porte l'archivolte; elle fait saillie de $0^{m},10$ sur le tympan, avec $0^{m},30$ de largeur, y compris un chanfrein de $0^{m},05$.

Le couronnement de l'ouvrage est décoré, entre la plinthe de $0^{m},30$ d'épaisseur et la sous-plinthe de $0^{m},17$, par une assise de $0^{m},18$ de moellons smillés, posés alternativement en saillie et en retraite. Ils forment ainsi des modillons de $0^{m},27$ de largeur espacés de $0^{m},40$, en retraite de $0^{m},12$ sur la plinthe et en saillie de $0^{m},27$ sur la sous-plinthe. Ces modillons règnent seulement au-dessus de la grande arche, entre les contreforts. La plinthe fait saillie de $0^{m},45$ sur le tympan et porte un parapet de $0^{m},35$ sur $1^{m},05$, placé en porte-à-faux de $0^{m},10$.

La pierre de taille n'a été employée que pour la plinthe et le bahut du parapet. Les contreforts et pieds-droits, ainsi que les fûts des parapets, ont leur parement en moellons smillés; les tympans et murs de masque, en moellons mosaïqués.

Tous les matériaux sont calcaires, de l'étage crétacé. Leur résistance à l'écrasement a été trouvée de 1,900 kilogrammes par centimètre carré, pour les moellons de parement et de douelle, et de 1,500 à 1,700 kilogrammes, pour ceux employés au queutage de la voûte.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En traçant la courbe des pressions par le tiers supérieur de la clef et le tiers inférieur du joint incliné à 30 degrés sur l'horizon [1], on trouve que la pression moyenne à la clef, au moment du décintrement, est de $4^k,65$, et de $3^k,75$ à l'angle de 30 degrés. Après l'achèvement de l'ouvrage, ces pressions moyennes seraient de $9^k,25$ et 8 kilogrammes dans la partie centrale de la voûte [2], et de $11^k,4$ et $9^k,8$ à l'aplomb du parapet, en supposant que sa charge se répartisse sur une largeur de voûte de 1 mètre à partir du parement des tympans.

Sur le sol des fondations, la culée transmet une pression moyenne de 8 kilogrammes.

Les plans de tête sont verticaux. La construction est très simplement conçue, sans recherche spéciale pour accroître la stabilité de l'arche, bien qu'elle n'ait qu'une faible largeur. Il n'est survenu aucun incident d'exécution; et au décintrement, opéré un mois après le clavage, le tassement, mesuré avec un appareil amplifiant au décuple, n'a été que de $0^m,0012$.

Les maçonneries, jusqu'à l'angle de 25 degrés, sont faites en mortier de chaux du Teil, dosé à 350 kilogrammes par mètre cube de sable. Au-dessus de cet angle, la voûte a été hourdée avec mortier de ciment grappier du Teil, au dosage de 400 kilogrammes. Ces mortiers, pris sur les chantiers,

[1] De nombreuses observations faites au décintrement ont montré que, pour les voûtes en plein cintre, le joint de rupture (dénoté par les fissures des joints d'extrados sur les reins) se maintient entre 30 et 33 degrés, soit $31^o,5$ en moyenne.

[2] Le passage d'un train de machines n'accroîtra pas de 10 p. 100 ces pressions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont accusé une résistance à l'écrasement, après un mois de prise, de 10 à 20 kilogrammes pour le mortier de chaux, et de 25 à 40 kilogrammes pour celui de ciment.

La voûte a été faite et clavée, à partir de l'angle de 28 degrés, en deux rouleaux successifs. Le premier présentait des épaisseurs de $1^{m},22$, $0^{m},85$ et $0^{m},425$ correspondant à 3, 2 et 1 moellon, à partir des angles de 28, 33 et 50 degrés. Son épaisseur moyenne fut ainsi de $0^{m},61$, et celle du second rouleau, de $1^{m},34$.

Le cintre, avant le commencement du premier rouleau, avait été chargé, du joint de 55 degrés à la clef, d'un poids de 112 tonnes, à peu près équivalent à celui du rouleau correspondant, avec des sacs de sable qu'on enlevait à mesure de l'avancement des maçonneries. Le tassement du cintre a été de $0^{m},012$ sous cette surcharge; il a augmenté progressivement de $0^{m},003$ pendant la construction du premier rouleau et de 0,007 pendant celle du second.

Le cintre était formé par quatre fermes espacées de $1^{m}.57$. Il était porté sur huit palées basses par l'intermédiaire de trente-deux boîtes à sable. En élévation, il présentait six montants verticaux reliés entre eux par deux rangs superposés de contrefiches, en croix de Saint-André ou en triangle, et trois cours de moises horizontales. L'entrait était posé au niveau du joint de 20 degrés.

Les palées de support n'auraient pu être conformées au moyen de pieux battus au mouton, à cause des blocs dont le lit de la rivière est parsemé. D'abord assemblées sur la rive, on les a fait reposer sur une plate-forme en béton de $0^{m},60$ d'épaisseur et de $1^{m},50$ de largeur, descendue par épuisement en fouille blindée jusqu'à $2^{m},50$ et 4 mètres en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contre-bas de l'étiage, les eaux étant déviées tantôt sur une rive, tantôt sur l'autre, par un batardeau longitudinal alternativement rattaché à l'une ou l'autre rive. Quand le rocher a pu être atteint, les montants, recépés d'équerre, ont été placés dans une alvéole creusée au ciseau dans le roc, puis noyés au ciment pour éviter tout glissement latéral.

La tête des cintres, dès leur montage, fut contreventée par un double câble en fil de fer avec tenseur, attaché amont et aval à la rive. La précaution ne fut pas inutile.

Le cube du bois employé a été de 148 mètres cubes pour le cintre et de 49 mètres cubes pour les palées; le poids des fers, de 3,500 kilogrammes et 730 kilogrammes.

Les palées et leurs fondations ont été établies de mai à octobre 1898.

Les maçonneries des culées, commencées en août, étaient montées, fin octobre, au niveau de l'entrait du cintre (angle de 20 degrés).

Le cintre ayant été levé en décembre, les maçonneries furent reprises en février 1899. Le premier rouleau, avec mortier de ciment, commencé le 27 février, fut clavé le 17 mars, et le second rouleau le 15 avril. On procéda au décintrement le 17 mai.

Les deux arches latérales de 13 mètres furent clavées le 1er juillet et le 30 août. En février 1900, les voûtains des tympans étaient terminés et l'on posait la plinthe.

L'ensemble de l'ouvrage, aux prix du bordereau, est estimé 122,600 francs, y compris 12,200 francs pour les cintres. Le rabais de 35 o/o, un peu exagéré il est vrai, ramène la dépense à 80,000 francs. Cela correspond à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

55 francs par mètre carré d'élévation, pour 5 mètres de largeur aux tympans.

On avait, tout d'abord, prévu une travée métallique de 40 mètres en place de l'arche centrale. Les maçonneries ressortaient à 68,420 francs; le tablier, au prix de $o^{t},45$, eût coûté 53,580 francs, soit en tout 122,000 francs. L'arche en maçonnerie était donc préférable à tous égards.

Le projet, dressé par M. Bouffet, ingénieur en chef, a été exécuté avec la collaboration de M. Garau, ingénieur ordinaire.

La surveillance a été exercée par MM. Dupeyron, chef de section, Rougé et Bousquet, conducteurs, et Saunière, surveillant de travaux.

Les entrepreneurs sont : MM. Allary et Chevalier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVI

LIGNE DE QUILLAN À RIVESALTES

(PARTIE COMPRISE DANS LE DÉPARTEMENT DE L'AUDE).

OUVRAGES DIVERS.

Un panneau de dessins et un album de photographies.

La ligne de Quillan à Rivesaltes prolonge vers les Pyrénées celle de Carcassonne à Limoux et Quillan en remontant la vallée de l'Aude jusqu'à Axat; là, elle forme une grande boucle, presque fermée, pour se retourner à angle droit, atteindre le col de Campériès et descendre vers la Méditerranée par la vallée de l'Agly, qu'elle suit jusqu'à Rivesaltes, où elle se soude à la ligne de Narbonne à Perpignan. Dans le département de l'Aude, son parcours est de $20^{km},110$.

Elle part de la cote 291 mètres; atteint, à la gare d'Axat, celle de 414 mètres; franchit le col de Campériès à 511 mètres et redescend à 405 mètres sur la limite de l'Aude et des Pyrénées-Orientales. Ses déclivités maxima sont de 20 millimètres pour monter au col et de 25 millimètres à la descente. Le minimum des rayons de courbure est de 300 mètres.

La haute vallée de l'Aude est très pittoresque. La rivière, quand elle quitte les versants granitiques des Pyrénées,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

traverse deux profondes cassures de calcaire néocomien, qui forment les gorges fameuses de la Pierre-Lys et de Saint-Georges.

Ce n'est qu'au prix de nombreux souterrains et de grands ouvrages d'art que la voie ferrée a pu franchir cette région abrupte. Sur ses treize premiers kilomètres, elle présente dix souterrains d'une longueur totale de 4,200 mètres (dont un de 1,375 mètres dans la Pierre-Lys); deux grands viaducs : celui de Rébuzo, décrit ci-dessus, et celui de Saint-Georges, près de la station d'Axat; et enfin six ponts sur l'Aude, dont trois à travées métalliques [1], et trois à grandes arches de 30 mètres et plus d'ouverture.

L'infrastructure de cette partie de la ligne devait revenir, d'après l'estimation des projets adjugés, à 480,000 francs par kilomètre. Les rabais ont réduit la dépense à 360,000 fr. environ.

Sur le restant du parcours, les seuls travaux importants sont : la tranchée du col, qui a 14 mètres de profondeur sur l'axe, et le viaduc de Lapradelle.

Nous donnons ci-dessous la description sommaire des grands ouvrages d'art.

I. Grandes arches en maçonnerie.

a. **Pont d'accès de la station de Saint-Martin-Lys.** — La station est située sur la rive droite de l'Aude, tandis que la route nationale, son seul moyen d'accès, court le long de la berge de gauche. Un pont pour voie charretière

[1] Les projets de ces travées n'étant pas encore dressés, nous ne parlerons pas autrement de ces trois ouvrages dans la présente notice.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a dû être jeté d'une rive à l'autre. On a choisi un point où les berges rocheuses étant très rapprochées permettaient de franchir la rivière d'une seule arche, sans pile intermédiaire. On évitait ainsi des fondations qui eussent présenté de très grandes difficultés dans un lit torrentiel parsemé de gros blocs roulés, et l'on supprimait tout obstacle au passage des grandes crues et de tous les corps flottants ou roulants qu'elles entraînent avec elles.

Le pont de Saint-Martin-Lys est en arc de cercle à culées perdues. Il a 34 mètres d'ouverture et $8^{m},86$ de flèche. Il est en rampe de $0^{m},05$. Sa largeur est de $6^{m},50$ entre les tympans, et de 6 mètres entre parapets de $0^{m},35$ d'épaisseur, placés en saillie de $0^{m},10$. Il présente une voie charretière de $4^{m},50$ entre deux trottoirs de $0^{m},75$.

Le rayon d'intrados a $21^{m},21$ et celui d'extrados $25^{m},16$. La voûte a $1^{m},10$ d'épaisseur à la clef et $1^{m},85$ au joint de 45 degrés. Le bandeau présente une largeur uniforme de 1 mètre.

Voûte et bandeau sont en moellons smillés posés au mortier de grappier du Teil, dosé à 400 kilogrammes par mètre cube de sable. La voûte a été exécutée en deux rouleaux pour diminuer la charge et, par suite, les tassements du cintre durant la construction. La chape, de $0^{m},05$ d'épaisseur, est faite en mortier de grappier au dosage de 600 kilogrammes, appliqué à l'état pulvérulent et damé jusqu'à ramollissement convenable.

Toutes les autres maçonneries sont en mortier de chaux du Teil Lafarge, dosé à 305 kilogrammes par mètre cube de sable.

Les tympans sont mosaïqués. La plinthe, en pierre de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

taille de $0^m,30$ d'épaisseur, est posée sur une sous-plinthe formée d'un rang de moellons smillés de $0^m,12$, qui porte une assise en moellons piqués de $0^m,15$, formant modillons de $0^m,22$ de largeur, espacés de $0^m,32$.

Tous ces matériaux sont des calcaires de l'étage crétacé.

Pour donner une bonne assiette à la voûte, le rocher fut décapé sur chaque berge jusqu'au massif ferme, en formant à la base d'appui un redan horizontal de $1^m,80$ de largeur sur une rive et de $1^m,25$ sur l'autre, sans s'astreindre à les descendre au même niveau. Ces redans reçurent une assise de sommiers en forts libages, taillés de manière à former des redans en prolongement de coupe. Au-dessus, le quentage de la voûte butait contre le rocher jusqu'au point où l'arc d'extrados s'en détachait.

Le cintre se composait de cinq fermes espacées de $1^m,55$, portant sur six palées formées de pieux de $0^m,35$ de diamètre. Le battage de ces pieux présenta de grandes difficultés à cause des gros blocs roulés qui tapissent le lit de la rivière ; aussi abandonna-t-on ce système pour les autres ouvrages.

On commença les maçonneries en fin octobre 1896 ; le premier rouleau de la voûte, attaqué le 14 novembre, était clavé le 7 décembre ; et le second, le 7 janvier 1897. Le décintrement, opéré le 3 février, donna lieu à un tassement à la clef de $0^m,0008$ à la tête aval et de $0^m,0024$ à la tête amont. En mai, les tympans étaient arasés, et la plinthe posée en juillet.

Les dépenses se sont élevées, d'après les métrés définitifs, rabais non déduit, à 42,110 francs, dont 33,454 francs pour les maçonneries, 5,646 francs pour le cintre et 3,010

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

francs pour les palées de support. Le rabais de 35 p. 100 réduit à 27,371 francs la dépense totale de l'ouvrage.

On a employé pour les cintres $108^{mc},4$ de bois et 924 kilogrammes de fer, et pour les palées $24^{mc},1$ et 293 kilogrammes.

La surface en élévation, en dessous du parapet, étant de 350 mètres carrés, la dépense par mètre carré ne ressort qu'à 78 francs pour $6^{m},50$ de largeur aux tympans. Ce résultat est dû à la présence du rocher sur les berges et à la dépense insignifiante qu'ont causée les fondations.

b. **Pont d'Axat.** — Ce pont sous rails présente trois arches en plein cintre, de 30 mètres d'ouverture pour l'arche centrale et de 15 mètres pour les deux arches latérales, celle de la rive gauche servant au passage en dessous de la route nationale. La rivière d'Aude est recoupée très obliquement par l'axe de la voie ferrée, mais ses berges rocheuses et escarpées ont permis de la franchir par une seule arche droite, sans recourir à la complication de l'appareil biais.

Le pont est en rampe de $0^{m},020$ et en courbe de 300 mètres. Il est implanté sur une ligne polygonale inscrite dans la courbe et formée d'une corde médiane de 35 mètres et de deux cordes latérales de 20 mètres, dont les flèches sont de $0^{m},51$ et $0^{m},17$. Les largeurs des arches sont augmentées d'autant, et portées à $5^{m},04$ et $4^{m},74$ entre les axes des garde-corps en fer qui les couronnent. Les plans de tête sont verticaux et parallèles à ces cordes.

La grande arche de 30 mètres présente $4^{m},84$ de largeur entre les tympans, les garde-fous étant placés en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

encorbellement de $0^m,10$. On a donné à la voûte une épaisseur de $1^m,10$ à la clef, et l'extrados est tracé par un arc de cercle recoupant le joint de 30 degrés à $2^m,20$ de l'intrados, afin d'obtenir pour ce joint une épaisseur double de celle de la clef. Les piles-culées ont 5 mètres d'épaisseur aux naissances sur l'axe de la voie.

Le bandeau est en deux rangs de moellons smillés de $0^m,25$ d'épaisseur en douelle, avec découpe de $0^m,15$. Il est extradossé de manière à présenter une largeur de 1 mètre à la clef et de $1^m,15$ à l'angle de 20 degrés et au-dessous. Sa saillie est de $0^m,03$ sur le tympan.

Les voûtes de 15 mètres ont $0^m,85$ à la clef et $1^m,70$ à l'angle de 30 degrés; leur bandeau a $0^m,80$ de largeur uniforme. Cette largeur est obtenue par deux rangs de moellons formant découpe de $0^m,10$ et ayant $0^m,20$ d'épaisseur à la douelle. La largeur entre les tympans est de $4^m,54$, soit $0^m,30$ de moins qu'à la voûte centrale.

La grande arche est encadrée par des contreforts qui masquent le tracé polygonal et forment refuge. Ils sont couronnés par des consoles portant un parapet maçonné de $0^m,30$ d'épaisseur, pour rompre la monotonie du garde-corps en fer. Ils ont 2 mètres de largeur sous plinthe et $0^m,40$ de saillie; ils sont tracés avec le fruit de $0^m,03$ sur la face et $0^m,02$ latéralement, et de manière à être tangents au bandeau à la naissance. Les murs de soutènement qui prolongent l'ouvrage au delà des voûtes de 15 mètres se détachent des tympans par des saillies suffisantes pour porter un parapet maçonné; ils sont en fruit de $0^m,10$, mais l'arête est tracée en élévation avec un fruit de $0^m,05$ seulement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Entre ces arêtes qui forment l'encadrement général de l'ouvrage, la plinthe, de $0^m,30$ d'épaisseur et $0^m,40$ de saillie, est supportée par une assise de moellons piqués de $0^m,20$, reposant elle-même sur une sous-plinthe de $0^m,15$. Les moellons piqués de la première assise sont posés alternativement en saillie de 8 et de 25 centimètres sur la sous-plinthe, de manière à former des modillons de $0^m,30$ de largeur, espacés de $0^m,40$, en retraite de $0^m,11$ sous la plinthe. Au-dessus des contreforts, cette assise en modillons est supprimée, et la sous-plinthe, de $0^m,20$, est portée par trois consoles de $0^m,45$ de saillie et $0^m,60$ de hauteur.

La pierre de taille n'a été employée que pour la plinthe et le bahut des parapets. Les bandeaux et les arêtes des contreforts sont en moellons smillés. Les douelles, le corps des voûtes au-dessus de l'angle de 30 degrés, les parements des contreforts et les fûts des parapets sont en moellons tétués à assises réglées; enfin les tympans sont en moellons mosaïqués.

Toutes les pierres assisées sont en granit des carrières de Roquefort. Les moellons ont été parementés à bossage avec ciselure sur les arêtes, sauf pour les douelles qui sont planes. Les parements mosaïqués des tympans sont en calcaire néocomien des gorges de Saint-Georges; ceux des murs de soutènement, ainsi que toutes les autres maçonneries, sont en calcaire de l'étage crétacé moyen (Albien ou Gault), sur lequel est implanté l'ouvrage.

La grande voûte, au-dessus de l'angle de 30 degrés, exécutée en deux rouleaux, est hourdée en mortier de ciment grappier du Teil, au dosage de 400 kilogrammes par mètre cube de sable. Toutes les autres maçonneries sont en mortier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de chaux du Teil Lafarge, au même dosage de 400 kilogrammes. Les chapes sont en mortier de ciment pour la voûte de 30 mètres et de chaux pour celles de 15 mètres. Elles ont $0^{m},05$ d'épaisseur et sont goudronnées à trois couches, de même que la face interne des tympans, préalablement recouverte d'un crépissage en chaux de $0^{m},015$ d'épaisseur sur le nu des pierres.

Les cintres sont formés de quatre fermes espacées de $1^{m},53$. A cause de la nature torrentielle de la rivière et de l'obliquité de son cours par rapport à l'axe de la grande arche, on a adopté la disposition en cintre retroussé. La partie supérieure mobile est formée d'une série de triangles reliés par un cours de moises à mi-hauteur et qui portent sur un entrait reposant lui-même sur sept cours transversaux de boîtes à sable. L'entrait est posé à la hauteur de l'angle de 34 degrés, mais un vau inférieur fixe, qui descend jusqu'à l'angle de 16 degrés, est fixé à la palée de support. Cette palée est constituée de part et d'autre du milieu par trois jambes de force en éventail, dont les pieds jointifs reposent sur une semelle parallèle aux têtes, portée elle-même par trois cours de semelles transversales jointives placées, partie sur le rocher arasé de la berge, partie sur un massif de béton dès que le rocher se dérobe sous l'étiage. Les têtes des trois jambes de force s'assemblent au chapeau parallèle à l'entrait sur lequel reposent les boîtes à sable, chaque tête étant à l'aplomb d'une boîte ; quant à la boîte à sable centrale, elle est simplement supportée par le chapeau; mais celui-ci est consolidé par une sous-poutre armée, dont les extrémités butent contre les têtes des jambes de force voisines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le cube du bois a été de 58^{mc},86 pour la partie mobile du cintre de l'arche de 30 mètres et de 61^{mc},80 pour les palées de support; le poids des fers, de 5,786 kilogrammes.

Les maçonneries de fondations furent commencées en juillet 1898 et la voûte montée jusqu'à l'angle de 20 degrés. On reprit l'exécution de la grande voûte en mars 1899. Le premier rouleau, en mortier de ciment grappier, commencé le 8 mai, fut clavé le 17 du même mois, et le second rouleau le 24. Le décintrement eut lieu le 22 juin et ne donna qu'un tassement, mesuré par un appareil amplificateur au décuple, de 0^{m},001 à la tête amont et de 0^{m},0007 à la tête aval.

Sous la surcharge qu'ils avaient reçue après leur montage, les cintres éprouvèrent un tassement de 0^{m},010, puis de 0^{m},005 pendant l'exécution du premier rouleau, et de 0^{m},017 pendant celle du second.

Les voûtes latérales de 15 mètres furent clavées successivement les 5 avril et 3 mai, et décintrées les 13 avril et 20 mai 1899, avec des tassements de 0^{m},001 et de 0^{m},0002. Le cintre de ces arches comporte 28^{mc},96 de bois et 407 kilogrammes de fer.

A la fin juillet, les tympans étaient arasés au niveau de la plinthe.

Les dépenses se sont élevées à 68,800 francs pour les maçonneries, et 11,594 francs pour les cintres, soit en tout 80,395 francs, que le rabais de 33 p. 100 ramène à 53,865 francs. La surface en élévation étant de 1,070 mètres carrés, le prix par mètre carré, pour une largeur moyenne de 4^{m},69 entre tympans, ressort à 50 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c. **Pont d'Aliès.** — Comme le précédent, ce pont rencontre la rivière sous un angle très oblique ; mais il la franchit par une voûte droite de 15 mètres de rayon à culées perdues. On a disposé, sur la rive gauche, une travée métallique biaise de $6^{m},50$ d'ouverture droite, pour le passage de la route nationale, et, sur l'autre rive, une arche de 4 mètres pour un sentier de montagne.

L'ouvrage est en rampe de $0^{m},020$ et en courbe de 400 mètres. Il est implanté suivant un tracé polygonal formé de trois cordes de 18, 35 et 10 mètres, dont les flèches sont de 5,37 et 3 centimètres. Surmonté de garde-corps en fer placés en encorbellement de $0^{m},10$ sur les plans des tympans, sa largeur entre ces plans est de $4^{m},69$ sur la grande arche et de $4^{m},41$ sur la petite.

Des contreforts encadrent la voûte centrale, afin de masquer le tracé polygonal et les variations de largeur qui en résultent. Ils ont sous plinthe des largeurs de $1^{m},65$ sur la face concave et de $1^{m},80$ sur la face convexe, avec des saillies respectives de $0^{m},15$ et $0^{m},40$. Ils sont tracés de manière à tomber à la naissance du plein cintre, tangentiellement à l'intrados, sur la face concave, et tangentiellement au bandeau, sur la face convexe. Ils sont couronnés par des consoles de $0^{m},45$ de saillie, $0^{m},25$ d'épaisseur et $0^{m},60$ de haut, portant un parapet de $0^{m},30$ d'épaisseur.

La voûte a $1^{m},10$ d'épaisseur à la clef ; l'extrados est tracé suivant un arc de cercle qui donnerait une épaisseur double au joint de 30 degrés ; mais il se prolonge sur les reins par une tangente inclinée à 45 degrés. Le bandeau est formé de deux rangs de moellons en découpe de $0^{m},15$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PONT D'ALIÈS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et présente une largeur de 1 mètre à la clef et de 1m,15 à l'angle de 20 degrés et au-dessous. Le moellon supérieur porte une archivolte de 0m,20 de largeur, y compris un chanfrein de 0m,05 sur l'arête intérieure. Cette archivolte fait une saillie de 0m,10 sur le tympan; elle se prolonge jusqu'aux fondations sur la tête convexe, tandis que sur la face concave elle se retourne horizontalement à l'angle de 30 degrés jusqu'au pilastre.

La plinthe de 0m,30 d'épaisseur a 0m,40 de saillie au-dessus de la grande voûte, entre les contreforts, et présente une sous-plinthe de 0m,20, à modillons de 0m,30 de largeur et 0m,40 d'espacement, posés sur une assise de 0m,15. A partir des contreforts, les modillons sont supprimés ainsi que l'assise de 0m,15, et la saillie de la plinthe est réduite à 0m,30.

La nature des maçonneries et le travail des parements sont les mêmes qu'au pont précédent.

La voûte étant à culées perdues, le roc qui la porte a été dérasé par redans horizontaux, mais à échelons dans le sens des génératrices. Le redan inférieur n'a pas moins de 2 mètres de largeur pour donner une bonne assiette à l'intrados.

Le cintre du pont d'Axat a servi au pont d'Aliès, du moins pour ce qui est de la partie supérieure, au-dessus des boîtes à sable. La palée de support a dû être modifiée, la clef de voûte ayant 3m,60 de moins d'élévation au-dessus des eaux d'étiage. Les deux premières jambes de force sont devenues des montants verticaux reliés par une croix de Saint-André, et la troisième, toujours inclinée et dont la tête bute contre la sous-poutre armée du chapeau, s'assemble

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à la base avec le pied du second montant. Le cube du bois de la palée n'est plus que de 53^{mc},68.

Les fondations furent exécutées en août et septembre 1898, et la voûte fut montée jusqu'à l'angle de 20 degrés. Les travaux reprirent en juin 1899. Le premier rouleau de la voûte, en mortier de grappier, fut commencé le 10 juillet et clavé le 19 ; le second rouleau était clavé le 29 juillet, et on procéda au décintrement le 1er septembre. Le tassement à la clef fut de 0^{m},0007 sur la tête amont et de 0^{m},0006 sur la tête aval. Le cintre avait subi un tassement de 0^{m},021 sous la surcharge après montage, puis de 0^{m},004 pendant la construction du premier rouleau et de 0^{m},005 sous le second. En fin septembre 1899, les tympans étaient arasés et on commençait la pose de la plinthe.

Les dépenses s'élèvent à 46,276 francs pour les maçonneries et 6,940 francs seulement pour les cintres, à cause du remploi de la partie mobile de l'ouvrage précédent (cette dépense eût été sans cela de 8,555 francs). La dépense totale monte donc à 53,216 francs, que le rabais de 33 p. 0/0 ramène à 35,655 francs. La partie métallique portera la dépense à 42,000 francs environ. La surface en élévation étant de 710 mètres carrés, le mètre carré ressort à 59 francs, pour une largeur moyenne de 4^{m},60 entre les têtes.

II. Viaducs.

d. **Viaduc de Saint-Georges.** — A la sortie de la gare d'Axat, la ligne franchit la vallée d'Aude, devant les gorges de Saint-Georges, par une grande courbe de 300 mè-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tres de rayon, sur un développement de 1,104 mètres qui embrasse un arc de 210 degrés. Le viaduc est placé au sommet de la boucle ainsi formée par le tracé de la ligne.

Il se compose de neuf arches en plein cintre de 16 mètres d'ouverture. La voie étant en rampe de $0^{m},019$, les naissances s'élèvent de $0^{m},37$ d'une arche à l'autre. Le viaduc est implanté sur un tracé polygonal, par cordes successives de $19^{m},30$ de longueur, dont l'arc a $0^{m},16$ de flèche. Les piles trapézoïdales ont $3^{m},30$ d'épaisseur sur l'axe, au niveau des naissances. Des contreforts masquent le tracé polygonal en élévation.

La voie passe à 21 mètres au-dessus de l'étiage de la rivière, laissant une hauteur sous clef à peu près égale à l'ouverture des arcades.

Les voûtes ont $0^{m},85$ à la clef et $1^{m},80$ d'épaisseur à l'angle de 30 degrés. Les bandeaux, formés de deux longueurs de moellons avec découpe de $0^{m},15$, ont une largeur uniforme de $0^{m},80$. Les voussoirs ont $0^{m},235$ d'épaisseur à l'intrados.

Les tympans sont dans un plan vertical, en retraite de $0^{m},03$ sur les bandeaux. La largeur de l'ouvrage est ainsi de $5^{m},22$ à l'intrados, $5^{m},16$ aux tympans et $4^{m},76$ entre les fûts des parapets, qui ont $0^{m},30$ d'épaisseur et sont posés en porte-à-faux de $0^{m},10$ sur le nu du tympan. Les bahuts ont $0^{m},25$ d'épaisseur au milieu de leur face supérieure, bombée de $0^{m},03$, et $0^{m},35$ de largeur, de manière à former saillie de $0^{m},01$ sur la face intérieure du parapet, et de $0^{m},04$ sur la face extérieure. La hauteur totale du parapet est de $1^{m},10$. La plinthe, de $0^{m},35$ d'épaisseur, fait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

saillie de $0^m,35$ sur le nu du tympan et repose sur une sous-plinthe de $0^m,20$, en saillie de $0^m,10$.

Les piles ont leurs plans de tête verticaux et, comme la douelle, ont $5^m,22$ de largeur; mais elles présentent un fruit latéral de $0^m,02$. La pile en rivière est munie d'avant- et d'arrière-becs circulaires dont les chapeaux reçoivent la retombée des contreforts correspondants.

Les contreforts ont une largeur uniforme de la plinthe aux fondations. Aux naissances, ils sont tangents aux bandeaux des voûtes, et leur largeur est ainsi de $1^m,90$ sur la face convexe et de $1^m,52$ sur la face concave. Transversalement, ils présentent une saillie de $0^m,40$ sous la plinthe; un fruit de $0^m,02$ jusqu'aux naissances des voûtes, où leur saillie est de $0^m,56$; puis un fruit de $0^m,04$ jusqu'aux fondations. Aux naissances, ils sont décorés d'un cordon en pierre de taille, avec moulure de faible saillie.

Toutes les maçonneries sont en mortier de chaux du Teil, dosé à 400 kilogrammes. La chape en mortier a $0^m,05$ d'épaisseur, et les tympans ont reçu à l'intérieur un enduit de $0^m,02$: le tout est goudronné à trois couches.

Toutes les pierres assisées sont en granit de Roquefort. La plinthe et le bahut du parapet sont en pierre de taille; la sous-plinthe, en moellons piqués; le bandeau, sur $0^m,40$ d'épaisseur moyenne, les angles des piles et des contreforts et le fût du parapet, en moellons smillés; le corps de la voûte, entre la clef et l'angle de 30 degrés, puis la douelle et la face latérale des piles, l'élévation des contreforts, en moellons tétués assisés.

Le reste des maçonneries est en calcaire de Saint-Georges

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(étage crétacé néocomien), qui a fourni également le parement mosaïqué des tympans et des murs en retour.

Le vide entre les tympans est rempli de moellons provenant des déblais.

Les cintres retroussés, avec arbalétriers reposant sur des semelles placées à l'angle de 15 degrés, et reliées à mi-hauteur par un cours de moises, étaient portés par deux rails accolés, de 35 kilogrammes, traversant les piles à l'aplomb de chaque ferme. Ils étaient formés de quatre fermes espacées de $1^{m},65$. On a employé quatre cintres, et on décintrait de dix à quinze jours après clavage.

Les voûtes étaient exécutées en deux rouleaux. La première voûte de la rive gauche a été clavée le 12 juillet 1898; la neuvième et dernière sur la rive droite, clavée le 15 octobre, fut décintrée le 31. Le tassement au décintrement a varié de $0^{m},0003$ à $0^{m},001$; une seule fois il a atteint $0^{m},002$.

Le joint de rupture, reconnu par de légères ouvertures de joint, presque imperceptibles, sur les reins à l'extrados, s'est maintenu pour toutes ces voûtes entre les angles de 30 et 33 degrés, et généralement entre 31 et 32 degrés.

La pression moyenne par centimètre carré sur les piles est de $5^{k},9$ au sommet et de $7^{k},3$ au socle, à $10^{m},70$ au-dessous des naissances des voûtes. Sur le sol des fondations, elle atteint 7 kilogrammes.

Les fondations sont établies sur le calcaire marneux du terrain albien. Il a été atteint à 3 ou 4 mètres en contre-bas du terrain naturel, et moyennement à $22^{m},50$ au-dessous du niveau du rail. A la pile en rivière, le roc ferme s'est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trouvé à 2m,10 au-dessous de l'étiage; la maçonnerie y a été encastrée de 0m,40.

Les travaux de fondations furent commencés en août 1897 et les tympans arasés en décembre 1898.

Les dépenses du viaduc s'élèvent à la somme de 224,300 francs pour les maçonneries et 15,380 francs pour les cintres, soit en tout 239,680 francs, que le rabais de 33 p. 0/0 ramène à 160,585 francs.

La surface en élévation au niveau du rail étant de 2,950 mètres carrés, le prix de revient ressort à 54 francs par mètre carré pour une largeur de 5m,16 aux tympans.

Chaque cintre a exigé un cube de bois de 35 mètres cubes et 955 kilogrammes de fers, non compris les rails de support.

La longueur totale du viaduc à la plinthe est de 194m,20 sur la face convexe et de 190m,80 à la face concave.

e. **Viaduc de Mouilléro.** — Les dispositions générales de ce viaduc sont les mêmes que celles du viaduc d'Axat. Mais il ne présente que trois arches, et il est couronné par un garde-corps en fer. Sa longueur à la plinthe convexe est de 79m,80, et la hauteur du rail est de 27 mètres au-dessus du fond du vallon de Mouilléro. Les deux arches latérales sont en partie masquées par les remblais et quarts de cône; elles jouent en réalité le rôle d'arches d'évidement des culées.

Le viaduc est en rampe de 0m,020 et en courbe de 400 mètres. Son tracé est polygonal. Les voûtes ayant, comme au viaduc d'Axat, 16 mètres d'ouverture, et les piles trapézoïdales 3m,30 sur l'axe, les cordes d'implantation ont 19m,30 de longueur, et la flèche est de 0m,09.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La largeur est de $4^{m},65$ entre axes des garde-fous, de $4^{m},45$ aux tympans et de $4^{m},51$ en douelle.

Les contreforts ont $0^{m},40$ de saillie sous plinthe, $1^{m},60$ de largeur sur la face concave et $1^{m},80$ sur la face convexe. Cette largeur se conserve jusqu'aux naissances, et de là elle est augmentée jusqu'aux fondations par un fruit latéral de $0^{m},02$, égal à celui des piles elles-mêmes. Parallèlement aux tympans, ils ont un fruit de $0^{m},02$ jusqu'aux naissances, et de $0^{m},04$ au-dessous, tandis que les piles restent d'aplomb. Le cordon en pierre de taille, que portent les contreforts du viaduc d'Axat pour marquer la ligne générale des naissances, n'a pas été reproduit ici.

Les murs en aile portent des parapets maçonnés; ils se détachent des tympans, tangentiellement au bandeau à la hauteur des naissances, par une saillie de $0^{m},25$ sous la plinthe; l'arête présente un fruit de $0^{m},02$ parallèlement à l'axe de la voie, et de $0^{m},05$ normalement. Les extrémités de ces murs sont reliées par un mur de refend de 1 mètre d'épaisseur.

Les fondations sont sur le roc ferme, qu'on a trouvé à une profondeur de 3 à 5 mètres en contre-bas du terrain naturel, soit à $16^{m},10$ en contre-bas des naissances pour la première pile et à $18^{m},35$ pour la seconde.

Les fondations étaient commencées en mars 1898; les piles et culées, montées aux naissances en fin juillet, et les voûtes, clavées les 12 et 18 février et 2 mars 1899; décintrées huit et quatorze jours après clavage, le tassement fut de $0^{m},0016$ à $0^{m},001$.

La dépense totale s'élève à 94,080 francs pour les maçonneries; en ajoutant pour les cintres en remploi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3,240 francs, et 1,380 francs pour le garde-corps en fer, on arrive à 98,700 francs, que le rabais de 33 p. o/o réduit à 66,130 francs; ce qui fait ressortir le mètre carré, pour une surface vue en élévation de 1,060 mètres carrés entre les quarts de cône, les rails et le terrain naturel, avec une largeur entre tympans de $4^{m},45$, à la somme de 62 francs.

f. **Viaduc de Lapradelle.** — Ce viaduc franchit la vallée de la Boulzane. Il présente une longueur de 190 mètres à la plinthe et une hauteur maxima de $27^{m},50$. Il est formé de douze arches en plein cintre de 12 mètres d'ouverture. Situé près du point culminant de la ligne, dans une région peu fréquentée, on s'est appliqué à le traiter avec la plus grande simplicité de moyens et en évitant tout luxe dans la préparation des matériaux employés.

Il est en pente de $0^{m},025$, partie en alignement droit, partie en courbe de 300 mètres, avec raccordement parabolique entre les deux sur 75 mètres de longueur. Les têtes suivent ce mouvement général.

Les piles ont $2^{m},40$ d'épaisseur sur l'axe aux naissances, lesquelles descendent de $0^{m},36$ de l'une à l'autre.

L'intrados est à deux centres pour racheter cette différence de niveau, et les rayons de chaque moitié de voûte sont de $5^{m},82$ et $6^{m},18$. Dans la partie en courbe, les piles sont trapézoïdales, afin que les voûtes restent cylindriques.

L'ouvrage a 5 mètres de largeur entre tympans sous la plinthe, et $5^{m},42$ aux naissances. Plinthes et parapets sont parallèles à l'axe de la voie, la face intérieure de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ceux-ci étant à $2^m,25$ de l'axe du côté convexe, et à $2^m,35$ du côté concave à cause de l'inclinaison des véhicules produite par le dévers de $0^m,15$ des rails. Les parapets ont $1^m,10$ de hauteur, $0^m,30$ d'épaisseur au fût, et sont placés en encorbellement de $0^m,10$ sur le tympan.

Les voûtes ont $0^m,75$ d'épaisseur à la clef et $1^m,60$ au joint de 30 degrés. Les bandeaux ont une épaisseur uniforme de $0^m,75$ et font saillie de $0^m,03$ sur les tympans.

Au niveau des naissances, la largeur des piles entre arêtes est uniformément de $5^m,48$. Les voûtes et tympans présentent un fruit général de $0^m,03$ qui, dans la partie en courbe, descend à $0^m,02$ sur la face concave et atteint $0^m,36$ sur la face convexe. Au-dessous des naissances, les piles sont tracées avec des fruits qui s'accroissent tous les quatre mètres de hauteur. Parallèlement à l'axe de la voie, ces fruits sont successivement de 15, 20, 25, etc. millimètres; normalement ils sont de 30, 35, 40, etc. sur le côté concave; et sur le côté convexe, de 40, 45, 50, etc.

Six refuges en encorbellement, de $1^m,30$ de largeur et $0^m,40$ de profondeur, trois sur chaque face, sont portés par les tympans au moyen de trois consoles de $0^m,30$ d'épaisseur, espacées de $0^m,40$, et de $0^m,80$ de hauteur. Ils sont placés alternativement de chaque côté de la voie, de deux en deux piles.

La pression moyenne sera, par centimètre carré, de $4^k,8$ aux naissances des voûtes, et de 6 kilogrammes à 20 mètres au-dessous, sur le socle de la pile la plus élevée. La surcharge roulante accroîtra ces pressions de $0^k,9$ et $0^k,5$.

La plinthe et le bahut sont en pierre de taille; la sous-plinthe, en moellons piqués; les bandeaux et les angles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

saillants des piles et culées sur $0^{m},375$, les fûts des parapets, en moellons smillés; la douelle entre les bandeaux, et le corps de la voûte au-dessus de l'angle de 30 degrés avec l'horizon, en moellons smillés; enfin les parements des tympans et des murs en retour et ceux des piles et culées compris entre les chaînes d'angle, en moellons mosaïqués. Toutefois, sur la face de tête des piles, une assise de moellons smillés est placée tous les 4 mètres aux changements de fruit, et une assise double, sous les bandeaux des voûtes.

Toutes les maçonneries assisées sont en granit; les moellons smillés et tétués sont taillés en bossage, sauf pour la douelle. Les moellons mosaïqués et les massifs sont en calcaire néocomien. On n'a employé pour la confection des mortiers que la chaux du Teil Lafarge, à la dose de 400 kilogrammes par mètre cube de sable.

Les cintres sont retroussés et disposés comme à ceux du viaduc de Saint-Georges. Le cube du bois est de $21^{mc},02$ par cintre.

Les fondations, établies sur le roc marneux du Gault, ont été commencées en juillet 1899, et les voûtes en février 1900.

Les dépenses sont estimées à 182,000 francs, que le rabais de 12 p. 0/0 réduit à 160,160 francs. La surface vue en élévation entre la ligne des rails, les talus des quarts de cône et le terrain naturel étant de 2,980 mètres carrés, le prix du mètre superficiel ressort à 61 francs, d'après l'estimation, et à $53^{f},70$ après rabais. C'est un prix extrêmement faible, dû à la facilité des fondations et à la simplicité des moyens mis en œuvre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III. Souterrains.

Tête du tunnel du Bourrec. — La sortie du tunnel du Bourrec vers Rivesaltes a présenté d'assez grandes difficultés, parce que la tête débouche sur le flanc d'un couloir descendant d'une haute crête rocheuse, dans un cône d'éboulis de grande épaisseur, qui ne laissait pas la possibilité soit de se mettre en tranchée, soit d'asseoir un souterrain sur une telle base mouvante. On s'est décidé néanmoins à prolonger la tête jusqu'au delà des éboulis, en tranchée couverte, afin de leur permettre de franchir la voie sans danger pour la circulation des trains, quand les grandes pluies entraînent des flancs de la montagne des avalanches de pierrailles.

Pour cela, on s'est établi sur le roc, situé à 8 ou 10 mètres de profondeur sous la voie, par le moyen de piliers transversaux descendus en fouille blindée. Des voûtes jetées de l'un à l'autre ont ensuite fourni le support de la voie ferrée et de la maçonnerie du souterrain. Celui-ci est en section renforcée; la voûte a $0^{m},60$ à la clef, et l'on a donné aux pieds-droits $1^{m},10$ aux naissances du côté de la montagne, et $1^{m},70$ de l'autre côté, qui est à découvert et a été évidé par des arceaux de 5 mètres.

Les piliers de support ont 3 mètres d'épaisseur et $8^{m},39$ de longueur dans le sens normal à la voie. Les voûtes qui les relient présentent 5 mètres de portée, avec une épaisseur de $0^{m},60$ à la clef et une longueur de douelle de $7^{m},67$. Les piliers sont d'ailleurs renforcés par des contreforts de $1^{m},57$ de largeur, faisant une saillie de $1^{m},57$ aux naissances des voûtes et présentant un fruit de $\frac{1}{8}$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

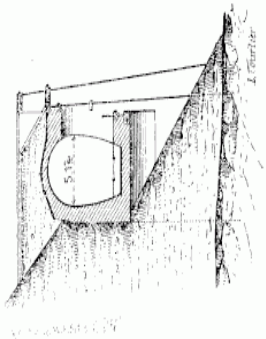


Fig. 158. — Coupe transversale.

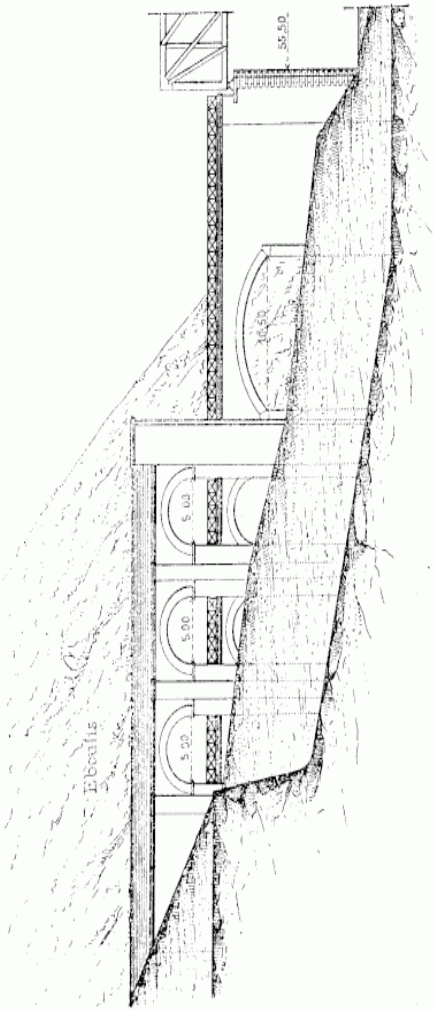


Fig. 157. — Prolongement du souterrain de Bourrec.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il a suffi de trois arceaux pour franchir le cône de déjection. La nouvelle tête se trouvant ainsi reportée à une faible distance de la culée déjà construite d'un pont métallique de 55 mètres d'ouverture, par lequel la voie franchit la rivière d'Aude, on a profité de cette circonstance pour jeter une voûte de 10m,50 entre la tête du tunnel et la culée du pont. Cette arcature a le double avantage de supprimer les quarts de cône du pont ainsi que leurs défenses contre la rivière, et de donner un dégagement supplémentaire tant aux eaux d'inondation qu'aux éboulis d'un couloir tout voisin du premier.

La dépense pour ces 31 mètres de souterrain, y compris l'arche de 10m,50 à la suite, s'élève à 56,000 francs, rabais déduit.

Le projet de tracé et de terrassements de la ligne de Quillan à Rivesaltes, dans le département de l'Aude, a été présenté en février 1882 et revisé en 1885 par MM. Vigouroux et Jullien, ingénieurs en chef, et Laurans, conducteur principal faisant fonctions d'ingénieur ordinaire.

Le projet définitif des travaux a été dressé de 1894 à 1898, par MM. Bouffet, ingénieur en chef, et Cornac, ingénieur ordinaire. Il comprend trois lots, qui ont été adjugés les 5 juin 1895, 15 mai 1897 et 17 avril 1899, avec des rabais de 35, 33 et 12 p. o/o.

Les travaux doivent être achevés en 1901.

L'exécution a été dirigée par MM. Bouffet, ingénieur en chef, Cornac et Garau, ingénieurs ordinaires.

MM. Dupeyron, Castel (Paul) et Rougé, chefs de section, Martin, Chausse, Fournié (François), Fournié (Joseph), Bousquet et Mougnié, conducteurs, ont surveillé les travaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour la préparation des pièces des projets, il y a principalement à citer MM. Evrot et Castel (Justin), chefs de bureau, Henry (Justin), Falcou, Chiffre, conducteurs, et Paye, commis.

Les entrepreneurs sont : MM. Allary (Jules) et Chevalier (Jean), pour le premier lot; Roche (Jules), pour le deuxième, et Albouy et Phalippou, pour le troisième.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVII

VIADUC DE REYNÈS

SUR LE TECH (PYRÉNÉES-ORIENTALES)

(LIGNE D'ELNE À ARLES-SUR-TECH).

Un cadre de dessins.

La ligne d'Elne à Arles-sur-Tech, construite par l'État, traverse le Tech à 1,500 mètres de la gare de Céret, près du hameau de Reynès, sous un angle de 53° 30′, sur un viaduc métallique à deux travées solidaires de 60 mètres.

Le tablier de la voie ferrée est placé à la partie supérieure des poutres principales. A la partie inférieure de ces poutres et entre elles passe, sur un tablier spécial, le chemin d'intérêt commun n° 15 qui se raccorde sur la rive droite avec la route nationale n° 115.

Deux passages inférieurs métalliques, de 8 mètres et 13m,49 d'ouverture, prolongent le viaduc à chaque extrémité sur la route nationale n° 115 et sur le chemin vicinal d'intérêt commun n° 15.

L'ouvrage a, tout d'abord, été prévu pour voie ferrée seule et c'est en cours d'exécution qu'a été ajouté un tablier pour route.

La hauteur disponible sous la voie ferrée était à ce moment commandée par la cote de la plate-forme et l'on a dû, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

obtenir la hauteur réglementaire, étudier un type de contreventement dégageant le plus possible l'espace laissé libre entre les poutres principales.

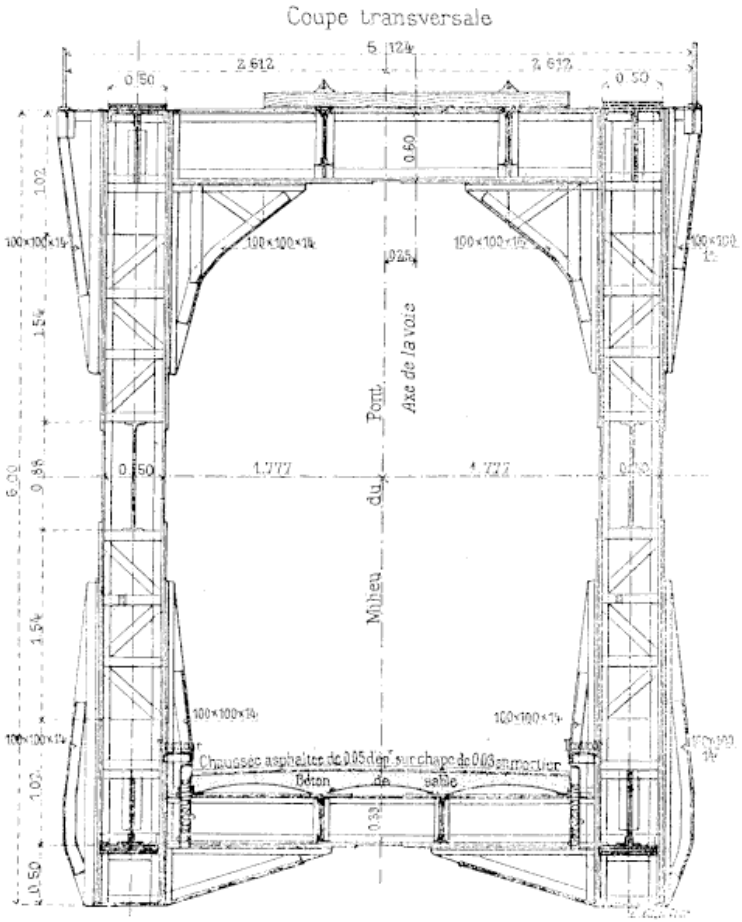


Fig. 159. — Viaduc de Reynès sur la Tech.

D'autre part, la situation de la voie au sommet des poutres commandait un contreventement très robuste.

Le contreventement étudié pour réaliser ces deux conditions contradictoires constitue la partie intéressante de l'ouvrage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIADUC DE REYNÈS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les principales dimensions ou dispositions se résument comme il suit :

Longueur totale de l'ouvrage (passages inférieurs compris), $172^{m},98$.

L'ouvrage, établi en palier, contient sur $69^{m},71$ le raccordement parabolique de la courbe de 300 mètres de rayon qui le précède.

Hauteur du rail au-dessus du lit de la rivière....	$27^{m},06$
Nombre de travées.....	2
Portée des poutres, mesurée d'axe en axe sur les appuis.....	$60^{m},00$
Nature du métal employé (sauf pour le platelage, les tôles embouties et le garde-corps qui sont en fer).....	Acier.
Type de l'ouvrage (poutres Waren quadruples renforcées par des montants verticaux) :	
Longueur des poutres principales.....	$120^{m},600$
Hauteur entre semelles.....	6 ,000
Écartement d'axe en axe des poutres principales..	4 ,054
Largeur libre entre garde-corps de voie ferrée....	5 ,124

Maîtresses poutres. — Les membrures de ces poutres comprennent une semelle d'épaisseur variable, de $0^{m},50$ de largeur, réunie à une âme de 600×12 par des cornières de $\frac{120 \times 120}{12}$.

La tôle inférieure de la semelle dans la membrure supérieure a seule 680 millimètres de largeur pour faciliter la rivure du platelage en tôle striée.

Les diagonales du treillis sont symétriques par rapport à l'axe vertical des membrures.

Toutes les diagonales sont assemblées avec les montants verticaux à leur point de croisement avec ces montants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Contreventement vertical. — Il est constitué par des cadres espacés de 3 mètres, comprenant les montants verticaux du treillis, les pièces de pont des tabliers du chemin de fer et de la route.

Les assemblages des montants verticaux et des traverses ont été raidis au moyen de goussets, dont la pose a entraîné le prolongement des montants verticaux au-dessous des semelles des poutres principales.

Contreventement horizontal. — Il est constitué par les pièces de pont des deux tabliers, par le platelage en tôle striée de 7 millimètres du tablier du chemin de fer et par les tôles embouties supportant la chaussée de la route.

Tablier du chemin de fer. — Il se compose de pièces de pont de $3^{m},554$ de longueur, sur lesquelles s'assemblent des longerons de 3 mètres de portée éclissés entre eux à la partie supérieure. Sur ces longerons repose la voie par l'intermédiaire de traverses espacées de $0^{m},50$.

Tablier du pont-route. — Il est constitué par des pièces de pont, espacées de 3 mètres d'axe en axe, supportant deux cours de longerons qui divisent en parties égales l'espace laissé libre entre les montants verticaux des poutres.

Sur ces longerons s'assemblent des T découpant des panneaux de forme rectangulaire, sur lesquels s'adaptent les tôles embouties de 8 millimètres d'épaisseur et 72 millimètres de flèche.

Sur les tôles embouties est posée une couche de béton de sable à 150 kilogrammes de chaux du Teil par mètre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cube de sable, arasée avec un bombement égal à celui de la chaussée, qui est en béton d'asphalte de 50 millimètres d'épaisseur.

Le raccordement de la chaussée du pont avec les culées se fait au moyen d'un appareil en fonte à glissières, subdivisant en quatre joints le joint maximum de 70 millimètres à prévoir par suite de la dilatation du pont.

Le poids total des aciers, fers et fontes employés s'établit comme il suit :

Passage inférieur, rive droite.....	28,176^{k},780
Viaduc.....	630,699 ,418
Passage inférieur, rive gauche.....	15,751 ,062
TOTAL.....	674,632 ,260

Le poids linéaire du viaduc central ressort ainsi à 5,079^{k},117.

Maçonneries. — Elles sont étudiées de manière à réduire le plus possible le cube de la maçonnerie de pierre de taille et de la maçonnerie rendue inutile dans la pile par suite du biais.

A cet effet, cette pile, au-dessus de chaque avant-bec, est terminée par trois faces égales dont l'une est parallèle à la voie ferrée, l'autre symétrique de la première par rapport à l'axe de la pile et la face intermédiaire perpendiculaire à l'axe de la pile.

Les angles à la jonction de ces faces et des faces transversales des piles sont en moellons tétués assisés, relevés par une double ciselure de 0^{m},05 de largeur.

Les avant-becs sont circulaires et les demi-circonférences

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui les limitent sont tangentes aux faces latérales de la pile aux extrémités du contour polygonal régulier ci-dessus défini.

L'ouvrage est fondé sur le schiste compact.

Le chemin établi à la partie inférieure de la charpente métallique traverse les deux culées communes au viaduc et aux passages inférieurs latéraux, sous deux voûtes en plein cintre de 3 mètres d'ouverture formant portique, mais ne recevant aucune charge; les sommiers des poutres ou longerons sur la culée étant disposés, en dehors de ces voûtes, à l'aplomb des piliers du portique sur lesquels se reporte toute la surcharge.

Montage. — Le montage du tablier a été effectué sur place au moyen d'un échafaudage en charpente. Cet ouvrage, construit en bois de sapin de dimensions relativement faibles, a présenté toute la rigidité voulue.

Prix de revient.

Maçonneries (entreprise)	61,736f,27
Métal (entreprise)	307,310,69
Somme à valoir	7,598,01
TOTAL	376,644,97

Dépenses, fondations comprises.

Par mètre linéaire		2,177f,37
Par mètre superficiel	en plan	424,93
	en élévation	110,77

Les maçonneries, commencées en mai 1890, ont été terminées en mars 1892.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La partie métallique a été construite de septembre 1894 à octobre 1896.

Le projet a été dressé et les travaux ont été exécutés par M. Drogue, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. Reynès, ingénieur en chef.

Ont concouru à l'exécution, MM. Despéret et Debats, chefs de section, Amade, sous-chef de section.

Les entrepreneurs étaient, pour les maçonneries, M. Bersant; pour le métal, la Société des ponts en fer (anciens établissements Joret).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVIII

VIADUC D'AMÉLIE-LES-BAINS

SUR LE TECH (PYRÉNÉES-ORIENTALES)

(LIGNE D'ELNE À ARLES-SUR-TECH).

Une vue pittoresque. — Un cadre de dessins.

La ligne d'Elne à Arles-sur-Tech, construite par l'État, traverse le Tech à l'entrée de la ville d'Amélie-les-Bains, sur un pont en maçonnerie à trois arches en plein cintre de 26 mètres d'ouverture avec culées et tympans évidés par 20 petites voûtes en plein cintre de $2^{m},62$ d'ouverture.

Sous les deux arches de rive passent, d'un côté, la route nationale n° 115, de l'autre, le chemin de Palalda à Amélie-les-Bains. L'arche centrale occupe le lit mineur de la rivière.

Les principales dimensions ou dispositions sont résumées ci-dessous :

Longueur totale du pont, $110^{m},46$ en rampe de $0^{m},011$.

L'ouvrage comprend les raccordements paraboliques des courbes de 300 et 370 mètres de rayon qui s'étendent de part et d'autre.

Grandes arches et leurs piles.	Ouverture	$26^{m},00$
	Épaisseur des voûtes : à la clef	1 ,00
	Épaisseur des voûtes : aux naissances	1 ,75
	Épaisseur des piles aux naissances.	3 ,50
	Hauteur maximum	10 ,40
	Fruit longitudinal des piles	1/50
	Largeur entre têtes des voûtes	4 ,90

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIADUC D'AMÉLIE-LES-BAINS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Petites voûtes et leurs piles.	Ouverture	$2^{m},62$
	Épaisseur uniforme du bandeau	0 ,35
	Épaisseur de la voûte : à la clef	0 ,40
	Épaisseur de la voûte : au joint à 30 degrés sur l'horizon	0 ,80
	Épaisseur des piles aux naissances	0 ,70
	Hauteur maximum	5 ,47
	Fruit longitudinal des piles	1/50
	Largeur entre têtes des petites voûtes	4 ,82
	Largeur entre parements des tympans	4 ,78
	Hauteur sur l'axe entre le dessus de la plinthe et le fond de la rivière	24 ,77
	Largeur entre parements intérieurs du garde-corps	4 ,60

DÉSIGNATION.		AU-DESSUS du TERRAIN NATUREL.	FONDATIONS COMPRISES.
Rapport du vide au plein		3,25	2,89
Cube de maçonnerie	total	2,436,56	2,763,49
	par mètre carré d'élévation	1,35	1,54

L'ouvrage est fondé sur le rocher calcaire.

Les grandes voûtes sur toute leur épaisseur, les bandeaux et la douelle des petites voûtes sont en voussoirs tétués. Exception est faite pour les voussoirs des grandes voûtes formant crossettes de retombée des petites piles. Ces crossettes sont en moellons smillés.

Les piles grandes et petites ont leurs parements tétués

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

assisés. La dernière assise formant couronnement des petites piles est en pierre de taille ayant toute l'épaisseur de la pile.

Le parement des tympans est tétué mosaïqué.

Le remplissage des grandes voûtes au droit des culées, sur une épaisseur maximum de $2^{m},25$, ainsi que le remplissage des extrados des petites voûtes, est en moellons ordinaires appareillés en voûte.

La plinthe et les modillons sont en pierre de taille.

Tous les matériaux sont granitiques.

Le mortier employé est, pour toutes les maçonneries, du mortier à 330 kilogrammes de chaux du Teil par mètre cube de sable.

L'intervalle entre les extrados des petites voûtes est rempli avec du béton maigre de sable à 150 kilogrammes de chaux du Teil par mètre cube de sable.

L'écoulement des eaux se fait sur une chape de $0^{m},05$ d'épaisseur, composée de $0^{m},03$ de mortier de chaux et $0^{m},02$ d'asphalte.

Un dalot construit en pierres sèches facilite cet écoulement et amène les eaux aux gargouilles en fonte de $0^{m},08$ de diamètre, qui traversent les grandes voûtes à 30 degrés de la clef environ.

Les tympans sont remplis avec du remblai rocheux.

Le garde-corps est en fonte. Il est caractérisé par sa faible épaisseur ($0^{m},01$), par la saillie très forte donnée à la lisse, par la réduction des dimensions des pilastres et par son poids peu élevé, $95^{k},91$ au mètre courant, pilastres compris.

Les cintres comportent deux types de ferme :

Sous les arches de rive, fermes rayonnantes composées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

uniquement de pièces chargées debout reposant au centre de la voûte sur une double file de boîtes à sable;

Sous l'arche centrale, fermes retroussées composées d'une poutre armée de 26 mètres de portée sur laquelle s'appuient les contrefiches rayonnantes.

Cette disposition résulte de l'impossibilité d'établir économiquement en rivière des appuis intermédiaires solides.

Les cintres comprennent :

	En tout.	Par mètre carré de douelle.
Bois.....	$209^{mc},26$	$0^{mc},408$
Fers et plombs.....	$10,794^{k},75$	$17^{k},99$

Ils ont coûté 14,671 francs.

Le cintre central a été mis en place au moyen d'une passerelle en charpente armée avec des câbles en acier de 26 mètres de portée et placée au niveau de la rive droite.

Les grandes voûtes ont été construites en deux rouleaux.

L'épaisseur moyenne du premier rouleau était de :

De 70 à 50 degrés.....	$0^{m},85$
De 50 degrés à la clef.....	0 ,40

Le premier rouleau a été divisé en six tronçons par deux séries de taquets au droit des contre-fiches les plus rapprochées de la clef et par quatre joints sur l'extrémité des vaux nos 2 et 3 en partant de la clef.

Les joints de clavage ont été matés au refus avec du mortier pulvérulent à 600 kilogrammes de ciment du Teil par mètre cube de sable. Les tassements des voûtes au décintrement, fait trente jours après le clavage du deuxième rouleau, ont été de 1 millimètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Prix de revient.

Entreprise...	Maçonnerie.....	91,617f,40
	Cintres.....	15,797,12
Somme à valoir.....		5,257,00
Total.....		112,671,52

Dépenses (fondations comprises).

Par mètre linéaire.....		1,020f,00
Par mètre superficiel	en plan.....	208,16
	en élévation.....	62,74
Par mètre cube de l'ouvrage.....		40,77

Le viaduc a été construit du mois de juin 1890 au mois d'avril 1892.

Le projet a été dressé et les travaux ont été exécutés par M. Drogue, ingénieur ordinaire, sous la direction de M. Reynès, ingénieur en chef.

Ont concouru à l'exécution, MM. Chorin-Dominel, chef de section, et Debats, sous-chef de section.

Les entrepreneurs étaient MM. Meunier et Cavaroc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIX

PONT-VIADUC DE VILLEFRANCHE-DE-CONFLENT

SUR LA TET (PYRÉNÉES-ORIENTALES)

(LIGNE DE PRADES À OLETTE).

Un modèle à l'échelle de $0^m,04$ pour un mètre ($\frac{1}{25}$).
Un cadre de dessins.

Dispositions générales. — Cet ouvrage se compose d'une grande arche de $39^m,346$ d'ouverture et de 17 mètres de flèche avec tympans évidés de chaque côté par cinq voûtes en plein cintre, dont quatre ont 5 mètres et la cinquième $4^m,50$ d'ouverture. La voûte de $4^m,50$ située de chaque côté de la clef et la voûte voisine de 5 mètres reposent presque en entier sur la grande arche.

Les voûtes de décharge reposent sur des piles de 1 mètre d'épaisseur aux naissances, dont la plus haute a $10^m,14$.

Le viaduc, en alignement droit et en rampe de $0^m,0213$ par mètre, traverse le cours d'eau sous un angle de 45 degrés.

Il a une longueur totale de $85^m,30$.

Fondations. — Toutes les fondations sont établies sur le rocher calcaire compact.

Les culées de la grande arche sont formées par des massifs de maçonnerie de 9 mètres de longueur sur $5^m,80$ de hauteur, encastrés dans la roche dure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

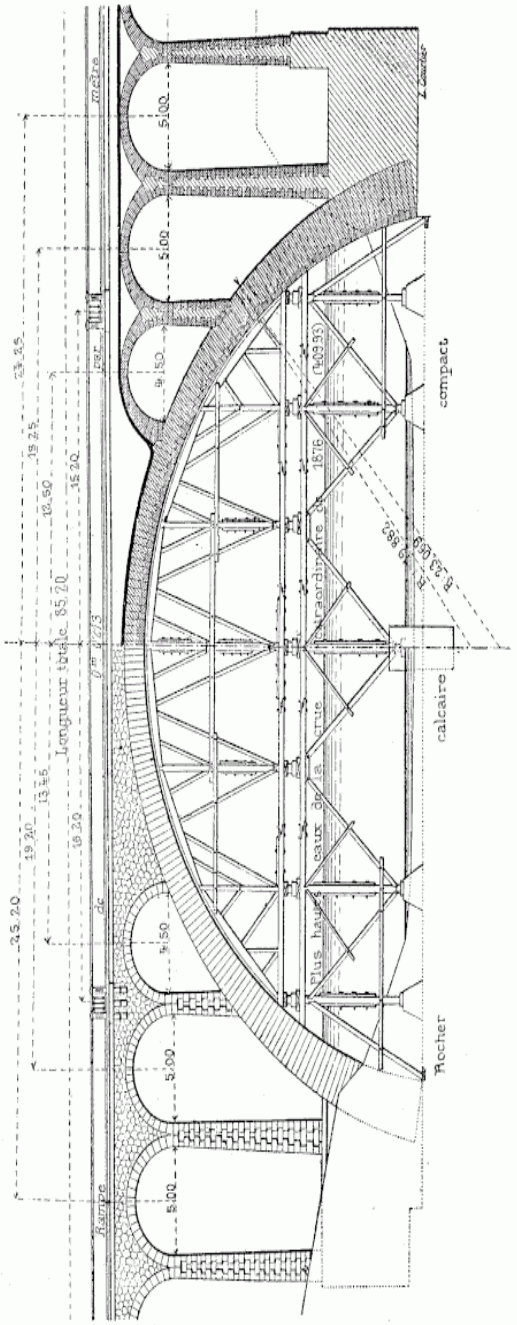


Fig. 160. — Demi-élévation et demi-coupe du viaduc de Villefranche-de-Conflent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les fondations n'ont, d'ailleurs, pas présenté de difficultés spéciales et les épuisements ont été peu importants.

Mode de construction. — Le pont-viaduc est établi pour une seule voie. Il a $4^{m},60$ de largeur en voie courante et porte de chaque côté deux refuges placés sur les piles les plus proches de la clef et qui ont $1^{m},50$ de longueur et $0^{m},60$ de profondeur.

Les têtes de la grande voûte, les tympans et les parements amont et aval des piles et culées ont été établis verticalement. Un fruit de $\frac{1}{30}$ a été donné aux faces des piles dans le sens longitudinal.

Les épaisseurs de la grande voûte sont de $1^{m},40$ à la clef, de 2 mètres au joint de rupture, de 3 mètres au niveau du sol des fondations.

Celles des petites voûtes sont de $0^{m},40$ et $0^{m},45$ à la clef et de $0^{m},90$ au joint de rupture.

Les pressions résultant de ces dimensions sont les suivantes, par centimètre carré :

A la clef de la grande arche.....	20^{k}
Au niveau des fondations de la grande arche.....	10

L'emploi de la pierre de taille a été limité à la plinthe, qui supporte le garde-corps métallique couronnant l'ouvrage.

On a supprimé tout cordon aux naissances des voûtes qui présentent une saillie de $0^{m},05$ sur le nu des tympans. Cette saillie se continue sur les angles des piles.

La grande voûte a été construite en deux rouleaux.

Le premier rouleau a été divisé en six tronçons par des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

joints secs munis, à l'intrados, de cales en plomb de $0^{m},04$ de largeur et $0^{m},02$ d'épaisseur et, à la partie supérieure des lits, de cales en chêne à la commande des queues des moellons, formant ainsi six voussoirs monolithes dont les articulations n'ont été clavées qu'à la fin de la construction du rouleau.

Les maçonneries des tronçons au-dessus des joints secs placés aux angles de 59 degrés et de 34 degrés étaient soutenues par des coffrages constitués par six boîtes à sable.

Cette disposition a permis d'opérer le remplissage des joints secs sans aucun effort, par un simple effet de décintrement successif procuré, sans secousses, par la vidange des boîtes à sable alternatives.

A l'angle de 15 degrés, les maçonneries étaient soutenues par des taquets en bois, boulonnés sur les vaux, dont l'enlèvement a été beaucoup plus pénible, malgré la presque verticalité du joint.

Le clavage a été fait en commençant par la clef, puis successivement, et en n'ayant qu'un chantier à la fois de chaque côté, par les taquets à 15 degrés, les coffrages à 59 degrés, et enfin les coffrages à 34 degrés.

On a opéré le remplissage par chambres de $1^{m},42$ pour les taquets et de $0^{m},80$ pour les coffrages, en commençant par celles des têtes à l'angle de 59 degrés et par celles sur l'axe aux angles de 34 degrés et 15 degrés, et en opérant toujours symétriquement par rapport à l'axe.

Le deuxième rouleau a été construit en quatre tronçons soutenus par les découpes du premier.

Les voûtes de décharge ont été construites en commençant par exécuter, avec quatre équipes égales, les deux piles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PONT-VIADUC DE VILLEFRANCHE DE CONFLENT

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voisines de la clef et la maçonnerie sur cette clef, attaquée à partir du sommet. On a ensuite élevé toutes les piles jusqu'aux naissances et procédé à la construction des voûtes suivant les règles adoptées dans la construction d'un viaduc ordinaire.

Le service des matériaux a été fait presque sans frais au moyen d'un pont de service rudimentaire, en bois, joignant la rive gauche au cintre de la grande arche.

Matériaux. — Les bandeaux de la grande et des petites voûtes sont en moellons smillés granitiques. Les douelles sont en moellons tétués granitiques.

La grande voûte est construite avec du mortier de ciment de Portland à prise lente, de l'usine Pavin-Lafarge, au dosage de 500 kilogrammes par mètre cube de sable extrait de la rivière de la Tet. Les clavages des joints secs ont été faits avec un mortier de ciment pulvérulent composé de 50 kilogrammes de ciment par 83 litres de sable humide et 8 à 9 litres d'eau.

Les parements des culées extrêmes et des piles sont construits en matériaux granitiques et mortier de chaux hydraulique du Teil au dosage de 300 kilogrammes par mètre cube de sable extrait de la rivière de la Tet.

La plinthe est en pierre de taille granitique.

Toutes les autres maçonneries sont en calcaire dit marbre rouge de Villefranche et mortier de chaux hydraulique du Teil au dosage de 300 kilogrammes par mètre cube de sable tiré des déblais.

Les tympans entre la plinthe et les bandeaux des petites voûtes et de la grande sont mosaïqués et forment un élé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gant contraste avec l'encadrement granitique smillé de ces voûtes rehaussé par une ciselure d'arête de $0^{m},02$ de largeur.

Tous les matériaux sont de petit appareil et ont été pris : les granits, soit sur place, dans les blocs roulés tirés des déblais et de la rivière de la Tet, soit dans les blocs roulés des rivières de Fillols, Saint-Vincent et Cady; les calcaires, dans le massif de la montagne attenante; le sable, dans les déblais et dans la rivière de la Tet.

Cintre. — Le cintre comprenait quatre fermes, espacées de $1^{m},42$ d'axe en axe, et se composait de deux parties, l'une à la base, absolument fixe, reposant sur cinq points d'appui en maçonnerie établis dans le lit de la Tet, l'autre au-dessus, reposant sur des semelles soutenues par sept cours de boîtes à sable, au-dessus du niveau de la plus grande crue connue.

Le tassement du cintre, pendant la construction, n'a été que de 11 millimètres.

Durée d'exécution. — Les fouilles de fondations ont été commencées le 21 juin 1889. La première pierre a été posée le 10 septembre 1889.

Le premier rouleau de la grande voûte a été commencé le 14 avril 1890.

Le second rouleau a été commencé le 7 mai et terminé le 30 mai 1890.

Le décintrement a eu lieu le 22 juillet 1890.

Le tassement a été de 1 millimètre 9 dixièmes.

Le pont a été complètement terminé en mai 1891.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dépenses. — Les dépenses, rabais déduit, se résument ainsi qu'il suit :

Fondations, déblais et maçonnerie	14,350f,80
Maçonneries de toute nature au-dessus des fondations	40,174,82
Chapes et enduits	1,390,16
Cintre de la grande arche et des voûtes de décharge	11,062,06
Garde-corps	5,166,34
Ciselures	1,333,16
TOTAL	73,477,34

Le prix par mètre linéaire ressort à 861f,39.

Le prix par mètre superficiel en élévation ressort à 57f,40.

Enfin le prix moyen du mètre cube de maçonnerie de toute nature, tout compris, ressort à 28f,48.

Les projets ont été dressés et les travaux dirigés par MM. REYNÈS, ingénieur en chef, et GAY, sous-ingénieur.

Les chantiers ont été surveillés par MM. les conducteurs des ponts et chaussées DE NOËLL, chef de section, et GARNIER (Léonce).

L'entrepreneur était M. CAVAROC.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XX

PONT SUR LE BEUVRON

(LIGNE DE SAINT-AIGNAN À BLOIS. — COMPAGNIE D'ORLÉANS).

APPLICATION D'UN ASSEMBLAGE FLEXIBLE POUR CHARPENTE MÉTALLIQUE RIVÉE.

Un modèle à $0^m,10$ pour un mètre ($\frac{1}{10}$).
Deux photographies.

Emplacement et dispositions générales du pont. — Ce pont en acier doux est établi sur la ligne de Saint-Aignan-Noyers à Blois, à la traversée de la rivière le Beuvron, tout près de la station de Cellettes.

L'ouvrage est destiné à porter une voie de 1 mètre.

La partie métallique constitue un tube rectangulaire de section constante. Ses parois verticales sont formées de poutres en N (genre Pratt) à 8 panneaux carrés. Le contreventement inférieur est formé par la tôle striée de platelage; le contreventement supérieur, par des croix de Saint-André en cornières.

La portée est de 42 mètres, la largeur intérieure de $4^m,20$.

Ce qui distingue cet ouvrage des ponts courants de même portée, c'est l'application de l'assemblage flexible combiné par M. Mesnager, en vue de réduire les efforts secondaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour faciliter les assemblages, toutes les pièces, membrures, montants, diagonales, ont uniformément une section en I.

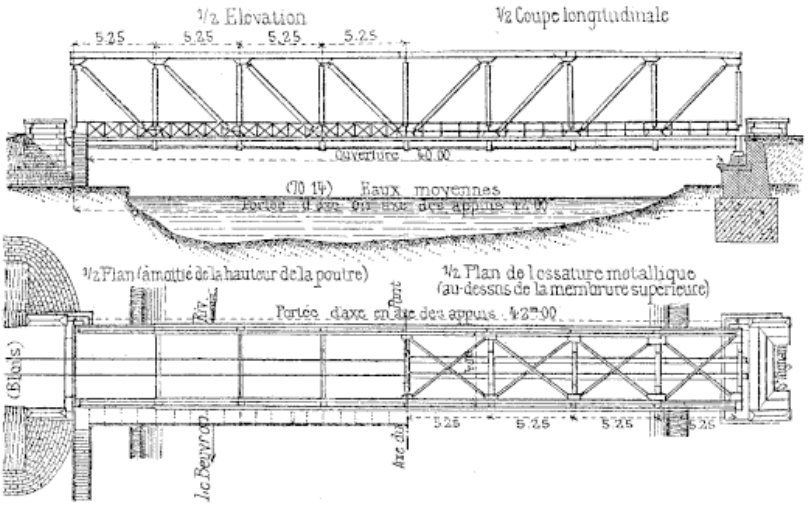


Fig. 161. — Pont sur le Beuvron, à assemblages flexibles.

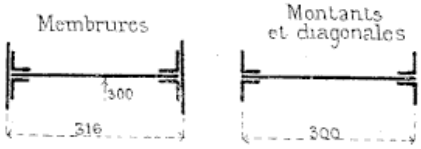


Fig. 162.

Description de la partie métallique. — Les pièces de pont sont suspendues, dans le plan de symétrie de chacune des poutres principales, par deux lames métalliques de 13×90. Ces lames forment une véritable articulation, elles ne peuvent transmettre les moments de flexion des pièces de pont aux poutres principales. La tôle striée maintient l'écartement des semelles inférieures des poutres.

Toutefois les pièces de pont extrêmes sont au contraire, comme d'ordinaire, assemblées d'une manière très rigide

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux montants, afin d'assurer l'indéformabilité de l'ouvrage et de lui permettre de résister au vent.

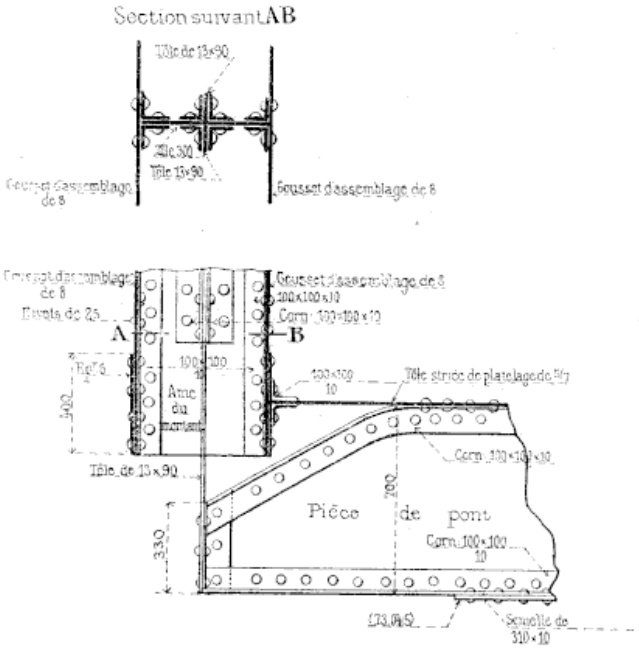


Fig. 163. — Pont sur le Beuvron. Coupe près d'une pièce de pont.

Les efforts secondaires les plus importants dans les poutres ordinaires sont dus à la rigidité des assemblages qui, au passage des surcharges, entraîne la déformation de toutes les pièces du treillis suivant des formes rappelant celles d'un S.

Pour supprimer les réactions d'encastrement, les pièces du treillis ont été réduites, à leur extrémité, à une tôle d'âme normale au plan de symétrie de la poutre. Cette tôle, dont la section est calculée pour ne pas supporter dans les pièces comprimées une fatigue de plus de 5 kilogrammes par millimètre carré, a une longueur libre égale à dix fois son épaisseur. Avec ces proportions, pour la faire flamber,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il faut la soumettre à une fatigue environ quatre fois et demie plus grande. On est donc dans les limites de sécurité ordinaires.

Pour les pièces tendues, la partie flexible de l'assemblage a une longueur égale à quinze fois son épaisseur. On a admis pour cette partie les limites de fatigue prescrites par le règlement.

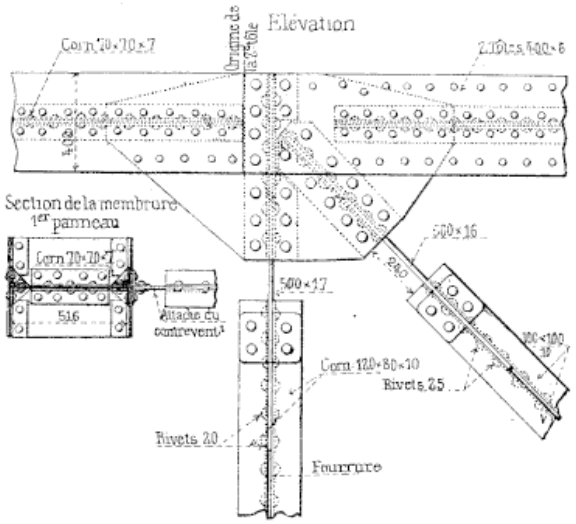


Fig. 164. — Pont sur le Beuvron.
Assemblage de la membrure supérieure avec un montant et une diagonale.

Résultats obtenus. — Les épreuves ont donné des résultats très satisfaisants.

La *différence* entre l'effort mesuré avec les appareils Manet-Rabut et les efforts calculés ne paraît pas avoir dépassé 0,25 de l'effort calculé. Dans les ponts à assemblages rigides, au contraire, elle dépasse fréquemment 1,5 et peut atteindre jusqu'à deux fois l'effort calculé (Ponts de la ligne de Rotterdam-Utrecht-Amsterdam. *Tijdschrift 1893-1894*).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'effort réel dans ces ponts atteint donc *trois fois* l'effort calculé.

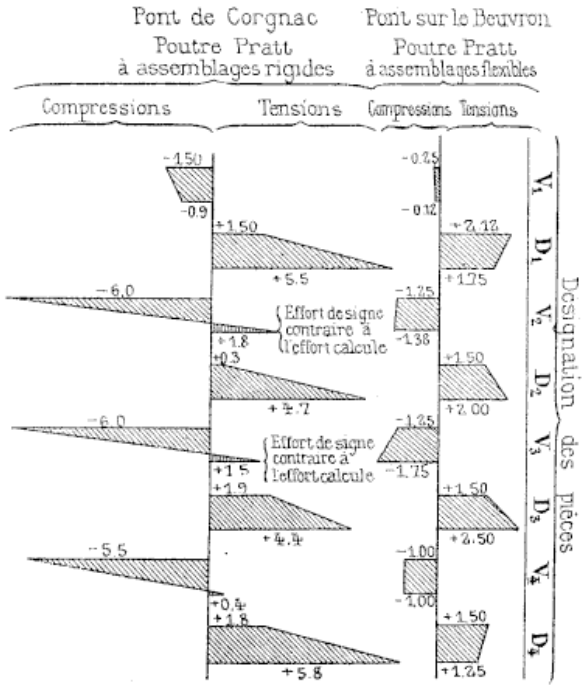


Fig. 165. — Diagramme comparatif des efforts secondaires dans deux charpentes à assemblages respectivement rigides et flexibles.

Le tableau graphique fig. 165, dans lequel on a porté pour chaque pièce en ordonnées les efforts observés au bas de la pièce, près de l'assemblage (point où les efforts secondaires sont en général les plus importants), permet de se rendre compte de la différence de répartition des efforts dans un pont à assemblage flexible et un pont à assemblage rigide. L'ordonnée de gauche se rapporte à la fibre la plus rapprochée de l'extrémité du pont, l'ordonnée de droite à la fibre la plus rapprochée du centre. Les montants sont désignés par les lettres V_1, V_2, etc., en partant de l'ex-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

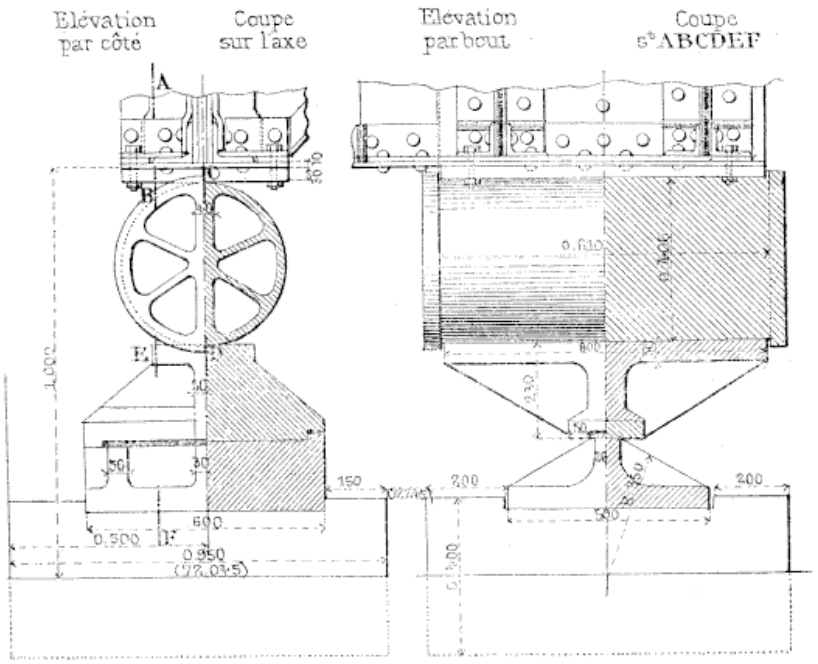


Fig. 166. — Pont sur le Beuvron : appui mobile.

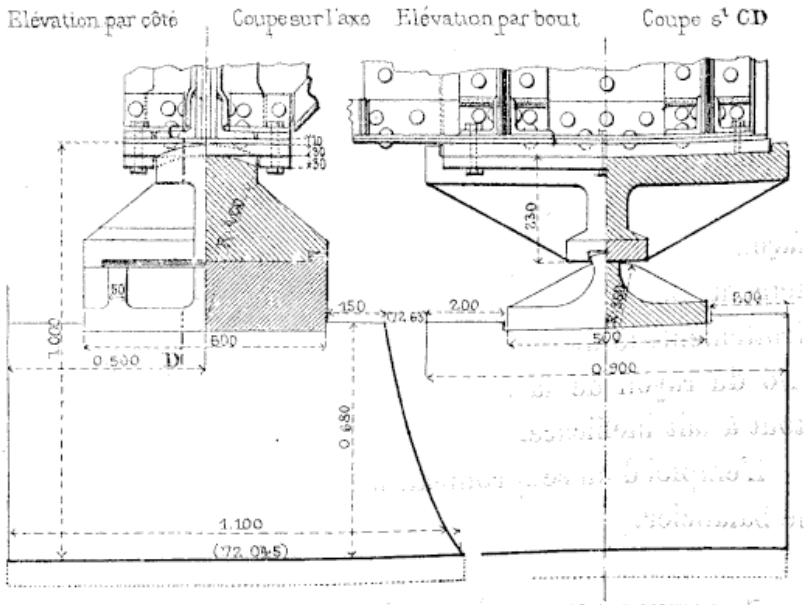


Fig. 167. — Pont sur le Beuvron appui fixe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trémité et marchant vers le centre; les diagonales, par D_1, D_2, etc.

On peut observer notamment des renversements d'effort dans tous les montants du *type rigide*. (Ce fait a été constaté toutes les fois qu'on a fait des mesures complètes : pont de Corgnac [ligne de Nontron à Sarlat]; pont sur la Loire [ligne de Bourges à Cosne], etc.)

Au lieu d'avoir une allure systématique comme le pont à assemblages rigides, dans le pont à assemblages flexibles, les différences sont tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Les différences paraissent donc tenir uniquement à des imperfections de construction ou à des irrégularités du métal.

La moyenne des efforts reste, dans les deux types, très voisine de l'effort calculé.

Appuis. — Les appuis sont à deux articulations perpendiculaires, de façon à opérer le centrage des efforts tant dans le sens de la longueur que dans celui de la largeur de la poutre.

Toutes les articulations sont obtenues par roulement, de façon à éviter le déplacement des résultantes dû au frottement. Dans les rotules ordinaires, où l'articulation est à frottement, le déplacement de la résultante peut atteindre 1/6 du rayon de la rotule et, par conséquent, la rendre tout à fait inefficace.

L'emploi d'un seul rouleau de dilatation a permis d'éviter le balancier.

Construction. — Le projet a été dressé, sur la propo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sition de M. Sabouret, ingénieur principal à la Compagnie d'Orléans, par M. Mesnager, ingénieur des ponts et chaussées, avec l'aide de M. Mouton, conducteur.

Les travaux ont été exécutés par M. Pommier, constructeur à Limoges, sous la direction du personnel de la Compagnie d'Orléans et de celui de la Compagnie des tramways du Loir-et-Cher.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CINQUIÈME SECTION.

ADMINISTRATION CENTRALE.

I

DIRECTION DES ROUTES ET DE LA NAVIGATION.

DIVISION DE LA NAVIGATION.

STATISTIQUE DE LA NAVIGATION INTÉRIEURE.

Les publications du service, en ce qui concerne la statistique de la navigation intérieure, sont périodiques, mais paraissent à des intervalles variables. Elles forment un ensemble dont chaque partie correspond à l'un des différents ordres de faits caractérisant tout système de moyens de communication, savoir : les conditions techniques de la voie, les dépenses d'établissement et d'exploitation qu'elle a occasionnées, l'état du matériel (véhicules et propulseurs) servant aux transports, et enfin le trafic qu'elle dessert.

C'est en suivant cet ordre que sont passés en revue les publications et les dessins exposés par le service.

1° Guide officiel de la navigation intérieure. — Cet ouvrage a remplacé le *Manuel des distances* que l'Admi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nistration avait fait imprimer en vue des besoins des agents chargés du service de la statistique de la navigation intérieure.

Ce premier travail a été remanié et augmenté de façon à pouvoir renseigner le public, c'est-à-dire les usagers, sur l'état du réseau navigable et sur les conditions de son utilisation.

Le Guide contient la série des actes réglementaires concernant la navigation intérieure; la nomenclature des voies navigables avec indication des conditions de navigabilité présentées par chacune d'elles; des notices descriptives avec tableaux des distances pour chaque cours d'eau; des itinéraires des parcours les plus usités pour chacun des principaux réseaux; enfin un index alphabétique des localités mentionnées. Le volume est accompagné d'une carte itinéraire du réseau à l'échelle de $\frac{1}{1,500,000}$.

Depuis 1887, cinq éditions, comportant ensemble 15,000 exemplaires, ont paru successivement. Elles sont depuis longtemps épuisées, et l'Administration s'occupe actuellement de la publication d'une sixième édition de cet utile recueil.

2° Dépenses de premier établissement et d'entretien concernant les fleuves, rivières et canaux. Documents historiques et statistiques. — Cette publication est quinquennale. Le dernier volume, publié en 1897, donne une situation arrêtée au 31 décembre 1896. D'une manière générale, le volume renferme un exposé historique des moyens financiers employés à la constitution et à l'entretien du réseau de navigation intérieure, la si-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tuation de ce réseau à diverses époques, la nomenclature des actes législatifs concernant l'établissement et l'amélioration dudit réseau, et une série de tableaux relatifs aux dépenses faites depuis 1814 jusqu'au 21 décembre de l'année qui précède sa publication.

Enfin des chapitres spéciaux ont été consacrés aux dépenses d'entretien de ce réseau et aux produits que l'État a tirés de son exploitation.

Le total des dépenses faites en travaux extraordinaires de navigation intérieure de 1814 à 1896 inclusivement s'élève à 1,490,686,865 francs, se répartissant ainsi par période politique :

Restauration	149,179,329[f]
Règne de Louis-Philippe	341,246,125
Seconde République	37,792,039
Second Empire	238,791,789
Troisième République	723,677,583
TOTAL ÉGAL	1,490,686,865

Toutefois il convient de noter qu'il entre dans ce total environ 300 millions de dépenses qui n'intéressent pas encore ou qui n'intéressent que très indirectement la navigation intérieure, et dont voici en nombres ronds la décomposition :

	Millions de francs.
Construction de canaux maritimes	60
Amélioration des sections maritimes des fleuves, effectuée dans l'intérêt de l'accès des ports de Rouen, Nantes, Rochefort et Bordeaux	65
A reporter	125

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Millions de francs.
Report	165
Travaux d'endiguement, établissement de réservoirs sur des cours d'eau non classés, exécutés dans l'intérêt de l'agriculture, de la défense des propriétés, de l'écoulement des eaux, etc., construction de ponts à Paris	40
Travaux de navigation effectués sur le territoire cédé à l'Allemagne	65
Construction de canaux non encore terminés (de la Marne à la Saône, de Montbéliard à la Haute-Saône)	70
ENSEMBLE	300

Le total des dépenses, à compter au passif de la navigation intérieure, doit donc être ramené au chiffre de 1,200 millions de francs environ.

La moyenne annuelle des sommes affectées à l'établissement et au perfectionnement du réseau de navigation intérieure varie considérablement d'une période à l'autre. Cette moyenne, qui ressort à 9 millions pendant la Restauration, s'élève à 20 millions sous le règne de Louis-Philippe, retombe à 9 millions sous la seconde République et à 12 millions sous le second Empire. Elle remonte à 16 millions pendant les premières années du régime actuel, de 1871 à 1878, et dépasse 33 millions à partir de 1879, année au cours de laquelle fut arrêté le programme des grands travaux d'amélioration et d'extension de notre système de voies de communication. Les moyennes les plus faibles correspondent aux années pendant lesquelles, sous l'impulsion de l'opinion, le Gouvernement concentra la plus grande

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

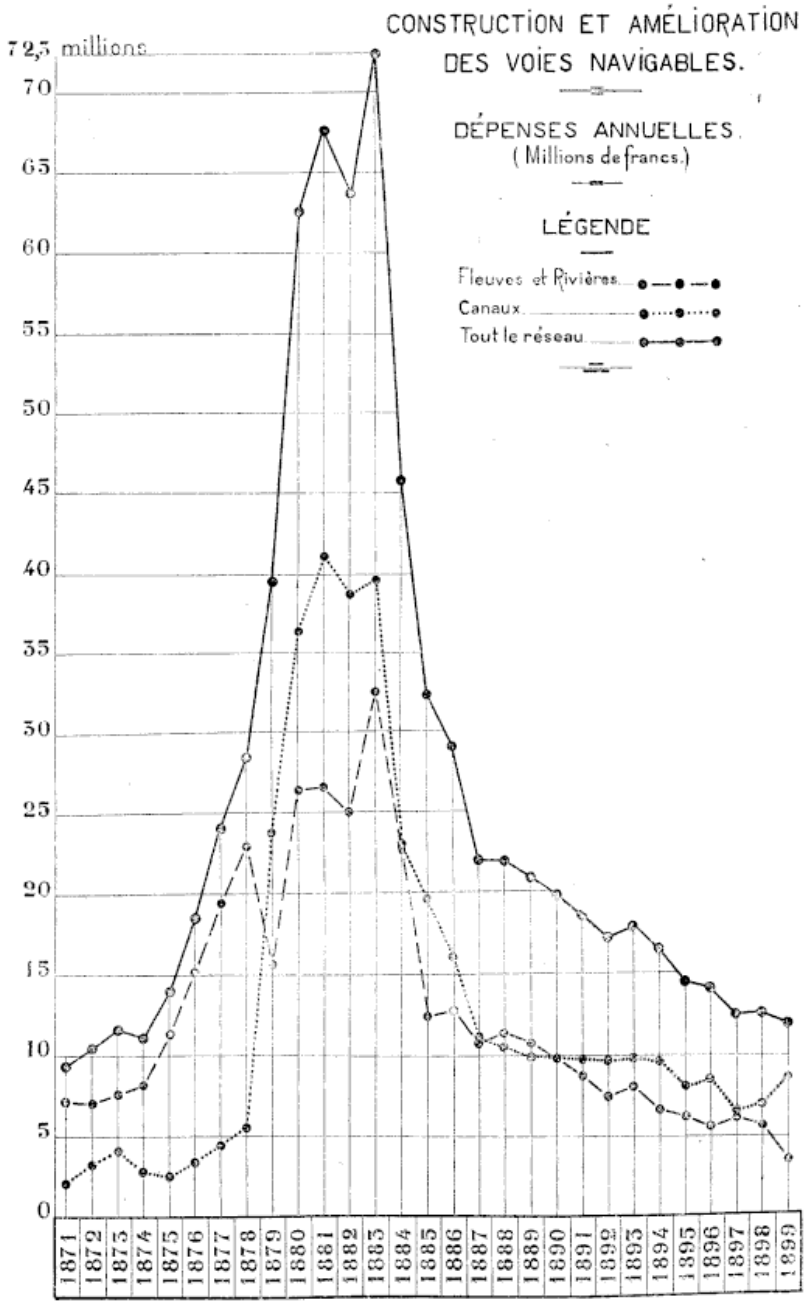


Fig. 168.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partie de ses ressources sur la création du réseau de chemins de fer.

Quant aux dépenses ordinaires (entretien et grosses réparations), on constate qu'elles ont peu varié depuis une cinquantaine d'années, alors que, rationnellement, elles auraient dû augmenter au fur et à mesure que le réseau se développait et se perfectionnait. Cette anomalie doit être attribuée, principalement pendant ces dernières années, aux nécessités budgétaires qui n'ont pas permis de majorer la dotation des chapitres correspondant à ces dépenses en raison directe de l'accroissement du nombre des ouvrages mis en service. La moyenne annuelle, pendant la période comprise de 1848 à 1896, a varié entre 9,750,000 francs et 11,500,000 francs.

Le rapport des frais d'entretien aux dépenses d'établissement qui, en 1871, s'élevait à 0,013, est descendu à 0,008 en 1896.

Il y a lieu de noter, comme on l'a fait pour les dépenses extraordinaires, que les sommes consacrées à l'entretien comprennent des dépenses qui sont faites dans l'intérêt de l'aménagement des eaux sur des rivières ou sections de rivières classées, mais non fréquentées, et qui, par suite, n'intéressent pas la navigation proprement dite.

D'autre part, les dépenses d'entretien ne comprennent pas les frais de personnel (ingénieurs, conducteurs et commis des ponts et chaussées et agents spéciaux de navigation), mais, en compensation, il faut tenir compte des revenus et profits (le principal est la location de la pêche) que l'État tire annuellement de l'exploitation des voies navigables.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces revenus ont produit pendant ces dernières années une recette moyenne de 2,800,000 francs.

3° Recensement de la batellerie. — Trois recensements de la batellerie ont eu lieu successivement en 1887, 1891 et 1896. En principe, leur périodicité doit être quinquennale.

Le fascicule publié en 1897 renferme les résultats du recensement effectué en 1896 et peut être considéré comme formant une annexe du « Relevé général du tonnage des marchandises transportées sur les fleuves, rivières et canaux » pendant l'année 1896.

Il comporte trois tableaux de développement consacrés : le premier, à la répartition, par cours d'eau, des bateaux ordinaires français et étrangers; le second, à la répartition, par cours d'eau, des bateaux à vapeur français et étrangers, et le troisième, à la répartition, par réseau navigable, des bateaux ordinaires français.

Ces tableaux sont précédés d'une notice où se trouvent condensées les principales données fournies par le recensement.

En 1896, il a été recensé 15,793 bateaux ordinaires, français et étrangers, jaugeant ensemble 3,442,250 tonnes métriques, et 651 bateaux à vapeur de toute nature d'une capacité totale de 29,330 tonnes et munis de machines représentant ensemble une force de 69,532 chevaux-vapeur.

Presque tous les bateaux de transport possèdent une cabine servant de logement aux mariniers et souvent même à leur famille dont c'est l'unique domicile.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au moment du recensement, les cabines des bateaux ordinaires abritaient 41,579 personnes, comprenant 18,349 hommes, 9,062 femmes et 14,168 enfants. Le nombre d'hommes attachés aux bateaux à vapeur, y compris le capitaine et le personnel des machines, s'élevait à 2,589, ce qui donne, pour le total de la population marinière recensée, 44,168 personnes.

4° Relevé général du tonnage des marchandises transportées sur les fleuves, rivières et canaux. — Ce relevé forme le dix-huitième de la série commencée en 1881 par l'Administration des travaux publics, laquelle série fait suite aux relevés annuels du tonnage des cours d'eau administrés par l'État, que publiait antérieurement la Direction générale des Contributions indirectes.

Cette publication comporte deux volumes in-4° raisin, format ordinaire des publications statistiques du Ministère des travaux publics.

Le premier volume renferme :

Une nomenclature avec l'indication des conditions de navigabilité des fleuves, rivières et canaux. Ces données sont présentées dans le cadre d'un tableau synoptique précédé d'observations générales sur l'état de l'ensemble du réseau fluvial;

Un résumé analytique des résultats contenus dans les tableaux de développement du tonnage des marchandises transportées par eau;

Une série de monographies concernant le mouvement commercial du port de Paris et celui des principales lignes de navigation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le second volume est exclusivement affecté à la série des tableaux de développement du relevé général du tonnage des marchandises transportées sur les fleuves, rivières et canaux.

Quelques chiffres donneront une idée des progrès réalisés dans l'aménagement des cours d'eau comme voies de transport et du développement que ces transports ont pris depuis 1871.

La longueur de l'ensemble des cours d'eau classés comme navigables ou flottables a peu varié depuis 1871, un certain nombre de rivières ou sections de rivières ont été déclassées pendant ces dernières années, mais les pertes résultant de ces déclassements ont été compensées par les constructions nouvelles.

Actuellement, le développement total du réseau fluvial classé est de 16,687 kilomètres, sur lesquels 12,269 kilomètres seulement ont été utilisés par le commerce. Le surplus, soit 4,418 kilomètres, se compose de rivières ou sections de rivières qui ont un trafic exclusivement maritime ou dont la navigation est purement nominale.

Le réseau de navigation intérieure est presque en entier administré par l'État; il ne reste plus maintenant entre les mains des concessionnaires que 255 kilomètres de canaux.

Au point de vue des conditions techniques, les voies se divisent en deux catégories, la première comprenant les rivières et canaux qui offrent en tout temps un mouillage minimum de 2 mètres, des écluses de 38^{m},50 de longueur utile et un tirant d'air sous les ponts d'au moins 3^{m},70.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

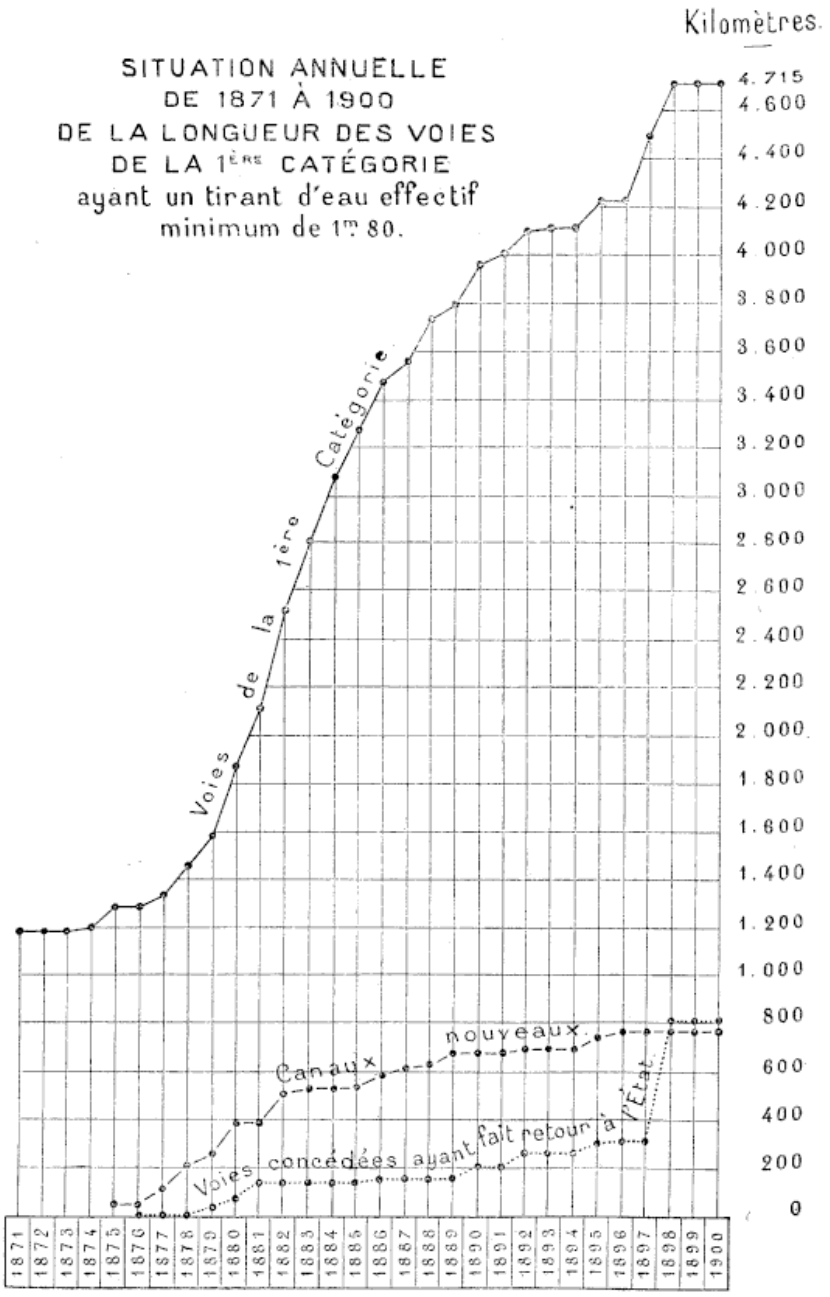


Fig 179.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

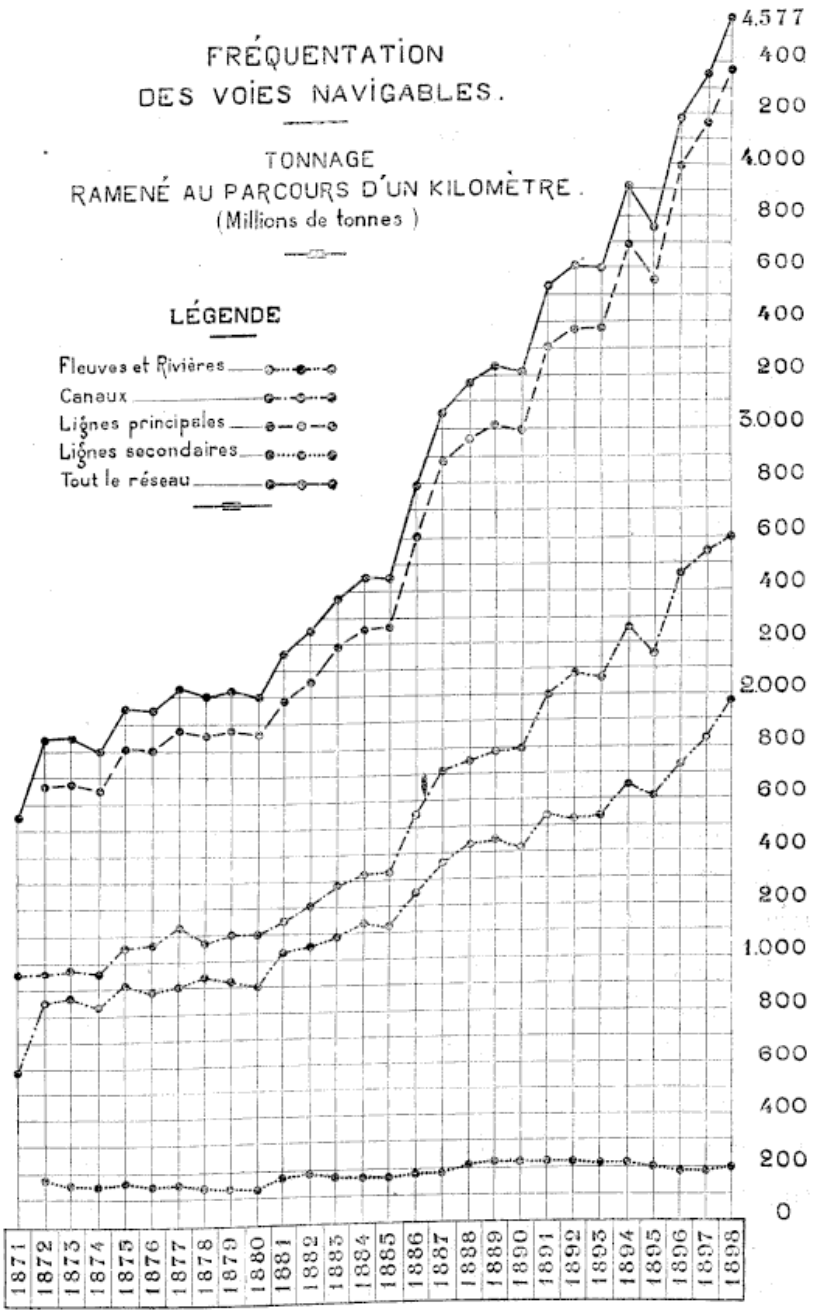


Fig. 180.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La longueur de l'ensemble des voies remplissant ces conditions est actuellement de 4,715 kilomètres, dont 646 kilomètres de canaux ouverts à la navigation depuis 1878. Antérieurement à la promulgation de la loi du 5 août 1879 relative au classement et à l'amélioration des voies navigables, on comptait seulement 1,459 kilomètres de rivières et canaux de la première catégorie.

L'œuvre d'unification des conditions de navigabilité du réseau n'a pas tardé à produire les résultats prévus. Le poids total des marchandises embarquées sur les rivières et canaux, qui était seulement de 19,740,000 tonnes au début des travaux d'amélioration, a dépassé 32,526,000 tonnes en 1898. Le tonnage kilométrique progressait pendant le cours de la même période dans une proportion plus élevée encore, il passait de 2,174 millions à 4,577 millions de tonnes kilométriques, et le parcours moyen d'une tonne s'élevait de 110 kilomètres à 141 kilomètres en 1898. L'allongement des parcours, autrement dit l'augmentation du rayon d'action des voies de navigation intérieure, est la principale caractéristique des progrès réalisés par l'industrie des transports fluviaux.

On doit noter que cet accroissement de trafic a profité presque exclusivement aux lignes principales, qui toutes sont constituées par les rivières et canaux transformés ou encore en cours de transformation. La circulation sur ces lignes est vingt-trois fois plus active que sur les voies secondaires.

5° Dessins exposés. — Les principaux résultats accusés par les publications statistiques énumérées précédem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment ont été représentés graphiquement sur un panneau mural comprenant :

Une carte générale du réseau de navigation intérieure à l'échelle de $\frac{1}{500,000}$, et quatre séries de diagrammes correspondant respectivement aux conditions d'établissement des cours d'eau; aux dépenses qu'ils ont occasionnées depuis 1814; à l'effectif de la batellerie qui les fréquente, et enfin au trafic qu'ils desservent.

CARTE GÉNÉRALE DU RÉSEAU FLUVIAL.

La carte générale représente l'état actuel du réseau fluvial, avec l'indication des améliorations et transformations dont il a été l'objet depuis 1871, tant au point de vue administratif qu'au point de vue technique.

La légende insérée dans le cartouche placé en bas et à gauche de la carte donne la valeur des traits et des couleurs à l'aide desquels on a figuré les différentes natures de cours d'eau administrés par l'État ou des concessionnaires, leurs améliorations, leurs transformations, leurs changements de régime et les constructions nouvelles. Les longueurs de chacune de ces catégories de voies sont rappelées en regard des signes conventionnels qui les différencient.

DIAGRAMMES.

Série A. — Conditions d'établissement.

1. Longueurs des voies de la première catégorie.
2. Longueurs des canaux construits depuis 1871.
3. Longueurs des voies concédées ayant fait retour à l'État depuis 1871.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Série B. — Dépenses d'établissement et d'entretien.

1. Construction et amélioration.
2. Entretien et grosses réparations.
3. Rapport des dépenses d'entretien aux dépenses d'établissement.
4. Dépenses d'établissement, par période historique, de 1814 à 1899.

Série C. — Recensement de la batellerie.

1. Nombre et capacité des bateaux ordinaires suivant la nationalité, la longueur, le mode de construction.
2. Répartition des bateaux d'après leur capacité.
3. Répartition des bateaux par réseau.
4. Répartition des bateaux à vapeur d'après leur nature.
5. Répartition des bateaux à vapeur d'après le mode de propulsion.
6. Population marinière. Équipages.

Série D. — Trafic.

1. Poids des embarquements par nature de cours d'eau.
2. Poids des embarquements par groupe de marchandises.
3. Tonnage ramené au parcours d'un kilomètre.

Le service relève de M. Quinette de Rochemont, conseiller d'État, directeur; MM. Beaurin-Gressier, chef de division; Pélissier, d'Hénouville, Lebeau, chefs de bureau; Godebski, sous-chef de bureau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

DIRECTION DES CHEMINS DE FER.

I. Documents statistiques sur les chemins de fer français au 31 décembre de chacune des années 1889 à 1898.

II. Cartes et diagrammes relatifs aux chemins de fer.

III. Aquarelles figurant les moyens de transport pour voyageurs depuis la Renaissance jusqu'à nos jours.

IV. Cartes et cartogrammes relatifs aux transports publics depuis la fin du XVII^e^ siècle jusqu'à nos jours.

I. DOCUMENTS STATISTIQUES

SUR LES CHEMINS DE FER FRANÇAIS AU 31 DÉCEMBRE DE CHACUNE DES ANNÉES 1889 À 1898.

La première statistique officielle sur les chemins de fer français remonte à l'année 1856 et consiste en une publication s'appliquant à la période de 1823 au 30 juin 1855. C'est seulement à partir de 1863 que cette publication a été faite chaque année ; mais, en 1887, les dispositions en ont été modifiées et, depuis cette époque, les cadres des tableaux dont elle se compose n'ont pas subi de changements importants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les documents exposés concernent la période décennale 1889-1898, l'année 1898 étant la dernière dont les résultats aient pu être établis et coordonnés.

Pour chaque année, ces documents se composent de trois volumes, savoir :

1° Documents principaux;

2° Documents divers, 1re partie : France, intérêt général;

3° Documents divers, 2e partie : France, intérêt local et tramways; Algérie et Tunisie.

DOCUMENTS PRINCIPAUX.

Ce premier volume contient les renseignements les plus importants et qu'il est le plus utile d'avoir rapidement : ceux qui sont relatifs, notamment pour les lignes d'intérêt général, à la situation d'ensemble et détaillée du réseau, aux conditions principales des concessions, au capital réalisé par les compagnies, à la garantie d'intérêt, aux dépenses d'établissement et aux résultats généraux de l'exploitation, à l'effectif du matériel roulant. Des renseignements analogues y figurent pour les chemins de fer d'intérêt local et les lignes algériennes. On y trouve en outre les situations, par département et par concessionnaire, des chemins de fer d'intérêt local et des tramways, et les résultats généraux de l'exploitation des tramways pour voyageurs et marchandises.

Le volume est complété par deux cartes à $\frac{1}{3,000,000}$: l'une pour les chemins de fer de la métropole, l'autre pour les chemins de fer de l'Algérie et de la Tunisie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DOCUMENTS DIVERS (1re PARTIE).

Dans ce second volume, consacré plus spécialement aux chemins de fer d'intérêt général de la métropole, sont contenus les renseignements suivants :

Situation successive et détaillée du réseau ;

Relevé, par département, des longueurs de chemins de fer, et comparaison de ces longueurs avec la superficie et la population ;

Relevé détaillé des lignes exploitées à simple ou à double voie ;

Tableaux rétrospectifs, par année, des résultats généraux du trafic et des produits de l'exploitation ;

Relevé successif des dividendes payés aux actionnaires des six grandes compagnies ;

Produit de l'impôt perçu, par année, sur les transports à grande vitesse ;

Vingt-cinq tableaux donnant :

L'effectif détaillé du personnel et du matériel roulant ;

Le mouvement du trafic (voyageurs et marchandises) ;

Le mouvement des trains, des machines et des véhicules ;

Les recettes et les dépenses de l'exploitation ;

Le détail, par ligne, du trafic kilométrique et à distance entière sur les grands réseaux ;

Le produit des impôts perçus sur les chemins de fer, et l'évaluation des économies que l'État réalise sur certains transports pour services publics ;

Le mouvement des voyageurs et des marchandises dans les gares de Paris ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le mouvement et les recettes des colis postaux ;

La situation des caisses de retraites et de secours en faveur des agents des chemins de fer ;

Enfin, la statistique des accidents.

DOCUMENTS DIVERS (2e PARTIE).

Ce troisième volume s'applique aux chemins de fer d'intérêt local, aux tramways et aux lignes algériennes et tunisiennes. Il renferme, pour ces diverses catégories de lignes, la plupart des renseignements qui figurent, pour le réseau d'intérêt général, dans le second volume.

II. CARTES ET DIAGRAMMES

RELATIFS AUX CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

CARTE DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS À $\frac{1}{1,000,000}$.

Le Ministère des travaux publics publie et tient à jour depuis longtemps une carte des chemins de fer français.

Le cadre de la carte primitive remontait à plus de vingt ans ; l'échelle de $\frac{1}{1,250,000}$, adoptée à une époque où la longueur des chemins de fer français ne dépassait pas 25,000 kilomètres, n'était plus en rapport avec le développement d'un réseau qui, aujourd'hui, ne comporte pas moins de 50,000 kilomètres de lignes d'intérêt général, d'intérêt local et de tramways pour voyageurs et marchandises, dont 44,000 en exploitation. Il était donc indispensable d'entreprendre la réfection d'une carte à plus grande échelle, et la réalisation de cette mesure a paru particu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lièrement opportune à l'approche de l'Exposition universelle de 1900.

La nouvelle carte a été dressée à l'échelle de $\frac{1}{1,000,000}$; elle est imprimée en dix couleurs; elle distingue : 1° par des traits pleins : les lignes en exploitation ; par des trémas : les lignes déclarées d'utilité publique et non exploitées; par des pointillés : les concessions éventuelles; 2° par des couleurs différentes : le réseau de l'État et le réseau de chacune des six grandes compagnies ; les lignes concédées à des compagnies secondaires et enclavées dans les grands réseaux ; les lignes non concédées. Les chemins de fer d'intérêt général à voie étroite sont indiqués par un trait moins fort que celui qui se rapporte aux lignes à voie normale. La carte donne également les chemins de fer d'intérêt local et les tramways pour voyageurs et marchandises en exploitation, qui sont figurés par des traits fins en noir. Enfin des cartouches à l'échelle de $\frac{1}{320,000}$ présentent le détail des bifurcations et des tracés aux abords des principaux centres : Paris, Lille, Valenciennes, Tours, Lyon, Bordeaux et Marseille.

CARTE DES CHEMINS DE FER OUVERTS À L'EXPLOITATION SOUS CHACUN DES RÉGIMES POLITIQUES.

Une seconde carte indique la part prise par chacun des régimes politiques dans la constitution du réseau des chemins de fer français. Ce réseau qui, en 1870, ne dépassait pas 18,000 kilomètres, se développe sous la 3e République à raison d'une moyenne annuelle de près 1,000 kilomètres et atteint en 1900 le chiffre de 44,000 kilomètres (y compris les tramways pour voyageurs et marchandises).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIAGRAMMES.

Métropole.

Chemins de fer d'intérêt général, chemins de fer d'intérêt local et tramways pour voyageurs et marchandises :

1° Développement du réseau depuis l'origine.

2° Dépenses d'établissement : 1841-1898.

3° Effectif du personnel. Effectif du matériel roulant : 1853, 1859-1898.

4° Mouvement des voyageurs et des marchandises à 1 kilomètre : 1841-1898.

5° Mouvement des trains : 1841, 1853, 1854, 1866-1898.

6° Mouvement du matériel roulant : 1853, 1854, 1866-1898.

7° Résultats financiers de l'exploitation. Recettes et dépenses totales, produit net total. Produit moyen kilométrique par voyageur et par tonne : 1841-1898.

8° Résultats financiers de l'exploitation par kilomètre exploité : 1841-1898.

9° Mouvement des voyageurs dans les gares de Paris : 1867-1898.

10° Mouvement des marchandises dans les gares de Paris : 1867-1898.

Algérie et Tunisie.

1° Développement du réseau. Dépenses d'établissement. Résultats financiers de l'exploitation. Produit moyen kilométrique par voyageur et par tonne : 1862-1898.

2° Effectif du personnel. Effectif du matériel roulant. Mouvement des voyageurs et des marchandises. Mouvement des trains. Mouvement du matériel roulant : 1862-1898.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans un but de clarté et de simplification et en raison des nombreuses analogies que présentent les chemins de fer d'intérêt local et les tramways pour voyageurs et marchandises, on a groupé les renseignements relatifs à ces deux catégories de lignes.

Ces divers diagrammes ont été établis d'après les documents statistiques publiés par le Ministère des travaux publics ; ils résument les principaux faits économiques, techniques ou financiers concernant les chemins de fer. Ils complètent la collection des documents statistiques et permettent d'embrasser d'un coup d'œil les progrès réalisés. Pour ne prendre que quelques exemples, ils font ressortir nettement :

Le *développement du réseau exploité* qui, de 3,000 kilomètres en 1850, atteint 21,000 kilomètres en 1875 et 44,000 kilomètres en 1898 (y compris les lignes d'intérêt local et les tramways pour voyageurs et marchandises), avec un accroissement moyen de près de 1,000 kilomètres par année pendant le dernier quart de siècle ;

Le *parcours total des machines* (372 millions de kilomètres), soit un parcours moyen annuel de 39,700 kilomètres par locomotive, qui correspond sensiblement à la longueur du méridien terrestre ;

Les *variations du produit moyen kilométrique* d'un voyageur (déduction faite de l'impôt) qui, de 7 centimes en 1841, s'abaisse à 5 cent. 4 en 1869, à 4 cent. 3 en 1891 et à 3 cent. 73 en 1898 ;

Le *parcours des voyageurs et celui des marchandises* qui ont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doublé, le premier, en dix-huit années, le second, en vingt-six années (en 1898, 11,800 millions de voyageurs kilométriques et 14,900 millions de tonnes kilométriques);

Le *mouvement des voyageurs dans les gares de Paris* qui, de 45 millions de voyageurs en 1880 et de 75 millions en 1889, s'élève, pour 1898, à 117 millions, dont 43 millions pour la gare Saint-Lazare.

III. SÉRIE D'AQUARELLES

FIGURANT LES MOYENS DE TRANSPORT POUR VOYAGEURS

DEPUIS LA RENAISSANCE JUSQU'À NOS JOURS.

NOMENCLATURE.

Les sujets dont la désignation est suivie d'un astérisque (*) figurent en réduction dans le présent catalogue.

Les aquarelles relatives aux moyens de transport autres que les chemins de fer sont exposées dans la classe 30 (Musée centennal).

La suite de la collection (Chemins de fer) se trouve dans la classe 29.

NUMÉROS D'ORDRE.	SUJETS.	SOURCES.
1	Litière de seigneur. (XV^e siècle.).....	Une reconstitution de Viollet-Le-duc.
2	Litière à bras. (XVI^e siècle.).....	Une reconstitution en lithographie de V. Adam.
3	Coche de Henri IV. (1610.).....	Une gravure de Gasp. Bouttats.
4	Chariot de voyage. (Règne de Louis XIII.).....	Une gravure contemporaine de G. Perrelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS D'ORDRE.	SUJETS.	SOURCES.
5	Litière de Vauban (vers 1668).....	Une gouache contemporaine formant cartouche d'un plan de Besançon.
6	Litière du peintre Van der Meulen (vers 1670)...	Van der Meulen.
7	Litière en service dans les armées de Louis XIV...	*Idem.*
8	Coche d'été ou «Carabas» de Paris à Versailles. (Règne de Louis XIV.)	Une gravure d'Israël Sylvestre.
9	Coche de voyage. (Règne de Louis XIV.).....	Une reconstitution en lithographie de Carle Vernet.
10	Litière commune dite *brancard*. (Règne de Louis XV.).	Une gravure de J.-B. Oudry.
11	Carrosse de voyage de Paris à Amboise. (Règne de Louis XV) [*].	Une gravure de Rigaud.
12	Galiote de Paris à Saint-Cloud. (Règne de Louis XV.)	*Idem.*
13	Coche d'eau de Paris à Auxerre. (Règne de Louis XV) [*].	Un tableau de Raguenet (1757).
14	Coche moderne ou première diligence suspendue. (Règne de Louis XV.)	Un dessin de Roubo fils.
15	Embarquement des coches d'eau au port Saint-Paul (Paris). [Vers 1775.]	Une reproduction du tableau de De Machy.
16	Chaise de poste. (Règne de Louis XV.).....	Une reproduction du tableau de M. Goubie.
17	Malle-poste sous la Convention.....	Un dessin inséré dans l'ouvrage *La Locomotion*, de M. Daniel Ramée.
18	Arrivée de la diligence dans la cour des Messageries, à Paris. (Directoire.)	Un tableau de Boilly.
19	Courrier de la malle-poste (1812).....	Un dessin anonyme de l'époque.
20	Postillons et chevaux de poste. (Retour du postillon.)	Géricault.
21	Postillons et chevaux de poste. (Repas des chevaux.).	*Idem.*
22	Postillons et chevaux de poste. (Halte à l'auberge.).	*Idem.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS D'ORDRE.	SUJETS.	SOURCES.
23	Voyage à cheval en poste. (Règne de Louis XVIII.).	Une estampe de Carle Vernet.
24	Coucou de Paris à Saint-Cloud. (Règne de Louis XVIII.)	*Idem.*
25	Diligence genre *Turgotine*	Une lithographie de Géricault (1823).
26	Diligence des Messageries royales. (Règne de Louis XVIII.)	Une lithographie d'Aubry (1823).
27	Diligence de Rouen au Havre. (Règne de Louis XVIII.)	*Idem.*
28	Cabriolet de poste et voiture de messagerie. (Règne de Louis XVIII.)	Une estampe coloriée de Sauerweid.
29	Accélérée de Paris à Saint-Germain. (Règne de Louis XVIII.)	Une lithographie de Lœillet (1824).
30	Malle-poste de Paris à Calais. (Règne de Louis XVIII.)	Une lithographie d'Horace Vernet.
31	Postillons et chevaux de poste. (Retour du postillon).	Carle Vernet.
32	Départ pour Saint-Cloud. (Règne de Louis XVIII.).	Une lithographie d'Aubry.
33	Coucou de Paris à Saint-Germain. (Règne de Louis XVIII.)	*Idem.*
34	Coucou de Paris à Saint-Cloud et à Saint-Germain. (Règne de Charles X.)	Une lithographie coloriée de Lœillet.
35	Locomotive anglaise de G. Stephenson (type 1825), employée en 1829 sur le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon.	D'après nature.
36	Première locomotive française de Marc Séguin. (Chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, 1827.)	Une gravure du bulletin de la Société industrielle, 1831.
37	Diligence de Paris à Calais, C^ie^ Laffitte, Caillard et C^ie^ (type 1828) [*].	Une lithographie de Raffet.
38	Calèche de poste. (Règne de Charles X.)	Une lithographie de Lœillet.
39	La cour des Messageries, à Paris. (Règne de Louis-Philippe.)	Une lithographie de Provost.
40	Stationnement de coucous. (Règne de Louis-Philippe.)	Une lithographie de 1830.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS D'ORDRE.	SUJETS.	SOURCES.
41	Diligence de Paris à Sceaux. (Règne de Louis-Philippe.)	Une lithographie de V. Adam.
42	Chemins de fer de Mulhouse à Thann (1839) et de Strasbourg à Bâle (1844). — Abords de la station d'Eguisheim.	Publication de Simon fils et Muller, de Strasbourg.
43	Chemins de fer de Mulhouse à Thann (1839) et de Strasbourg à Bâle (1844). — Pont sur le Giesen.....	
44	Chemins de fer de Mulhouse à Thann (1839) et de Strasbourg à Bâle (1844). — Station de Ribeauwiller.....	
45	Chemins de fer de Mulhouse à Thann (1839) et de Strasbourg à Bâle (1844). — Train mixte remorqué par le *Napoléon*, première locomotive sortie des ateliers Kœchlin, de Mulhouse.	
46	Postillons et chevaux de poste. (Retour du postillon.) [Règne de Louis-Philippe.]	Une lithographie de V. Adam.
47	Postillons et chevaux de poste. (Le coup de l'étrier.) [Règne de Louis-Philippe.]	*Idem.*
48	Malle-poste de Paris à Saint-Étienne. (Règne de Louis-Philippe.)	Une lithographie de V. Adam (coloriée).
49	Malle-poste *Estafette*. (Règne de Louis-Philippe.)...	*Idem.*
50	Coucou. (Règne de Louis-Philippe.).....	Une lithographie de V. Adam.
51	Chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon. — Locomotive avec tender-moteur (1844).	D'après des dessins de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.
52	Chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon. — Train de voyageurs (1845)....	
53	Diligence des Messageries royales, au relais. (Règne de Louis-Philippe.)	Une lithographie de V. Adam.
54	Dormeuse de poste. (Règne de Louis-Philippe.)...	*Idem.*
55	Berline de poste. (Règne de Louis-Philippe.) [*]...	*Idem.*
56	Chaise de poste. (Règne de Louis-Philippe.).....	Une lithographie de V. Adam (coloriée).
57	Diligence des Messageries royales, en route. (Règne de Louis-Philippe.)	*Idem.*
58	Voiture de roulage. (Règne de Louis-Philippe.)...	Une lithographie de V. Adam.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NUMÉROS D'ORDRE.	SUJETS.	SOURCES.
59	Malle-poste de Nantes à Bordeaux. (II[e] République.)	D'après une affiche de l'Entreprise Hippolyte Ressayre, de Nantes.
60	Bateau à aubes de Paris à Saint-Cloud. (Second Empire.)	Une lithographie de Ph. Benoist et Eug. Cicéri, vers 1860.
61	Tramway à traction de chevaux, dit *chemin de fer américain* de Paris (place de la Concorde) au rond-point de Boulogne. (Second Empire.)	D'après une estampe.
62	Bateau à hélice de Paris à Saint-Cloud (1899)....	D'après nature.
63	Courrier de Saint-Affrique à Albi (1899).....	*Idem.*
64	Train express de Paris à Bordeaux. (Réseau de l'État, 1899.)	*Idem.*
65	Train mixte de Falaise à Berjou. (Compagnie de l'Ouest, 1899.)	*Idem.*
66	Train de Carhaix à Rosporden. (Réseau breton à voie étroite, 1899.)	*Idem.*
67	Automobile à vapeur (système Rowan) [Tramway de Paris-Louvre au rond-point de Boulogne (1899)].	*Idem.*
68	Tramway à air comprimé. [Lignes de Paris-Louvre à Saint-Cloud, Sèvres et Versailles (1899)].	*Idem.*
69	Tramway électrique à fil aérien de Montmorency à Saint-Gratien (1899).	*Idem.*
70	Automobile à vapeur sur route de Condé-sur-Noireau à Vire (1899).	*Idem.*
71	Locomotive électrique système Heilmann (Compagnie de l'Ouest), 1899.	*Idem.*

En dehors des cartes et documents statistiques destinés à faire connaître la situation des chemins de fer, leur développement successif, les dépenses auxquelles ils ont donné lieu, le mouvement des transports, etc., il a paru intéressant de figurer, sous une forme accessible à tous, les progrès réalisés dans les moyens de transport depuis l'époque où

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces moyens étaient encore à l'état rudimentaire jusqu'à nos jours, en prenant comme point de départ la litière du XV^e^ siècle pour aboutir aux locomotives des derniers types, qui atteignent des vitesses qu'on ne pouvait prévoir il y a encore peu d'années.

A cet effet, la Direction des chemins de fer a fait exécuter une série d'aquarelles permettant de suivre les transformations successives qui ont caractérisé le voyage à diverses époques depuis la Renaissance. On peut ainsi mesurer d'un coup d'œil rapide les efforts dépensés et les progrès accomplis.

Les aquarelles ont été faites à l'aide de documents contemporains de chaque époque, sauf dans des cas très rares où l'on a cru pouvoir utiliser des reconstitutions.

Les deux premières aquarelles représentent la *litière* (n^os^ 1 et 2), qui, portée tantôt par des hommes, tantôt par des chevaux ou des mules, permettait d'utiliser les chemins défectueux et les sentiers étroits, et dont l'usage se généralisa, dans la suite, pour les transports à l'intérieur des villes et subsista jusqu'à la fin du règne de Louis XV (n^os^ 5, 6, 7 et 10).

Viennent ensuite le *char* et le *chariot* qui, à l'origine, n'étaient que de grossières charrettes non suspendues. Vers le commencement du XV^e^ siècle, on imagina de suspendre la caisse des chars au moyen de chaînes, ce qui fit donner à ces voitures le nom de « chariots branlants ». Ces véhicules perfectionnés paraissent avoir été d'abord réservés aux déplacements des personnages princiers ; le chariot grossier du XV^e^ siècle fut encore longtemps utilisé pour les autres voyageurs. C'est un de ces véhicules que représente le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

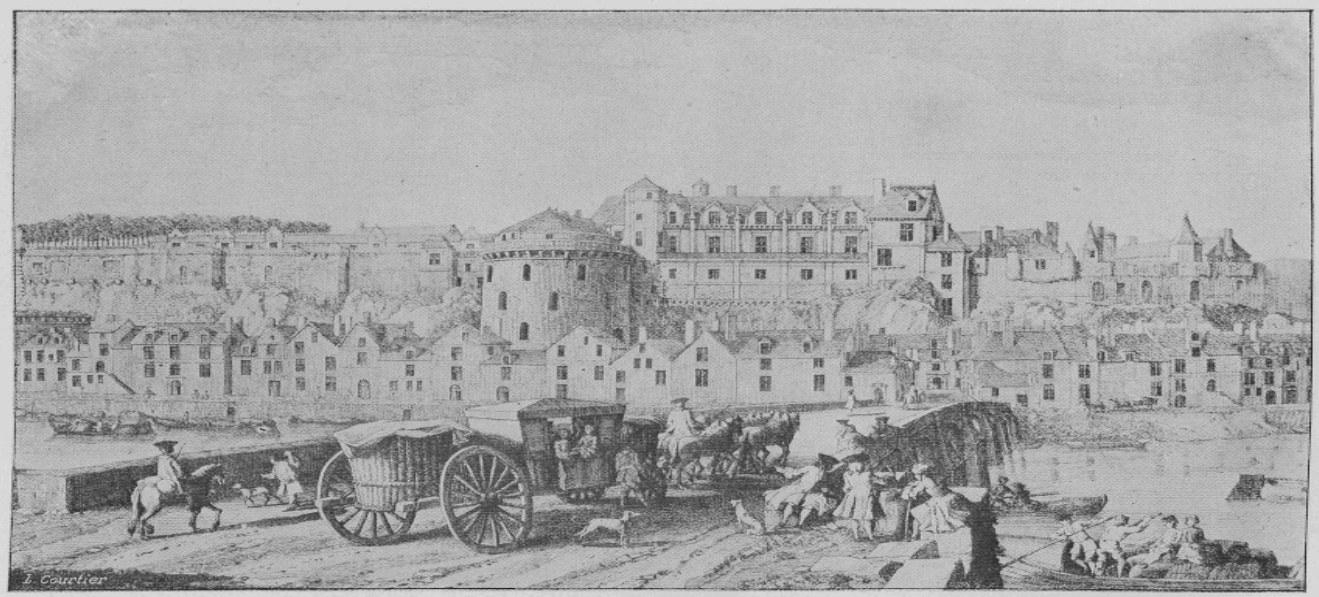
tableau n° 4, exécuté d'après une gravure de Gabriel Perrelle, contemporaine du règne de Louis XIII.

Le *coche* (ou la coche, comme on disait au XVI^e^ siècle) succède au char. Son origine paraît remonter au règne de François I^er^. Plus élégant que le char primitif, le coche était de forme arrondie et surmonté d'un baldaquin soutenu par des colonnes de bois. Vers le milieu du règne de Henri II, on ne comptait que trois coches à Paris : celui du roi, celui de Diane de Poitiers et celui de René de Laval, seigneur de Bois-Dauphin. Sous Henri IV, le nombre des coches de ville était encore restreint, comme le prouve une lettre de ce roi à l'un de ses favoris : « Je ne sçaurais aller vous voir aujourd'hui parce que ma femme se sert de ma coche. » C'est dans cette voiture (aquarelle n° 3) qu'il fut assassiné par Ravaillac (1610).

Dès la fin du XVI^e^ siècle, des services de coches publics avaient été cependant organisés pour les voyages, rayonnant de Paris vers quelques villes distantes de trente à quarante lieues : Orléans, Troyes, Rouen, Beauvais, Amiens. Chaque service comportait une seule voiture qui n'effectuait le trajet qu'une fois par semaine. Un règlement du Parlement, du 26 juillet 1623, dispose que les fermiers des coches ne pourront être obligés de faire plus de huit à dix lieues par jour en hiver, du 1^er^ novembre au 15 mars, et plus de treize à quatorze lieues pendant le reste de l'année.

L'aquarelle n° 8 (coche d'été ou « carabas » de Paris à Versailles) reproduit une gravure d'Israël Sylvestre (règne de Louis XIV); l'aquarelle n° 9 a été faite d'après une reconstitution de Carle Vernet ayant pour thème la fable de La Fontaine : « Le Coche et la Mouche ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



CARROSSE DE VOYAGE DE PARIS A AMBOISE *(règne de Louis XV)* AD MARTIN

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'entretien et l'amélioration des chaussées par Sully d'abord, ensuite par Colbert, facilitèrent les longs voyages en *carrosse*. Plus grand, plus robuste et plus confortable que le coche, le carrosse pouvait transporter huit voyageurs et leurs bagages. En 1691, Paris est relié par des services publics de carrosses aux principales villes de France et des Pays-Bas.

Le tableau n° 11 représente un carrosse de voyage à son arrivée à Amboise, d'après une gravure du temps (règne de Louis XV) par Rigaud.

La *galiote* de Paris à Saint-Cloud et le *coche d'eau* de Paris à Auxerre, que figurent les tableaux n^{os} 12 et 13, sont de la même époque.

Mis à la disposition du public dès le règne de Charles IX, les coches d'eau étaient de longs bateaux, sortes d'arches de Noë, qui transportaient à la fois les personnes et les marchandises. Une cabine abritait les passagers en cas de mauvais temps; le dessus de cette cabine servait de terrasse.

Les coches d'eau, dont le bureau fut longtemps sur le quai des Ormes, à la hauteur de la pointe amont de l'île Saint-Louis (aquarelle n° 15), desservaient les villes situées sur les bords de la Marne (de Charenton à Châlons) et de la Seine (de Rouen à Auxerre). A la remonte, ils étaient traînés par des chevaux; à la descente, ils glissaient tantôt à l'aide de rames, tantôt au fil de l'eau. Dans de telles conditions, la durée des trajets était très longue : en 1786, il fallait quatre jours pour aller de Paris à Auxerre ou de Paris à Rouen. Il en coûtait 6 livres 7 sols 5 deniers pour Auxerre; 6 livres pour Rouen. Les coches d'eau ou « dili-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gences d'eau », comme on les appela aussi dans la suite, ne disparurent qu'au cours du XIXe siècle.

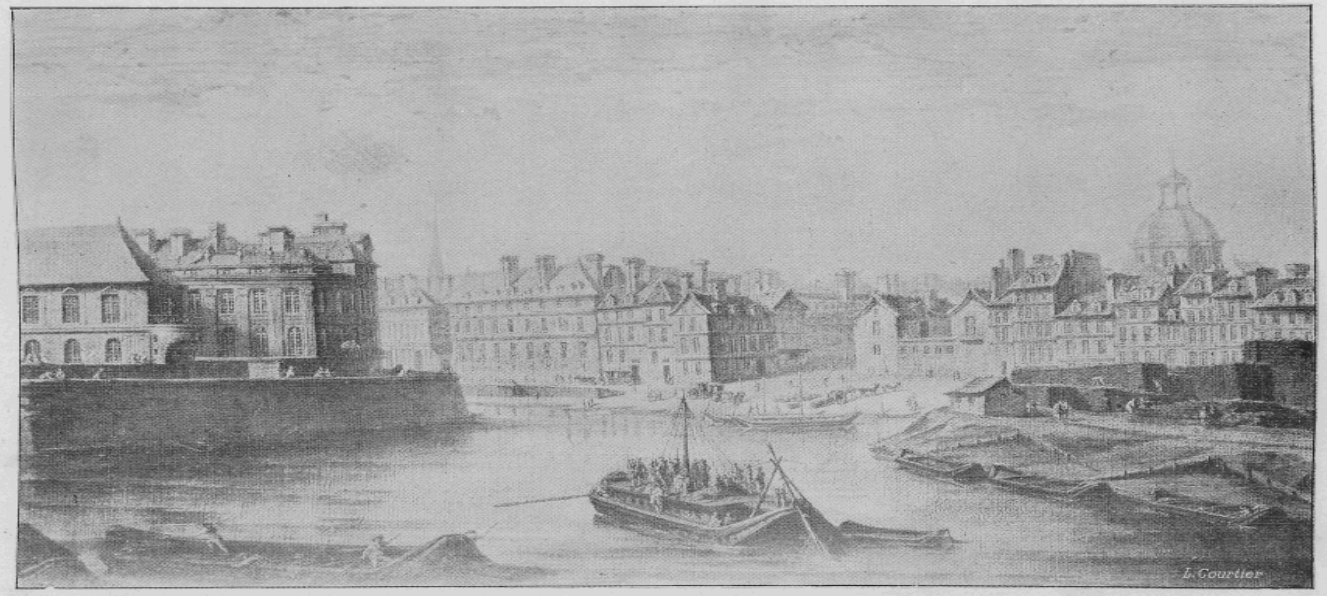
L'emploi de la *chaise de poste* (aquarelle n° 16) remonte au règne de Louis XIV et permet enfin d'accélérer les voyages. C'est un fauteuil pour deux personnes, de forme gracieuse et élégante, avec un système de suspension perfectionné. Elle constitue le moyen de transport le plus rapide et le plus confortable; aussi son emploi est d'un prix élevé. Elle se transforme dans la suite (n° 56).

L'administration de la poste aux chevaux avait également mis en service d'autres types de voitures, à deux et à quatre roues : cabriolet (n° 28), calèche (n° 38), dormeuse (n° 54), berline (n° 55) [fig. 171].

Fig. 171. — Berline de poste (règne de Louis-Philippe), d'après une lithographie de V. Adam.

Les chevaux, conduits au grand trot par des postillons, étaient changés à chaque relais (8 kilomètres environ); l'allure était de 10 à 12 kilomètres à l'heure. Le prix par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



COCHE D'EAU DE PARIS A AUXERRE *(1757)*

AD MARTIN

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poste et par cheval attelé ou mené à franc étrier était de 25 sols sous le règne de Louis XV et de 1f,50 pendant la première moitié du XIXe siècle, plus 0f,75 pour les guides; il devait être payé autant de chevaux qu'il y avait de voyageurs et de postillons.

La poste aux chevaux a pris fin, comme les diligences, vers 1850, au moment où les chemins de fer ont relié Paris aux principales villes de France.

Six aquarelles reproduisent, d'après Carle Vernet, Géricault et Victor Adam, des types de chevaux de poste et diverses scènes de la vie du postillon :

Retour au relais : nos 20, 31 et 46.
Au relais : repas des chevaux : n° 21.
Halte à l'auberge : n° 22.
Le coup de l'étrier : n° 47.

Le voyageur qui désirait effectuer son voyage à cheval trouvait chez les maîtres de poste des chevaux spéciaux, connus sous le nom de « bidets »; il devait être accompagné d'un postillon (n° 23).

Le voyage en poste était un luxe réservé aux particuliers et aux familles riches. La *diligence* (n° 14), qui fait son apparition vers le milieu du XVIIIe siècle, réalise, sur le coche et le carrosse qui circulent encore, un progrès considérable au point de vue de la rapidité; d'un prix plus élevé que ses concurrents, elle a un tarif inférieur à celui du voyage en poste. Elle transporte huit personnes et leurs bagages et effectue le trajet de Paris à Lyon, vers 1750, en cinq jours l'été et en six jours l'hiver; le prix est de 100 francs par personne, nourriture comprise; le poids réel des ba-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gages est taxé à raison de 6 sols par livre de « hardes et paquets ».

Le service des diligences a vécu un siècle. Dix aquarelles permettent de constater les principales transformations que ces véhicules ont subies :

ÉPOQUE DU DIRECTOIRE.

N° 18 : *Arrivée de la diligence dans la cour des Messageries à Paris* (*rue Notre-Dame-des-Victoires*), d'après un tableau de Boilly.

ÉPOQUE DE LA RESTAURATION.

N° 25 : *Turgotine remisée dans l'église Saint-Nicolas, à Caen*, d'après Géricault.

N° 28 : *Arrivée d'une diligence en vue de Paris*, d'après Sauerweid.

On remarquera que, dans ces trois dernières voitures, l'avant, occupé par les bagages dans la diligence primitive du règne de Louis XV, comporte un compartiment ouvert de trois places, ce qui élève à onze le nombre des voyageurs transportés. Les bagages sont répartis entre le dessus de la voiture et l'arrière.

Les diligences dont la désignation suit sont caractérisées par une transformation complète ; elles sont à trois compartiments, coupé, intérieur, rotonde, surmontés d'une impériale pour les bagages, avec banquettes.

L'attelage se compose de cinq chevaux, conduits par un seul postillon.

N° 26. *Diligence des Messageries royales*, d'après Aubry (fig. 172).

N° 27. *Diligence de Rouen au Havre*, d'après Aubry.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉPOQUES DE CHARLES X ET DE LOUIS-PHILIPPE.

N° 37. *Diligence de Paris à Calais (Compagnie Laffitte, Caillard et C^ie^)*, d'après Raffet.

N° 39. *La cour des Messageries générales à Paris (rue Saint-Honoré, 130)*, d'après une lithographie de Provost.

N° 53. *Diligence des Messageries royales, au relais*, d'après une lithographie de Victor Adam.

N° 57. *Diligence des Messageries royales, en route*, d'après une lithographie de Victor Adam.

On constatera que, dans le dernier type de diligence que figure le n° 57, le postillon a disparu pour faire place au cocher.

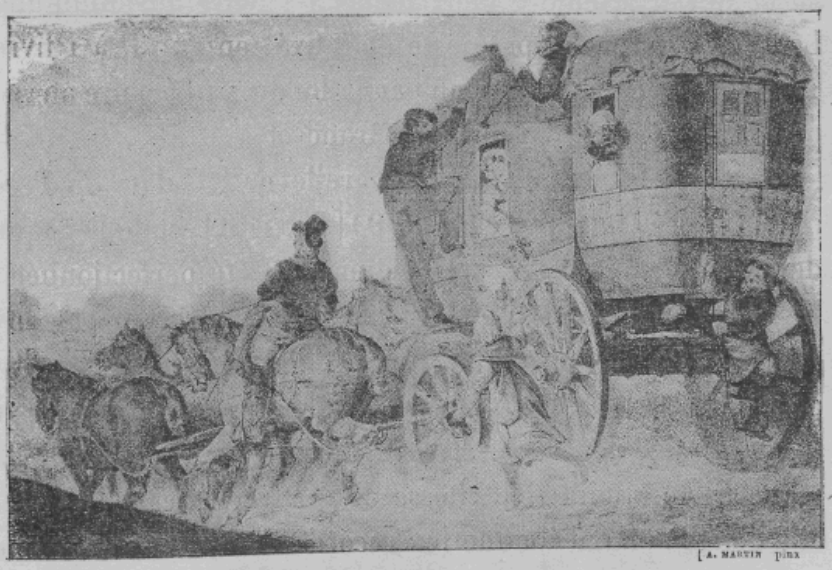


Fig. 172. — Diligence des Messageries royales (règne de Louis XVIII), d'après une lithographie d'Aubry, 1823.

L'aquarelle n° 17 représente une *malle-poste* au temps de la Convention.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis l'établissement du service des postes par Louis XI (1464), les courriers circulaient sur les routes ; mais ils étaient exclusivement affectés au transport des dépêches. Ce n'est qu'en 1793 (décret des 23-24-30 août) que fut institué le service des malles-postes, comportant le transport des voyageurs en même temps que celui des dépêches. Les nouvelles malles étaient couvertes d'une bâche en cuir, montées sur deux énormes roues et attelées de trois chevaux, dont l'un portait le postillon. La caisse de la voiture était en osier : d'où la dénomination populaire de *paniers à salade;* les malles étaient placées à l'arrière, tandis qu'à l'avant deux ou trois voyageurs prenaient place sur des banquettes suspendues au moyen de courroies. La vitesse des *paniers à salade* devait atteindre deux lieues à l'heure au minimum. Le prix par place et par poste était fixé, en 1793, à 1 livre 10 sols ; il fut abaissé à 0f,75 par la loi du 17 frimaire an VII, puis successivement relevé à 1 franc et à 1f,50.

La seconde malle-poste (aquarelle n° 19) date du Premier Empire ; la troisième (n° 30) [fig. 173] est de l'époque de la Restauration. La construction en a été perfectionnée ; le nombre de chevaux a été porté à quatre, dont deux montés par des postillons. Elle comporte quatre places, deux à l'intérieur, deux à l'avant. L'arrière est occupé par la malle aux dépêches. A partir du 1er janvier 1828, la malle-poste atteint une vitesse de quatre lieues à l'heure ; elle détient pour l'époque le « record » de la vitesse, comme on dirait aujourd'hui.

De nouvelles voitures, plus légères et mieux suspendues, furent mises en circulation vers 1840. Elles étaient de deux sortes : les *malles-estafettes* (tableau n° 49) desservaient la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DILIGENCE LAFFITTE ET CAILLARD *(type 1828)*

Ad MARTIN

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

route de Paris à Calais; les *berlines* (tableau n° 48) circulaient sur les autres routes.

Fig. 173. — Malle-poste de Paris à Calais (vers 1825), d'après une lithographie d'Horace Vernet.

Les malles-postes disparurent au fur et à mesure de la construction des grandes lignes de chemins de fer. En 1847, il existait encore onze services de malles de *1re section*, partant de Paris, et dix-sept services de *2e section*, partant des principales villes après l'arrivée du courrier de Paris. C'est à cette dernière catégorie qu'appartient la malle de Nantes à Bordeaux (aquarelle n° 59) de l'époque de la 2e République, reconstituée d'après une affiche de l'entreprise.

La dernière malle, celle de Toulouse à Montpellier, cessa son service le 23 août 1857.

De nos jours, il existe encore des voitures qui rappellent la malle-poste d'autrefois et assurent le service du courrier postal et des voyageurs entre certaines stations et des loca-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lités encore privées de chemins de fer. C'est une de ces voitures (courrier de Saint-Affrique à Albi) qui fait l'objet du tableau n° 63.

On voit aussi circuler, dans quelques contrées, de rares voitures de roulage, derniers vestiges d'une industrie autrefois prospère. L'aquarelle n° 58 rappelle ce véhicule aux lourdes formes qui devait faire place au wagon.

Les divers modes de transport pour voyageurs énumérés ci-dessus n'étaient affectés qu'aux longs trajets. Les déplacements de faible parcours, dans la banlieue de Paris notamment, étaient effectués au moyen de diligences de dimensions réduites, d'allure accélérée, qui, à l'époque de la Restauration et de Louis-Philippe, faisaient un service régulier, notamment de Paris à Saint-Germain (n° 29) et de Paris à Sceaux (n° 41). Ce moyen de transport était complété par les *coucous*. Les aquarelles n^{os} 24, 32, 33, 34, 40 et 50 donnent une idée de ces petites voitures à deux roues, aux formes et aux couleurs très variées, parfois bizarres, qui ne comportaient guère que cinq places et traînaient souvent une dizaine de Parisiens avides de villégiature.

A ce besoin de plein air répondait également le bateau de Paris à Saint-Cloud qui avait succédé à la galiote du XVIII^{e} siècle. Grâce à l'invention de la vapeur, le bateau à aubes (n° 60) put franchir en une heure les dix kilomètres qui séparent le pont Royal de Saint-Cloud.

L'aquarelle n° 62 donne la vue de l'un des types les plus récents des bateaux à hélice qui, depuis l'année 1867, font le service régulier de Paris à Saint-Cloud et Suresnes.

Les autres aquarelles sont relatives aux chemins de fer,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et permettent de se rendre compte des transformations ininterrompues de cet instrument de transport.

C'est le 1er octobre 1828 que fut ouvert à la circulation le premier chemin de fer en France, celui de Saint-Étienne (Pont-de-l'Ane) à la Loire (Andrézieux), d'une longueur de 18 kilomètres. A l'origine, il était exclusivement affecté au transport des charbons, et la traction s'y faisait par des bœufs ou des chevaux. Peu de temps après, la compagnie concessionnaire fit l'achat de deux locomotives construites en Angleterre. C'est ce premier type de machine anglaise de G. Stephenson qui fait l'objet de l'aquarelle n° 35, exécutée d'après nature.

Le tableau n° 36 représente la première locomotive française de Marc Séguin, ingénieur de la Compagnie du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, qui perfectionna l'invention de Stephenson, en imaginant la chaudière tubulaire et le ventilateur (1827).

Grâce à Séguin, la puissance de la locomotive est considérablement accrue; l'élan est donné et, en 1834, la ligne entière de Saint-Étienne à Lyon est ouverte au service des voyageurs. Ainsi que permet de le constater l'aquarelle n° 52, exécutée d'après des dessins de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, la forme des « voitures-berlines » employées dans les premiers trains de voyageurs se rapproche sensiblement de celle des véhicules qui circulaient à cette époque sur les routes et dont plusieurs types figurent dans la collection, notamment au n° 55.

Un type de locomotive à marchandises employé par la Compagnie de Saint-Étienne à Lyon, en 1844, figure sous le n° 51.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les aquarelles nos 42 à 45 (chemins de fer de Mulhouse à Thann, 1839, et de Strasbourg à Bâle, 1844) donnent des indications sur le matériel de l'époque. Le train d'inauguration, remorqué par le *Napoléon*, première locomotive sortie des ateliers Kœchlin, de Mulhouse, parcourut en 25 minutes à l'aller, en 15 minutes au retour, les 20 kilomètres qui séparent Mulhouse et Thann.

Les voitures de 1re classe, appelées *diligences*, se rapprochent sensiblement de celles qui circulent aujourd'hui sur certaines lignes secondaires. Les voitures de 2e classe, dites *chars à bancs*, étaient recouvertes d'une toiture soutenue par des montants; les côtés sont fermés par des rideaux de cuir. Quant aux voitures de 3e classe, elles n'étaient autre chose que des *wagons* rudimentaires, munis de bancs, dépourvus de tout abri.

Plusieurs aquarelles donnent une vue d'ensemble de divers trains de voyageurs en 1899.

L'aquarelle n° 64 représente un train express du réseau de l'État : ce train est composé en partie de wagons à couloir et comporte les derniers perfectionnements réalisés au double point de vue de la vitesse et du confort.

Deux autres aquarelles figurent : l'une (n° 65), un train mixte circulant sur la ligne à faible trafic de Falaise à Berjou (réseau de l'Ouest); l'autre (n° 66), un train du chemin de fer à voie étroite de Carhaix à Rosporden (réseau breton).

Enfin la série des aquarelles se termine par des reproductions de plusieurs tramways et d'une automobile sur routes (n° 70) faisant un service régulier de voyageurs et de marchandises.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il n'a pas paru utile de représenter les tramways pour voyageurs et marchandises, les machines et véhicules qu'ils comportent ne différant pas ou différant peu de ceux en usage sur les chemins de fer à faible trafic. Au contraire, on a donné différents types de tramways pour voyageurs (nos 61, 67, 68, 69), dont la plupart des villes de quelque importance sont déjà pourvues et qui vont se multipliant de jour en jour depuis l'emploi de la traction électrique.

En dernier lieu, on a représenté la machine électrique Heilmann (n° 71), dont l'expérimentation sur le réseau de l'Ouest laisse entrevoir la possibilité d'augmenter encore la vitesse des trains.

IV. CARTES ET CARTOGRAMMES

RELATIFS AUX TRANSPORTS PUBLICS DEPUIS LA FIN DU XVII[e] SIÈCLE JUSQU'À NOS JOURS.

CARTES RELATIVES AUX VOYAGES AVANT LES CHEMINS DE FER.

1. Routes de poste et moyens de transport desservant les principales villes de France à la fin du XVII[e] siècle.
2. Moyens de transport desservant les routes de poste en 1786.
3. Conditions des voyages de Paris aux principales villes de France en 1765.

CARTOGRAMMES.

1. Accélération des vitesses des moyens de transport en France depuis la fin du XVII[e] siècle jusqu'à nos jours.
2. Prix des voyages en France depuis la fin du XVII[e] siècle jusqu'à nos jours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La collection des aquarelles figurant les moyens de transport est complétée par les cartes et les cartogrammes qui viennent d'être énumérés.

Trois cartes historiques présentent la situation du réseau des routes, les principaux moyens de transport public qui les desservaient et les conditions des voyages de Paris à diverses villes frontières de France avant les chemins de fer.

La première a été établie, en ce qui concerne les routes, d'après une carte de la fin du XVII^e^ siècle, tirée des archives du Ministère des travaux publics : *Le Poste della Francia con le sue strade principali*, par Dominique de Rossi; en ce qui concerne les services de transport, d'après le *Livre commode des adresses*, de Du Pradel, 1692.

La seconde : pour les routes de poste, d'après la *carte des Postes pour l'année 1777*, par le sieur Jaillot, géographe ordinaire du roy, de l'Académie royale des sciences et belles-lettres d'Angers (Archives du Ministère des travaux publics); pour les services de transport, d'après le *Guide des chemins de la France*, Paris, 1768, et le *Calendrier de la Cour pour l'année 1786*.

La troisième, d'après *L'Indicateur Fidèle* ou *Guide des Voyageurs*, dressé par le sieur Michel, ingénieur-géographe du roy, à l'Observatoire, 1765.

Cette dernière carte permet de reconstituer dans quelques-uns de ses détails un voyage en France à la veille de la Révolution. Ainsi, par exemple, le trajet en diligence de Paris à Lyon (101 lieues), le plus rapide de l'époque, s'effectuait en cinq journées :

Première journée : Départ de l'hôtel de Sens à 2 heures du matin, déjeuner à Chailly (12 lieues), coucher à Pont (12 lieues).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Deuxième journée : Déjeuner à Joigny (9 lieues), coucher à Vermanton (10 lieues).

Troisième journée : Déjeuner à Rouvray (9 lieues), coucher à Arnay-le-Duc (11 lieues).

Quatrième journée : déjeuner à Chalon-sur-Saône (12 lieues), coucher à Mâcon (10 lieues).

Cinquième journée : Déjeuner à Villefranche (10 lieues), arrivée à Lyon à 6 heures du soir (6 lieues).

A l'heure actuelle, le train de luxe Méditerranée-Express effectue ce même trajet de Paris à Lyon en $7^{h},34$.

Deux cartogrammes font ressortir l'accélération des vitesses et les variations des prix des voyages en France.

Le premier figure par une couleur distincte le chemin parcouru par chacun des principaux services de transport public reliant Paris aux villes frontières au moment précis où le train le plus rapide de 1900, supposé parti de Paris en même temps que ses concurrents, arrive à destination. Si l'on prend comme exemple le trajet de Paris à Calais, on constate que, au moment où l'express de 1900 entre en gare de Calais, ayant parcouru 295 kilomètres en $3^{h},15$ (soit une vitesse moyenne de $90^{km},8$ à l'heure), les anciens modes de transport, en supposant le départ simultané de Paris, s'échelonneraient sur la route de la manière suivante :

Carrosse de 1692 : A 5 kilomètres de Paris, soit une vitesse moyenne de $1^{km},6$.

Diligence de 1786 : A 12 kilomètres de Paris, soit une vitesse moyenne de $3^{km},6$.

Malle-poste de 1814 : A 22 kilomètres de Paris, soit une vitesse moyenne de $6^{km},8$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Malle-poste de 1834 : A 32 kilomètres de Paris, soit une vitesse moyenne de $9^{km},7$.

Train de chemin de fer de 1867 : A 193 kilomètres de Paris, soit une vitesse moyenne de $59^{km},5$.

Train de chemin de fer de 1887 : A 212 kilomètres de Paris, soit une vitesse moyenne de $65^{km},3$.

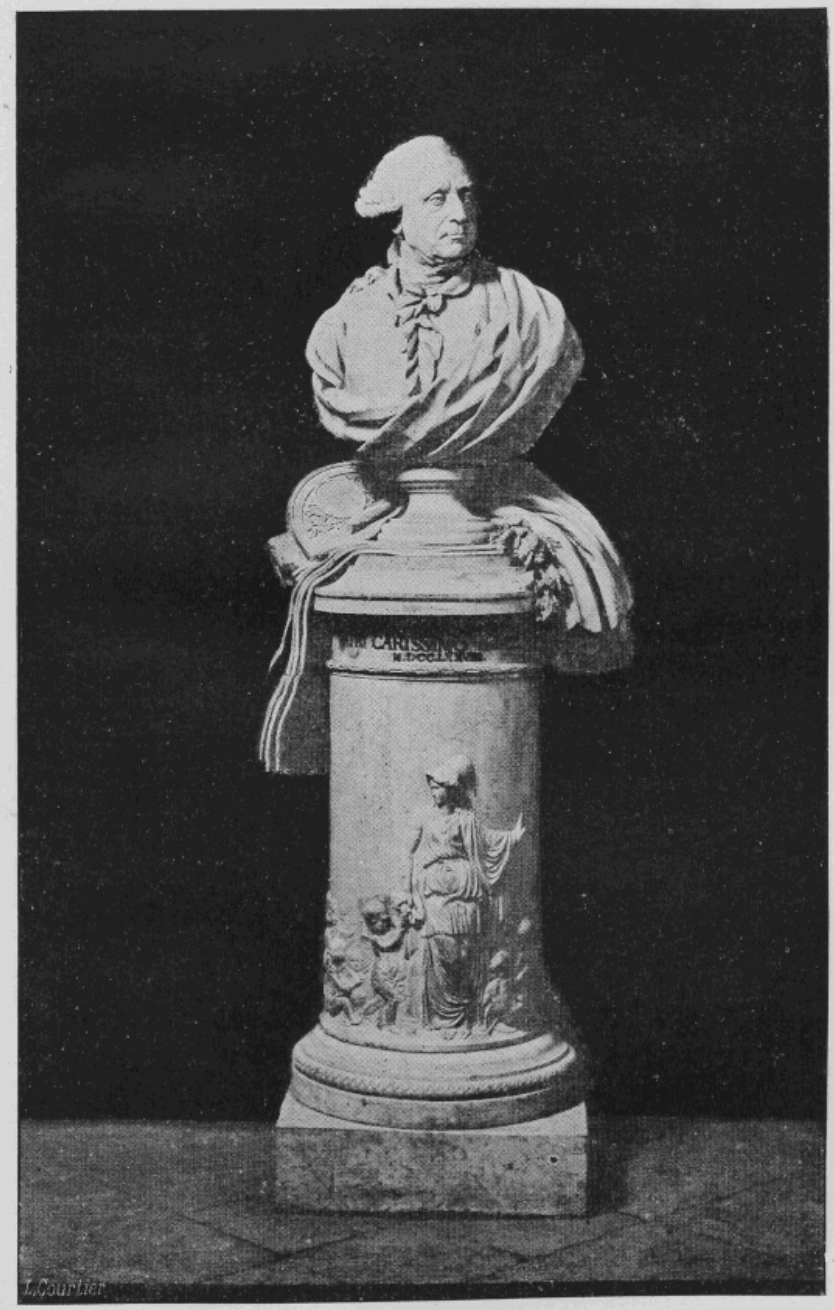
Un cartouche exprime, pour chacun des trajets, d'une part la durée totale du voyage, et d'autre part la vitesse moyenne à l'heure. Ainsi, pour reprendre le même exemple, le voyage de Paris à Calais, qui s'effectue aujourd'hui en $3^{h},15$, demandait 7 jours en 1692, 3 jours en 1786, 40 heures en 1814, 28 heures en 1834.

Le deuxième cartogramme indique, pour chacune des principales villes de France, les prix des voyages au départ de Paris aux diverses époques indiquées ci-dessus. Un cartouche figure, pour chacun des modes de transport, le tarif payé par kilomètre, abstraction faite des variations de la valeur représentative de l'argent aux diverses époques. On payait : en carrosse (1692), $0^{f},1076$; en diligence (1786), $0^{f},1952$; en malle-poste (1814), $0^{f},1301$; en malle-poste (1834), $0^{f},1862$; enfin on paie, en chemin de fer, impôt compris, en 1900 : $0^{f},112$ en 1re classe, $0^{f},0756$ en 2e classe, et $0^{f},0493$ en 3e classe.

Les aquarelles ont été exécutées par M. Alfred Martin, dessinateur attaché à la Direction des chemins de fer.

Les cartes, cartogrammes et diagrammes ont été exécutés par M. Alfred Bienner, rédacteur, également attaché à la Direction des chemins de fer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



BUSTE DE PERRONET par Masson (1778)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SIXIÈME SECTION.

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

ET SERVICES ANNEXES.

I

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

L'École nationale des ponts et chaussées est appelée à former les ingénieurs destinés au service de l'État et composant le corps national des ponts et chaussées [1].

Son origine remonte à la création du bureau des dessinateurs, constitué, le 14 février 1747, sous l'autorité de Perronet, qui fut directeur de l'École pendant quarante-sept ans, jusqu'au 27 février 1794, jour de sa mort [2].

La loi du 19 janvier 1791 unifia pour toute la France le service et le corps des ponts et chaussées et adapta l'École à cette nouvelle organisation.

La loi du 22 octobre 1795 concerta l'École des ponts et

[1] Voir, parmi les documents exposés, la notice sur l'École des ponts et chaussées.

[2] Nous donnons ci-contre la photogravure du buste en marbre de Perronet et de son piédestal, également en marbre, conservés à l'École des ponts et chaussées. Ce bel ouvrage, dû au sculpteur Masson, fut offert à Perronet, en 1778, par les élèves et par les ingénieurs anciens élèves de l'École, ainsi qu'en témoigne l'inscription : *Patri carissimo familia,* fixée en lettres de bronze sur le piédestal. Perronet l'a légué à l'École des ponts et chaussées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaussées avec l'École polytechnique, instituée l'année précédente.

Au XIXe siècle, les décrets du 25 août 1804, du 13 octobre 1851 et du 18 juillet 1890, ont successivement fixé l'organisation et la réglementation de l'École, dont l'enseignement et les moyens d'instruction ont été progressivement développés par divers décrets ou arrêtés.

L'École des ponts et chaussées a occupé depuis son origine plusieurs locaux situés dans différents quartiers, au Marais, aux Champs-Élysées, au faubourg Saint-Germain. C'est à partir de 1845 qu'elle occupe, dans la rue des Saints-Pères, son emplacement actuel.

Cette École est dirigée par un inspecteur général de première classe, directeur, assisté d'un inspecteur, du grade d'inspecteur général ou d'ingénieur en chef, particulièrement chargé de tout ce qui a trait à l'instruction des élèves. Le directeur actuel, M. Ricour, a eu pour prédécesseurs, depuis 1889, MM. Guillemain et Gay. L'inspecteur actuel, M. de Dartein, a succédé, en 1896, à M. Collignon. Le travail d'administration relatif à l'enseignement, à la comptabilité, au personnel et à l'entretien, est confié au secrétaire de l'École, M. Maujay, assisté de MM. Lanteaume, dessinateur principal, Bony, comptable, et Power de Beymont, expéditionnaire.

Élèves ingénieurs. — Les élèves ingénieurs sont pris exclusivement parmi les élèves sortant de l'École polytechnique [1].

[1] Décret organique du 18 juillet 1890, article 26.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'enseignement comprend la mécanique appliquée (résistance des matériaux et hydraulique), les connaissances minéralogiques et géologiques nécessaires aux ingénieurs; les matériaux de construction; les procédés généraux de construction; la construction des routes, des ponts, des canaux, des ports maritimes, des phares; la construction et l'exploitation des chemins de fer; l'amélioration des rivières; l'architecture civile; les machines à vapeur; l'hydraulique agricole et urbaine; l'électricité appliquée; le droit administratif, l'économie politique et la fortification [1].

A ces cours normaux s'ajoutent un certain nombre de conférences portant sur les connaissances suivantes : installations électriques; photographie; pisciculture.

Les travaux intérieurs de l'École se rapportent aux objets suivants :

1° Travaux graphiques, rédaction de mémoires et de concours sur des projets de travaux d'art et de construction;

2° Manipulations et essais de matériaux de construction; exercices pratiques d'électricité;

3° Nivellement et levers de plans; lever de machines et de bâtiments;

4° Visites d'ateliers et de chantiers.

L'enseignement dure trois années.

Les cours commencent dans les premiers jours de novembre.

[1] Ce dernier cours est particulier aux élèves ingénieurs de l'État, appelés par la loi militaire à faire partie, comme officiers, de la réserve et de l'armée territoriale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au commencement de juillet, les élèves sont envoyés en mission dans les départements pour s'y exercer, sous la direction des chefs de service, à la pratique de l'art de l'ingénieur. La mission, coupée, pour les élèves de première année, par un mois d'exercices militaires, dure jusqu'au mois d'octobre.

Les élèves ingénieurs, actuellement présents à l'École, sont au nombre de 34, savoir : 12 en première classe, 11 en seconde classe et 11 en troisième classe.

Élèves externes. — Indépendamment des élèves ingénieurs de l'État, l'Ecole des ponts et chaussées reçoit des élèves externes, soit français, soit étrangers, admis, après examen, à suivre les cours et à participer aux travaux intérieurs de l'École [1]. Ceux d'entre ces élèves qui, à l'expiration de la troisième année d'études, ont subi d'une manière satisfaisante les épreuves auxquelles ils ont été soumis, reçoivent un diplôme d'ingénieur des constructions civiles.

Les élèves externes, actuellement présents à l'École, sont au nombre de 61, savoir : 20 en première classe, 21 en seconde classe et 20 en troisième classe.

Auditeurs libres. — Outre les élèves externes, des auditeurs libres peuvent être admis, sur l'autorisation du directeur de l'École, à suivre les cours.

[1] L'externat de l'École des ponts et chaussées a été institué par décret du 3 octobre 1851. Il est actuellement régi par le titre IV du décret d'organisation du 18 juillet 1890. (Voir, au nombre des documents exposés, les conditions pour l'admission des élèves externes.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Élèves des cours préparatoires. — Enfin, et pour faciliter aux candidats, français et étrangers, les épreuves de l'examen préalable, on a institué, dans l'École même, des cours préparatoires destinés aux jeunes gens qui voudraient être admis comme élèves externes [1].

L'enseignement des cours préparatoires dure une année; il comprend :

1° Le calcul différentiel, le calcul intégral et la mécanique;

2° La physique et la chimie;

3° La géométrie descriptive, la stéréotomie et les éléments d'architecture;

4° Le dessin linéaire et le lavis.

Les épreuves d'un examen préalable sont obligatoires pour tous les candidats qui désirent être admis soit aux cours préparatoires, soit directement aux cours spéciaux à titre d'élèves externes, lors même que ces candidats sont pourvus de diplômes ou de brevets de capacité.

Il n'est fait d'exception à l'obligation de l'examen qu'en faveur des élèves de l'École polytechnique ayant satisfait à toutes les conditions de sortie.

L'enseignement est entièrement gratuit pour les élèves externes et pour les élèves de l'école préparatoire.

Les élèves des cours préparatoires sont actuellement au nombre de 24.

[1] Voir, parmi les documents exposés, les conditions pour l'admission aux cours préparatoires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOMENCLATURE DES DOCUMENTS EXPOSÉS

TOUCHANT L'ORGANISATION ET, DEPUIS 1889, L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

1° DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

Notice sur l'École des ponts et chaussées. Paris, 1873, 1 broch. in-8°.

Décret du 18 juillet 1890 portant organisation de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1890, 1 broch. in-8°.

Règlement intérieur de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1897, 1 broch. in-8°.

École des ponts et chaussées. Admission des élèves externes aux cours de l'École. Décrets, arrêtés, décisions. Programmes des connaissances exigées pour l'admission. Paris, 1887, 1 broch. in-8°.

Cours préparatoires pour l'admission des élèves externes à l'École des ponts et chaussées. Arrêté. Programme des connaissances exigées pour l'admission. Paris, 1886, 1 broch. in-8°.

MALÉZIEUX. *Notice sur les externes*. 1884, 1 broch. in-8°.

2° ENSEIGNEMENT.

Programmes de l'enseignement intérieur de l'École nationale des ponts et chaussées, arrêtés par le Conseil de l'École et approuvés par le Ministre des travaux publics, le 2 septembre 1897. Paris, Imprimerie nationale, 1897, 1 broch. in-8°.

Collection des programmes de concours pour les sessions 1898-1899 et 1899-1900. Paris, 2 vol. in-4° autographiés.

COURS PUBLIÉS DEPUIS 1889.

RÉSAL. *Cours de résistance des matériaux*. Paris, Baudry, 1898, 1 vol. in-8°.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Constructions métalliques. Élasticité et résistance des matériaux : fer, fonte et acier. Paris, Baudry, 1896, 1 vol. in-8°.

Cours de ponts. Emplacements, débouchés, fondations, ponts en maçonnerie. Paris, Baudry, 1896, 1 vol. in-8°.

Boutillier. *Annexe au cours de ponts : prescriptions administratives pour la résistance des métaux, des ponts métalliques et des ponts suspendus.* Paris, 1892, 1 vol. in-4° autographié.

Nivoit. *Cours de géologie.* Paris, Baudry, 1898, 1 vol. in-8°.

Debray et Mussat. *Matériaux de construction.* Paris, 1897, 2 vol. in-4° autographiés.

Durand-Claye, Derôme et Féret. *Cours de chimie appliquée à l'art de l'ingénieur.* 2e édition, Paris, Baudry, 1897, 1 vol. in-8°.

De Préaudeau. *Cours de procédés généraux de construction.* Paris, 1898-1899, 2 vol. in-4° autographiés.

De Mas. *Cours de navigation intérieure. Rivières à courant libre.* Paris, Baudry, 1899, 1 vol. in-8°.

Quinette de Rochemont et Desprez. *Cours de travaux maritimes.* Paris, 1897-1898, 3 vol. in-4° autographiés.

Bricka. *Cours de chemins de fer.* Paris, Gauthier-Villars, 1894, 2 vol. in-8°.

Bechmann. *Cours d'hydraulique agricole et urbaine.* Paris, 1894-1895, 1 vol. in-4° autographié.

Blondel. *Cours d'électricité appliquée.* Paris, 1900, 1 vol. in-4° autographié.

Blondel et Paul Dubois. *La traction électrique sur voies ferrées.* Paris, Baudry, 1898, 2 vol. in-8°.

Choisy. *Histoire de l'architecture.* Paris, Gauthier-Villars, 1899, 2 vol. in-8°.

De Dartein. *Études sur la décoration des ponts.* Paris, 1898, 3 fasc. in-4°. Un cadre de gravures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De Dartein. *Documents sur les fermes métalliques à grande ouverture*. Paris, 1891-1893, 1 album in-4° autographié.

Gariel. *Physique*. Paris, Baudry, 1888-1894, 2 vol. in-8°.

Haag. *Cours de calcul différentiel et intégral*. Paris, Dunod, 1893, 1 vol. in-8°.

Cours de mécanique rationnelle. Paris, Dunod, 1894, 1 vol. in-8°.

D'Ocagne. *Cours de géométrie descriptive et de géométrie infinitésimale*. Paris, Gauthier-Villars, 1896, 1 vol. in-8°.

Traité de nomographie : théorie des abaques (applications pratiques). Paris, Gauthier-Villars, 1899, 1 vol. in-8°.

Leçons sur la cubature des terrasses et la topographie. Paris, 1900, 1 vol. in-4° autographié.

Pillet. *Cours de géométrie appliquée*. Paris, 1886, 2 vol. in-4° autographiés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

SERVICES ANNEXES

RATTACHÉS À L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

A côté d'une mission d'enseignement, qui est sa destination essentielle, l'École des ponts et chaussées a encore pour attribution de venir en aide aux ingénieurs et même au public, en tout ce qui concerne sa compétence scientifique. De là un certain nombre de services annexes qu'il convient de passer succinctement en revue.

Bibliothèque. — L'École possède l'une des plus riches collections d'ouvrages se rapportant à la science et à l'art de l'ingénieur ; sa bibliothèque ne comprend pas moins de 75,000 volumes. Un catalogue, réimprimé en 1894 par les soins du bibliothécaire, M. Cordier, et un double répertoire manuscrit, rendent les recherches aussi promptes que faciles.

Les ingénieurs sont admis, en tout temps et à toute heure, à consulter les ouvrages et les manuscrits qui les intéressent. Pour les ingénieurs résidant hors de Paris, on autorise, sous certaines conditions, le déplacement et le prêt des livres dont ils font la demande.

M. Cordier, bibliothécaire, est assisté de MM. Mahé, adjoint, et Coquillard, auxiliaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Galerie des modèles. — Les galeries de l'École renferment les collections suivantes :

1° Une collection minéralogique ;

2° Une collection de matériaux de construction ;

3° Une collection d'instruments de lever de plans et de nivellement ;

4° Une collection de modèles et de dessins d'ouvrages de travaux publics ;

5° Une collection d'appareils d'électricité destinés à l'instruction et aux exercices pratiques des élèves ;

6° Une collection d'appareils de physique et de chimie à l'usage des cours préparatoires.

Les modèles et les dessins, au nombre de plus de cinq cents, sont répartis en onze catégories, qui répondent aux divers cours de construction.

Les modèles les plus récents ont été exécutés pour les expositions universelles. Beaucoup d'entre eux, très soigneusement construits, sont d'un grand prix et d'un haut intérêt.

Un catalogue général donne la description sommaire de chaque modèle ; s'il s'agit d'un ouvrage d'art, il en fait connaître les principales dimensions, la date, la dépense, les ingénieurs et les constructeurs.

M. Klein, chef du dépôt de l'École, est chargé de la conservation des galeries, sous la direction de l'inspecteur de l'École.

Bureau des dessinateurs. — Le bureau des dessinateurs, dont l'origine est contemporaine de la création de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'École, a pour premier objet la confection de tous les dessins nécessaires soit aux démonstrations à l'amphithéâtre, soit à la publication des cours lithographiés.

Il s'occupe en même temps de préparer la publication de divers recueils périodiques et de quelques ouvrages techniques.

Les périodiques sont :

1° *La Collection des dessins distribués aux élèves* ou *Portefeuille de l'École*, dont les premières livraisons datent de 1857, paraît chaque année en un ou deux fascicules. Cette collection donne les dessins détaillés et cotés tant des principaux ouvrages d'art que d'ouvrages courants exécutés en France ou à l'étranger. Elle est distribuée à tous les ingénieurs et élèves ingénieurs des ponts et chaussées. Le public peut l'acheter par volume ou par fascicule chez les libraires Dunod et Challamel.

Trois volumes sont parus. Le quatrième, dont le format a été beaucoup réduit pour faciliter le maniement des planches, est en cours de publication.

2° *L'Atlas des voies navigables*, suite d'une ancienne publication, paraît tous les ans ou tous les deux ans, sous la forme d'un fascicule montrant le plan, le profil et les principaux ouvrages d'art soit d'une voie navigable tout entière, soit d'un tronçon de voie navigable. Cinq fascicules sont parus jusqu'ici, donnant : le canal de l'Est; le canal de l'Oise à l'Aisne; le canal du Centre; la navigation de la Seine dans la traversée de Paris; la navigation de la Seine de Paris à la mer.

3° *L'Album de statistique graphique*, qui a paru tous les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ans depuis sa création en 1878 jusqu'en 1894 et qui, depuis cette dernière date, ne paraît plus que tous les deux ans, exprime, soit par des indications quantitatives de diverses natures portées sur des cartes, soit par des diagrammes, les faits les plus intéressants relatifs aux opérations de transports. Un certain nombre de planches sont fixes dans leurs sujets. Les autres se rapportent à des objets variables.

L'album de statistique graphique s'exécute sous la direction de M. l'inspecteur général Cheysson, avec le concours de MM. Courjon, Rossi et Duquesne. Il est mis en vente dans les librairies Chaix, Dunod et Baudry.

Les ouvrages techniques non périodiques, dont la publication a été préparée dans ces dernières années par le bureau des dessinateurs, sont les suivants :

4° *La carte de la France au deux-cent millième*, publiée en 141 feuilles en 3 couleurs, fait paraître, outre les voies de communication, les usines, les carrières et les gisements miniers. Le relief du sol y est marqué par des courbes de niveau. Cette carte, commencée par M. l'inspecteur général Cheysson, vient d'être terminée et est en vente à la librairie Delagrave.

5° *L'Atlas des ports maritimes de la France et de l'Algérie*, récemment achevé et dont le premier volume a paru en 1874, décrit en huit tomes formant dix forts volumes et en 166 planches, de format simple, double ou triple, gravées en deux couleurs, tous les ports maritimes du littoral français et algérien. Les planches donnent, outre les plans des ports à un cinq millième, des cartes hydrographiques à un cent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trente-trois millième faisant paraître, sur les portions de côtes les plus intéressantes, les positions des ports et leurs relations entre eux. Les notices sont, à partir surtout du sixième volume, illustrées par des gravures dans le texte. L'Atlas des ports est en vente, soit par volume, soit par notice pour les principaux ports, soit par planche isolée, dans les librairies Challamel, Baudry et au journal *Le Yacht*.

Le bureau des dessinateurs tient encore au courant les cartes routières au 500,000e de la France.

Enfin il répond accidentellement au surcroît de besogne occasionné par les Expositions universelles. C'est, en effet, à l'École des ponts et chaussées qu'a toujours été dévolu le soin d'organiser, en ce qui concerne les ponts et chaussées, l'exposition du Ministère des travaux publics.

Le bureau des dessinateurs, dirigé avant 1896 par M. l'ingénieur en chef de Dartein, secondé par M. l'ingénieur en chef Choisy, est placé, depuis cette époque, sous la seule direction de M. Choisy. Ce dernier est assisté, pour l'ensemble du service, par M. Rose, chef des dessinateurs, et pour les divers travaux en particulier, par MM. Huguenin et Cordier, conducteurs principaux; Milliasseau et Lanteaume, dessinateurs principaux; Daniel, conducteur des ponts et chaussées; Rossi et Duquesne, dessinateurs; Vital, Mauros, Barrault et Champion, dessinateurs auxiliaires.

Atelier de photographie. — Cet atelier, créé vers 1870 pour subvenir aux besoins particuliers des services de l'École et pour exercer les élèves à la pratique des opérations photographiques, a pris depuis quelques années,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grâce aux améliorations apportées à son installation et à son outillage, une extension considérable. Il satisfait à présent non seulement, comme autrefois, aux besoins de l'École, mais de plus à ceux des services extérieurs qui s'adressent à la Direction de l'École pour obtenir des reproductions, réductions ou agrandissements de cartes ou de dessins, des reports sur zinc ou sur pierre, et même des tirages de ces cartes ou dessins. Un atelier d'imprimerie sur pierre est, pour ce dernier objet, joint à l'atelier de photographie.

Celui-ci a produit en 1899 :

95	mètres carrés	de clichés de formats divers.
168	id.	de zincs.
365	id.	d'épreuves sur papier photographique.

L'atelier de photographie est placé sous la direction de M. l'ingénieur en chef Choisy, assisté de M. Courjon, chef de l'atelier, et de MM. Pelletier, photographe principal, Mougel et Langlois, photographes, Merlat, agent temporaire, et Costeux, ouvrier photographe.

Annales des ponts et chaussées. — La publication des *Annales* a reçu, depuis le 1er juin 1897, une forme nouvelle. La partie technique paraît en quatre volumes trimestriels; la partie administrative et juridique paraît par fascicules mensuels. Des comptes rendus des périodiques français et étrangers ajoutent à la partie technique des informations étendues sur les travaux les plus récents exécutés en tous pays. Les *Annales* sont publiées sous la direction d'une Commission, présidée par le directeur de l'École des ponts et chaussées et composée des inspecteurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

généraux de 1re classe et des professeurs de l'École. Elle a pour secrétaire l'inspecteur de l'École, qui rédige les comptes rendus des périodiques français, belges, espagnols et italiens. Deux secrétaires adjoints, MM. les ingénieurs Desprez et Humbert (ce dernier remplacé depuis peu par M. l'ingénieur Pellé), rédigent les comptes rendus des périodiques anglais et allemands. M. l'ingénieur Blondel veut bien se charger du compte rendu des articles, en toutes langues, relatifs à l'électricité appliquée. M. de Timonoff, ingénieur russe, et M. Van Ysselstein, ingénieur hollandais, ont l'obligeance de donner les comptes rendus des périodiques de leurs pays respectifs. Le bureau des *Annales* se compose de M. Rose, chef du bureau des dessinateurs, et de M. Gourdault, dessinateur.

Laboratoires d'essais physiques-mécaniques. — L'enseignement scientifique des cours oraux se complète, chaque année, pour les élèves, par une série d'expériences faites à l'atelier expérimental du Trocadéro. Mais le principal objet de cet atelier est de faire, touchant les divers matériaux employés dans les constructions, les essais demandés ou recommandés par les ingénieurs des ponts et chaussées.

A cet effet, l'atelier d'essais possède :

1° Deux salles pourvues de tous les appareils destinés à l'essai de la résistance des matériaux de construction;

2° Une salle et des caves pour la préparation et la conservation des éprouvettes destinées à l'essai et à l'étude des ciments;

3° Une salle pour les essais relatifs aux métaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet établissement offre, en outre, aux professeurs de l'École et aux autres ingénieurs qui en font la demande, des moyens d'étude et d'expériences qu'il serait difficile de se procurer autrement sans beaucoup de frais.

Les essais opérés pendant l'année 1899 comprennent : 17,123 essais à la rupture par écrasement, dont 15,835 de chaux et ciments et 1,230 de pierres naturelles ou artificielles; 16,210 essais à la rupture par traction, dont 15,785 de chaux et ciments, 284 de métaux et 129 de bois.

Ils comprennent, en outre, des essais de résistance à la rupture par flexion, cisaillement, pliage, choc; des essais touchant la résistance à l'usure, etc.

Les laboratoires d'essais physiques-mécaniques ont été, depuis 1889, dirigés successivement par MM. Durand-Claye, inspecteur général; Debray, ingénieur en chef, et Mesnager, ingénieur ordinaire, avec le concours de M. Klein, chef de ces laboratoires, assisté de MM. Mercier, Caillebote, Launay, Malette, conducteurs, Bosc, Coladant, commis, Kriéger, mécanicien.

Laboratoire de chimie. — Les élèves sont familiarisés avec les procédés de l'analyse chimique appliquée aux matériaux, dans un laboratoire annexé à l'École.

La tâche principale de ce laboratoire est d'effectuer les analyses chimiques nécessaires pour compléter les études faites à l'atelier du Trocadéro, et celles qui sont demandées par les ingénieurs ou les administrations publiques, touchant les matériaux de construction ou les eaux destinées à l'alimentation des villes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les analyses opérées pendant l'année 1899 se rapportent à 623 échantillons, savoir : 379 de chaux, ciments ou calcaires, 13 d'argiles, 68 d'eaux, 112 de métaux et 51 de substances diverses (peintures, plâtres, asphaltes, etc.).

Le laboratoire de chimie a été, depuis 1889, dirigé successivement, comme l'atelier du Trocadéro, par MM. Durand-Claye, inspecteur général, Debray, ingénieur en chef, et Mesnager, ingénieur ordinaire, assistés de MM. Derome, chimiste, et Klémang, aide-chimiste.

Dépôt des instruments de précision et des machines. — Cette branche des services de l'École embrasse la commande, la réception et la réparation de tous les instruments, appareils ou machines accordés par décision ministérielle aux ingénieurs de France et des colonies qui en font la demande.

D'autre part, le dépôt reçoit en magasin les objets dont les ingénieurs n'ont plus l'emploi. Il les fait remettre à neuf et les réexpédie aux services qui en sont dépourvus.

Le dépôt des instruments a été dirigé successivement, depuis 1889, par MM. Durand-Claye, inspecteur général, et Pelletan, ingénieur en chef des mines, assistés de M. Klein, chef du dépôt, et de M. Daniel, conducteur.

DOCUMENTS ET OBJETS EXPOSÉS

PAR LES SERVICES ANNEXES DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Bibliothèque. — Catalogue de la bibliothèque de l'École des ponts et chaussées. Paris, Imprimerie nationale, 1894, 2 vol. in-8°.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Galerie des modèles. — Modèles et tableaux placés dans l'exposition contemporaine et dans l'exposition centenale de la Classe 29.

Bureau des dessinateurs. — 1° *Collection de dessins distribués aux élèves.* — Les trois premiers volumes avec leurs atlas et les trois premiers fascicules du 4e volume. Un cadre de gravures.

2° *Atlas des voies navigables.* — Les cinq premiers fascicules. Un cadre de gravures.

3° *Album de statistique graphique.* — La collection des 19 albums parus depuis l'origine. Un cadre de dessins et de gravures.

4° *Carte de la France au deux-cent millième.* — Un atlas compre nant la carte au complet. Un cadre contenant 24 cartes assemblées.

5° *Atlas des ports maritimes de la France.* — L'ouvrage complet, comprenant 8 tomes en 10 vol. grand in-8° et 3 atlas de plans ou cartes, imprimés en deux couleurs.

Cadres contenant des plans et des cartes gravés.

Atelier de photographie. — Un cadre contenant les spécimens des divers travaux exécutés par l'atelier. Un cadre contenant les photographies du pont Alexandre III faites par le personnel de l'atelier.

Annales des ponts et chaussées. — La collection des onze années parues depuis l'Exposition de 1889, 50 vol. in-8°.

Laboratoires d'essais physiques-mécaniques. — 1° *Élasticimètre enregistreur de M. L. Klein* (un appareil en vraie grandeur).

Cet appareil est destiné à étudier la déformation élastique des métaux et à déterminer les limites d'élasticité. Il s'adapte aux machines d'essai à romaine.

Il porte, sur une feuille enroulée sur un cylindre, en ordonnées rectilignes, les allongements; en abscisses, les efforts.

Tout déplacement du poids de la romaine entraîne un déplacement angulaire proportionnel du cylindre; les allongements de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'éprouvette amplifiés cent fois par un levier sont transmis par un fil à une plume Richard.

L'attelage sur l'éprouvette se fait instantanément au moyen de vis de serrage. On obtient la moyenne des allongements des deux côtés de cette éprouvette. Les frottements sont insignifiants, la plume n'étant appuyée sur le papier que par la détorsion du fil sous la charge d'un contrepoids. Le tarage a été fait soigneusement avec une vis micrométrique.

Cet appareil a été combiné par M. L. Klein, chef du dépôt des instruments et de l'atelier d'essais à l'École des ponts et chaussées.

(Voir le rapport de MM. Lebasteur et Arnould à la Commission des méthodes d'essai, — machines d'essai, 4 décembre 1892.)

2° *Appareil pour la mesure des déformations par les interférences lumineuses* (un appareil en vraie grandeur).

Cet appareil mesure les variations de longueur de la *surface* de de la matière essayée à la traction ou à la compression entre deux *points distants de 24 millimètres*. Jusqu'à présent, on n'avait mesuré que les variations de distances de deux *points extérieurs* distants entre eux *d'au moins 20 centimètres*.

Deux couteaux fortement appuyés sur la surface transmettent la moitié de leur déplacement relatif, par l'intermédiaire d'un levier maintenu par un joint à lames flexibles (*donc sans jeu*), à l'appareil d'interférence. Celui-ci est constitué par deux lames de glaces planes serrées à bloc l'une contre l'autre à l'une de leurs extrémités (contact optique) et écartées de deux centièmes de millimètre environ à l'autre par un ressort en caoutchouc. La lumière de l'alcool salé permet de voir des franges par réflexion sur toute la surface; un œilleton place l'œil sur la normale au point de repère.

Le passage d'une frange, complété par rapprochement ou écartement de l'extrémité des glaces, correspond dans l'acier à un effort d'un demi-kilogramme par millimètre carré.

Cet appareil a été exécuté par M. Jobin, constructeur, sur les indications de M. Mesnager, ingénieur des ponts et chaussées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° *Appareil micrométrique duplex, de M. L. Klein, pour déterminer la compressibilité des matériaux* (un appareil en vraie grandeur).

Cet appareil construit pour déterminer la compressibilité des pierres, mortiers, etc., se compose de deux brides en bronze munies de vis pointues qui saisissent à une distance convenable l'une de l'autre le prisme à essayer. L'une des brides porte sur deux côtés opposés un système amplificateur avec cadrans divisés en $\frac{1}{100}$ de millimètre permettant d'apprécier le $\frac{1}{1000}$ de millimètre.

Dans une alvéole ménagée à l'extrémité de la queue du levier du dernier mobile, on introduit la pointe d'une tige métallique, dont l'autre extrémité, terminée également par une pointe, s'appuie sur l'autre bride. Ces tiges sont rectifiables, et l'on peut à volonté amener les aiguilles du cadran à la division convenable.

Cet appareil a été disposé par M. L. Klein, chef du dépôt des instruments et de l'atelier d'essais de l'École des ponts et chaussées.

(Voir, *Annales des ponts et chaussées*, août 1888, la note de M. Durand-Claye.)

Laboratoire de chimie. — Registres de procès-verbaux d'analyses faites depuis 1889.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III

ASSOCIATION

DES INGÉNIEURS DES CONSTRUCTIONS CIVILES

ANCIENS ÉLÈVES EXTERNES DE L'ÉCOLE.

L'externat de l'École des ponts et chaussées a déjà formé un grand nombre d'ingénieurs disséminés dans tous les pays. Aussi, dès 1860, les élèves externes ont pris l'initiative, pour lutter contre l'effet de cette dispersion, de fonder une association amicale, qui a été reconnue d'utilité publique par un décret du 17 juin 1885.

L'Association amicale poursuit avec persévérance son but, qui est d'entretenir les rapports de bonne camaraderie entre les anciens élèves externes de toutes nationalités et de prêter assistance, en leur procurant des emplois, aux anciens élèves qui en manquent et aux élèves sortant de l'École.

Les ingénieurs français voyageant à l'étranger se louent beaucoup de l'accueil qu'ils trouvent auprès des membres de cette association.

Celle-ci a son siège à Paris. Elle est dirigée par un comité dont le président et l'un des vice-présidents doivent avoir leur résidence à Paris.

Le comité actuel est composé comme il suit :

Président :

M. Ernest Pontzen, membre du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer et du Comité des travaux publics des colonies, à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Vice-Présidents :

MM. De Serres-Wieczffinski, ancien directeur de la Société austro-hongroise des chemins de fer de l'État;

Pillet, professeur à l'École des ponts et chaussées, à l'École des beaux-arts et au Conservatoire des arts et métiers, répétiteur à l'École polytechnique.

Secrétaire général :

M. Engelfred, ingénieur-conseil.

Membres :

MM. Chasteau, ingénieur attaché à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest;

Chaumelin, chef de l'exploitation à la Compagnie du canal de Suez;

Frontault, directeur de la Société des usines de Villerupt et Sainte-Claire, ingénieur-arbitre près les tribunaux;

Gautier-Varinot, ingénieur, entrepreneur de travaux publics;

Guerreiro de Castanheirinho, membre du conseil supérieur des travaux publics et des mines du Portugal;

Manoach, ingénieur des chemins de fer du sud de l'Espagne attaché au comité de Paris;

De Timonoff, ingénieur, professeur à l'Institut impérial russe des voies de communication;

Vignes, ingénieur en chef de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest;

Chaligny, élève de 1re classe de l'École, délégué des élèves.

A l'exemple de ce qui avait été fait en 1889, le comité, désireux de mettre en évidence les travaux produits par les anciens élèves externes, a profité de l'hospitalité que lui accorde l'École. Il a fait, dans le local de la Classe 29 occupé par le Ministère des travaux publics, une exposition des œuvres et ouvrages dus à ces anciens élèves.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La grande dispersion des membres de l'Association n'a pas permis de rendre complète cette exhibition de leurs œuvres; mais l'examen des monographies, mémoires et publications exposés et, en particulier, celle du *Bulletin* de l'Association montre que les anciens élèves externes ont déjà marqué dans toutes les branches de l'art de l'ingénieur.

L'Administration des travaux publics peut donc se dire que, en ouvrant les portes de l'École des ponts et chaussées aux élèves externes, elle a formé des ingénieurs qui lui font honneur et par leurs œuvres et par l'attachement et la reconnaissance qu'ils témoignent en toute circonstance pour la France.

CATALOGUE DES OBJETS EXPOSÉS

PAR L'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS DES CONSTRUCTIONS CIVILES, ANCIENS ÉLÈVES EXTERNES DE L'ÉCOLE.

MM. Pillet. Traités de stabilité, de perspective linéaire, de géométrie descriptive, de stéréotomie.

Morel. Cours de balistique analytique; Étude sur le canal des Deux-Mers; Mémoire sur la théorie des nombres.

Viallet. Divers ouvrages relatifs aux matériaux de construction.

Huléwicz. Calculs de résistance des ponts et viaducs métalliques.

Daviot. Études sur le Laurium, sur le mouvement tourbillonnant dans les liquides en mouvement.

Georgiadès. Album contenant des plans et dessins d'ouvrages exécutés.

Dawson Bell. Études sur les courants et les marées dans les eaux canadiennes.

Finkelstein. Tachymètre perfectionné : dessins.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Modjeski. Documents sur le grand pont de Rock Island, sur le Mississipi.

Essayie. Dessins et photographies de divers ouvrages construits à Bagdad.

Doret. Carte d'Haïti et projets de chemins de fer et de routes dans ce pays.

Lévy-Lambert. Les chemins de fer funiculaires, 1 vol.; Les chemins de fer à crémaillère, 1 vol.

Koressios. Projet de construction du port et des quais de Chio.

Pontzen. Travaux de terrassement; tunnels, dragages, 1 vol.

De Timonoff. Collection de livres, dessins et photographies concernant les travaux exécutés sous sa direction.

Vignes. Dessins relatifs à la reconstruction de la gare Paris-Montparnasse.

Engelfred. Générateur d'acétylène pour éclairage de chantiers.

Belliard. Brochures diverses, 5 vol.

Lévy-Salvador. Hydraulique agricole et urbaine, 3 vol.

Howyan. Tableaux et brochures diverses.

De Serres-Wieczffinski. Monographies et dessins de la construction de chemins de fer.

Guerreiro de Castanheirinho. Brochures et dessins.

De Freund. Photographies et notices relatives à l'établissement de chantiers de travaux publics.

Angelopoulos. Brochures diverses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

AVERTISSEMENT v

PREMIÈRE SECTION.

ROUTES ET PONTS.

I. Pont Mirabeau, sur la Seine, à Paris 1
II. Pont de Bléré, sur le Cher 16
III. Reconstruction du pont d'Argentat, sur la Dordogne 23
IV. Pont Boucicaut, sur la Saône 26

DEUXIÈME SECTION.

NAVIGATION INTÉRIEURE.

I. Vannes à galets, avec roulements sur billes, au barrage de Saint-Mammès, sur le Loing 33
II. Pont-canal de Briare, sur le canal latéral à la Loire 38
III. Exhaussement du pont-canal du Guétin, sur le canal latéral à la Loire 44
IV. Exhaussement du pont-canal de Digoin, sur le canal latéral à la Loire 48
V. Pont-canal de Saint-Firmin, sur le canal latéral à la Loire 51
VI. Pont-rivière d'Oudan, sur le canal latéral à la Loire 55
VII. Écluses à grande chute du Guétin, sur le canal latéral à la Loire 59
VIII. Port et gare de Saint-Satur, sur le canal latéral à la Loire 64
IX. Écluse à grande chute de Bourg-le-Comte, sur le canal de Roanne à Digoin 67
X. Port de Roanne, sur le canal de Roanne à Digoin 72

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XI. Barrage du Maunoir, sur le canal du Nivernais..... 81
XII. Rigole régulatrice des biefs de Rully, sur le canal du Centre. 85
XIII. Touage électrique du souterrain de Pouilly, sur le canal du Centre..... 91
XIV. Installation électrique de Saint-Jean-de-Losne, pour l'alimentation du canal de Bourgogne..... 95
XV. Pont-levant de Larrey, à Dijon, sur le canal de Bourgogne. 104
XVI. Canal de Montbéliard à la Haute-Saône. Description d'ensemble. Souterrains. Écluse de quatre mètres de chute. Réservoir du Ban..... 110
XVII. Canal de la Marne à la Saône. Écluses types des versants Saône et Marne. Pont-canal de Condes. Souterrain de Condes. Souterrain de Balesmes. Réservoir de la Liez. Réservoir de la Mouche..... 129
XVIII. Usines élévatoires de Valcourt, près Toul, pour l'alimentation commune du canal de la Marne au Rhin et du canal de l'Est..... 166
XIX. Halage funiculaire des bateaux dans le souterrain du Mont-de-Billy, sur le canal de l'Aisne à la Marne..... 169
XX. Installation électrique d'Amfreville-Poser, sur la Seine..... 186
XXI. Fluviographe électrique, avertisseur et enregistreur, établi à l'écluse des Mureaux, sur la Seine..... 198
XXII. Établissement de pisciculture d'Amfreville-Poses, sur la Seine. 204
XXIII. Échelles à poissons, à courant ralenti, installées sur la Seine, au barrage de Martot..... 207
XXIV. Plan de la Seine à l'échelle de $\frac{1}{2000}$, de l'aval des écluses de Bougival à Rouen..... 216
XXV. Détermination expérimentale des parties défectueuses du chenal des rivières. Expériences faites sur la Basse-Seine, entre Paris et Rouen..... 219
XXVI. Recherches expérimentales sur le matériel de la batellerie... 226

TROISIÈME SECTION.

NAVIGATION MARITIME.

I. Port de Dunkerque. Écluse Trystram..... 241
II. Port de Dunkerque. Nouvelle jetée de l'Est..... 258
III. Port de Calais. Nouvelle jetée Est..... 274
IV. Port de Calais. Bateau-porte de la forme de radoub..... 280

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V. Port de Calais. Caisson mobile pour la réparation des murs de quai 285
VI. Port de Boulogne. Porte d'èbe d'amont de l'écluse à sas du bassin à flot 290
VII. Port de Boulogne. Drague porteuse à hélices et à godets *Pas-de-Calais* 298
VIII. Port de Dieppe. Pont tournant du Pollet 312
IX. Port du Havre. Travaux d'agrandissement et d'amélioration . . 327
X. Port du Havre. Aqueduc-siphon sous le canal de Tancarville. 354
XI. Travaux d'amélioration de la Seine maritime 363
XII. Jetée du port de la Houle-sous-Cancale 372
XIII. Port de Saint-Nazaire. Caisson à air comprimé employé à l'exécution des ouvrages de la nouvelle entrée 375
XIV. Port de Saint-Nazaire. Appareil dérocheur pour l'approfondissement du bassin de Saint-Nazaire 380
XV. Port de La Pallice (La Rochelle) 385
XVI. Amélioration des passes de la Garonne maritime entre Bordeaux et le Bec d'Ambès 406
XVII. Travaux de défense de la pointe de Grave (Gironde) 422
XVIII. Port de Cette. Épis Dellon 441
XIX. Port de Marseille. Travaux de construction du bassin de la Pinède 450
XX. Travaux du port et de l'arrondissement de Bône 480

QUATRIÈME SECTION.

CHEMINS DE FER.

I. Viaduc de Cosne sur la Loire (Ligne de Bourges à Cosne). 491
II. Viaduc de Gien sur la Loire (Ligne de Bourges à Gien) 498
III. Viaduc de Saint-Florent sur le Cher (Ligne d'Issoudun à Saint-Florent.) 505
IV. Chemins de fer départementaux de la Sarthe. Bâtiments et ouvrages d'art 509
V. Pont en X, au Mans, sur la Sarthe (Chemins de fer départementaux de la Sarthe) 511
VI. Pont de Fillé, sur la Sarthe (Chemins de fer départementaux de la Sarthe) 517

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VII. Pont de Saint-Georges, sur la Sarthe (Chemins de fer départementaux de la Sarthe)..... 522
VIII. Viaduc de Dehault (Chemins de fer départementaux de la Sarthe)..... 526
IX. Ligne de Nontron à Sarlat. Ouvrages divers..... 531
X. Viaduc du Viaur (Ligne de Carmaux à Rodez)..... 537
XI. Viaduc de la Gascarie-sous-Rodez (Ligne de Carmaux à Rodez). 555
XII. Viaduc de Lavassac (Ligne de Tournemire au Vigan)..... 564
XIII. Pont de Belleperche, sur la Garonne (Ligne de Castel-Sarrazin à Beaumont)..... 567
XIV. Ponts métalliques sur le canal latéral à la Garonne et sur le ruisseau de Lazin (Ligne de Castel-Sarrazin à Beaumont). 571
XV. Viaduc de Rebuzo (Ligne de Quillan à Rivesaltes)..... 574
XVI. Ligne de Quillan à Rivesaltes (partie comprise dans le département de l'Aude). Ouvrages divers..... 581
XVII. Viaduc de Reynès, sur le Tech (Pyrénées-Orientales). Ligne d'Elne à Arles-sur-Tech..... 605
XVIII. Viaduc d'Amélie-les-Bains, sur le Tech (Pyrénées-Orientales). Ligne d'Elne à Arles-sur-Tech..... 612
XIX. Pont-viaduc de Villefranche-de-Conflent, sur la Tet (Pyrénées-Orientales). Ligne de Prades à Olette 617
XX. Pont sur le Beuvron (Ligne de Saint-Aignan à Blois. Compagnie d'Orléans). Application d'un assemblage flexible pour charpente métallique rivée 624

CINQUIÈME SECTION.

ADMINISTRATION CENTRALE.

I. Direction des routes et de la navigation. Division de la navigation. Statistique de la navigation intérieure..... 633
II. Direction des chemins de fer :
I. Documents statistiques sur les chemins de fer français au 31 décembre de chacune des années 1889 à 1898.... 647
II. Cartes et diagrammes relatifs aux chemins de fer français. 650
III. Série d'aquarelles figurant les moyens de transport pour voyageurs depuis la Renaissance jusqu'à nos jours..... 654
IV. Cartes et cartogrammes relatifs aux transports publics, depuis la fin du XVII^e siècle jusqu'à nos jours..... 671

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SIXIÈME SECTION.

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET SERVICES ANNEXES.

I. École nationale des ponts et chaussées..... 675
II. Services annexes rattachés à l'École des ponts et chaussées.... 683
III. Association des ingénieurs des constructions civiles, anciens élèves externes de l'École 695

Table des Matières..... 699

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires