



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

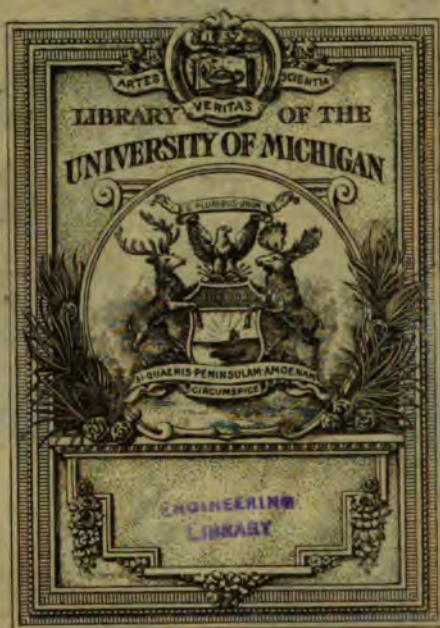
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

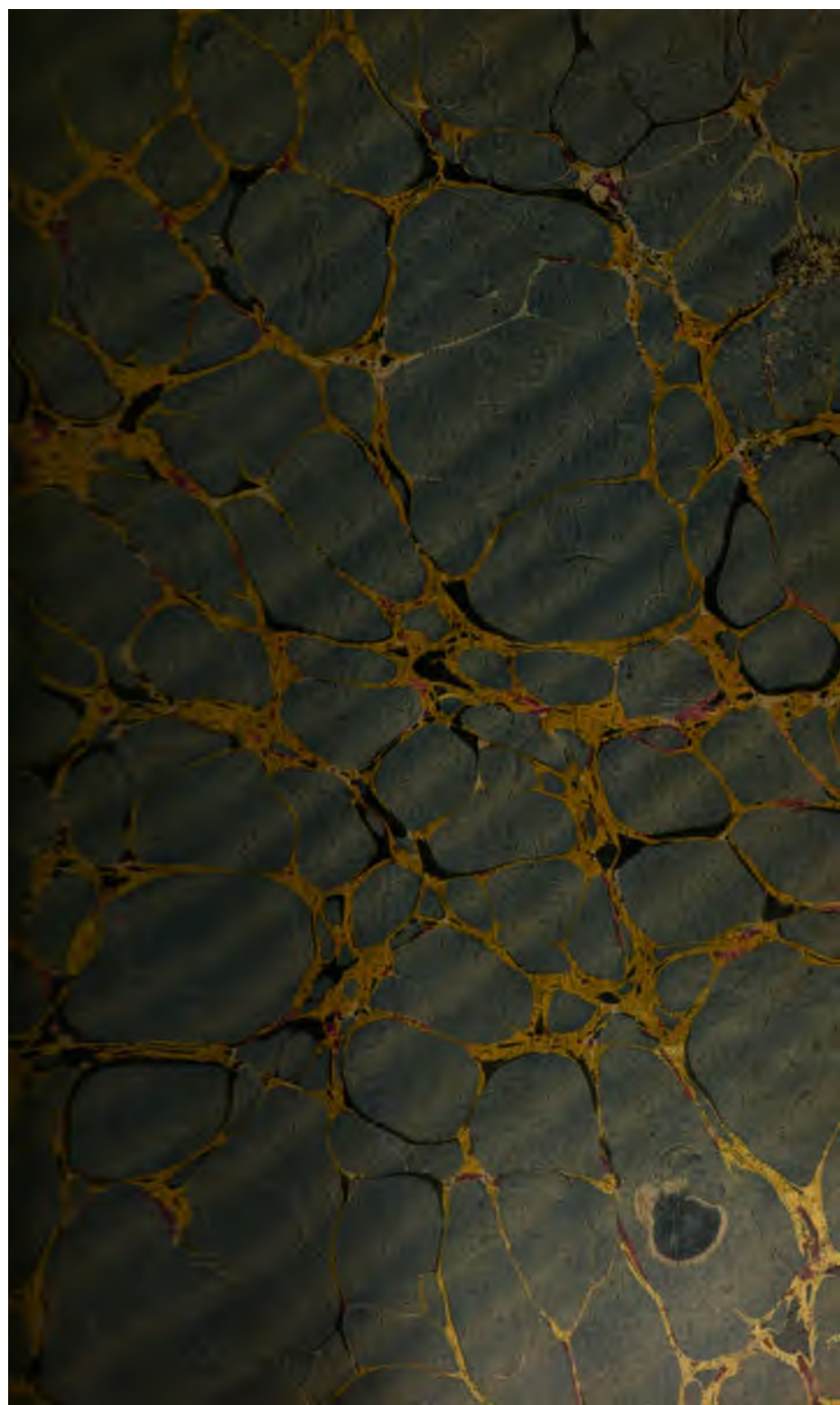
Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>





TA

1

.A6

no. 43

pt. 1

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5^e SÉRIE.

TOME V.

1873

1^{er} SEMESTRE.

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR ;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5^e SÉRIE.

TOME V.

1873

1^{er} SEMESTRE.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

**LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
Quai des Augustins, n° 49.**



ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N° 1

PRIX DÉCERNÉS

PAR DÉCISION MINISTÉRIELLE DU 6 FÉVRIER 1873,

Conformément à la circulaire du directeur général des ponts
et chaussées du 28 janvier 1855,

*AUX auteurs des meilleurs mémoires publiés dans les Annales
des ponts et chaussées*

EN 1870 (*) :

MÉDAILLE D'OR DE 600 FRANCS

A M. Auguste ARNOUX, ingénieur des ponts et chaussées, au-
jourd'hui décédé, pour sa « Notice sur le viaduc de l'Aulne. »

DEUX MÉDAILLES D'OR DE 300 FRANCS

1° A MM. BASSOMPIERRE-SEWRIN, ingénieur en chef des ponts et

(*) Les prix décernés pour l'année 1869 ont été indiqués dans le cahier de
juin 1872.

153377

chaussées, et de VILLIERS DU TERRAGE, ingénieur ordinaire, pour leur « Mémoire sur le pont-viaduc du Point-du-Jour et sur les « ouvrages d'art de la section du chemin de fer de Ceinture, comprise entre Auteuil et Javel ; »

2° A M. ALBARET, chef de bureau à la compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, pour son « Étude « des ponts métalliques en arcs surbaissés. »

DEUX MENTIONS HONORABLES

1° A M. NORDLING, ingénieur en chef de la compagnie du chemin de fer d'Orléans, pour ses « Documents relatifs aux viaducs métalliques de la ligne de Commentry à Gannat ; »

2° A M. AYMARD, ingénieur des ponts et chaussées, aujourd'hui décédé, pour son « Mémoire sur la pratique des arrosages en « Algérie. »

N° 2.

JACQUES MANIEL.

NOTICE BIOGRAPHIQUE

Par M. CÉZANNE, ingénieur des ponts et chaussées.

Au lendemain de nos désastres, pendant les jours si sombres que la Commune de Paris faisait à la France, alors que tant de deuils particuliers rendaient plus poignant encore le deuil de la patrie, la grande famille des ponts et chaussées, atteinte par un coup prématuré, s'est vu arracher un de ses membres qui était à la fois pour elle un honneur et une espérance.

MANIEL (Vincent-Joseph-Jacques), né à Perpignan le 5 janvier 1813, est mort à Versailles le 23 avril 1871, à l'âge de cinquante-huit ans. Inspecteur général et secrétaire du conseil des ponts et chaussées, il s'était fait un devoir de suivre, pendant la guerre, les déplacements successifs du ministère; une méningite aiguë l'a frappé loin de ses enfants; sa femme accourue en hâte n'est arrivée que pour recueillir son dernier soupir.

Ainsi, la vie laborieuse et brillante de Maniel s'est écoulée presque tout entière pendant les années prospères comprises entre ces guerres funestes qui, deux fois en ce siècle, ont amené les Allemands sous les murs de Paris. Cette période d'une paix presque continue a été marquée dans

l'Europe entière par un développement extraordinaire de travaux publics auxquels personne n'a pris une part plus active que Maniel.

I.

PREMIÈRES ANNÉES : CANAL LATÉRAL A LA GARONNE.

La famille de Maniel, originaire du Roussillon, était fixée à Perpignan, où son père remplissait les fonctions de contrôleur des contributions directes. Madame Maniel, femme d'esprit et de caractère, se chargea elle-même, avec une grande sollicitude, de la première éducation de ses enfants, trois fils et une fille, et particulièrement de Jacques, le plus jeune des quatre. Maniel a toujours conservé le plus profond respect pour cette mère chrétienne et pour les principes qu'elle lui avait inspirés.

Dès ses premières années, ses maîtres et ses camarades reconnaissaient en Maniel les qualités heureuses auxquelles il a dû ses succès. Entré jeune au collège de Perpignan, qu'il n'a quitté que pour l'École polytechnique, il s'est maintenu sans peine en tête de sa classe. Il arriva même que le professeur de mathématiques étant tombé malade, le principal du collège crut pouvoir appeler les deux meilleurs élèves, deux amis inséparables, à l'honneur de suppléer leur maître. Maniel fit le cours d'algèbre et de géométrie analytique ; Puiggari fut chargé de l'arithmétique avec la géométrie, et lui-même témoigne que, dans les cas difficiles, c'est à son collègue Maniel qu'il avait recours (*).

Cette anecdote montre que déjà Maniel exerçait autour de lui cet ascendant qui lui rendit plus tard l'autorité si facile. Grand et maigre, bronzé par le soleil du Roussillon, il laissait apercevoir, à travers les allures gracieuses, fami-

(*) Note communiquée par M. Puiggari, colonel du génie, à Perpignan.

lières, caressantes, qui sont le charme des natures méridionales, un fonds de caractère égal, réfléchi, et même ce sentiment délicat de dignité personnelle qui, développé par l'expérience et l'usage du monde, devint un des traits de sa physionomie officielle. — « Respectons-nous, » — disait-il dès cette époque à son ami, — « afin que nos camarades plus jeunes respectent leurs aînés. »

Les deux amis se mêlaient avec entrain, sans pédanterie, aux jeux de leurs condisciples ; mais la meilleure part des congés et des vacances était réservée pour un modeste atelier décoré du nom de laboratoire. Quelques instruments de chimie ; un tour et l'outillage qu'il comporte, acquis non sans peine ; de temps à autre, une démonstration du professeur de physique, un avis professionnel du menuisier voisin, telle était alors pour les deux amis le rêve réalisé du bonheur. C'est là, sans doute, que Maniel a pris cette rectitude de coup d'œil, ce goût minutieux des détails exacts, cette recherche de la précision pratique qu'il apportait dans la rédaction de ses projets.

Plus d'un ingénieur, au début de sa carrière, a pu regretter de n'être pas familiarisé avec le maniement des outils et des machines. Il y a certainement là une lacune dans notre enseignement technique ; les procédés manuels de notre art sont trop négligés : il est cependant indispensable de les connaître pour assurer à nos conceptions théoriques la sanction de la pratique. Imaginerait-on qu'un officier pût rester étranger au maniement des armes ? — La plupart des ingénieurs célèbres d'Angleterre et d'Allemagne ont complété leurs études théoriques par un apprentissage manuel, et, dans le personnel des chemins de fer français, on pourrait citer nombre d'ingénieurs distingués qui, sortant de l'École polytechnique, se sont astreints, avec grand profit, à un stage d'ouvrier. Les praticiens se moquent volontiers des savants ; mais il n'est pas un ouvrier qui n'acceptât sans conteste l'autorité d'un chef

qui unirait quelque expérience de l'outillage à de fortes études théoriques.

Pendant que Maniel faisait le cours d'algèbre à ses condisciples, l'illustre Arago, son compatriote, alors de passage à Perpignan, vint un jour s'asseoir sur les bancs de la classe. La leçon terminée, Arago prophétisa que Maniel passerait d'excellents examens et qu'il ferait honneur à sa ville natale ; il le félicita devant ses camarades, et sa bienveillance lui fut acquise pour toujours.

En effet, peu de semaines après, Maniel entra à l'École polytechnique avec le n° 29 sur cent trente élèves (promotion de 1832). Puiggari l'y suivit l'année suivante.

C'était une époque de grandes émotions : le régime politique de 1830 cherchait péniblement son assiette, ballotté par des compétitions orageuses ; les classiques et les romantiques se disputaient l'arène littéraire ; des controverses ardentes, sociales ou religieuses, enflammaient les esprits à la suite de Saint-Simon ou de Lamennais. Maniel s'intéressait à ces débats, mais seulement avec la mesure qui convenait à son caractère plus porté aux applications de fait qu'aux agitations passionnées et décevantes de la politique. Rien ne le détournait de ses études, et ses efforts soutenus l'élevaient par degrés vers le premier rang : il était le septième, à la fin de la première année, et le quatrième, à la sortie de l'École.

A ce moment, qui décide d'ordinaire de la vie entière par le choix d'une carrière, Arago, doublement autorisé et comme ami et comme correspondant, intervint. Il essaya de gagner à la science pure cette intelligence dont il avait reconnu la valeur ; mais Maniel, chez qui sa profonde déférence pour Arago n'altérait pas l'indépendance du caractère, cédant à sa pente naturelle, se décida pour la vie d'affaires et choisit les ponts et chaussées.

Élève ingénieur en 1834, il fut envoyé, pour sa première mission, au pont du Lot, à Cahors, sous M. l'ingénieur en

chef Pellegrini, et, l'année suivante, au port de Cherbourg. En 1837, il sortait le premier de l'École des ponts et chaussées pour être attaché au secrétariat du Conseil sous les ordres de M. Brémontier, ingénieur en chef. Ainsi le Conseil fut témoin de ses débuts et de ses derniers travaux.

Heureuse entrée dans la vie active et qui devait avoir des effets décisifs sur la carrière de Maniel, qui se trouva naturellement, par sa présence au Conseil, en relation directe avec l'homme éminent qui dirigeait alors les ponts et chaussées ! — Ce qu'était M. Legrand, notre génération ne l'a pas éprouvé par elle-même, mais elle l'a appris des contemporains sur lesquels il a laissé une impression profonde et qui se plaisent encore à faire revivre pour nous son souvenir.

M. Legrand s'était fait lui-même par son intelligence, par sa volonté persévérante. La Restauration l'avait nommé successivement maître des requêtes, ingénieur en chef des ponts et chaussées de première classe, secrétaire général du ministère des travaux publics. « La révolution de 1830 le surprit dans ce poste et ne pouvait le déplacer. Il fut, dès ce moment même, choisi pour diriger l'administration des ponts et chaussées (*). » Il conserva jusqu'en 1847 ces hautes fonctions avec l'indépendance et l'éclat qu'il tirait du mandat de député, cinq fois renouvelé par l'arrondissement de Mortain. Pendant dix-sept années fécondes, il fut le promoteur et l'arbitre des travaux publics sur la surface entière de la France. Deux milliards cinquante millions, pour ne parler que du budget de l'État, sont passés par ses mains intègres, et, à sa mort, il ne laissait, comme fortune personnelle, que quelques milliers de francs dont il avait hérité. Occupé d'abord de doter la France d'un système complet de canaux, il porta son attention sur les che-

(*) Notice sur M. Baptiste-Alexis-Victor Legrand, par M. Villemain, dans la *Nouvelle Biographie générale* de MM. Firmin Didot (1859).

mins de fer dès que les premiers essais en eurent révélé l'avenir. De fréquents voyages, à une époque où ils n'étaient pas si faciles qu'aujourd'hui, mettaient M. Legrand en contact direct avec son personnel d'ingénieurs qu'il administrait avec cette dignité soutenue, mais paternelle, si seyante à un chef, surtout vis-à-vis d'un corps qui se plaît à se considérer comme une grande famille. « Quand M. Legrand vous avait parlé, on se sentait plus d'attachement pour le corps, plus de cœur au travail, plus de fermeté, dans l'honneur (*). » Son attention se portait jusqu'aux affaires personnelles de ses subordonnés, et il arrivait qu'un ingénieur laborieux et pauvre apprenait tout à coup, par une gratification méritée mais d'une largesse inattendue, que le directeur général avait pénétré des embarras de fortune que l'on pouvait croire ignorés. Mettre les hommes à leur place, en lumière ; découvrir des capacités et les porter à la tête du corps, telle était la préoccupation constante de M. Legrand. Heureux les débutants qui se recommandaient par l'intelligence, par l'amour du travail et par ces dehors délicats auxquels les hommes d'élite se reconnaissent entre eux !

Maniel ne pouvait passer inaperçu sous l'œil d'un pareil chef. Il eut bientôt fait sa conquête. M. Legrand l'accueillit dans son intimité et ne cessa depuis de le traiter avec une bienveillance toute paternelle. Nul doute que la grave et solennelle figure du directeur général n'ait fait à cette époque une impression profonde sur le jeune ingénieur, et que Maniel, analysant le caractère, les allures, les moyens de succès de M. Legrand, sans prévoir d'ailleurs qu'il épouserait sa fille, n'ait conçu, dès lors, la noble ambition de continuer les traditions d'intégrité et de talent d'un homme qui est une des illustrations de notre corps.

Après une année consacrée aux travaux du Conseil, Ma-

(*) Témoignage d'un ingénieur contemporain de Maniel.

niel fut attaché au canal latéral à la Garonne, sous les ordres de M. l'ingénieur en chef Belin (arrêté du 21 juillet 1838). Il résida d'abord à Moissac, puis à Agen, où il fut promu à la deuxième classe (ordonnance du 7 mai 1840).

Son premier projet montra ce qu'il savait faire. A propos du pont-canal sur la Garonne, à Agen, M. de Beaudre, inspecteur général et rapporteur au Conseil, écrivait à Maniel : « Votre projet est approuvé par le Conseil. Je vous en félicite d'autant plus que c'est votre premier enfant. Cela promet du bonheur pour les autres. Ce n'est pas sans peine que celui-ci a obtenu le baptême ; mais les objections se sont successivement dissipées comme un nuage, et vous avez fini, je crois, par avoir la presque unanimité. »

Le pont-canal d'Agen suffirait seul à soutenir la réputation d'un ingénieur ; c'est un des plus considérables parmi cette sorte d'ouvrages difficiles. Le voyageur qui parcourt en chemin de fer la riante vallée de la Garonne, le long du canal latéral, peut admirer, à travers les grands peupliers de la rive, la belle ordonnance et la parfaite conservation de cette première œuvre de Maniel. Il n'en posa pas lui-même les dernières assises, mais le succès des travaux était assuré lorsqu'il quitta le canal latéral, sur sa demande.

Un arrêté du 18 juillet 1840 l'attacha au chemin de fer de Lille à la frontière belge. Le moment était favorable pour passer des canaux aux chemins de fer : le gouvernement et la Chambre des députés préparaient la loi de 1842 par de brillantes et solennelles discussions où M. Legrand tenait la première place, et cette loi devait ouvrir de belles perspectives aux ingénieurs que leur heureuse fortune recommanderait au choix de l'administration par une pratique spéciale des chemins de fer.

II.

CHEMIN DE FER DU NORD.

Voici donc Maniel entré dans sa spécialité; il est désormais acquis aux chemins de fer qu'il a vus naître et qu'il a contribué à faire si grands. Successivement chargé, pour le compte de l'État, de la construction, puis de l'exploitation soit de la ligne de Valenciennes, soit de la ligne de Lille à la frontière, sous les ordres de M. l'ingénieur en chef Debout, et peu après de M. Busche, il résida six années entières à Valenciennes, livré à de sérieuses et bien utiles recherches.

Les chemins de fer, aujourd'hui, sont des objets de fabrication courante : on les commande de toutes pièces et à prix fixe; mais, en 1840, les mille détails consacrés depuis par l'expérience étaient à créer. Il fallait tantôt inventer, tantôt choisir avec discernement parmi les inventions anglaises, belges, allemandes. Un pont métallique, un type de rail, un système d'aiguille, une boîte à graisse, une lanterne-signal, le moindre règlement de gare ou de train, donnaient lieu à de vastes recherches. Homme de méthode et de précision, Maniel excellait à ces laborieuses créations : il s'appesantissait sur chaque point, ne négligeait rien, calculait tout, et, sa décision prise, demeurait inébranlable.

Sa bonne grâce enjouée persistait au milieu de ces travaux. Que d'amis ne s'est-il pas faits à Valenciennes, qui lui sont restés fidèles après l'avoir perdu de vue! — Une considération singulière s'attachait à sa personne : deux fois le conseil municipal lui offrit ses remerciements pour des services entièrement désintéressés. En 1842, la ville avait un procès : Maniel, consulté par le maire, rédige un avis qui est immédiatement accepté par les deux parties et rend inutile un arbitrage commencé. L'année suivante, le beffroi s'écroule écrasant plusieurs personnes : Maniel

accourt, il organise le sauvetage et, pendant cinq jours et cinq nuits, il travaille lui-même au milieu des ouvriers qui acceptent sa direction. Certes il ne fit là que son devoir d'ingénieur : tout autre eût montré même équité, même dévouement, mais on voit, par les termes des lettres que le maire lui écrivait au nom du conseil, qu'on saisissait avec empressement ces occasions d'exprimer publiquement à Maniel les sentiments d'estime et d'affection qu'il avait inspirés à tous.

M. Busche réclamait fréquemment quelque récompense pour son collaborateur. M. Legrand répondait par des lettres de félicitations, témoignage bien précieux de la part d'un pareil chef (10 novembre 1840, 23 juin 1841, 9 mars 1844) ; il lui accorda successivement la croix d'honneur (26 avril 1846) (*) et la première classe de son grade en tête de sa promotion (8 mai 1847). Mais déjà Maniel ne comptait plus au service de l'État : la compagnie du Nord l'avait distingué et se l'était attaché, avec l'agrément du ministre, en lui confiant d'abord l'entretien et le matériel de la voie (1^{er} mars 1846), service auquel s'ajouta peu après la direction des travaux neufs. L'exploitation proprement dite était alors confiée à M. Petiet(**) et la traction à M. Lechatelier. Ces trois hommes éminents se partageaient ainsi tous les services actifs de la compagnie, sous le contrôle d'un comité d'administrateurs.

On se fait difficilement l'idée des charges qui pèsent, dans une compagnie de chemin de fer, sur les chefs de service, et le contraste est rude lorsque, dépouillé tout à coup de l'irresponsabilité officielle du fonctionnaire public, on se voit désormais astreint à répondre, pour chacun de ses

(*) Maniel avait été nommé chevalier de l'ordre de Léopold de Belgique, dès le 21 juillet 1845, pour services rendus dans les conférences internationales.

(**) M. Petiet est mort peu de semaines avant Maniel, dans Paris assiégé par les Allemands.

actes, aux exigences contradictoires et souvent menaçantes de la justice, du contrôle administratif, du public, de l'actionnaire, et chargé en outre de maintenir dans une discipline rigoureuse un nombreux personnel dont chaque agent conserve le droit d'en appeler aux tribunaux de toute décision qu'il juge trop sévère. Que de coups de collier pour mouvoir ce puissant mécanisme ! quelle patiente énergie pour entretenir dans tous les rouages cette régularité, qui est affaire de vie ou de mort ! que de nuits troublées par le cauchemar des accidents ! — C'est là une forte et salutaire école : quiconque l'a traversée sera prêt à demander que, dans leur intérêt même et surtout dans l'intérêt de l'État, les fonctionnaires publics soient soumis à cette responsabilité complexe et directe.

Dans le sein de la compagnie du Nord, Maniel ne tarda pas à se faire place. Il y parvint sans efforts : c'était le don particulier de cette nature loyale et ferme. M. de Rothschild, le fondateur, l'âme de la compagnie, faisait volontiers sentir à tous le poids de sa prépondérance ; jamais cependant il n'entreprit sur Maniel, et, plus tard, le puissant baron se plaisait à reconnaître que Maniel avait su lui inspirer autant de respect que d'amitié.

Il n'est pas possible de détailler ici tous les travaux exécutés sous la direction de l'ingénieur en chef de la voie pendant ces dix années, 1846 à 1855, qui furent pour le réseau du Nord la période des enfantements laborieux, des tâtonnements, des premiers progrès, en un mot de l'organisation : années décisives, desquelles dépendait l'avenir de la compagnie et qui ont donné à ce réseau la plupart des types et des usages qui le caractérisent encore.

On peut cependant citer la ligne de Saint-Quentin à Erquelines avec son viaduc de la Selle, ses ponts métalliques sur la Sambre, ses terrassements difficiles de Busigny comme portant plus particulièrement l'empreinte de Maniel, car il en dirigea les premières études et les derniers tra-

vaux. Les lignes de Tergnier à Reims, Busigny à Somain, Saint-Denis à Creil par Chantilly ont été commencées ou préparées par Maniel.

Sur les anciennes lignes de la compagnie, on doit à Maniel le pont tournant d'Abbeville. C'est lui encore qui entreprit, en 1854, la substitution du rail à double champignon avec éclisses aux rails de 30 kilogrammes, posés à l'origine par l'État sur les lignes de Paris à la frontière belge. Les hommes du métier savent quelles difficultés présente une pareille opération, entreprise sur une aussi vaste échelle, au milieu du mouvement d'un réseau fréquenté comme celui du Nord.

Mais à ce moment même Maniel se préoccupait déjà d'un progrès plus considérable. Le rail américain dit Vignole était alors l'objet de discussions très-vives ; Maniel hésita longtemps, car il était dans sa nature de ne céder jamais à un courant d'enthousiasme, mais seulement à de laborieuses et persévérantes recherches, et, s'il a abandonné à son éminent successeur, M. Couche, l'honneur de faire adopter le rail Vignole par la compagnie du Nord, il a du moins déterminé le type de rail qui fut admis après lui (*).

La révolution de 1848 promena la tempête sur le réseau du Nord : gares incendiées, ponts rompus, grèves ouvrières, complications à la frontière, tel fut pour les chemins de fer le premier effet du mouvement de 1848, qui de Paris s'est propagé sur la France et sur l'Europe. On conserve à la compagnie le souvenir de l'énergie et du sang-froid de Maniel au milieu des ouvriers excités par des agitateurs populaires (**).

(*) Voyez dans les *Annales des ponts et chaussées* (1861), un article de Maniel sur ce sujet et la réponse de M. Couche (1862).

(**) Pendant un de ces orages, Maniel trouva en face de lui, dans la gare de Paris, Delescluze, qui s'est depuis si tristement illustré dans la Commune de Paris. Delescluze avait été rédacteur d'un journal à Valenciennes à l'époque où Maniel y était ingénieur : il le reconnut, et quoique entouré lui-même d'un groupe nombreux, il laissa Maniel maître du terrain.

La révolution de 1848 emporta M. Legrand. Dès l'année précédente, par suite des exigences de la vie politique, il avait, non sans un amer regret, « échangé l'administration « des ponts et chaussées pour la présidence du comité des « travaux publics au Conseil d'État. C'était sa patrie qu'il « avait perdue : c'était désormais le mouvement continu « des affaires, l'habitude facile et supérieure d'un atta- « chant travail qui manquait à son activité : c'était auss « l'exercice d'un ancien et digne patronage, l'appréciation « des services, le plaisir de les honorer, qui manquait à « son cœur équitable et bienveillant. Sur ce point, les re- « grets du corps éminent qu'il avait si longtemps servi ou « présidé répondirent aux siens, et la séance où il reçut les « adieux de tant de coopérateurs et de juges de ses tra- « vaux et de sa vie, fut un des plus sincères témoignages « qu'on ait jamais rendus au mérite d'un chef (*). »

Après le 24 février, M. Legrand tomba dans une mélancolie profonde ; en août 1848, il arrivait à Uriage, près Grenoble, cherchant le repos pour lui et la santé pour sa fille. La mort l'y attendait à cinquante-sept ans, loin des siens, dans un logement de passage. C'est dans des circonstances pareilles d'âge et de lieu, c'est après une carrière brillante et sous le poids d'événements dont ils avaient profondément ressenti l'angoisse que Legrand et Maniel ont été enlevés à leurs contemporains. Analogie cruelle, doublement ressentie par celle qui leur a fermé les yeux à tous deux et dont le cœur fidèle honore du même culte la mémoire de son père et celle de son mari !

C'est le 29 décembre 1849 que Maniel épousa la seconde fille de M. Legrand, et cette union, qu'une sympathie mutuelle devait rendre si heureuse, fut considérée alors comme la réalisation d'une des plus chères espérances de M. Legrand.

(*) Villemain, note déjà citée.

L'active carrière de Maniel à la compagnie du Nord, le bonheur de sa vie intérieure lui laissaient cependant encore un sujet de regrets. Il ne pouvait se décider à abandonner pour toujours le corps où, dès son entrée, il avait été si bien accueilli par tous, qui était devenu pour lui une famille, et dont une ambition légitime lui faisait désirer d'atteindre les plus hauts grades.

La création à l'École des ponts et chaussées d'un cours de chemins de fer, pour lequel Maniel était naturellement désigné, permit à l'administration de rattacher l'éminent ingénieur aux services publics et de le conserver à notre corps.

Avec son goût de la méthode et de la précision, sa taille élevée, son visage expressif et sympathique; avec sa voix éclatante qu'il ne ménageait guère, Maniel ne pouvait manquer d'être un professeur remarqué. Sur l'annonce de sa nomination, nous attendions l'ouverture du cours avec une curiosité qui eût été plus excitée encore si nous avions connu ses débuts, au collège de Perpignan, sous l'œil d'Arago. La première leçon ne nous laissa aucun doute sur le mérite du nouveau professeur : Maniel était un maître dans l'école comme sur le chantier.

Fidèle à son caractère, il ne s'abandonnait pas aux hasards de l'improvisation : son cours était soigneusement préparé ; les matières distribuées avec ordre, chaque leçon avait son cadre fixé d'avance et même sa rédaction presque arrêtée. Pour ne pas distraire une heure de son service à la compagnie du Nord, Maniel consacrait ses soirées très-avant dans la nuit à cette laborieuse préparation, et c'est alors peut-être qu'il commença d'abuser de sa forte nature. On peut supposer qu'il projetait de publier un jour son cours de chemins de fer. Malheureusement, il n'a pu exécuter ce projet, car bientôt de nouvelles fonctions s'offrirent à lui et l'entraînèrent dans une voie plus large et plus digne de ses talents.

III.

CHEMINS DE FER AUTRICHIENS.

La compagnie autrichienne, impériale, royale, privilégiée des chemins de fer de l'État venait de se former de capitalistes autrichiens et français, groupés par l'initiative de MM. Émile et Isaac Pereire. Ces financiers célèbres s'appliquaient alors avec une ardeur infatigable à réaliser, dans l'Europe entière, un ensemble de travaux dont ils avaient, vingt-cinq ans auparavant, comme publicistes saint-simoniens, tracé les grandes lignes devant un public qui ne s'attendait guère à voir réaliser si tôt ces brillantes rêveries. MM. Pereire avaient connu Maniel au chemin du Nord : ils le choisirent entre toutes les notabilités industrielles de l'Europe pour lui confier les puissants intérêts qu'ils avaient associés, et ils réussirent, en éveillant en lui l'ambition légitime de diriger en chef une grande affaire, à le déterminer, non sans de longues hésitations, à se détacher de la compagnie du Nord. Ses collaborateurs et ses amis, malgré leurs profonds regrets de le perdre, l'encourageaient eux-mêmes à suivre sa fortune, afin de ne pas borner volontairement sa carrière.

Maniel partit donc pour Vienne avec l'autorisation du ministre des travaux publics (1^{er} avril 1855), en qualité de directeur général de la Société autrichienne. Pour apprécier convenablement le rôle nouveau de Maniel, il faut se rendre compte des difficultés de sa tâche.

L'empire d'Autriche s'était trouvé dans la nécessité de vendre les chemins de fer de l'État à une compagnie financière. La France alors, par la force apparente d'une organisation politique dont l'avenir devait révéler les dangers, mais surtout par la force plus réelle et plus durable de ses capitaux et de son industrie, exerçait une sorte de suprématie en Europe. Il était tout naturel qu'un ingénieur fran-

çais vint à Vienne gérer des intérêts où les capitaux français avaient une si grande part ; mais il était naturel aussi que tout le personnel autrichien, depuis les administrateurs jusqu'aux agents les plus modestes, n'accueillissent qu'avec défiance et même avec une sourde hostilité un étranger, ignorant de leur langue et des habitudes locales.

Quand on n'a pas vécu, hors de son pays, de la vie militante des affaires, on ne peut soupçonner quelles entraves la qualité d'étranger ajoute aux difficultés inséparables, en tous pays, des luttes industrielles. Que de malentendus à prévenir ! que de préjugés à vaincre ! que de défiances à guérir ! — Imaginez un étranger venant avec une dizaine de ses compatriotes prendre, au nom de capitalistes de son pays, la direction absolue de l'un de nos grands réseaux de France. Que pourrait-il espérer du dévouement des employés, de la justice du public, de la modération de la presse, de la bienveillance des autorités ? Et combien ces difficultés étaient-elles aggravées en Autriche, où la moindre affaire se complique de rivalités séculaires entre des races hostiles ; où le personnel de la compagnie recélait toutes les nationalités, toutes les langues de l'Europe, excepté celle du directeur général, comprise seulement de quelques chefs supérieurs !

Telle était cependant la situation que trouvait Maniel en arrivant à Vienne. Un autre homme eût succombé ; mais, après quelques mois d'efforts, il était maître incontesté de son terrain : les ministres le consultaient ; les administrateurs de la compagnie l'écoutaient avec confiance ; les compagnies rivales imitaient ses réformes ; et jusqu'au fond des provinces, les ordres du directeur général, traduits dans les dialectes locaux, étaient reçus avec la déférence la plus dévouée par les agents de tous grades (*).

(*) A cette époque les lois de l'Empire étaient promulguées en neuf langues. Sur le seul chantier du pont de Szégédin, des ingénieurs et entrepreneurs français entendaient parler autour d'eux

Maniel a dû ces succès décisifs à l'élévation de son caractère, à son impartiale franchise au milieu des compétitions locales; à son imperturbable bon sens, qui, dans chaque affaire, lui révélait le droit chemin; à sa bienveillante équité envers ses subordonnés; à cette application véritablement furieuse, ce *labor improbus* qui le laissait plein de ressort et d'entrain après qu'il avait épuisé les forces de ses collaborateurs les plus énergiques; à cette volonté indomptable que trahissaient et son regard ardent et les éclats de sa voix, qu'il élevait fréquemment, quoiqu'il restât absolument maître de lui; enfin, à ces manières graves et imposantes qui lui étaient naturelles, mais dont il usait volontiers comme d'un moyen d'influence, en sorte que du premier abord on reconnaissait en lui le chef (*).

Mais surtout Maniel dut son rapide et solide crédit à la conviction qu'il sut inspirer à tous que personne plus que lui n'était dévoué aux intérêts dont il avait la charge et que son honorabilité s'élevait au-dessus de tout soupçon.

l'allemand, le hongrois, l'italien, le tchèque, le serbe, etc.; à quelques kilomètres de là, le roumain devenait la langue dominante. Des wagons français, chargés aux Batignolles, venaient se décharger sur les bords de la Theiss après avoir franchi le Rhin sur un ponton et traversé de nombreux réseaux. Ces transports organisés par Maniel à travers l'Europe entière ont été le premier exemple de ces services combinés, devenus depuis si fréquents.

(*) Un détail peut donner l'idée de l'application de Maniel au travail. Il entreprenait de temps à autre une tournée d'inspection sur ce vaste réseau, examinant toute chose, interrogeant, écoutant chacun sans fatigue apparente, sans impatience malgré la fastidieuse intervention d'un interprète. Rentré dans son wagon, en pleine marche, il reprenait le travail du cabinet; couvrait de notes la marge des rapports; dictait des lettres sur ce qu'il avait vu et, par chaque train de retour, expédiait ces documents à Vienne, où les commis doutaient si le directeur général était présent ou en voyage. Détail caractéristique: si chargée, si longue qu'eût été la journée, Maniel ne s'accordait le repos qu'après avoir écrit à sa famille. Il obéissait à son affection sans doute, mais aussi à cette discipline qu'il s'imposait à lui-même en toutes choses et qui lui donnait le droit d'être exigeant pour les autres.

Quelle force que l'honneur pour un homme lancé au milieu des conflits intéressés de la vie d'affaires ! Qu'il soit permis, puisque l'occasion s'en présente, de le dire ici : malgré les beaux travaux dont le corps des ponts et chaussées a couvert la France, ce n'est pas à sa science seule qu'il a dû d'être appelé en Autriche, en Russie, en Espagne et surtout en France à la tête de tant de grandes compagnies industrielles ; c'est surtout à la confiance que les capitalistes promoteurs de ces entreprises ont eue dans son honorabilité ! Puisse notre corps ne jamais dévier de ces traditions d'honneur ; puisse-t-il, en suivant les transformations que le temps réclame de tout organisme vivant, — car l'immobilité c'est la pétrification, c'est la mort, — puisse-t-il, quelles que soient les épreuves de l'avenir, rester toujours digne de lui-même et de la France !

Un ami d'enfance qui eût perdu Maniel de vue depuis longues années l'aurait à peine reconnu à ce point culminant de sa vie. Ce n'était plus ce jeune méridional mince et brun qu'on se rappelait à Perpignan : une sorte d'harmonie s'était établie entre sa personne et ses fonctions ; il avait acquis la forte apparence d'un homme du Nord : sa grande taille avait pris de l'ampleur ; sa figure pleine et fraîche respirait la force et la bonté. Au fond, son caractère restait le même : solennel et imposant dans son cabinet, c'était, dans son intérieur, le père le plus tendre, le plus enjoué. Sa famille, ses serviteurs, tout le monde autour de lui parlait couramment l'allemand ; lui seul, rebelle à cette langue du Nord, n'avait pu, malgré de sérieux efforts, faire des progrès sensibles. Il prenait plaisir à trahir son inexpérience, à se faire reprendre par ses filles, alors tout enfants, et quels frais éclats de rire autour de ce père que, dans la journée, nous avions vu si sérieux ! Pour nous, pour les ingénieurs qu'il avait amenés de France, c'était véritablement la patrie, c'était la famille que nous retrouvions dans ce grand et froid palais de Vienne, où madame Maniel

nous accueillait d'une gracieuse et toute française hospitalité.

Maniel a séjourné huit années en Autriche (1855-1863); il a porté de 1.039 à 1.323 kilomètres la longueur de son réseau exploité, et préparé de vastes projets, retardés alors par les circonstances politiques, mais dont l'exécution, devenue possible après son retour en France, a grandement développé les ressources de la Société autrichienne. Plus de 450 millions de francs ont été dépensés par la Société sous la direction de Maniel, en frais d'exploitation ou dépenses de construction, par un personnel qui comptait, en 1863, 5.000 agents et 12.000 ouvriers.

La Société autrichienne n'exploitait pas seulement des chemins de fer, elle possédait aussi des mines de houille en Bohême, et en outre une province entière de 226.000 hectares et de 110.000 habitants, le Bannat, région montagneuse qui borde, vers les principautés danubiennes, la vaste plaine de Hongrie, et dans laquelle se rencontrent côte à côte la houille et divers minerais de fer, cuivre, plomb, argent, etc... Le domaine public tout entier, les mines, les forêts (91.000 hectares), les pâturages, les usines, les chemins, l'administration des villages, des écoles, des églises,... l'État avait tout cédé à la Société, ainsi que divers droits régaliens dont il avait conservé depuis le moyen âge la possession incontestée. Que de réformes à opérer, matérielles et morales, que de bien à faire dans cet étrange pays où les machines les plus perfectionnées apportées de France, d'Angleterre, d'Allemagne, outillaient des forges monumentales, tandis qu'à deux pas du chemin de fer, sur la lisière des bois, des tziganes nomades, abritant leurs légers chariots et leurs guenilles pittoresques sous une tente percée à jour, mettaient au service du paysan moldo-valaque la forge primitive que l'on rencontre encore sur les bords du Nil et dans les villages d'Arabie : une vessie adroitement manœuvrée de la main gauche fait fonc-

tion de soufflet, et de la main droite un agile marteau fa-
çonne quelque chaudron rustique ! Il n'existe peut-être en
aucun point du monde un mélange plus disparate de races,
de langues, de religions, de costumes, d'usages et d'outils ;
ni un contraste plus flagrant d'ignorance et de lumières,
de richesse et de misère, de civilisation et de barbarie.

Le bien moral largement répandu dans ces populations
par Maniel s'aidant de la prédication du prêtre et de celle
de l'instituteur, multipliant les règlements et les institu-
tions dictées par l'expérience et l'humanité, ces biens mo-
raux ne se peuvent mesurer, mais quelques chiffres donne-
ront une idée des résultats matériels :

La production annuelle de la houille s'est élevée, sous la
direction de Maniel, de 1854 à 1863, pour les mines de
Bohême, de 16.000 tonnes à 211.000 tonnes ; pour le Ban-
nat, de 52.000 à 115.000 tonnes. Dans le Bannat encore,
et dans les mêmes limites de temps, la production annuelle
s'élevait, pour la fonte, de 7.600 à 15.000 tonnes, et, pour
le fer, de 4.600 à 8.000 tonnes.

Il est facile de comprendre quel champ était offert à l'ac-
tivité du directeur général et par le réseau de chemin de
fer, et par ces vastes domaines de Bohême et de Hongrie.
Maniel étendait sur cet ensemble, et jusqu'aux plus petits
détails, un rare esprit d'organisation et une constante re-
cherche de l'ordre (*). Et quelle énergie pour briser les
obstacles ! En voici un exemple : Il avait trouvé dans le sys-
tème des mesures autrichiennes la complication qui existait
en France avant 89 ; ne pouvant importer en bloc le sys-
tème métrique qui, trahissant trop ouvertement son origine
française, eût excité quelques susceptibilités locales, et dont
la nomenclature s'éloignait trop des termes usuels, il avait

(*) Ce goût de l'ordre était très-ancien chez Maniel ; dès l'Ecole
des ponts et chaussées, il tenait très-exactement sa comptabilité
personnelle ; directeur général, il en usait de même. La position.
la fortune changeaient, l'homme ne changeait pas.

introduit du moins le système décimal en prenant pour unité de longueur le pied de Vienne et pour unité de poids la livre de 500 grammes. A partir d'une date fixée d'avance, au cun projet, aucun cahier des charges, aucun marché ne put être présenté à la signature du directeur général s'il n'était rédigé dans le système décimal. Le personnel de la compagnie, les fournisseurs, les entrepreneurs durent subir cette loi d'autant plus rigoureuse qu'en dehors de la compagnie toutes les transactions se réglaient d'après les mesures anciennes (*).

Au bout de peu d'années, le système décimal de la Société s'était, sinon généralisé, du moins répandu dans toute l'Autriche, qui depuis a officiellement accepté le système métrique.

Maniel avait trouvé en service sur le réseau une diversité désastreuse de types pour les innombrables objets dont se compose l'outillage d'un chemin de fer : matériel de la voie, des stations, des ateliers ; véhicules, locomotives, télégraphie, lampisterie, signaux ; cahier des charges pour la construction ; règlements d'exploitation et d'administration ; statuts des caisses de retraite et de secours, etc., le directeur général s'imposa la tâche effrayante d'étudier pour chacun de ces objets un type modèle, le plus perfectionné qu'il serait possible, et de ramener à l'unité de ce type toutes les variétés existantes (**). Plusieurs cahiers des charges de Maniel pourraient être consultés comme de

(*) Imitant l'initiative prise en Autriche par Maniel, les ingénieurs français chargés de la construction des chemins de fer russes ont introduit en Russie le système décimal pour les mesures de longueur.

(**) Parmi ces types, on peut citer le rail Vignole qu'il adopta alors résolûment et dont il devint un promoteur convaincu ; on peut citer encore le type de voitures françaises à compartiments indépendants, qu'il substitua, avec l'approbation du public et au grand avantage de la compagnie, aux lourdes et inconfortables voitures du type américain.

véritables traités de maçonnerie, charpenterie, ferronnerie, etc. Ils ont fait faire, dans le pays, de sérieux progrès à l'art des constructions.

Sans doute, pour ces nombreux travaux, Maniel s'était entouré de chefs de service savants, expérimentés, parmi lesquels, Autrichiens ou Français, il faisait régner le même esprit de dévouement à sa personne et de zèle envers la compagnie, — et que n'est-il possible d'associer ici leurs noms au sien et de parler des vivants avec la liberté dont on use envers les morts! — Le choix de ses collaborateurs fait partie de l'habileté d'un chef, mais Maniel ne s'en fiait à personne pour l'exécution de ses ordres.

On aura peine à le croire : le directeur général, accablé de si grandes affaires, voulait encore reviser lui-même tous les dessins des projets : il vérifiait les moindres cotes ; mesurait le format du cadre, — il en avait sévèrement réglé les dimensions, — corrigeait les rubriques et les titres, et n'accordait sa signature qu'après avoir acquis la certitude absolue qu'aucune erreur n'avait pu lui échapper. Lorsqu'il lui fallait approuver quelque document allemand ou hongrois de grande importance, sa perplexité était grande : il l'imait et arrêtait d'abord le texte français, puis ce texte traduit une première fois retournait en français par les soins d'un second traducteur ; Maniel alors comparait ce français nouveau avec son texte primitif, et l'on peut juger que les divergences n'étaient pas rares.

Les dessins et documents réglementaires, approuvés par le directeur général, reproduits par l'autographie ou l'imprimerie et distribués méthodiquement à tous les agents intéressés, allaient répandre partout l'impulsion raisonnée et décisive du chef. Ainsi s'établissait peu à peu un ordre harmonieux dont les détracteurs des premiers jours étaient eux-mêmes frappés.

L'influence de Maniel allait toujours grandissant en Autriche dans le monde des affaires et même auprès du gou-

fer, — c'est une organisation régulière à l'abri des secousses. Centralisateur par tempérament et par conviction, il tirait tout à lui ; et grâce à son admirable mémoire, — instrument capital pour les hommes de cette trempe, — il retenait tout, ne perdait rien.

Il faisait quelquefois de l'art pour de l'art : s'acharnant à réaliser sur quelque objet, en apparence insignifiant, une perfection que l'on pouvait croire trop payée par le temps qu'il y avait dépensé. Cependant, à la longue, de ces efforts minutieux mais répétés résultait une allure générale qui entraînait tout, et l'empreinte vigoureuse et nette du directeur général se gravait peu à peu sur tous les objets et dans toutes les têtes.

Heureux privilège du fondateur ! le mouvement qu'il a imprimé dure encore, les règlements qu'il a élaborés, qu'il a imposés à la pratique, gouvernent encore la grande compagnie autrichienne et seront longtemps la loi d'un personnel nombreux ! Maniel est mort, sa volonté puissante vit toujours (*).

Mais à quel travail s'était-il condamné ! de quel poids s'était-il chargé, ayant à répondre seul de grands intérêts financiers et de la marche régulière d'un réseau, horloge

(*) Un hommage significatif a été rendu récemment à la solide organisation que Maniel a donnée à la Société autrichienne et que son éminent successeur, M. Bresson, assisté des principaux collaborateurs de Maniel, a conservée et perfectionnée encore. Un grand entrepreneur de Berlin, bien connu en Allemagne, avait obtenu du prince prussien qui gouverne les Principautés danubiennes la concession d'un réseau de chemin de fer en Moldo-Valachie. Cette entreprise n'a pas tardé à tomber dans le discrédit le plus complet. Les divers intéressés, afin de sortir d'embarras, se sont accordés pour remettre leurs intérêts, avec des pouvoirs étendus, à un ingénieur des ponts et chaussées désigné par le directeur général de la Société autrichienne. Au moment où nos malheurs nous portent à douter de notre pays et de notre race, il n'est peut-être pas hors de propos de signaler ici que les ingénieurs français ont conservé dans ces pays éloignés la considération qu'ils avaient acquise sous la direction de Maniel.

compliquée dont le moindre dérangement peut être si funeste ! On peut dire que pendant ces huit années d'Autriche cette nature si robuste s'est dépensée tout entière. De retour en France (octobre 1865) il était en apparence le même homme : son intelligence, sa gaieté restaient les mêmes ; mais il ne se plaisait plus à la lutte : la responsabilité lui pesait ; il désirait le repos. « Si j'avais prolongé mon séjour à Vienne, j'y serais mort, » — disait-il quelquefois, en mettant le doigt sur son front comme s'il pressentait à quel endroit la mort le frapperait. Repos relatif et tel que pouvait l'accepter un homme pour qui, depuis son enfance, le travail était à la fois le premier besoin et le plus vif plaisir !

Ce ne fut pas sans difficulté que Maniel, décidé à la retraite, put obtenir d'être relevé de ses fonctions. L'Autriche ne voulait plus le rendre à la France. Il s'était à l'origine lié avec la compagnie pour cinq ans ; d'année en année, cédant à de vives instances, il prolongeait son séjour ; on espérait qu'il se fixerait à Vienne. Quand son départ parut irrévocable, les administrateurs, en conseil, chargèrent leur honorable président, M. le baron de Doblhoff-Dier, de faire connaître au gouvernement français les services de Maniel en Autriche. Après avoir énuméré les principaux résultats obtenus, le président du Conseil ajoute :

« Mais, ce que ne disent pas ces documents, et ce que je me plais à signaler à Votre Excellence au nom du Conseil, c'est le zèle et le dévouement, la supériorité de connaissances, l'impartialité et la droiture, enfin le caractère élevé dont M. Maniel n'a pas cessé un moment de faire preuve dans la longue période de ses fonctions de directeur général.

« Nous avons traversé pendant ce temps des jours bien difficiles, et nous devons rendre cette justice à M. Maniel, qu'il a rempli ses devoirs envers notre compagnie et le pays qu'il habitait sans avoir jamais compromis en rien

« sa nationalité (*) ; et, en gagnant l'estime de tout le
 « monde, il est parvenu à dissiper les préjugés et à inspi-
 « rer une pleine confiance dans son administration.

« La distinction de la décoration de la couronne de fer
 « que Sa Majesté I. R. A. vient d'accorder à M. Maniel
 « pour ses mérites est la meilleure consécration de nos ap-
 « préciations, et Votre Excellence n'ignore pas que M. Ma-
 « niel a reçu de pareilles marques de bienveillance de la part
 « du roi de Prusse, du roi de Saxe et du roi de Wurtem-
 « berg (**).

« Votre Excellence jugera sans doute que M. Maniel,
 « dans des fonctions où il a honoré la qualité de Français et
 « d'ingénieur des ponts et chaussées, a aussi bien mérité
 « du gouvernement de Sa Majesté l'Empereur des Français ;
 « et si Votre Excellence veut bien l'en récompenser, le
 « Conseil d'administration de la compagnie en éprouvera
 « une vive satisfaction. »

Ce ne sont point là de vaines formules officielles : il
 n'était pas un agent de la compagnie qui n'eût volontiers
 souscrit à ce témoignage du président du Conseil.

IV.

CONSEIL GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES. — DERNIÈRES ANNÉES.

De 1863 à 1867, Maniel, établi à Paris, prit encore, en
 qualité d'administrateur, une part très-active à la direction
 des chemins de fer autrichiens, du nord de l'Espagne, etc.
 Officier de l'instruction publique, membre du conseil supé-

(*) Allusion à la guerre d'Italie, entre la France et l'Autriche,
 pendant laquelle Maniel céda momentanément la direction géné-
 rale à M. Engerth, fonctionnaire supérieur de la compagnie et
 sujet autrichien.

(**) Maniel était, en outre, chevalier de l'ordre d'Albert le Valeu-
 reux de Suède et commandeur de Saint-Grégoire.

rieur de l'enseignement secondaire spécial, membre du jury de l'exposition universelle, il prêtait en outre son expérience à plusieurs commissions passagères. S'il l'avait désiré, le département des Pyrénées-Orientales, d'où ses anciens condisciples le suivaient des yeux avec orgueil, lui aurait ouvert les portes de la politique ; mais il n'était pas attiré de ce côté. Déjà, en 1853, il avait refusé une candidature au Conseil général, offerte dans les conditions les plus honorables (*). L'ambition de Maniel à cette époque était de rentrer effectivement dans le corps des ponts et chaussées.

A la vérité, il n'en était jamais complètement sorti. En Autriche même, et par décision personnelle du ministre, il restait chargé d'une mission technique qui avait permis de le nommer ingénieur en chef de première classe, le 1^{er} novembre 1860. L'année même de son retour, il fut promu au grade d'officier de la Légion d'honneur (16 août 1863), mais ce ne fut qu'en 1867 qu'il entra au conseil général des ponts et chaussées comme secrétaire en remplacement de M. l'inspecteur général Rumeau. Maniel rompit dès lors tout lien avec les compagnies industrielles et se consacra aux importantes fonctions qu'il conserva jusqu'à sa mort, après avoir été nommé inspecteur général le 17 décembre 1868.

La tâche du secrétaire du Conseil est des plus laborieuses, comme on sait : chaque affaire de travaux publics passe par ses mains et reçoit de lui la formule définitive de la décision prise en commun. Maniel apportait au Conseil la force de son libre et clair jugement et de sa grande expérience ; il accomplissait ensuite sa tâche spéciale avec un grand zèle et l'on pourrait dire avec un plaisir vif et constant. Occuper son esprit sans fatiguer sa volonté ; travailler sans porter une responsabilité directe, tel était alors son idéal ; et le soir, sa journée remplie, son esprit

(*) La même année 1853, la Société agricole, scientifique et littéraire des Pyrénées-Orientales avait tenu à honneur de l'inscrire parmi ses membres

détendu, il jouissait sans réserve au sein de sa famille d'un repos qu'il ne craignait plus de voir troubler par quelque accident imprévu.

Maniel parvenu au grade le plus élevé de notre corps, riche de distinctions honorifiques et de fortune se retrouvait ainsi à la place même où jeune aspirant il avait débuté. Position bien favorable pour mesurer d'un regard une carrière de trente années !

L'histoire de Maniel résume, en quelque sorte, celle de la grande industrie à laquelle il s'est consacré. Il entre dans la vie active à la naissance des chemins de fer, grandit avec eux et ne s'en sépare, — sans cependant s'éloigner, — qu'au moment où, la période de création étant fermée, il n'y a plus qu'à laisser au temps le soin de développer les branches et de mûrir les fruits. La génération à laquelle appartenait Maniel restera privilégiée dans l'histoire générale de l'humanité et particulièrement dans celle des travaux publics. Au lendemain des catastrophes retentissantes qui ont mis fin aux grandes guerres de la Révolution française, l'Europe respire un moment. Elle tourne son activité vers les applications de la science : la navigation à vapeur, les chemins de fer, la photographie, le télégraphe électrique, apparaissent presque simultanément ; la planète prise en quelque sorte d'assaut par une armée de travailleurs est subitement enveloppée d'un vivant réseau d'artères qui répandent partout le mouvement, la richesse, la pensée.

Qui nous vantera maintenant les travaux orgueilleux des Romains à côté de l'œuvre de cette poignée d'hommes, — et Maniel est un des plus notables, — qui ont inventé, construit, organisé les chemins de fer ? qui oserait soutenir que ces hommes ont livré leur vie et leur âme à des intérêts matériels ? qui donc a plus qu'eux affranchi, animé le monde ? qui a donné des ailes plus puissantes à la pensée humaine, et à quelle époque put-on répéter avec plus de

vérité que de nos jours cet adage spiritualiste : *mens agitat molem* ?

Hélas ! l'humanité tresse ses couronnes aux conquérants, aux politiques qui font de l'histoire un long tissu d'horreurs, mais elle ignore les noms des bienfaiteurs auxquels elle doit la première invention des arts, de l'agriculture et du commerce : elle glorifie le crime ; elle oublie le service !

La postérité conservera-t-elle les noms des promoteurs de chemins de fer ? Il est permis de l'espérer ; mais quelle douleur les contemporains de Maniel ont-ils dû ressentir en voyant la tempête bouleverser leur œuvre ! Des instruments créés pour le travail et la paix ont été transformés en machines de meurtre ; les routes préparées pour le commerce ont ouvert à la guerre une voie sanglante et les malheurs de nos armes nous ont imposé, à nous dont la mission est d'édifier, le douloureux devoir de renverser et de détruire tant de beaux ouvrages, chefs-d'œuvre de nos devanciers et de nos maîtres.

Pendant la funeste campagne 1870-1871 la délégation du ministère des travaux publics suivit le gouvernement à Tours, à Bordeaux, à Versailles. Dans ces résidences successives on a pu voir autour de M. de Franqueville, directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer, ses collaborateurs ordinaires, inspecteurs généraux, ingénieurs en chef, fonctionnaires supérieurs du ministère, travailler en commun dans quelque salle de lycée ou tout autre cabinet improvisé. Si l'un de ces esprits légers qui jugent les hommes d'après la mise en scène qui les entoure, se rappelant avoir vu Maniel à Vienne dans son grand et solennel cabinet de la place des Minorites l'avait retrouvé réduit à ranger lui-même ses dossiers sur une petite table d'écolier, il aurait peut être souri du contraste ; mais la grave figure de Maniel imposait le respect et l'on se sentait ému en le voyant accomplir ainsi résolument, simplement, sans souci d'une installation précaire, les

seuls devoirs qui lui restassent au milieu de la désorganisation du pays.

Lorsqu'on apportait quelque nouvelle, — trop souvent douloureuse, hélas ! — tous, quittant un moment la plume, se groupaient autour du messager pour mettre en commun leurs espérances et leurs craintes. Dans ces moments Maniel écoutait, parlait peu et, plein d'anxiété patriotique, se replongeait au plus tôt dans quelque travail matériel comme pour chasser l'oppression douloureuse d'un cauchemar.

Tels ont été ses derniers mois. Il souffrait beaucoup de la rigueur exceptionnelle de l'hiver, car il était sujet à des maux de gorge. Lorsqu'il s'alita à Versailles, sa femme et ses enfants étant encore à Bordeaux, il crut d'abord à un simple refroidissement ; mais bientôt le cerveau se prit et cette belle intelligence s'éteignit-presque subitement.

La nouvelle de sa mort pénétra dans Paris investi ; de nombreux amis, — quelques-uns non sans péril, — vinrent se joindre aux amis de Versailles pour lui rendre les derniers devoirs. La cérémonie fut simple et triste : aucun discours ne fut prononcé ; mais la voix lointaine du canon de la guerre civile venait troubler nos cœurs. Cruelle angoisse ! allions-nous donc assister à la dissolution de la patrie ? — Plus d'un, parmi les assistants, rapprochant en esprit l'heureuse carrière de Maniel et les douleurs présentes, se prenaient à penser qu'il s'en était allé au bon moment : il échappait aux infirmités de la vieillesse ; il laissait après lui le souvenir d'un chêne renversé dans sa force un jour d'orage ; il ne survivait ni à lui-même ni à la grandeur de son pays.

Puisse du moins cette triste consolation adoucir la douleur de sa famille, de son frère, de sa femme, de ses trois filles pour lesquelles il était tout et qui s'étaient habituées à ne vivre que pour lui !

A Vienne, dans la Société autrichienne, la mort de Ma-

niel fut l'occasion d'une manifestation touchante par son unanimité : les employés signèrent de toutes parts des adresses à sa veuve, et le président du Conseil de la compagnie, en transmettant ces témoignages sincères, se fit l'interprète de la douleur commune. Une fondation charitable consacrée par madame Maniel à soulager les veuves d'employés suffirait à perpétuer en Autriche le nom de son mari, s'il ne l'avait lui-même irrévocablement associé au sort de la compagnie dont il fut le premier directeur général et le puissant organisateur !

Aujourd'hui, premier anniversaire de sa mort, la triste cérémonie de Versailles s'est renouvelée à Paris sous la voûte de la Madeleine. Une nombreuse assistance entourait cette veuve et ces jeunes filles dont la douleur est aussi vive que le premier jour. Pour nous ses amis, ses élèves, les différences de lieux et de temps impriment un autre caractère à notre deuil. Non ! la France ne périra pas ; elle respire, elle renaît, et si troublé que soit l'avenir, elle le regarde d'un œil plus ferme.

Après des générations nouvelles qui reprendront notre œuvre interrompue, la carrière si pleine et si harmonieuse de Maniel sera justement citée comme un heureux exemple des succès que la Providence réserve quelquefois, en dépit des accidents de la vie, à une intelligence d'élite que règle la volonté et qui se soumet au devoir.

Paris, 23 avril 1872.

N° 3

FREIN A AIR COMPRIMÉ DE G. WESTINGHOUSE
(DE NEW-YORK).

NOTICE

[Par M. MALEZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

I. — INTRODUCTION.

Les espérances conçues dès l'année 1870 aux États-Unis sur l'avenir du frein à air comprimé de M. Westinghouse, — espérances dont nous nous sommes fait l'écho, — paraissent s'être confirmées pleinement durant les deux années qui se sont écoulées depuis lors. A la date du 1^{er} mai 1872 ce frein était employé sur 88 lignes américaines, et dans le courant de la même année il a été introduit en Angleterre. Nous nous proposons de décrire ici le système tel qu'il a été récemment adopté pour le *Richmond Frederiksburg and Potomac Railroad* (*); puis nous emprunterons à l'Engineering (de Londres) quelques renseignements précis sur les premiers résultats constatés en Angleterre. Mais d'abord nous croyons devoir indiquer très-sommairement quel est, à notre connaissance, l'état actuel de la question des freins.

(*) Nous devons à M. John M. Robinson, président de la Compagnie, les principaux éléments de cette notice.

LE FREIN GUÉRIN.

Nous remonterons jusqu'à un rapport publié par les *Annales* en 1857 (1^{er} semestre, p. 129). Ce rapport, adressé au ministre des travaux publics par une commission composée de MM. Piobert, Combes et Couche (rapporteur), rendait compte du *frein automoteur de M. Guérin*. La commission formulait à cette occasion les principes de la matière, les *desiderata* d'un problème que le frein Guérin résolvait mieux qu'aucun de ceux qu'on avait inventés jusqu'alors.

Cette solution, — tous les ingénieurs le savent, — consiste, d'une part, à arrêter la tête du train le plus rapidement possible en fermant le régulateur, enrayant les roues du tender et, au besoin, renversant la vapeur ; — d'autre part, à utiliser la vitesse acquise des wagons et à transmettre le mouvement de refoulement des tampons de choc aux sabots des *freins ordinaires*. Cette transmission ne s'effectue d'ailleurs qu'après un déclanchement produit par un régulateur à force centrifuge (ou autre), et si la vitesse du train atteint 15 kilomètres à l'heure environ. Elle n'empêche conséquemment pas le refoulement du train et les manœuvres de gare.

Le *frein automoteur* avait l'avantage de « supprimer des « intermédiaires d'une vigilance souvent suspecte, les « garde-freins, et un mécanisme sûr, mais lent, la transmission à vis. » La commission louait la « sensibilité » du nouvel appareil ; mais elle faisait remarquer que l'*intensité totale* de la force retardatrice était limitée, et que, sous ce rapport, « il n'y aurait aucun avantage à porter le « nombre des wagons à frein au delà du tiers ou du quart « du nombre total des véhicules, » tandis qu'on pouvait appliquer utilement les *freins ordinaires* à toutes les voitures en multipliant le nombre des agents chargés de la manœuvre.

« Le frein idéal (disait le rapport) est, sans contredit, celui qui remplirait cette triple condition : 1° être à la disposition *immédiate* du mécanicien ; 2° agir sur toutes les roues du train avec tous les degrés d'intensité, et au besoin jusqu'au calage ; 3° réserver la faculté du recul... ». « Il y aurait tout avantage à dépasser, pour le nombre des automoteurs (des wagons pourvus du frein), la proportion du tiers ou du quart. La même pression totale, se répartissant sur un plus grand nombre de sabots, produirait l'arrêt sans caler les roues. Si le calage est si souvent appliqué, malgré ses inconvénients, c'est que le nombre des freins est nécessairement limité quand chacun d'eux exige un garde spécial. Mais dès que leur manœuvre est gratuite, et qu'il s'agit seulement d'une faible dépense d'établissement, celle-ci sera, à coup sûr, largement couverte par l'économie réalisée sur l'entretien des roues. »

Voilà quelques-unes des idées formulées, il y a quinze ans, par les ingénieurs les plus compétents.

Le frein automoteur a été perfectionné ; il l'a été surtout par MM. Lefèvre et Dorré, comme on peut le voir dans un rapport fait à la *commission des réglemens et inventions* par une sous-commission composée de MM. Combes, Couché, Sauvage et Leblou (rapporteur) (*). Cependant il ne fonctionne plus que sur un seul de nos six grands réseaux de chemins de fer.

FREINS DIVERS.

D'autres freins ont été imaginés dans ces dernières années. Nous nous bornerons à rappeler les trois suivants :

1° Le frein *Didier*, proposé en 1865, dans lequel des patins de bois, se substituant aux roues du wagon soulevé,

(*) *Ann.* 1870, 2° semestre, p. 5.

transforment celui-ci en un traîneau que la nature des surfaces frottantes fait adhérer fortement au sol ;

2° L'appareil *Achard*, qui, par un courant électrique, agit mécaniquement sur la tige horizontale ordinaire des freins (*) ;

3° L'enrayage du tender, opéré à l'aide de la vapeur. On avait proposé en 1870 d'étendre ce système à toutes les voitures ; mais les graves difficultés de la transmission ne parurent pas être résolues, pas plus que celle qui consistait à maintenir la vapeur assez chaude pour qu'elle fournisse une pression suffisante.

LA CONTRE-VAPEUR (**).

Du reste, toutes ces inventions ont été éclipsées en France et les nouveaux essais découragés en quelque sorte le jour où l'on a découvert les moyens pratiques d'utiliser la contre-vapeur. D'une part, à quelque vitesse que fussent lancées les machines, la substitution de la vis au levier permit de *changer de marche* rapidement et sans danger ; d'autre part, l'injection d'un mélange de vapeur et d'eau chaude dans les cylindres permit d'employer la contre-vapeur, non plus seulement pendant quelques minutes, mais durant un temps indéfini, et la contre-vapeur reçut dès lors cette application, toute nouvelle et si féconde, de modérer la vitesse des trains sur les pentes supérieures à 8 ou 10 millièmes. La roue à vis et la boîte d'injection, avec ses deux petites manivelles de cuivre, fonctionnent sur *toutes* les locomotives du chemin de fer de Lyon, par exemple. On sait avec quelle aisance le mécanicien maîtrise aujourd'hui

(*) L'appareil Prudhomme, dont il a été rendu compte par M. Eug. de Fourcy dans un rapport inséré aux *Annales* (1862, 2^e semestre, p. 165), n'est qu'une communication électrique établie entre les voitures d'un train.

(**) *Ann.*, 1869, 1^{er} sem., p. 215 (notice de M. Ricour).

ces grandes machines d'aspect si formidable : il n'y emploie guère plus de force musculaire que l'artiste installé devant le clavier d'un buffet d'orgues. Depuis plus de quatre ans que la contre-vapeur fonctionne régulièrement sur le réseau que nous venons de citer, elle n'a donné lieu à aucun mécompte de quelque gravité. L'accident, qui n'est pourtant pas rare, d'une rupture de tube bouilleur ne s'est encore produit nulle part en un moment où il paralysait tout l'effet de la contre-vapeur. Rien de plus méthodiquement réglé que l'emploi de ce frein sur les pentes. Étant donné l'inclinaison de la voie, la vitesse à laquelle on veut marcher et le *type* de la machine, des tableaux de calculs tout faits indiquent le nombre de tonnes que la machine peut retenir derrière elle. Les mêmes tableaux font connaître ce que peut retenir chaque wagon à frein, suivant que le frein est à *bras* ou à *vis* et que le wagon est lesté ou vide. Le service de la traction peut donc procéder avec certitude à la formation des trains. On applique les freins à bras avant de s'engager sur la pente; les garde-freins sont là pour manœuvrer les freins à vis au moment convenable; et le poids de la locomotive, transformée en appareil de ralentissement, se trouve utilisé presque jusqu'aux limites de son adhérence sur les rails, tandis qu'une partie notable du travail mécanique produit par la gravité qui l'entraîne se convertit en chaleur recueillie et emmagasinée dans la chaudière (*).

Mais tout cela est bien connu, et nous nous attardons à un préambule qui n'apprendra rien à personne. La conclusion qui en ressort serait que le besoin d'un nouveau système de freins ne se fait nullement sentir. Mais on a trop médité de l'infatuation prétendue de la France, pour que nous puissions paraître indifférents à une nouveauté qui fait assez grand bruit au dehors. Voyons donc en quoi consiste le frein à air comprimé de M. Westinghouse.

(*) Voir dans la notice déjà citée, p. 250, le compte rendu d'expériences constatant l'économie de combustible.

III. — DESCRIPTION.

ENSEMBLE DES APPAREILS [Pl. 1].

La locomotive porte une pompe à comprimer l'air et un réservoir dans lequel l'air comprimé s'accumule. La pompe consiste en deux cylindres verticaux, un cylindre à vapeur A et un cylindre à air B, dont les pistons sont calés sur une même tige qui traverse dans l'intervalle une boîte à étoupes. Ces cylindres, de 0^m,18 de diamètre intérieur et 0^m,50 environ de hauteur totale, sont fixés par des boulons sur le côté droit de la machine, entre les deux roues motrices. Le réservoir est un cylindre horizontal en tôle D, de 0^m,90 environ de longueur et 0^m,60 de diamètre; il est disposé transversalement et caché par la plaque sur laquelle se tient le mécanicien.

Un tube partant de ce réservoir se relève d'abord pour arriver, muni d'un robinet à trois ouvertures, à portée du mécanicien; puis il redescend sous le tender et se développe en une ou deux files de tubes d'un bout à l'autre du train. Ces tubes 1, 2, ont 20^{mm} de diamètre et sont en fer sous les wagons; ils se raccordent d'un wagon à l'autre par des tuyaux de caoutchouc de 25^{mm} dont nous indiquerons plus loin le mode d'assemblage. Sous chaque wagon est un cylindre horizontal E, de 0^m,20 de diamètre, dans lequel un piston peut se déplacer de 0^m,30; un tube d'embranchement 30 amène l'air comprimé d'un côté du piston; la face opposée de celui-ci est munie d'une tige qui traverse la base du cylindre et transmet son mouvement aux sabots des freins comme s'ils étaient mus par le mécanisme ordinaire. Dès que le mécanicien, par un tour de robinet, intercepte la communication des tubes avec le réservoir et fait évacuer l'air comprimé des tubes, un ressort à boudin

détache automatiquement les sabots des roues et repousse dans son cylindre la tige motrice de chaque wagon.

Tout cela est simple en principe. Mais pour en venir à l'application, il a fallu résoudre plusieurs petits problèmes de mécanique pratique. Ces solutions de détail mériteraient, à elles seules, de fixer l'attention; aussi ne craindrons-nous pas de nous y appesantir un peu. Nous parlerons successivement de l'alimentation du cylindre à vapeur de la pompe, de l'entrée et de la sortie de l'air dans le cylindre à air, de l'assemblage mobile des tuyaux de caoutchouc et de la transmission du mouvement aux sabots des freins.

ALIMENTATION AUTOMATIQUE DU CYLINDRE A VAPEUR [Pl. 3].

Le cylindre à vapeur présente extérieurement deux renflements verticaux, deux tubes qui lui sont accolés, et dont l'un reçoit vers le milieu de sa hauteur la vapeur arrivant de la chaudière, tandis que l'autre reçoit celle qui sort du cylindre. Ce canal de sortie, qu'un tuyau relie avec la cheminée de la locomotive, ne présente rien de particulier.

L'autre cavité cylindrique est la boîte à vapeur de l'appareil; elle contient, en guise de tiroir, deux soupapes ou plutôt deux robinets à boisseau, l'un en haut et l'autre en bas, réunis par une tige F. Cette tige, se prolongeant au-dessus du robinet supérieur, traverse dans de l'étaupe un couvercle fixe et présente enfin à son extrémité supérieure un carré qui permet de lui faire décrire, ainsi qu'aux deux robinets, un petit angle de rotation. La même tige se prolonge également par le bas, et elle est maintenue à ses deux extrémités par des vis, de telle façon que les soupapes, tout en intercèptant hermétiquement le passage de la vapeur, tournent facilement sur leurs sièges de métal légèrement coniques.

Plusieurs ouvertures horizontales sont pratiquées dans

ces sièges et aboutissent à deux cavités annulaires qui communiquent avec l'intérieur du cylindre, celle du haut sous le couvercle, celle du bas au-dessus de la base. Ajoutons que des rainures superficielles en nombre double, pratiquées dans la soupape, font communiquer chaque ouverture horizontale du siège tantôt avec le dessus de la soupape, tantôt avec le dessous, suivant que la pièce mobile est tournée de façon ou d'autre. Quand la soupape supérieure est disposée de façon à conduire au-dessus d'elle la vapeur expulsée du cylindre par le piston qui remonte, la soupape du bas présente aux ouvertures de son siège ses rainures supérieures, par lesquelles la vapeur afflue ; et réciproquement. Mais comment rattacher le mouvement de rotation de la pièce F à la course du piston P dans le cylindre A ?

A $0^m,12$ au-dessus de ce cylindre il y en a un autre H horizontalement posé, un tout petit cylindre de $0^m,10$ de longueur, contenant un piston *p* que la vapeur chasse alternativement à droite et à gauche. Ce piston a une tige J qui traverse un de ses fonds verticaux et se termine par un anneau analogue à celui d'une clef. Dans cet anneau est logé le bouton d'une manivelle horizontale, fixée par son autre extrémité sur le carré de la tige F. Le piston *p* n'ayant besoin d'avoir qu'une course très-petite, on lui donne une épaisseur égale à la moitié environ de cette course, ce qui suffit pour prévenir tout mouvement de déhanchement. La question revient donc à faire arriver la vapeur en temps utile aux deux extrémités du petit cylindre auxiliaire.

Dans ce but, deux cavités cylindriques ont été ménagées, savoir : l'une K à la partie inférieure de la masse de fonte qui sépare le petit cylindre du grand, l'autre L à la partie supérieure du couvercle épais de celui-ci ; ces deux cavités sont l'une au-dessus de l'autre, suivant l'axe prolongé de la grande tige C qui relie le piston du cylindre à vapeur et celui du cylindre à air. Dans chacune d'elles peut se mouvoir verticalement une soupape, celle du haut M s'as-

seyant de bas en haut, celle du bas N s'asseyant de haut en bas : la vapeur, qui arrive entre les deux, tend à les asseoir l'une et l'autre; elle peut d'ailleurs passer par un vide annulaire qui sépare les deux soupapes du pourtour de la cavité cylindrique. A la soupape inférieure est adapté inférieurement un manchon qui traverse à frottement le surplus du couvercle du grand cylindre, et même pénètre dans ce cylindre de la petite quantité dont la soupape doit pouvoir se soulever. Du siège de la soupape supérieure part un petit conduit *o* qui aboutit à l'une des extrémités du petit cylindre auxiliaire; du siège de la soupape inférieure part un conduit semblable *o'* qui aboutit à l'autre extrémité du cylindre. Du milieu de celui-ci part un conduit d'évacuation unique Q par lequel la vapeur s'en va rejoindre celle qui sort du grand cylindre. Dans cette situation, il est clair que si l'on peut tenir abaissée la soupape supérieure, tandis que l'autre est fermée, puis soulever celle-ci en fermant l'autre, on aura deux périodes pendant lesquelles la vapeur se portera successivement à gauche et à droite du piston *p*. Le problème ainsi transformé se résout au moyen d'une tige R qui traverse à frottement les deux soupapes et pénètre librement dans une cavité cylindrique ménagée, comme une gaine, dans l'axe de la grosse tige C. Cette tige R se termine par deux boutons S et T; une plaque U, fixée sur le piston P après qu'on a eu introduit la tige R, empêcherait le bouton T de ressortir. Le jeu de l'appareil est dès lors facile à comprendre. Quand le piston P approche du bas de sa course, la plaque U, accrochant le bouton T, fait descendre la tige R et avec elle la soupape supérieure M; l'orifice *o* est démasqué, et la vapeur se porte à gauche du piston *p*. Par sa tige horizontale J, ce piston entraîne la manivelle qui commande la tige-tiroir F; la vapeur alors arrive sous le piston P. Il remonte tandis que la tige R et les deux soupapes demeurent immobiles. Quand il est près d'atteindre le fond supé-

rieur, la plaque U heurte le bas du manchon, le soulève ainsi que la soupape N; et la tige R, entraînée par le frottement, entraîne à son tour la soupape M, qui se ferme. Dès lors, c'est du côté droit du piston p que la vapeur se porte.

CYLINDRE A AIR.

Le jeu du cylindre à air est clairement indiqué par la coupe excentrique (*fig. 2*) de la Pl. 2. Il y a, là encore, deux conduits cylindriques X et X' accolés au grand cylindre et communiquant d'abord entre eux, tant au-dessus qu'au-dessous. De plus, l'un d'eux est relié par une ouverture avec le haut du cylindre et l'autre avec le bas; chacune de ces deux ouvertures est comprise entre deux soupapes coniques indépendantes, qui dansent librement sur leurs sièges respectifs. Quand le piston à air P', parvenu en haut de sa course, commence à redescendre, l'air extérieur, qui arrive par la droite après avoir été tamisé par une pomme d'arrosoir, soulève la soupape inférieure Y du groupe supérieur et pénètre dans le cylindre; pendant ce temps-là l'air comprimé par le piston tient fermée la soupape inférieure Z du groupe inférieur, mais soulève la soupape supérieure Y' du même groupe, maintient sur son siège la soupape supérieure Z' du groupe supérieur et ne peut que s'écouler par le conduit horizontal de gauche, par le tuyau qui l'emmène au réservoir. Un effet analogue se produit quand le piston P' arrive au bas de sa course.

ASSEMBLAGE DES TUYAUX DE CAOUTCHOUC [Pl. 3].

Aux deux extrémités des tuyaux à réunir se trouvent vissées deux pièces creuses β , γ , dont l'une pénètre dans l'autre sur 0^m,05 environ de longueur. Deux lames élas-

tiques ϵ , fixées par une de leurs extrémités sur le tuyau femelle, s'abattent sur l'autre et le retiennent contre un mouvement de déplacement longitudinal. La saillie annulaire à laquelle les deux lames s'accrochent ainsi présente d'ailleurs deux échancrures par lesquelles, grâce à un petit mouvement de rotation préalable, on peut faire glisser les lames et séparer les deux pièces : c'est le mode d'attache des baïonnettes, avec cette différence que si la traction modérée due aux lames élastiques dont les tubes de caoutchouc sont munis était accidentellement remplacée par un mouvement de traction un peu violent, les deux lames lâcheraient le bout mâle, et les deux pièces de l'assemblage se sépareraient sans rupture.

Passons à l'intérieur du joint.

On remarque d'abord que le bout mâle présente vers son extrémité une cavité extérieure, annulaire, dans laquelle se loge une bandelette de cuir ou de caoutchouc. Le fond de cette cavité est percé de plusieurs petits trous par lesquels la pression de l'air comprimé à l'intérieur peut s'exercer sur le caoutchouc et l'appliquer contre une saillie légèrement convexe du bout femelle. L'étanchéité du joint se trouve ainsi assurée.

Mais cela ne suffit pas. Il est encore indispensable qu'en cas de séparation des deux parties de l'assemblage, l'air comprimé contenu dans la file des tubes soit d'amont, soit d'aval, ne puisse s'en échapper. A cet effet, chacune des deux pièces présente, un peu en deçà de l'emboîtement, un élargissement m dans lequel peut jouer une soupape conique ζ , garnie de caoutchouc, et dont le mouvement, à peu près horizontal, est guidé d'avant et d'arrière par deux petites plaques croisées à angle droit. Sous l'effet de la pression intérieure, les deux soupapes tendent à se porter l'une vers l'autre, à s'appliquer sur leurs sièges respectifs et à intercepter doublement la communication. Mais elles sont munies l'une et l'autre d'un appendice, d'une tige cen-

trale, du côté opposé au wagon; et les deux tiges, butant l'une contre l'autre vers le centre de l'emboîtement, maintiennent les soupapes à une distance convenable de leurs sièges. Le mouvement de recul de chacune d'elles est d'ailleurs limité par un redan dont les plaques sont munies. Si les deux pièces de l'assemblage se séparent, les soupapes se ferment à l'instant.

MODE D'ACTION DE L'AIR COMPRIMÉ SUR LES FREINS [Pl. 1 et 3].

Chaque wagon, avons-nous dit, est pourvu d'un cylindre. Ce cylindre E est placé dans l'axe et boulonné sous un madrier, à la partie inférieure de la caisse du wagon. Un cuir recourbé d'équerre et maintenu par un anneau métallique du côté où arrive l'air comprimé assure l'étanchéité du piston. De l'autre côté la tige V, prolongée extérieurement jusqu'à une certaine distance, s'engage alors dans une douille ou manche évasée X, où elle peut pousser une autre tige V' beaucoup plus longue, qui agit par une articulation sur l'angle intermédiaire d'un levier coudé ou *mouvement de sonnette* : l'angle extérieur porte un bouton de manivelle S qui agit à son tour sur le fond d'une coulisse, en tête de la tige ordinaire de manœuvre des freins Z. Grâce à cette coulisse, employée (comme dans le frein Guérin) au lieu d'une simple articulation, les freins continuent à pouvoir être manœuvrés à bras, exactement comme si l'appareil à air comprimé n'existait pas.

III. — RÉSULTATS CONSTATÉS EN AMÉRIQUE.

Le mécanicien, agissant sur le robinet qu'il a sous sa main droite, peut serrer et caler simultanément toutes les roues du tender et des wagons. Il le fait plus ou moins vite et avec plus ou moins d'énergie, suivant qu'il ouvre plus ou moins complètement la prise d'air. S'agit-il de

courts trajets et de stations fréquentes? On peut, tout en réduisant la durée du ralentissement ordinaire, parcourir plus rapidement l'espace intermédiaire. S'agit-il de longs trajets? La certitude d'arrêter, au besoin, en très-peu de temps et d'espace, permet d'affronter avec sécurité le risque des grandes vitesses. — Mais la pratique a-t-elle confirmé ces prévisions théoriques?

Dès le 18 septembre 1869, une expérience fut faite sur le *Pennsylvania Central Railroad*, dans une courbe très-connue sous le nom du *coude en fer à cheval*. Le train, composé de 6 wagons, descendant une pente de 18^m par mètre à la vitesse de 48 kilomètres à l'heure, fut arrêté dans un espace de 128 mètres, équivalent à 7 longueurs de wagon.

Le 26 novembre 1869, sur le *Chicago and North-Western Railway* (la ligne que nous avons suivie en 1870 pour aller de Chicago à Omaha), un train de 6 wagons, marchant à la vitesse de 51 kilomètres, fut arrêté en 19 secondes, sur un espace équivalent à 7 longueurs de wagon. Une autre fois, marchant à 64 kilomètres environ, il fut arrêté en 18 secondes et sur un espace de 115 mètres.

Le 12 mai 1871, sur le *Kansas Pacific*, un train marchant à 72 kilomètres fut arrêté avant que le train eût parcouru 80 mètres.

Sur le *Pennsylvania Railroad*, un train, marchant à cette même vitesse de 72 kilomètres, et soudainement averti par le drapeau-signal, fut arrêté sur un espace correspondant à 9 longueurs de wagon, à 25 mètres seulement d'un train qui stationnait sur la voie.

Sur le *Pittsburg Cincinnati and Saint-Louis Railroad*, un train de plaisir, descendant une pente de 11^m dans une courbe, à la vitesse de 40 kilomètres, fut arrêté après un parcours de 60 mètres, à 15 mètres seulement de distance d'un train de marchandises masqué par un tunnel.

Les cinq faits que nous venons de citer sont empruntés à la *Gazette des chemins de fer* de Chicago. Le frein à

air comprimé fonctionne, dit-on, aujourd'hui sur plus de 50.000 kilomètres de chemin de fer ; c'est par milliers que l'on compte les wagons auxquels il a été adapté. L'adoption du système par un directeur de compagnie dont nous avons pu personnellement apprécier la sûreté de jugement est un fait qui le recommande tout spécialement à nos yeux.

IV. — PREMIÈRES APPLICATIONS FAITES EN ANGLETERRE.

Nous commencerons par relever, dans les renseignements fournis par l'*Engineering*, quelques détails supplémentaires sur la construction et le fonctionnement des appareils.

Le conduit par lequel l'air extérieur arrive reçoit un égouttement permanent d'huile que l'air entraîne avec lui dans le cylindre. On ne peut, paraît-il, employer ici que de l'huile minérale, car à la haute température produite par la compression de l'air, les huiles végétales ou animales s'altèrent.

Dans le cas où des fuites d'air anormales exigeraient une alimentation plus abondante, la pompe peut donner sans danger 100 coups doubles à la minute. Mais ordinairement une vitesse trois fois moindre suffit et, pratiquement, elle se règle d'elle-même : presque toujours on laisse ouvert le tuyau qui fait communiquer le cylindre à vapeur avec la chaudière de la locomotive. La pompe ne cesse de marcher que lorsque la pression de l'air dans le réservoir tient fermée une soupape logée dans le tube de communication ; cette pompe fonctionne alors avec une sorte de lenteur intelligente, simplement pour parer aux fuites qui peuvent se produire, et il ne s'échappe que fort peu d'air par la *soupape de sûreté* du réservoir. Au moment où l'on fait jouer les freins, la pression diminuant dans le réservoir, le piston prend une vitesse plus grande, qui se réduit graduellement.

Outre le robinet placé sous la main du mécanicien, il y en a un autre placé sous la plaque antérieure du tender et permettant de n'envoyer l'air comprimé que dans une des deux files de tubes si quelque avarie mettait l'autre hors de service. D'ailleurs, avec cette double file, on peut tourner les wagons bout pour bout, ce qu'on n'aurait pu faire, avec une file unique placée au centre, sans gêner l'attelage des wagons.

Le temps nécessaire pour assembler les deux tuyaux de caoutchouc entre deux wagons consécutifs n'est, dit-on, que de quelques secondes.

Dans les cylindres placés sous les wagons, le fond opposé à celui par lequel arrive l'air comprimé est percé d'une petite ouverture qui permet à l'air naturel de s'échapper d'abord, puis de rentrer. Un petit ajutage extérieur, recourbé vers le bas, empêche la poussière de pénétrer dans le cylindre.

Sous chacun des wagons munis du frein, au *Caledonian Railway*, deux tubes d'embranchement, partant respectivement des deux files de tubes, aboutissent à une boîte percée de trois ouvertures. L'une de celles-ci est le point de départ du tube unique qui aboutit au cylindre. Entre les deux autres peut se mouvoir horizontalement une soupape à deux têtes qui, si l'air comprimé venait à manquer d'un côté, fermerait automatiquement l'ouverture correspondante, tandis que le cylindre continuerait d'être desservi par l'autre file de tuyaux.

La pression de l'air dans le réservoir est généralement de 4^{atm},08 à 4,76 ; mais celle dont on a besoin dans les cylindres des wagons n'est que de 0^{atm},68 à 2^{atm},04. En cas d'accident arrivant à la pompe à air, le réservoir contient une provision suffisante pour opérer deux arrêts. M. Westinghouse propose d'ailleurs d'avoir, *dans certains cas*, un réservoir auxiliaire adapté au dernier véhicule, de telle sorte que, le train se rompant en deux parties, le garde-frein du tronçon détaché puisse encore faire jouer les freins.

Le 21 mars 1872, des expériences ont été faites sur le Caledonian Railway entre Glasgow et Wemiss Bay. Le train se composait de douze wagons et de deux fourgons à bagages, tous pourvus, ainsi que le tender, du frein à air comprimé, de sorte que les roues ainsi enrayées portaient environ les $\frac{1}{3}$ du poids total du train. Les résultats constatés sont inscrits dans le tableau suivant :

| INCLINAISON de la voie. | VITESSE DU TRAIN au moment de l'application des freins. — (En kilom. à l'heure.) | TEMPS employé à arrêter le train. — (En secondes.) | ESPACE parcouru après l'application des freins. — (En mètres.) |
|--------------------------------------|---|--|---|
| | kilomètres. | secondes. | mètres. |
| De niveau | 80 | 19 | 249 |
| Rampe de 2 ^m .5 | 64 | 17 | 171 |
| Pente de 5 millim. | 94 | 23 | 251 |
| Pente de 8 millim. | 80 | 20 | 244 |
| Pente de 15 millim. | 97 | 23 | 280 |

D'autres expériences faites sur le *London and North-Western Railway*, entre Stafford et Crewe, ont donné les résultats suivants :

| | kilomètres. | secondes. | mètres. |
|----------------------------|-------------|-----------|---------|
| De niveau | 80 | 18 | 273 |
| Pente | 80 | 18 | 318 |
| Idem. | 87 | 18 | 273 |
| De niveau | 80 | 18 | 237 |
| Rampe | 83 | 16 | 275 |
| Pente de 8 millim. | 83 | 22 | 318 |
| Pente de 4 millim. | 97 | 28 | 400 |

Le système a été plus récemment adapté à tout un train du *Metropolitan District Railway*, où l'on assure qu'il fonctionne d'une façon très-satisfaisante. A chacune des stations si rapprochées de cette ligne encombrée de voyageurs, le mécanicien n'utilisant que partiellement la puissance des freins, l'espace que le train parcourt à partir du moment où le ralentissement commence, n'est que la moitié de sa longueur.

V. — CONCLUSIONS.

En résumé, voici un nouveau frein qui remplit la triple condition posée en 1857 comme un idéal par la commission du frein Guérin : 1° il est à la disposition *immédiate* du mécanicien ; 2° il agit sur toutes les roues du train avec tous les degrés d'intensité et au besoin jusqu'au calage ; 3° il réserve la faculté du recul. La manœuvre se réduit à tourner un robinet *unique*, que le mécanicien a sous sa main ; elle est indépendante du mouvement de la locomotive et notamment de l'éventualité de la rupture d'un tube bouilleur. Le serrage plus ou moins grand des freins (nous ne disons pas l'arrêt du train) est instantané. Le ralentissement est graduel et sans secousses, quand même les tampons ne seraient pas tous amenés au contact. Appliqué à toutes les roues, l'enrayage réduit à un minimum l'usure des jantes et des rails, ainsi que la commotion éventuellement infligée aux voyageurs. L'économie qu'on réalise ainsi sur les frais d'entretien répond, en partie du moins, à la seule objection que soulève peut-être encore l'application du système, à savoir la dépense d'établissement.

Ce système d'ailleurs fonctionne depuis trois ans, et sur une très-vaste échelle, aux États-Unis. Les premiers résultats constatés en Angleterre permettent de supposer que, malgré la complication résultant de la moindre longueur des wagons européens, le frein à air comprimé pourra leur être appliqué avantageusement. Se recommandant à ce double titre d'une conception rationnelle et déjà sanctionnée par la pratique, l'invention de M. Westinghouse nous paraît digne d'une très-sérieuse attention.

Paris, 1^{er} janvier 1873.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

CHRONIQUE.

Janvier 1873.

N° 4

PRODUIT PAR KILOMÈTRE DES EMBRANCHEMENTS DE CHEMINS DE FER
RENTRANT DANS LA CATÉGORIE DES CHEMINS D'INTÉRÊT LOCAL.

NOTE

Par M. J. MICHEL, ingénieur des ponts et chaussées.

Dans un travail inséré dans les *Annales des ponts et chaussées* (1868, 1^{re} sem., p. 145), j'ai donné une formule à l'aide de laquelle on peut calculer approximativement de la manière la plus sûre et la plus rapide le trafic probable d'un chemin de fer d'intérêt local. Mes recherches ont été basées sur le mouvement de voyageurs et de tonnes de marchandises dans les différentes stations de nos chemins de fer en France. En comparant les chiffres donnés par les comptes rendus des compagnies à celui de la population de la station elle-même, j'ai reconnu un rapport assez constant pour une région donnée. Dès lors, ce rap-

port peut servir de base aux évaluations du trafic provenant des centres de population qui seront desservis par une ligne nouvelle.

Pour avoir le trafic probable, on prendra les chiffres de la population de chacune des stations projetées sur l'embranchement (non compris bien entendu la station de raccordement avec la ligne principale); on multipliera chacun de ces chiffres par la distance de la station à la ligne principale, et la somme sera affectée du coefficient déterminé par le rapport dont je viens de parler entre la population d'une ville et le mouvement auquel elle donne lieu. On obtiendra ainsi le trafic probable de l'embranchement. En divisant le résultat par la longueur de l'embranchement, on aura le trafic par kilomètre. Il faudra enfin appliquer le prix des tarifs par kilomètre pour les voyageurs et les marchandises, si l'on veut connaître le produit en argent ou la recette par kilomètre.

J'ai supposé, dans mon mémoire de 1868, que les tarifs seraient généralement à peu près les mêmes que la moyenne générale sur les grandes lignes. J'ai admis que les concurrences des voies de terre forceraient presque toujours les compagnies à ne pas profiter de la latitude, qui leur est laissée, de faire payer le plein des tarifs.

Ces appréciations ont été contestées : quelques personnes ont pensé que les services rendus par des chemins de fer, dans des contrées où il n'y en a pas, seraient suffisants pour motiver l'application du tarif de 0^f,12 par tonne pour les marchandises et 0^f,08 par voyageur. Il en résulterait ainsi une augmentation notable par rapport à l'évaluation basée sur un tarif de 0^f,061 par kilomètre pour les marchandises et de 0^f,05 pour les voyageurs, tarif que je considérais comme le plus probable.

En principe je ne puis contester le raisonnement; mais je crois que pour les tarifs, aussi bien que pour le mouvement proprement dit de chaque station, l'expérience est

un guide plus sûr que le raisonnement. J'ai donc relevé depuis plusieurs années le produit kilométrique de quelques embranchements pour lesquels j'ai pu me procurer des renseignements authentiques. J'ai calculé, pour chacun d'eux, ce que j'appellerai la recette théorique, d'après les bases établies dans mon mémoire sur le trafic probable des chemins de fer d'intérêt local, et je l'ai comparée avec les recettes réelles, obtenues sur ces embranchements, depuis leur ouverture jusqu'en 1871.

Le tableau suivant donne les résultats auxquels je suis arrivé. Au bout de cinq ans d'exploitation, les chemins de fer d'Alsace présentent deux lignes dont le produit est inférieur de 1.600 francs par kilomètre à la recette théorique; deux autres dont le produit est supérieur de 500 à 1.200 francs. Mais ces chemins sont ceux de Niderbronn et de Remiremont, dont les usines bien connues motivent des transports exceptionnels.

Quant à la ligne de Schlestadt à Sainte-Marie, ses recettes restent beaucoup au-dessous de la recette théorique; sans doute parce que le mouvement naturel des marchandises a lieu dans la direction de Saint-Dié, et non dans la direction de Schlestadt. On ne va pas impunément à l'encontre du courant des relations commerciales.

Sur le réseau de la Méditerranée, tous les embranchements donnent des produits inférieurs à la recette théorique, à l'exception de celui de Champagnole. On sait que des forges sont la seule industrie de cette petite ville.

Enfin les embranchements de la compagnie du Midi, au bout de cinq et six ans (et même neuf ans pour le chemin de Saint-Simon à Foix) sont encore au-dessous du produit théorique, à l'exception du chemin de Langon à Bajas, où les vastes forêts des Landes amènent un trafic exceptionnel. La recette théorique est dépassée de 400 francs par kilomètre.

Résultats annuels de l'exploitation de divers embranchements de 1865 à 1871.

| Nombres d'ordre. | DÉSIGNATION de l'embranchement. | DATE de l'ouverture. | LONGBEUR L | POPULATION des stations P | CORRÉLIENT de la région K | POSITION du centre de gravité G | PRODUIT PAR PROBLÈME | RECEPTE THÉORIQUE par kilomètre. | RECEPTE RÉELLE PAR KILOMÈTRE. | | | | | | OBSERVATIONS. | |
|------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|
| | | | | | | | | | 1865. | 1866. | 1867. | 1868. | 1869. | 1870. | | 1871. |
| 1 | Strasbourg à Barr. | 1864 | 55 | 17,500 | 1,00 | 2/3 | 0,66 | francs. 11.000 | francs. 7.967 | francs. 8.333 | francs. 8.865 | francs. 9.907 | francs. 9.970 | francs. 9.970 | francs. 9.970 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 2 | Lunéville à Saint-Dié. | 1861 | 50 | 19,500 | 1,00 | 4/5 | 0,80 | francs. 15.000 | francs. 10.447 | francs. 11.838 | francs. 12.066 | francs. 12.066 | francs. 12.421 | francs. 13.973 | francs. 13.973 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 3 | Épinal à Remiremont. | 1855 | 26 | 11,000 | 1,00 | 4/5 | 0,80 | francs. 8.800 | francs. 7.462 | francs. 8.400 | francs. 8.283 | francs. 9.190 | francs. 9.996 | francs. 9.996 | francs. 9.996 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 4 | Haguenau à Niederbronn. | 1864 | 21 | 9,100 | 1,00 | 5/6 | 0,83 | francs. 7.000 | francs. 6.528 | francs. 7.316 | francs. 7.043 | francs. 8.050 | francs. 8.138 | francs. 8.138 | francs. 8.138 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 5 | Schlestadt à Sainte-Marie. | 1866 | 22 | 18,000 | 1,70 | 4/5 | 0,80 | francs. 14.850 | francs. 5.385 | francs. 6.236 | francs. 6.110 | francs. 7.003 | francs. 7.989 | francs. 7.989 | francs. 7.989 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 6 | Andelat à Champagnole. | 1867 | 14 | 3,500 | 1,00 | 19/20 | 0,95 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 7 | Saint-Just à Montbrison. | 1868 | 21 | 12,000 | 1,00 | 3/4 | 0,75 | francs. 9.000 | francs. 7.210 | francs. 7.733 | francs. 8.713 | francs. 9.713 | francs. 9.713 | francs. 9.713 | francs. 9.713 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 8 | Saint-Étienne au Puy. | 1869 | 56 | 49,700 | 0,75 | 3/5 | 0,45 | francs. 22.865 | francs. 14.950 | francs. 17.103 | francs. 18.410 | francs. 18.410 | francs. 18.410 | francs. 18.410 | francs. 18.410 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 9 | Clermont à Thiers. | 1869 | 45 | 25,500 | 0,75 | 3/4 | 0,55 | francs. 13.800 | francs. 6.222 | francs. 6.861 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 10 | Annoy à Ais. | 1866 | 40 | 20,000 | 0,75 | 3/4 | 0,55 | francs. 11.000 | francs. 6.222 | francs. 6.861 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 11 | Avignon à Cavaillon. | 1868 | 33 | 22,000 | 0,75 | 3/4 | 0,55 | francs. 12.100 | francs. 6.222 | francs. 6.861 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | francs. 7.500 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 12 | Luron à Crest. | 1871 | 18 | 7,000 | 0,75 | 11/12 | 0,68 | francs. 4.760 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | francs. 3.325 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 13 | Torcy à Bagneres. | 1862 | 22 | 11,000 | 0,75 | 10/11 | 0,68 | francs. 7.300 | francs. 6.000 | francs. 6.000 | francs. 6.000 | francs. 6.000 | francs. 6.000 | francs. 6.000 | francs. 6.000 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 14 | Saint-Simon à Foix. | 1862 | 71 | 30,000 | 0,75 | 3/5 | 0,45 | francs. 13.500 | francs. 9.770 | francs. 11.000 | francs. 11.750 | francs. 11.750 | francs. 11.750 | francs. 11.750 | francs. 11.750 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 15 | Agen à Auch. | 1867 | 85 | 28,400 | 0,75 | 2/3 | 0,50 | francs. 14.200 | francs. 7.890 | francs. 8.650 | francs. 9.400 | francs. 9.400 | francs. 9.400 | francs. 9.400 | francs. 9.400 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 16 | Castelnaudary à Castres. | 1866 | 74 | 32,000 | 0,75 | 2/3 | 0,50 | francs. 16.000 | francs. 10.000 | francs. 11.300 | francs. 11.300 | francs. 11.300 | francs. 11.300 | francs. 11.300 | francs. 11.300 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 17 | Langon à Béjat. | 1866 | 20 | 5,400 | 1,00 | 9/10 | 0,90 | francs. 4.860 | francs. 4.890 | francs. 4.800 | francs. 5.130 | francs. 5.130 | francs. 5.130 | francs. 5.130 | francs. 5.130 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |
| 18 | Perpignan à Port-Vendres. | 1867 | 30 | 11,000 | 1,00 | 2/3 | 0,66 | francs. 7.300 | francs. 5.300 | francs. 6.240 | francs. 6.130 | francs. 6.130 | francs. 6.130 | francs. 6.130 | francs. 6.130 | Région de l'Est - Circuit de la rive gauche des cana- les peuplés et très peuplés. K. = 1. |

Ces résultats me semblent de nature à imposer une grande réserve toutes les fois qu'on serait tenté de compter sur l'application de tarifs élevés pour le produit d'un chemin de fer d'intérêt local.

Le tableau ci-dessus montre en effet que, sauf dans des circonstances exceptionnelles dont l'influence est facile à apprécier, la recette réelle des embranchements, après cinq et même neuf ans d'exploitation, est encore au-dessous de la recette calculée d'après la formule en appliquant les tarifs kilométriques moyens appliqués sur les grandes lignes.

Si un chemin de fer est tracé dans la meilleure direction au point de vue commercial, s'il a une longueur suffisante et s'il n'a pas à craindre une concurrence sérieuse, le tarif des marchandises pourrait à la rigueur être porté à 0^f,10 par tonne et par kilomètre; sinon il faut s'en tenir à l'hypothèse des tarifs peu élevés pour ne s'exposer à aucun mécompte. C'est la conséquence à tirer de ces relevés, et c'est pour ce motif que j'ai cru devoir les faire connaître aux lecteurs des *Annales des ponts et chaussées*.

Lyon, le 31 janvier 1873.

N° 5

BIBLIOGRAPHIE.

OUVRAGES FRANÇAIS.

DELAMBRE. — Emploi militaire des chemins de fer. Entretien fait à la Réunion des officiers, le 18 juin 1872 ; par M. Delambre, capitaine du génie. In-12, 43 p. Paris. imp. Carion; à la Réunion des officiers. 75 c.

COVINO (A.)—Guide au tunnel du mont Cenis. De Turin à Chambéry, ou les vallées de la Dora Riparia et de l'Arc, et le tunnel des Alpes Cottienues, suivi de la continuation du voyage jusqu'à Paris, Lyon et Genève. Quatrième édition augmentée, in-16, pag. 218 con 50 incisioni e 5 carte. Torino, presso Luigi Beuf. — L. 3, 50.

COVINO (A.) — De Turin à Chambéry, ou les vallées de la Dora Riparia et de l'Arc, et le tunnel des Alpes Cottienues; traduction de Noemi Gachet. Quatrième édition, in-8, pag. 190. Torino, Luigi Beuf, editore. — L. 3, 50.

ALPHAND. — Les Promenades de Paris. Bois de Boulogne et de Vincennes. Parcs, squares, boulevards, par A. Alphand, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur de la voie publique et des promenades de la ville de Paris. Ouvrage illustré de gravures sur acier, de chromolithographies et de gravures sur bois, dessinées par MM. G. Davioud, Hochereau, A. de Bar, Lancelot, Clerget, Grandsire, Weber, J. Gaildreau, Faguet, Lambotte, Freeman, Pizzetta, etc., etc. Livraisons 59 à 62. Gr. in-folio, 15 p. et 7 pl. Paris, imp. Claye; lib. J. Rothschild. 20 fr. l'édition ordinaire; 40 fr. l'édition sur papier de Hollande.

OUVRAGES ANGLAIS.

DEMPSEY (G. DRYSDALE). — A Rudimentary Treatise on the Locomotive Engine in all its Phases. 3rd edit. 12mo. pp. 152, cloth, 1s. 6d (Weale's Series) Lockwood.

Traité élémentaire de la machine locomotive.

DIKE (THOMAS JONES). — On the Downward Intermittent Filtration of Sewage, as it is now in Practical Operation at Troedyhiw : an Address read at the Annual Meeting of the South Wales Branch of the British Medical Association. 8vo. (Merthyr Tydfil, Farrant et F.) pp. 16, sewed, 1s. (Simpkin).

Sur le filtrage intermittent des eaux d'égout.

ANDERSON (JOHN). — The Strength of Materials and Structures. 12mo. pp. 308, cl. 3s. 6d. (Longmans).

La résistance des matériaux.

OUVRAGES ITALIENS.

DE FILIPPIS (GUGLIELMO). — Sulla materiale struttura delle strade inghialate : dissertazione. In-8, pag. 24. *Napoli*, tip. Nobile.

Sur la structure matérielle des routes macadamisées.

ORLANDO (Ing. LUIGI). — Delle obiezioni fatte al progetto per la costruzione dei magazzini generali dell'ingegnere Luigi Orlando. Memoria. In-4, p^o pag. 34. *XL. Livorno*, tip. F. Vigo.

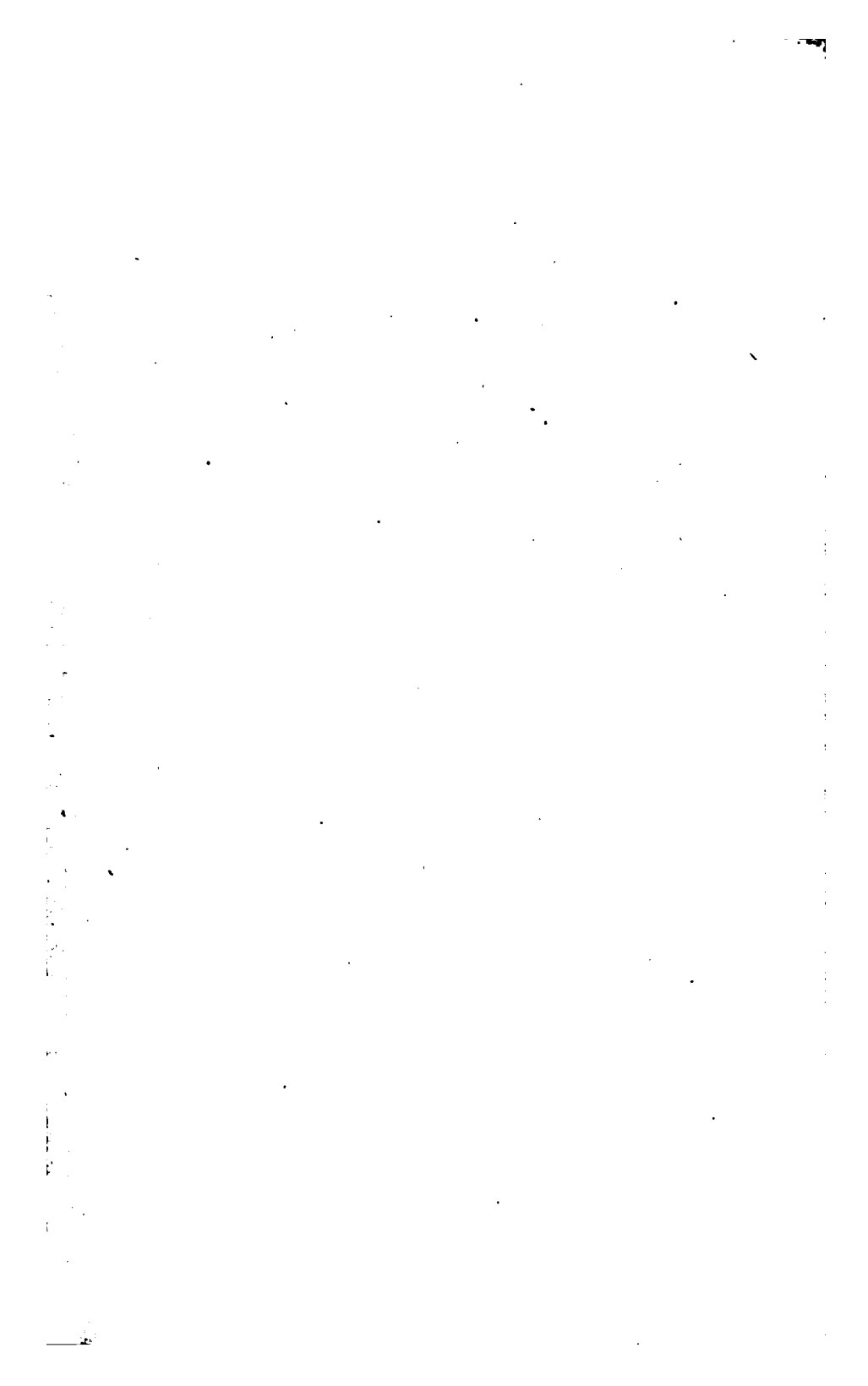
Des objections faites au projet de construction des magasins généraux de l'ing. L. Orlando.

Porto (sul) canale di Rimini. Memoria della Camera di Commercio ed arti. In-8, pag. 20. *Rimini*, tipografia Malvolti.

Port-canal de Rimini.

Progetto d'estrarre acqua dal Po sopra Piacenza per irrigarne la Provincia e quelle di Parma, Reggio, Modena e Bologna. Manoscritto del Secolo XVII, edito per cura di L. L. Valdrighi. In-8, pag. 50. *Modena*, tip. dell'Imm. Concezione. — L. o. 75.

Projet d'une prise d'eau dans le Pô au-dessus de Plaisance pour irriguer les provinces de Plaisance, Parme, Reggio, Modène et Bologne. Manuscrit du xvii^e siècle.



N° 6

PAROLES

Prononcées sur la tombe de M. CHEVALLIER, inspecteur général des ponts et chaussées,

Par M. COMOY, inspecteur général, vice-président du conseil général des ponts et chaussées.

Messieurs,

Celui que nous accompagnons à sa dernière demeure, ingénieur habile, professeur distingué, fut toujours et partout l'homme du devoir.

Nous, ses collègues, nous ne savions ce que nous devions le plus estimer de ses connaissances étendues ou de la parfaite conscience qu'il apportait dans ses travaux. Mais nous nous accordions tous dans le sentiment d'affection que nous inspiraient son aménité et sa bienveillance, qui ne se démentaient jamais.

Je ne retracerai pas, Messieurs, les diverses phases de la vie de Chevallier. Une voix amie vous dira tout ce que cette vie a présenté de travaux utiles et d'intéressantes études.

Mais qu'il me soit permis de proclamer ici que notre cher et honoré collègue a dignement occupé sa place dans un corps qui compte le dévouement à la chose publique au nombre de ses premiers devoirs. Le travail n'avait pas d'exigence qu'il n'admit, pas de difficulté qu'il ne s'efforçât de surmonter. Aussi jouissait-il parmi nous d'une grande autorité, et y laisse-t-il un vide que nous serons longtemps à ressentir.

Qu'il me soit encore permis, devant cette tombe entr'ouverte, de mêler l'expression de nos douloureux regrets à

la profonde affliction d'une famille désolée! Hélas! nous avons partagé ses agitations pendant les péripéties de cette longue et cruelle maladie. Nous nous sommes souvent et ardemment rattachés aux espérances qu'il avait été permis de concevoir. Mais la divine Providence en avait ordonné autrement. Inclignons-nous devant ses décrets!

Unissons-nous, Messieurs, dans nos regrets et dans notre sympathie pour les cruelles douleurs de la famille de notre ami, douleurs si légitimes et que le temps seul aura le pouvoir d'adoucir!

Unissons-nous aussi dans l'espérance qui accompagne l'homme au delà des bornes de cette vie, et surtout l'homme de bonne volonté!

N° 7

PAROLES

Prononcées sur la tombe de M. CHEVALLIER, inspecteur général des ponts et chaussées,

Par M. LÉONCE REYNAUD, inspecteur général, directeur de l'École des ponts et chaussées.

La mort s'appesantit bien souvent sur nous, Messieurs. Depuis trois ans que j'ai l'honneur de diriger l'École des ponts et chaussées, je suis appelé pour la quatrième fois à dire les titres d'un des nôtres à nos profonds regrets et à la reconnaissance publique. La mission est douloureuse; mais elle est utile, et, loin d'abattre, elle fortifie.

Il est impossible de se rendre un compte sérieux d'une de ces existences si laborieuses, si productives, si respectables, sans se sentir fier d'appartenir à un corps dans lequel elles ne se présentent pas comme des exceptions. Il importe de les faire connaître, aujourd'hui surtout que notre malheureux pays est en proie au dénigrement, que, surpris de ses désastres, il semble parfois douter de lui-même; il faut montrer que, si nos agitations ont amené des scories à la surface, le fond est resté pur, riche en valeurs morales et intellectuelles.

Une autre pensée m'est venue, qui m'a été, qui vous sera, je l'espère, de quelque consolation.

Dans notre École, où se trouvent, d'un côté, le dévouement le plus absolu, le plus désintéressé à la fonction, une sollicitude toute paternelle pour des jeunes gens en qui l'on voit de dignes successeurs, de l'autre, une respectueuse

reconnaissance, une foi entière dans la parole du maître, un professeur ne meurt pas tout entier; l'âme immortelle se dégage, le corps retourne à la terre, l'esprit subsiste. Le professeur revit dans les intelligences qu'il a développées, dans les doctrines qu'elles se chargent de propager, dans le cours, dont quelques parties pourront être modifiées, mais où sera maintenu tout ce qu'il a introduit d'essentiel.

L'homme distingué dont nous déplorons la perte revivra à d'autres titres encore : dans les départements qui ont été soumis à son inspection, car les ingénieurs trouvaient en lui un guide précieux et un appui bienveillant; dans le conseil général des ponts et chaussées, car il y avait grande autorité, et il y laisse un vide difficile à combler.

Né à Paris le 20 juillet 1810, admis à l'École polytechnique en 1830, chargé d'une mission en Angleterre à sa sortie de l'École des ponts et chaussées, où il tenait le premier rang, Victorin Chevallier fut successivement attaché, en qualité d'ingénieur ordinaire, à la navigation de l'Oise, au service de la marine dans le port de Brest, aux études d'un chemin de fer de Paris à Rouen, et aux travaux du port du Havre, où il projeta et exécuta d'importants ouvrages, au nombre desquels on doit citer le bassin Vauban.

En 1851, le cours de constructions maritimes à l'École des ponts et chaussées réclamait un professeur suppléant; notre camarade, dont la réputation grandissait rapidement depuis quelques années, fut appelé à occuper cette position, et peu de temps après devenait titulaire d'une des chaires qui présentent le plus de difficultés.

Il était ingénieur en chef depuis quatre ans, quand il reçut d'un homme de mérite et de bien, dont l'amitié était un honneur, une de ces propositions auxquelles il est impossible de résister, malgré le fardeau et la responsabilité qu'elles imposent. M. Reibell, alors inspecteur général des

travaux hydrauliques de la marine, avait su l'apprécier, voulut l'avoir pour adjoint, et la mesure, adoptée par les deux ministères intéressés, fut mise à exécution à partir du 1^{er} janvier 1857; Chevallier conservait son cours, et devenait en même temps membre du conseil des travaux de la marine.

En 1864, la plus hardie et la plus féconde des grandes entreprises de notre époque, le percement de l'isthme de Suez, obtenait son concours, et l'appelait à faire partie du conseil supérieur sous le contrôle duquel s'exécutaient les travaux. L'année suivante, la commission des *Annales des ponts et chaussées*, où sa profonde érudition devait le rendre si utile, se félicitait de le posséder dans son sein. Enfin, restant toujours professeur, il était élevé, en 1868, au grade d'inspecteur général, et, chargé d'abord de la 5^e inspection, puis de la 10^e, il passa bientôt à la 1^{re} qui est regardée comme la plus importante.

Cette rapide énumération des fonctions dont il a été investi suffit sans doute pour montrer en quelle estime le tenaient les hommes les plus compétents; mais elle ne saurait donner une idée, ni de sa valeur morale, ni des qualités de son esprit. Permettez-moi donc, Messieurs, de vous retenir encore quelques instants; je m'efforcerai d'être bref.

Ce qui le caractérisait surtout était l'amour du vrai porté au plus haut degré, le besoin de la perfection. Doué d'un jugement droit, d'une rare perspicacité, d'une intelligence ouverte, il se condamnait cependant à un travail des plus opiniâtres, parce qu'il voulait étudier à fond toutes les questions qui lui étaient soumises, s'en rendre maître et n'y rien négliger. Ses projets d'ingénieur avaient été nettement conçus, bien présentés et élaborés jusque dans les moindres détails; ses rapports au conseil général des ponts et chaussées, clairs et concis, montraient l'homme qui domine son sujet, parce qu'il l'a sérieusement médité; ses leçons étaient des plus substantielles et captivaient l'auditoire par

la lucidité de l'élocution, la fermeté de la pensée et l'intérêt qu'il savait répandre sur toutes les parties de son enseignement, si arides qu'elles fussent. Loyal avant tout, il n'avancait rien qui lui parût contestable, et ses opinions étaient trop consciencieusement établies pour ne pas commander le respect, et lui donner le droit de les soutenir avec confiance. On lit dans une notice nécrologique, dictée par sa piété filiale, un éloge qu'il eût été autorisé à s'appliquer à lui-même : « M. Minard, y disait-il, d'un sens très-droit, d'une ténacité insurmontable pour toute opinion qui lui paraissait juste, n'a jamais transigé avec ses convictions. »

Dans cette carrière si bien remplie, Chevallier a exercé une grande influence sur les ingénieurs, et a attaché son nom à des travaux durables. Ainsi que je le disais tout à l'heure, il a exécuté le grand bassin Vauban dans le port du Havre; c'est à lui qu'est due l'organisation des postes électro-sémaphoriques du littoral, dont il avait donné les plans et réglé tous les détails; plusieurs articles fort intéressants des *Annales des ponts et chaussées* sont dus à sa collaboration, ainsi que des notices nécrologiques consacrées à des ingénieurs qu'il avait jugés, avec raison, dignes de ses respectueux hommages; le *Mémorial des travaux hydrauliques de la marine* contient, en un volume in-4° avec atlas de 60 planches, le résumé des études faites par lui en 1858 sur les travaux maritimes de l'Angleterre, de la Belgique et de la Hollande; enfin son *Cours à l'École des ponts et chaussées*, autographié une première fois en 1864, l'était de nouveau en 1868, et allait recevoir des développements considérables dans une troisième édition, quand la mort est venue.

Cet enseignement lui tenait ort à cœur, et, sans lui faire négliger ses autres devoirs, était chez lui une préoccupation incessante. Aucun autre ne lui eût convenu aussi bien; il y était porté, quand il en fut chargé, par les tendances de son esprit, par ses travaux dans les ports de Brest et du

Havre, et surtout peut-être par les relations cordiales et suivies qu'une heureuse union avait établies entre lui et l'un de ses prédécesseurs dans la chaire des travaux maritimes, auquel l'attachait déjà une remarquable conformité de caractère et de vues. Il avait épousé en 1848 la fille aînée de M. Minard qui, outre les conseils de l'expérience, mit à sa disposition de nombreux documents recueillis avec grande sollicitude. C'étaient de précieux points d'appui; mais ils ne suffisaient pas au jeune professeur, tourmenté du besoin de savoir, du désir de mettre ses élèves au courant de toutes les innovations, et de nouveaux voyages, tant en France qu'à l'étranger, qu'il consacra aux plus sérieuses investigations, vinrent augmenter un bagage scientifique déjà bien abondant, auquel il ajoutait encore chaque année.

Il avait l'intention de faire imprimer son cours; mais, plus difficile que personne, il ne lui trouvait pas encore un mérite suffisant, il lui voulait ce degré de perfection auquel il se sentait la force morale d'atteindre, et qu'il poursuivait partout. Cette œuvre, dont tous les matériaux étaient réunis, toutes les théories solidement arrêtées dans son esprit, eût marqué parmi les plus utiles, eût ajouté un nouveau titre d'honneur à notre école, et eût attaché à jamais le nom de l'auteur à l'histoire des travaux maritimes.

Le corps n'avait malheureusement pas la vigueur de l'esprit; il n'a pu résister aux veilles qui lui étaient imposées; il s'est affaissé sous la charge dont l'accablait une énergique volonté, et le monument reste inachevé. C'est bien triste, bien regrettable.

Et maintenant, adieu, cher camarade, adieu au nom de l'école, au nom de tous les ingénieurs; l'action que tu as exercée se propagera et ton souvenir se maintiendra.

N° 8

Application de l'huile minérale à l'éclairage des phares.

NOTE

Par M. Léon REYNAUD, inspecteur général des ponts et chaussées.

La question de savoir s'il est possible et s'il convient d'appliquer l'huile minérale à l'éclairage des phares, est depuis plusieurs années l'objet d'études suivies. Elle vient d'être résolue ; une décision ministérielle du 29 mars 1873, prise en conformité d'un avis de la commission des phares, a ordonné la substitution du nouveau combustible à l'huile de colza dans tous les feux du littoral, en réservant toutefois les feux flottants, pour lesquels l'expérience n'a pas encore prononcé.

Faire connaître comment on a été conduit à provoquer cette mesure, et quels sont ses mérites au double point de vue des intérêts maritimes et de l'économie dans les dépenses : tel est le but de la présente note.

Dès 1856, les ingénieurs du service central des phares entreprirent une série d'expériences sur de l'huile extraite de schistes bitumineux du département de l'Allier, et ils ne tardèrent pas à reconnaître que la lampe dite lampe Maris, du nom du constructeur, méritait d'être préférée à toutes celles qui étaient alors en usage, comme assurant plus d'intensité à la flamme et plus de facilité au service. Cette lampe, encore employée aujourd'hui, est à une seule mèche cylindrique ; un disque métallique projette sur la

flamme le courant d'air intérieur; le réservoir, de grande largeur comparative, est situé au-dessous du bec, la mèche y plonge et l'huile s'élève sous l'action de la capillarité sans mécanisme aucun. La flamme est plus épanouie que dans les lampes à huile de colza; elle est plus large et moins haute, mais il y a plutôt avantage qu'inconvénient quand l'appareil optique est lenticulaire et surtout lorsque les anneaux catadioptriques ont été calculés en conséquence. Quant aux appareils à réflecteurs, ce système ne leur est pas applicable, à raison de la position et des dimensions du réservoir, et ils n'admettent que des lampes à niveau constant, dans lesquelles ce niveau est établi à quelques centimètres au-dessous du couronnement du bec.

L'éclat des petits appareils lenticulaires illuminés avec une lampe Maris à huile minérale a été trouvé près de deux fois plus intense, pour une même consommation de combustible, que celui qui était obtenu avec l'huile de colza, et, le prix de la première de ces matières étant notablement inférieur à celui de la seconde, l'intérêt qu'il y avait à poursuivre les essais et même à passer aux applications, si la prudence le permettait, ne pouvait pas être contesté.

En 1857 et 1858, quelques feux de port furent alimentés à l'huile minérale. Les navigateurs s'en montrèrent très-satisfaits, et les gardiens eux-mêmes, d'abord hésitants, finirent par reconnaître que les flammes se tenaient mieux que par le passé sans exiger une surveillance aussi assidue. Mais des accidents s'étaient produits, qui, s'ils n'étaient pas de nature à faire revenir à l'ancien système, devaient du moins engager à une grande réserve. Une flamme mal réglée produisit une telle quantité de fumée qu'il en résulta une extinction complète peu de temps après l'allumage; un réservoir fit explosion; sur un autre point, il y eut rupture de la cheminée et des anneaux supérieurs de l'appareil.

Les études se poursuivirent donc au dépôt des phares, tant sur les diverses huiles minérales que sur les mesures

à prendre pour obtenir la sécurité voulue; en même temps les applications se multiplièrent sur notre littoral; et bientôt disparut tout motif sérieux d'hésitation, du moins pour les lampes à une seule mèche. A la fin de 1864, le nouveau combustible alimentait quarante et un feux de port, et une décision, prise l'année suivante, en ordonna l'emploi exclusif dans tous les appareils lenticulaires de quatrième ordre, c'est-à-dire dans tous ceux dont la lampe ne portait qu'une mèche.

Mais les nombreux essais faits par les ingénieurs et divers constructeurs pour brûler convenablement l'huile minérale dans les lampes des phares d'ordres supérieurs, lesquelles présentent, comme on sait, plusieurs mèches concentriques, n'avaient pas été couronnés de succès; la combustion se faisait mal, l'éclat était faible, et le dégagement de fumée parfois abondant. On ne renonçait pas d'ailleurs, on cherchait encore, lorsqu'un capitaine américain, M. Doty, vint apporter une solution du problème inutilement attaqué jusqu'alors.

En 1868, M. Doty présenta une lampe à quatre mèches concentriques, qui fut expérimentée d'une manière suivie au dépôt des phares. Elle ne donnait pas, comme le font les lampes à une mèche, plus d'intensité qu'on n'en obtient avec les lampes du même ordre alimentées à l'huile de colza; mais la consommation était moindre, le combustible était moins dispendieux, et il devait en résulter une notable économie pour le Trésor. La navigation y gagnerait d'ailleurs quelque chose; car si l'intensité était, au début de l'allumage, la même que dans les anciennes lampes, elle se maintenait plus longtemps, et ne se réduisait pas autant vers la fin de la nuit.

Sur un avis de la commission des phares, il fut décidé qu'un essai de ce système serait fait dans les conditions de la pratique. L'embouchure de la Canche est signalée par deux phares de premier ordre, à feu fixe, établis sur une

ligne parallèle au rivage, à 250 mètres l'un de l'autre, et l'un d'eux fut éclairé à l'huile minérale depuis le 12 décembre 1868 jusqu'au 26 janvier suivant. L'enquête à laquelle il fut procédé par suite de cette mesure confirma pleinement les conclusions qu'on avait tirées des expériences de Paris : les deux feux étaient sensiblement de même intensité dans les premiers temps de l'allumage, la consommation d'huile minérale était inférieure de 17 p. 100 environ à celle d'huile de colza, la flamme du premier de ces combustibles était plus facile à conduire et se maintenait mieux que celle du second. L'odeur avait fatigué les gardiens pendant les premiers jours, mais ils s'y étaient habitués et n'en éprouvaient plus le moindre malaise.

Pendant ce temps, M. Doty faisait établir des lampes à deux et à trois mèches, lesquelles, sans accrottre l'intensité lumineuse dans une aussi forte proportion que celle des lampes à une seule mèche, se montrèrent supérieures sous ce rapport à leurs similaires à huile de colza.

Ces résultats étaient encourageants ; mais la crainte des explosions persistait, et elle préoccupait d'autant plus qu'un rapport obligeamment adressé par M. l'amiral président du conseil des phares des États-Unis d'Amérique, consulté à ce sujet, annonçait que, dans ce pays, où l'huile de pétrole abonde, on n'avait pas cru pouvoir l'introduire dans les phares à raison de son inflammabilité, dont les inconvénients n'étaient que trop attestés par de nombreux accidents.

Mais une nouvelle espèce d'huile minérale, extraite du boghead et désignée sous le nom de paraffine d'Écosse, avait été expérimentée avec succès au dépôt des phares, s'était montrée beaucoup moins inflammable que l'huile de schiste jusqu'alors employée, et avait alimenté la lampe installée dans l'un des phares de la Canche. Les ingénieurs reconnurent en conséquence la nécessité de se livrer, avant d'aller plus loin, à des essais comparatifs sur les diverses huiles du commerce, en excluant toutefois le pétrole d'Amé-

rique dont la composition et les propriétés sont trop variables. Ils constatèrent les qualités au point de vue de l'intensité lumineuse et de la consommation, et M. l'ingénieur en chef Mangon voulut bien se charger de déterminer, avec son exactitude habituelle, les degrés d'inflammabilité et autres propriétés utiles à connaître. Le tableau ci-après donne les chiffres obtenus :

| DÉSIGNATION DES HUILES. | Numéro d'ordre. | Intensité lumineuse produite par la consommation de 10 grammes. | | Consommation par heure pour une intensité d'un bec. | Température d'inflammation. | Température d'ébullition. | Densité à 0°. | Coefficient de dilatation de 0 à 100°. |
|---|-----------------|---|----------|---|-----------------------------|---------------------------|---------------|--|
| | | becs. | grammes. | | | | | |
| Achaume à Autun. | 1 | 1,56(*) | 25,7 | 25 | 140 | 0,827 | 0,084 | |
| J. Barse. Compagnie de l'éclairage minéral de l'Allier à Buxière-la-Grue. | 2 | 1,82 | 21,9 | 26 | 142 | 0,818 | 0,087 | |
| Gratillot frères, à Autun. | 3 | 1,63 | 24,6 | 29 | 149 | 0,819 | 0,087 | |
| Rondeleux. Mines de la Condamine à Buxière-la-Grue. | 4 | 1,59 | 25,2 | 29 | 152 | 0,833 | 0,093 | |
| Huhinet de Soubise, à Autun. | 5 | 1,47 | 27,2 | 37 | 156 | 0,830 | 0,099 | |
| E. Gontier et C ^e , à Autun. | 6 | 1,78 | 22,4 | 41 | 160 | 0,825 | 0,080 | |
| Société civile des mines de l'Autunois. | 7 | 1,55 | 25,8 | 42 | 164 | 0,831 | 0,098 | |
| Compagnie anonyme des huiles de Colombes. | 8 | 1,60 | 25,1 | 46 | 168 | 0,834 | 0,090 | |
| Roche et C ^e , d'Igonay, Saône-et-Loire. | 9 | 1,45 | 27,6 | 49 | 174 | 0,834 | 0,095 | |
| Young's Paraffin Light and mineral oil Company (Ecosse). | 10 | 2,18 | 18,3 | 72 | 205 | 0,833 | 0,094 | |

(*) On croit devoir rappeler que l'unité de lumière adoptée par la commission des phares est le bec de Carcel, de 0^m,020 de diamètre, consommant 40 grammes d'huile de colza par heure.

La supériorité de l'huile écossaise était donc très-marquée sous les rapports essentiels : elle se montrait à la fois beaucoup moins inflammable et douée de plus de pouvoir éclairant que les autres, et elle éloignait, si elle ne faisait complètement disparaître, les chances d'accident. Cependant la commission des phares, voulant se maintenir dans les voies de la prudence que commande la gravité des intérêts qui lui sont confiés, sans être plus disposée d'ailleurs que par le passé à repousser les améliorations, se borna à proposer, dans sa séance du 26 juin 1869, d'ap-

pliquer le nouveau combustible aux lampes à deux mèches des phares de troisième ordre, et aussi à des lampes à trois mèches qu'on placerait dans ceux de ces phares qui, à raison de leur coloration, exigent un foyer lumineux plus intense, ou dans lesquels on jugerait qu'il convient d'augmenter le diamètre du bec afin d'obtenir plus de divergence. Elle recommanda en outre de procéder à de nouvelles études des engins et récipients, dirigées surtout en vue de prévenir les accidents.

Le marché contracté avec la société Jules Barse, pour la fourniture d'huile minérale d'origine française, expirait à la fin de l'année. Il ne fut pas renouvelé, et l'on en passa un autre, ayant trois années à courir, à partir du 1^{er} janvier 1870, avec la société établie en Écosse sous le nom de *Young's Paraffin Light and mineral oil company*. Le cahier des charges stipula que la densité serait comprise entre 0,81 et 0,82 à la température de 15°, et qu'il ne se dégagerait pas de vapeurs inflammables à une température inférieure à 60° centigrades. Ce dernier chiffre est notablement au-dessous de celui de 72° trouvé par M. Mangon ; on l'a adopté, afin de ne pas créer trop de difficultés aux ingénieurs aussi bien qu'à la compagnie, après avoir reconnu dans de nombreuses épreuves qu'il pouvait être considéré comme une limite inférieure, et était d'ailleurs encore assez élevé pour donner toute sécurité. Le prix de l'huile avait été fixé à 0^f,85 par kilogramme rendu dans les phares, et il a été maintenu dans le nouveau marché contracté avec la même compagnie à dater du 1^{er} janvier dernier, sous réserve du remboursement des droits de douane qui pourraient frapper ce produit. Le mémoire sur l'éclairage et le balisage des côtes de France, publié en 1864, admet que l'huile de colza, dont le prix varie avec les cours du marché public, revient en moyenne, rendue dans les phares, à 1^f,51 le kilogramme. On voit que la différence est grande.

Tous les phares de troisième et de quatrième ordre in-

stallés depuis le commencement de 1870 ont été alimentés à l'huile minérale, conformément à l'avis de la commission des phares, qu'une décision ministérielle avait rendu exécutoire. On compte actuellement sur notre littoral 116 phares, dont 6 de troisième ordre, qui emploient ce combustible. Il y en a même un de deuxième ordre, celui du Pilier, qui, ayant dû être coloré en rouge dans une notable partie de l'horizon maritime, a reçu une lampe à cinq mèches, ainsi qu'il sera expliqué tout à l'heure.

39 phares de troisième ordre brûlent encore de l'huile de colza, et l'on pourrait trouver excessive la lenteur avec laquelle il a été procédé à une transformation dont les avantages étaient reconnus. La réserve des ingénieurs du service central a eu plusieurs motifs, indépendamment du trouble causé par les malheurs du pays.

Préoccupés de la responsabilité qui leur incombe, ces ingénieurs se sont demandé si la pratique ne révélerait pas dans le nouveau combustible des inconvénients qui auraient échappé aux expériences faites à Paris, et s'il conserverait les précieuses propriétés qui l'avaient fait préférer à toutes les autres huiles et avaient servi de base aux avis de la commission. D'un autre côté, il était admis par tout le monde, par les fournisseurs eux-mêmes, qu'il fallait des récipients spéciaux pour l'huile minérale, et, par suite, des dépenses que la modicité des ressources budgétaires obligerait de répartir sur un grand nombre d'exercices. Aucun de ces motifs d'ajournement ne subsiste aujourd'hui.

Depuis trois ans que la paraffine d'Écosse est employée dans le service des phares, pas un accident ne s'est produit, pas un inconvénient n'a été signalé. Les navigateurs, les ingénieurs du littoral, les gardiens eux-mêmes se montrent très-satisfaits. Les produits de la compagnie écossaise n'ont perdu aucune de leurs qualités. Enfin une expérience, poursuivie au dépôt des phares depuis deux ans, établit que les grandes caisses doublées en fer-blanc, placées dans les

phares pour recevoir les approvisionnements d'huile de colza, conviennent également au nouveau combustible. Il a même été constaté que cette huile peut se conserver pendant trois années au moins dans des vases en fer-blanc bien bouchés sans rien perdre de ses qualités, et qu'elle ne se comporte pas tout à fait aussi bien dans le zinc, sans y devenir d'ailleurs impropre au service.

Un fait déjà annoncé a été mis de nouveau à l'abri de toute contestation, et il est capital dans la question : pour obtenir une même intensité lumineuse, on consomme moins d'huile minérale que d'huile de colza, quel que soit le nombre des mèches, ainsi qu'il résulte du tableau suivant, dont les chiffres peuvent être considérés comme des maxima pour les deux espèces d'huiles :

| NOMBRE de mèches. | HUILE DE COLZA. | | HUILE MINÉRALE. | |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | Consommation par heure. | Intensité lumineuse. | Consommation par heure. | Intensité lumineuse. |
| | grammes. | bees. | grammes. | bees. |
| 1 | 60 | 1,6 | 55 | 2,2 |
| 2 | 175 | 5,0 | 160 | 6,4 |
| 3 | 500 | 15,0 | 360 | 14,0 |
| 4 | 700 | 22,0 | 630 | 25,0 |

Une anomalie peut frapper à l'inspection de ce tableau : tandis que l'huile minérale donne plus d'intensité que l'autre dans les lampes à une et à deux mèches, et la même dans les lampes à quatre mèches, elle en assure moins (quatorze becs au lieu de quinze) dans les lampes à trois mèches. Cela provient de ce que, par mesure d'ordre, on a jugé convenable d'adopter dans les nouvelles lampes les mêmes diamètres pour toutes les mèches du même rang, ce qui n'a pas été observé dans l'établissement successif des divers types de lampes à l'huile de colza. La mèche n° 3, qui constitue le diamètre des lampes à trois mèches, a 0^m,069 de diamètre dans les appareils à huile végétale et n'a que 0^m,065 dans ceux de l'huile minérale. Aussi peut-on re-

Qu'il n'ait pas dépassé quatre mèches et le diamètre qui en était la conséquence, quand le combustible était l'huile de colza, on le comprend aisément : c'eût été augmenter les dépenses dans une forte proportion, et fournir une arme aux adversaires de la nouvelle invention ; c'eût été en même temps s'exposer à des difficultés d'exécution, car il n'était pas démontré alors qu'on obtiendrait des gardiens de phares la vigilance qu'exige une lampe à quatre mèches, et il a fallu, en effet, bien des années pour y parvenir.

Ainsi l'on peut dire qu'Augustin Fresnel a regardé le bec à quatre mèches comme la limite supérieure de ce qu'on pouvait obtenir avec l'huile de colza, et qu'il a cherché un combustible qui lui permit d'aller au delà. C'est donc poursuivre la voie ouverte par lui que tirer parti de l'huile minérale pour augmenter, dans une certaine mesure, les dimensions des becs. Et il est à remarquer que la hauteur de la flamme n'est pas accrue en même temps, de sorte que c'est presque uniquement la divergence horizontale, laquelle est entièrement utilisée pour l'éclairage maritime, qui gagne à la multiplicité des mèches.

Une dernière question se posait : au lieu de se borner à faire bénéficier de la mesure un certain nombre de phares, n'était-il pas préférable, quoique plus dispendieux, d'attribuer à chaque appareil du même ordre le même nombre de mèches ? La résoudre affirmativement était assurer plus de régularité à l'organisation et plus de sécurité aux navigateurs ; la commission des phares n'a pas hésité à le faire. Elle a proposé de fixer à cinq le nombre des ordres de phares, en établissant pour chacun d'eux une proportion constante, mais plus forte que par le passé, entre le diamètre du bec et celui de l'appareil lenticulaire. Les chiffres du tableau qui suit se rapportent à l'ancien et au nouveau mode d'éclairage, et font ressortir les avantages de celui-ci au double point de vue des intérêts nautiques et des intérêts du trésor public.

ECLAIRAGE DES PHARES A L'HUILE MINERALE.

| | | HUILE DE COLZA. | | | | HUILE MINERALE. | | | |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 ^{er} ordre. | 2 ^e ordre. | 3 ^e ordre. | P. M. | 4 ^e ordre. | 1 ^{er} ordre. | 2 ^e ordre. | 3 ^e ordre. | 4 ^e ordre. | 5 ^e ordre. |
| 4 | 85mm | 35mm | 2 | 21mm | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 85mm | 35mm | 32mm | 37 | 21mm | 105mm | 85mm | 65mm | 45mm | 25mm |
| 90 | 41 | 37 | 30 | 20 | 110 | 90 | 70 | 60 | 30 |
| 1 ^m ,84 | 1 ^m ,00 | 0 ^m ,50 | 0 ^m ,30 | 0 ^m ,375 | 1 ^m ,84 | 1 ^m ,40 | 1 ^m ,00 | 0 ^m ,50 | 0 ^m ,375 |
| 2 ^h ,6 | 1 ^h ,5 | 3 ^h | 1 ^h ,6 | 1 ^h ,6 | 30 ^h | 23 ^h | 1 ^h ,4 | 0 ^h ,4 | 0 ^h ,2 |
| 630 | 50 | 30 | 13 | 13 | 820 | 510 | 250 | 64 | 18 |
| 760 ^h | 500 ^h | 175 ^h | 60 ^h | 60 ^h | 900 ^h | 380 ^h | 160 ^h | 55 ^h | 220 ^h |
| 3.040 ^k | 2.000 ^k | 1.105 | 440 ^k | 240 ^k | 3.600 ^k | 2.520 ^k | 1.440 ^k | 840 ^k | 480 ^k |
| 4.590 ^f ,40 | 3.020 ^f ,00 | 1.057 ^f ,00 | 661 ^f ,40 | 367 ^f ,40 | 3.660 ^f ,00 | 2.142 ^f ,00 | 1.224 ^f ,00 | 544 ^f ,00 | 187 ^f ,00 |
| 42 (1) | 6 | 30 | 15 | 280 | 42 (1) | 6 | 30 | 15 | 280 |
| 192.796 ^f ,80 | 18.120 ^f ,00 | 31.710 ^f ,00 | 9.866 ^f ,00 | 83.357 ^f ,00 | 128.520 ^f ,00 | 12.852 ^f ,00 | 86.790 ^f ,00 | 8.166 ^f ,00 | 43.019 ^f ,00 |
| | | 335.228 ^f ,80 | | | | | 239.292 ^f ,00 | | |

OBSERVATIONS.

On n'a pas tenu compte de la réduction de dépense d'huile que présentent les feux de marée et quelques feux actuellement munis de lampes à huile de colza ne consommant que 40 grammes d'huile par heure au lieu de 60, de même qu'on a fait abstraction des appareils supplémentaires installés dans quelques phares. En ce qui est des intensités lumineuses, on n'a cru nécessaire de mentionner, parmi les feux du dernier ordre, ni les appareils lenticulaires de moins de 0^m,375 de diamètre, ni les réflecteurs paraboliques de diverses dimensions.

Entrer dans ces détails eût été compliquer notre résumé sans but spécialement utile, car il n'en serait résulté qu'une différence tout à fait négligeable dans les chiffres des dépenses.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, les feux flottants ne sont pas compris dans ce résumé.

(1) Déduction faite de trois phares délaissés à la lumière électrique.

Ce tableau, qui montre nettement le notable surcroît d'intensité que les nouvelles mesures introduisent dans les phares à feu fixe, présente une lacune en ce qui concerne les feux à éclipses. Cela provient de ce que, pour ces derniers feux, le bénéfice se partage entre l'intensité et la durée des apparitions lumineuses, et de ce que les chiffres afférents à ces deux phénomènes varient dans chaque ordre de phares entre des limites très-éloignées, suivant le nombre des divisions du tambour lenticulaire, la vitesse du mouvement de rotation et les dispositions prises pour prolonger les éclats. On se bornera donc, afin d'éviter des longueurs qui n'auraient pas justification suffisante, à faire connaître les valeurs proportionnelles, lesquelles sont constantes dans chaque ordre, de l'augmentation d'intensité et de durée que les nouvelles lampes assurent aux éclats des feux à éclipses.

| ORDRE du phare. | ACCROISSEMENT PROPORTIONNEL | |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | d'intensité pour 100. | de durée des éclats pour 100. |
| 1 ^{er} | 7 | 22 |
| 2 ^e | 26 | 22 |
| 3 ^e | 76 | 59 |
| 4 ^e | 35 | 58 |
| 5 ^e (*) | » | » |

(*) Il n'y a pas de feux de 5^e ordre à éclipses sur les côtes de France.

Du reste, que le phare soit à feu fixe ou à éclipses, la quantité de lumière émanée de l'appareil est constante pour chaque ordre, et l'on peut conclure des chiffres donnés plus haut que, dans l'état actuel de notre éclairage maritime, l'intensité totale des faisceaux lumineux envoyés à l'horizon sera augmentée de près de 45 p. 100. Et ce chiffre ne tient pas compte du très-notable bénéfice résultant de ce que les flammes alimentées à l'huile minérale maintiennent leur éclat plus longtemps que les autres. Il serait beaucoup plus élevé si la comparaison, au lieu de

porter sur des feux en plein effet, était faite sur l'état dans lequel ils se trouvent après quelques heures d'allumage.

Quant à l'économie annuelle dans les dépenses d'acquisition d'huile, elle s'élèvera à 106.676^f,80, soit à près de 52 p. 100.

Ainsi, environ 45 p. 100 de plus dans la quantité de lumière envoyée à l'horizon, et 52 p. 100 de moins dans les dépenses d'huile, tels sont les avantages de l'opération.

Le nouveau mode d'éclairage soulève une objection : il repose en effet sur les qualités d'un produit étranger, qui est susceptible d'être altéré, dont le prix peut être augmenté dans une proportion plus ou moins forte quand ses mérites, mieux connus, lui attireront plus de demandes, et que nous serions exposés d'ailleurs à ne plus obtenir en cas de guerre maritime, triste éventualité dont il faut bien tenir grand compte aujourd'hui. Mais il est à remarquer que la formation de boghead est très-puissante; qu'indépendamment de son honorabilité, la société écossaise aura d'autant plus d'intérêt à maintenir la réputation de ses produits qu'elle lui devra plus de consommateurs; que les usines françaises seront probablement amenées, sous l'action de la concurrence étrangère et peut-être aussi sous celle de réglemens de police qui ne seraient que trop justifiés, à améliorer leur fabrication, si ce n'est en ce qui est de l'intensité lumineuse, du moins en ce qui importe à la sécurité publique; que les guerres ne sont plus de longue durée; enfin que nos becs de lampes mécaniques sont disposés de telle sorte qu'il suffit de fermer le tube régulateur du niveau de l'huile minérale pour permettre de revenir immédiatement à l'ancien combustible.

Toutes nos lampes mécaniques seront en effet maintenues et fonctionneront comme par le passé; le bec seul sera changé.

Deux espèces de becs sont actuellement en usage, qui

donnent les mêmes résultats : le bec Doty, lequel est exécuté à Paris par MM. Barbier et Fenestre, et un bec fabriqué par MM. Henry-Lepaute sous le nom de bec Fresnel modifié.

La dépense restant à faire pour compléter la transformation commencée des lampes à huile de colza en lampes à huile minérale, et acquérir les divers récipients et ustensiles qu'elle exige, ne peut pas être évaluée à plus de 50.000 francs. Elle sera couverte en moins d'un an par l'économie obtenue.

Paris, 5 avril 1873.

N° 9

*Situation de la question des eaux d'égout
et de leur emploi agricole en France et à l'étranger.*

ÉTUDE

Par M. ALFRED DURAND-CLAYE, ingénieur des ponts et chaussées.

Les *Annales des ponts et chaussées* ont déjà entretenu plus d'une fois leurs lecteurs de la question des eaux d'égout et de leur traitement agricole ou chimique (*).

Le travail sommaire que nous présentons a pour objet de donner la situation actuelle de cette grave question d'assainissement et de salubrité.

On n'a pas oublié les principes mêmes de la matière : les villes, en perfectionnant leur assainissement intérieur,

-
- (*) 1855. *Assainissement des villes en Angleterre*; par M. Mille.
 1856. (Chronique.) — *Épuration des eaux d'égout à Leicester*
 par le procédé Wicksteedt; par M. Mangon.
 1867. *Drainage de Londres*; par M. Mille.
 1869. *Emploi des eaux d'égout de Londres*; par M. Freycinet.
 1869. *Note sur les essais d'utilisation agricole et d'épuration
 chimique des eaux d'égout de Paris*; par MM. Mille et
 Alfred Durand-Claye.
 1869. *Note sur l'épuration et l'analyse des eaux d'égout de
 Paris*; par M. Léon Durand-Claye.
 1869. (Chronique.) — *Situation des travaux d'assainissement
 de Londres*; par M. Alfred Durand-Claye.
 1869. (Chronique.) — *Épuration des eaux d'égout à Reims*;
 par M. Cheysson.

sont naturellement conduites à drainer leurs voies publiques; tout un réseau de voies souterraines se crée, envoie ses ramifications sous la plupart des chaussées et jusque dans les habitations riveraines; les eaux de pluie, celles des lavages publics, les déjections des chevaux qui parcourent nos rues, les débris de toute sorte qui jonchent le sol, la poussière, la boue, les eaux ménagères et quelquefois les matières de vidange, sont entraînées par le flot liquide que fournissent les distributions d'eau. Suivant la comparaison si juste de M. Dumas, le réseau des égouts forme ainsi une sorte de réseau *veineux*, qui expulse de la cité à l'état vicié l'eau introduite à l'état de pureté par le réseau *artériel* de la distribution. L'assainissement intérieur se trouve ainsi assuré. Mais que deviennent ces eaux impures, chargées d'immondices? Elles sont ordinairement conduites à quelque distance des villes par des *collecteurs*; elles sont déversées dans les cours d'eau; et là, elles deviennent une cause d'insalubrité désastreuse pour la banlieue; par les débris solides qu'elles charrient, elles obstruent le lit des rivières et exigent des dépenses ruineuses de dragage (120.000 francs en 1872 pour la ville de Paris); par les matières organiques qu'elles tiennent suspendues et dissoutes, elles introduisent dans le cours du fleuve les éléments d'une fermentation dangereuse; les eaux de la rivière, ces eaux qui sont le domaine public et qui comme telles doivent rester la chose de tous, deviennent impropres aux usages domestiques ou industriels; leur aspect est repoussant, et les voisins de la grande ville se trouvent profondément lésés dans leurs droits et leurs intérêts par les conséquences *extérieures* de l'assainissement municipal.

Heureusement le remède se trouve à côté du mal; ces eaux d'égout, si infectes et si dangereuses lorsqu'elles sont brutalement déversées à la porte des villes, renferment en elles des éléments de fécondité et de production agricole;

les fumiers, les matières minérales ou organiques ramassées de toutes parts dans la ville, peuvent évidemment devenir un engrais utile, lorsque leur décomposition s'opère sur le sol, cet incomparable agent d'oxydation, et lorsque les plantes sont là pour absorber les produits de la décomposition. Si la transformation agricole du sol en terrain irrigué exige quelques ménagements, s'il est impossible du jour au lendemain de révolutionner toute une banlieue et d'en violenter les habitants pour appliquer les procédés nouveaux, alors les eaux d'égout, sorte de composé chimique complexe, se prêtent à des manipulations simples qui ont pour but de les épurer par les réactifs convenables sur un espace restreint et dans des établissements purement municipaux. Si l'on crée, en effet, un précipité gélatineux dans une masse d'eau chargée de matières suspendues, le précipité peut entraîner au fond de bassins convenablement disposés ces matières suspendues. Celles-ci restent en masse, formant un dépôt qui par son origine et sa nature présente sensiblement les caractères et les qualités des boues provenant du balayage des rues; les eaux effluentes sont claires; elles conservent bien encore toutes leurs substances dissoutes, mais elles sont généralement assez limpides pour être rejetées au fleuve sans offenser personne; elles peuvent, du reste, à la rigueur, recevoir un emploi agricole.

Tel est, en principe, le problème des eaux d'égout: telles sont les bases de sa solution. C'est avant tout une question municipale d'assainissement et de salubrité; mais du même coup c'est une grave question agricole; puisque la Providence a voulu que le seul remède rationnel aux conséquences forcées des agglomérations humaines fût l'utilisation des détritits, puisque le gaspillage et l'insalubrité sont indissolublement liés par une juste loi de la nature.

I. — FRANCE.

§ I. *Paris*.— La note, insérée en 1869 dans les *Annales* sur les essais d'épuration et d'utilisation agricole des eaux d'égout, a exposé comment la ville de Paris avait entrepris, en 1867, ses premières expériences à Clichy. Tandis qu'un service régulier s'organisait, tandis qu'on recherchait avec soin et d'une manière continue les éléments indispensables pour la rédaction des projets et la pratique de l'exploitation, éléments complètement indéterminés jusque-là, tels que le débit journalier (260.000 mètres cubes par jour), la composition chimique (0^k,040 environ d'azote au mètre cube, 1^k,500 à 3 kilog. de matières étrangères totales dissoutes ou suspendues), la composition physique (1 à 2 kilog. de matières solides par mètre cube), la température, etc., un petit champ d'essai de 1^h,5 environ recevait, en 1867 et 1868, un cube total de 200.000 mètres cubes d'eau d'égout. Ces 200.000 mètres cubes se répartissaient entre des planches de culture, installées par M. l'ingénieur en chef Mille, et des bassins d'épuration où plus de 100.000 mètres cubes étaient traités par le sulfate d'alumine, réactif recommandé par M. l'inspecteur général Le Châtelier et M. l'ingénieur Léon Durand-Claye. D'un côté comme de l'autre, le résultat parut satisfaisant : des plantes diverses, et spécialement des légumes, prospérèrent sur les planches de culture et leurs premiers spécimens purent figurer à l'exposition de 1867.

L'épuration donna une eau claire, moyennant une dépense en réactif de 0^f,01 par mètre cube ; le dépôt s'employa comme terreau de jardinage ou comme gadoue. Les constatations minutieuses faites sur ces premiers essais, rendues publiques par la production d'un compte rendu officiel, contrôlées par diverses sociétés savantes ou d'agriculture, constituèrent la base scientifique, d'où pouvaient sortir des projets et travaux sérieux.

En face Clichy, la Seine contourne une vaste plaine, formée d'alluvions sableuses, la presqu'île de Gennevilliers. Cette plaine comprend plus de 2.000 hectares presque de niveau; la culture y est arriérée et cependant elle n'est qu'à une distance moyenne de 4 kilomètres des fortifications et de 6 kilomètres des halles centrales; l'imperfection des voies de communication et surtout la pauvreté proverbiale du sol expliquent cette situation singulière. Pour l'utilisation agricole des eaux d'égout, ces conditions étaient, au contraire, excellentes; le niveau moyen de la plaine ne dépasse pas de plus de 6 à 7 mètres le niveau du débouché en Seine des collecteurs, et rend ainsi praticable l'élevation journalière de 200.000 à 300.000 mètres cubes d'eau d'égout; la presqu'île ne présente aucun accident de terrain et dispense ainsi de tout ouvrage d'art coûteux pour la distribution des eaux; son sol et son sous-sol se composent de sable et gravier et constituent un filtre puissant, capable d'absorber et d'épurer une énorme quantité d'eau; ses cultures sont peu riches dans l'état actuel; mais leur pauvreté même donne une signification plus nette et plus frappante aux résultats de l'irrigation et du colmatage: son rapprochement de la capitale et du marché des halles ouvre un débouché assuré aux récoltes de légumes vers lesquelles tendent d'instinct les efforts du paysan de la banlieue, dès qu'il a à sa disposition le terrain, l'engrais et l'eau. C'est donc dans la plaine de Gennevilliers que devait s'établir à sa naissance le service des eaux d'égout pour profiter des circonstances favorables qui s'offraient à lui. Des études, faites dès le premier jour, avaient du reste montré que du côté de Houilles, Sartrouville, Herblay, et même plus loin vers Pierrelaye, des terrains pourraient ultérieurement servir d'extension au service; mais il convenait de tirer d'abord de la plaine immédiatement voisine tout ce qu'elle pouvait donner, avant d'aborder des régions plus éloignées et plus coûteuses à atteindre.

Dès 1868, un projet fut soumis à l'autorité municipale pour commencer une exploitation d'essai dans la plaine de Gennevilliers. A cette époque, les opérations projetées avaient rencontré dans ces parages une vive opposition. La ville de Paris se trouvait dans une singulière situation : tandis que les riverains de la Seine multipliaient leurs pétitions contre l'infection du fleuve, tandis que les conseils municipaux d'Asnières, Clichy, Saint-Ouen, Argenteuil, le conseil d'arrondissement de Saint-Denis, le conseil général de Seine-et-Oise attaquaient de concert le déversement des eaux d'égout en Seine, les communes où l'utilisation et l'épuration pouvaient être raisonnablement tentées protestaient contre les projets de l'administration. Il fallait répondre par des faits : le préfet de la Seine, et avec lui son conseil municipal, le comprirent, en décidant, le 10 juillet 1868, l'exploitation d'essai proposée par les ingénieurs. Nous ne pouvons reproduire ici sur cette exploitation les détails circonstanciés que contenait un compte rendu officiel publié en 1870 par l'administration municipale. Nous rappellerons simplement que les travaux d'installation entrepris à la fin de 1868 se terminaient au 1^{er} mai 1869; qu'à partir de cette date, 5.000 à 6.000 mètres cubes d'eau d'égout furent journellement élevés par des machines de la force de 40 chevaux et par des pompes centrifuges; que ce cube, relativement considérable (il correspond à une population de 50.000 à 60.000 âmes), passa d'abord pour les deux tiers dans les bassins d'épuration, que le dernier tiers fut utilisé par la culture sur 5 à 6 hectares achetés par la ville de Paris et distribué à trente ou quarante personnes de bonne volonté qui avaient consenti à surmonter les préjugés pour venir manier les eaux d'égout et apporter aux ingénieurs l'utile concours de leurs connaissances pratiques; qu'au bout de quelques mois, les résultats obtenus sur un sol mauvais avaient été assez frappants pour engager les paysans du voisinage à demander et à uti-

liser les eaux; qu'à la fin de 1869, les bassins d'épuration étaient devenus complètement inutiles, et que la totalité des eaux d'égout, élevées chaque jour, se répartissait sur 30 à 40 hectares de propriétés particulières, lesquelles s'offraient librement au nouveau système et créaient le noyau définitif de l'exploitation des eaux d'égout.

Ce fut dans ces conditions que s'ouvrit la campagne de 1870. Le premier semestre de 1870 confirma d'une manière positive les faits acquis depuis l'ouverture de l'exploitation dans la plaine de Gennevilliers; les cultivateurs avaient bien vite préféré l'emploi agricole direct aux coûteuses manipulations des bassins; mais celles-ci n'avaient pas été inutiles, elles avaient permis d'attendre la conversion des agriculteurs aux nouvelles pratiques; dans l'avenir, elles pouvaient au besoin rendre encore le même service à l'administration; la perméabilité du sol assurait l'absorption par hectare et par an d'une moyenne de 50.000 mètres cubes; les matières fertilisantes, abandonnées sur le sol par les eaux d'égout, permettaient d'obtenir des rendements considérables pour les cultures de légumes en plein champ (70.000 kil. de choux à l'hectare, 60.000 kil. de carottes, 150.000 kil. de navets, etc.), et d'atteindre pour la culture maraîchère plus soignée, faite spécialement sur le domaine municipal, mais par des jardiniers des environs, des résultats financiers de 6.000 à 8.000 francs bruts par hectare; la valeur locative des terrains montait sur les parcelles accessibles aux eaux; aucune trace d'insalubrité, soit en hiver, soit en été; tout un village, les Grésillons, se formait autour du domaine municipal. Un parfumeur de Paris établissait son usine à la porte des terrains irrigués et développait, soit directement, soit par l'intermédiaire des paysans de la plaine, la culture à l'eau d'égout des plantes aromatiques et spécialement de la menthe poivrée. L'opposition, qui s'était soulevée au début, tombait peu à peu. Il commençait à devenir possible de songer à l'extension du

service, au développement de l'irrigation ; les bases pratiques du système, tel qu'il devait et pouvait s'appliquer dans la plaine, étaient acquises ; l'industrie privée commençait à voir une opération possible dans la transformation de terrains arides de la presqu'île, et, tandis que les détenteurs actuels du sol ou leurs fermiers contribuaient par leurs 30 à 40 hectares irrigués à faire l'expérience la plus démonstrative que la ville de Paris pût espérer, des propositions étaient faites pour l'organisation d'une régie intéressée des égouts et leurs auteurs exploitaient heureusement, à titre de démonstration expérimentale, 6 hectares d'un sol absolument appauvri, abandonné depuis plusieurs années par tous les cultivateurs. Il n'était plus téméraire de dresser des projets étendant l'opération à la totalité de la plaine ; la dose d'arrosage et de colmatage, reconnue pratiquement par un service d'un an, cadrerait parfaitement avec les surfaces de terrain et les quantités d'eau disponibles : 50.000 mètres cubes multipliés par 2.000 hectares donnaient 100 millions de mètres cubes par an, soit à très-peu de chose près le débit total des collecteurs pour douze mois. Un avant-projet complet fut donc rédigé. La ville de Paris ne pouvait plus du reste reculer ; l'administration centrale était intervenue et avait demandé à la ville quelles étaient ses intentions au sujet des envasements et de l'infection que ses collecteurs créaient en Seine ; l'avant-projet en question se trouva prêt au moment même où cette sorte d'injonction parvenait à la préfecture. Le 21 juillet 1870, il fut soumis à l'examen du conseil général des ponts et chaussées et reçut son entière approbation, confirmée par décision ministérielle du 30 juillet suivant. Dans le système projeté, les eaux des deux collecteurs réunies dans un égout latéral à la Seine, sur la rive droite du fleuve, étaient relevées de 10 mètres par une usine considérable (1.200 chevaux-vapeur) établie à Clichy, passaient la Seine sur un pont-canal spécial, traversaient la presqu'île dans une galerie couverte

dont le terrain était acquis par expropriation ; elles se distribuaient en route à la culture, et la partie non utilisée, quand il y en avait, venait se clarifier dans des bassins d'épuration situés un peu au-dessous d'Argenteuil ; les dépenses s'élevaient à 10 millions.

Ainsi, quinze mois après l'ouverture du service d'essai de Gennevilliers, 6.000 mètres cubes d'eau d'égout étaient journallement absorbés par 30 ou 40 hectares, dont une minime partie, 5 à 6, étaient seuls entre les mains de l'administration ; les bassins d'épuration, devenus inutiles, étaient fermés ; 2.400.000 mètres cubes avaient été expérimentés ; la solution finale avait été étudiée et ses bases recevaient l'approbation de l'administration supérieure.

Ce fut alors qu'éclata la guerre fatale de 1870 ; il ne nous appartient pas d'insister sur les désastres dont les environs de Paris furent alors le théâtre. Il nous suffira de rappeler l'abandon précipité de la banlieue, la ruine de tous les ponts sur la Seine, etc. ; Clichy et Gennevilliers ne furent pas épargnés. Tandis que les ingénieurs du service et leurs agents devenaient les auxiliaires de la défense, les terrains irrigués étaient abandonnés et dévastés, les bureaux du service transformés en blockaus, le pont de Clichy avec les conduites de refoulement précipité dans le fleuve, etc. Les eaux d'égout ne furent pas cependant absolument oubliées pendant le siège ; deux sociétés, qui avaient toujours témoigné un vif intérêt pour la question et qui avaient repris courageusement leurs séances, la Société d'horticulture et la Société d'encouragement émirent des vœux pour la réorganisation du service à l'époque de la paix. Les difficultés prévues pour les semis et repiquages de légumes au printemps conduisirent à installer une nouvelle application intéressante des dépôts solides des eaux d'égout ; cent cinquante châssis furent placés dans une partie du domaine municipal de Gennevilliers et garnis, au lieu de terreau, de résidus solides des eaux d'égout provenant, soit des bassins

d'épuration, soit des rigoles d'arrosage ; une multitude de plans y furent élevés et servirent ultérieurement à réorganiser les cultures maraîchères tant sur les terrains anciennement irrigués que dans les communes voisines.

Dès que l'armistice fut signé, les ingénieurs cherchèrent à réinstaller le service ; ils venaient à peine de reprendre possession de leurs bureaux et des divers établissements municipaux que la guerre civile éclata. La Seine, entre Asnières et Clichy, fut pendant deux mois le théâtre de luttes sanglantes. On peut juger dans quel état les ingénieurs retrouvèrent les lieux lorsqu'ils y revinrent le 1^{er} juin ; la désolation régnait dans toute la plaine de Gennevilliers, restée inculte et couverte d'herbes parasites.

Le premier soin des ingénieurs fut de réparer de leur mieux les ruines qui les entouraient, de restaurer les bâtiments et machines, de se préparer pour la réouverture de l'exploitation. On ne pouvait songer à reprendre immédiatement le service d'irrigation ; la ruine du pont de Clichy devait opposer pendant plusieurs mois un obstacle infranchissable au refoulement des eaux. Mais le domaine municipal de la plaine fut promptement nettoyé et remis en état par ses colons habituels ; le sol était engraisé par les colmatages des années précédentes ; les jardiniers ramassèrent jusqu'à la dernière parcelle les dépôts restés dans les bassins ou dans les rigoles et en constituèrent une bonne couche de terre arable ; une locomobile de 4 chevaux alla chercher de l'eau dans un puits et cette eau circula dans les rigoles des 5 à 6 hectares maraîchers remis en culture. Les récoltes, sans être aussi luxuriantes que les années précédentes, donnèrent cependant encore des rendements satisfaisants et eurent surtout le résultat considérable de maintenir en état d'exploitation ce noyau du service. Au dehors, les cultivateurs de la plaine se trouvaient naturellement privés des bénéfices de l'irrigation. Ils n'abandonnèrent point cependant les mé-

rhodes nouvelles; ils vinrent demander, à défaut d'eau d'égout, des dépôts solides; or, les bassins et les rigoles étaient vides. Les ingénieurs eurent alors l'idée de donner de l'extension à une opération déjà pratiquée antérieurement sur une petite échelle : le service de la navigation est constamment occupé à draguer en Seine les détritiques solides apportés par les collecteurs; une partie des dragages ainsi effectués est riche en matières organiques, et se rapproche de la composition même des dépôts obtenus par le colmatage ou par l'épuration au sulfate d'alumine; il fut convenu que ces dragages seraient déposés auprès du champ d'essai de la ville et offerts aux cultivateurs pour remplacer les engrais résultant du service des eaux d'égout. Les cultivateurs ne se firent pas prier; dans les six derniers mois de 1871, 3.525 mètres cubes furent enlevés et servirent à fumer une centaine d'hectares. Abandonnés à leur vieille expérience, les paysans surent bien vite fixer les doses et la valeur d'un engrais qu'ils regardaient à juste titre comme un équivalent de la gadoue; 35 à 40 mètres cubes furent employés communément à l'hectare par les procédés de dépôt et d'enfouissage à la charrue qui sont bien connus aux environs de Paris. Profitant de cette continuation de succès dans l'opération, les ingénieurs employèrent le même semestre dans la plaine à préparer d'une manière convenable la reprise de l'irrigation; les rigoles, tracées primitivement en terre, furent exécutées, au moins pour les lignes principales, en briques, de manière à assurer un bon écoulement, sans perte et sans dépôts irréguliers.

En même temps, les études pour le développement du système étaient reprises; le service des eaux d'égout était devenu dans la nouvelle organisation administrative de la ville de Paris une des divisions de la direction des eaux et des égouts, confiée au savoir et à l'expérience de M. l'inspecteur général Belgrand. L'avant-projet de 1870, celui-là même qui avait reçu l'approbation de

l'administration supérieure, fut repris et étudié en détail. Les désastres de la guerre permettaient des simplifications inattendues; les deux ponts de Clichy et de Saint-Ouen ayant sauté, il devenait possible, au moment de leur reconstruction, de s'entendre avec le service départemental et vicinal pour profiter des nouveaux ouvrages à l'effet de ménager un passage économique aux eaux d'égout d'une rive à l'autre de la Seine et de supprimer ainsi le travail coûteux d'un pont-canal spécial; l'égout collecteur départemental ou de Saint-Denis, trouvant un passage dans le pont de Saint-Ouen, pouvait être amené, par l'action seule de la gravité et sans machines, depuis la porte de la Chapelle; les dispositions générales des habitants et des municipalités permettaient de compter sur des simplifications notables dans les travaux de distribution; l'avant-projet se simplifiait donc comme travaux, comme formalités, comme dépenses; celle-ci étaient actuellement évaluées à 5 millions de francs. Dans les travaux ainsi prévus, il convenait d'exécuter immédiatement ceux qui devaient donner à l'administration municipale la faculté de développer son exploitation au fur et à mesure de ses ressources, d'une part, et des progrès de l'opération dans la plaine, de l'autre; les galeries définitives de dérivation des eaux les conduites de refoulement sur les ponts, les terrains nécessaires aux usines élévatoires furent de suite compris dans un projet d'exécution, ainsi qu'une première machine de refoulement de 150 chevaux avec pompes centrifuges de 1^m,60 de diamètre. Une fois ces ouvrages exécutés, il ne resterait plus, pour terminer l'œuvre d'assainissement de la Seine, qu'à compléter à Clichy l'usine élévatoire par l'adjonction de cinq ou six machines du même type et à développer les travaux de distribution dans la plaine. 1 million de francs fut en conséquence demandé immédiatement au conseil municipal. Il fut accordé le 2 mars 1872; les fonds nécessaires furent imputés sur un emprunt

spécial aux travaux de dérivation de la Vanne et à l'opération des eaux d'égouts.

A l'heure actuelle (janvier 1873), les travaux sont à peu de chose près terminés; un long égout de 4 kilomètres a été établi entre la porte de la Chapelle et la plaine de Gennevilliers, en traversant le pont de Saint-Ouen à l'aide de conduites métalliques; toutes les eaux d'égout de Charonne, Belleville, la Chapelle, Montmartre, soit environ 30.000 à 40.000 mètres cubes, peuvent ainsi descendre jusque sur les terrains irrigués par l'action seule de la pesanteur, sans l'intervention de machines. Le travail est définitif; la dépense s'élève à 400.000 francs. Du côté de Clichy un large tube en maçonnerie de 2^m, 10 de diamètre sert de dérivation au grand collecteur, l'amène à l'emplacement de l'usine élévatoire, laquelle occupe précisément le champ d'essai primitif de Clichy. L'usine, est comme nous l'avons déjà indiqué, construite définitivement avec tous ses accessoires pour une première machine de 150 chevaux, capable d'élever à la seconde un cube de 500 litres, soit par jour 44.000 mètres cubes. Le refoulement des eaux s'effectuera sur le pont de Clichy par une conduite définitive en fonte 1^m, 10, et sur le reste du chemin par les anciennes conduites de 0^m, 60. L'ancienne usine d'essai subsiste comme appareil complémentaire et de secours. Les travaux neufs, exécutés ainsi à Clichy, représentent une dépense de 600.000 francs.

Ainsi plus de 80.000 mètres cubes seront prochainement distraits chaque jour du torrent qui infecte la Seine; c'est environ le tiers des eaux totales d'égout qui sera soumis à l'exploitation. On verra ultérieurement qu'il n'existe à l'étranger aucun service monté sur ce pied.

Que deviendront les eaux d'égout dans la plaine? c'est ici qu'il convient de reprendre l'historique sommaire de l'exploitation que nous avons laissé un instant de côté pour suivre le développement du côté technique de la

question. Nous avons vu l'année 1871 se terminer sans que le service des eaux d'égout ait pu reprendre, avec une irrigation à l'eau claire sur le domaine municipal, avec un emploi développé des résidus solides des dragages sur les terrains libres de la plaine. Ce ne fut que le 1^{er} mai 1872 que les machines purent fonctionner de nouveau, grâce à l'établissement d'une passerelle provisoire de service à côté du pont de Clichy. Ainsi du 1^{er} septembre 1870 au 1^{er} mai 1872, soit pendant vingt mois, le service normal avait forcément chômé ; dans quelles dispositions allait-on retrouver les cultivateurs et les propriétaires de la plaine ? Devait-on s'attendre à rouvrir les bassins d'épuration, ou allait-on reprendre l'ancien service d'irrigation ? Allait-on retrouver les 30 ou 40 hectares qui avaient formé l'ancienne clientèle ? La réponse ne se fit pas longtemps attendre : au bout de quelques jours de service régulier, et malgré l'humidité de la saison, vingt-deux cultivateurs de la plaine offraient 45 hectares à l'irrigation, non compris les 6 hectares du domaine municipal ; ils se disputaient réellement l'eau, et pour les satisfaire dans la mesure du possible, il fallut faire marcher les machines nuit et jour et élever à 12.000 mètres cubes par jour, pendant plusieurs mois, le service qui n'était en 1870 que de 5.000 à 6.000 mètres cubes. Du mois de mai au milieu de novembre, époque où la crue de la Seine arrêta momentanément les machines, 1,600,000 mètres cubes furent déversés dans la plaine ; il n'en fut détourné vers les bassins d'épuration qu'un cube insignifiant, destiné à des expériences qu'entreprirent diverses compagnies anglaises. (*Systèmes du native guano et du phosphate d'alumine*. V. chapitre II) En dehors des 45 hectares arrosés, le service des dépôts solides continua comme en 1871 ; 3.210 mètres cubes furent encore enlevés aux masses accumulées sur les rives de la Seine, et un commerce de revente de ces dépôts commença à s'organiser.

Quant au domaine municipal, sa culture continua à

servir de spécimen et de type, et il n'est connu dans le pays que sous le nom de *Jardin modèle*. Les ingénieurs et leurs agents se gardent bien, du reste, de se transformer en jardiniers ou maraîchers, et, sauf quelques planches, les 6 hectares en question sont toujours entre les mains de divers cultivateurs émérites, fleuristes, arboriculteurs, horticulteurs, maraîchers. Le temps est loin où l'on doutait de la qualité des produits comestibles obtenus par les eaux d'égout; 450.000 choux ont été récoltés en 1872, dans les terrains irrigués, et vendus aux halles ou aux casernes des environs de Paris; des milliers de salades, des haricots, carottes, etc., ont trouvé leur placement soit aux halles, soit sur les marchés d'Asnières, Montmorency, etc. Les plus beaux produits maraîchers ont été acquis par le Grand-Hôtel, et certaines têtes d'artichaut ont atteint le prix de 1',50 la pièce. Le libre jeu de l'industrie privée a fixé les espèces les plus avantageuses à cultiver et les procédés les plus rationnels correspondant à chaque genre de culture; les légumes et les plantes industrielles occupent presque exclusivement les 50 hectares en exploitation; en plein champ les mains-d'œuvres sont plus grossières; la charrue trace les rigoles; avec 500 à 700 francs de dépense de culture (location du terrain comprise), les récoltes ont donné des produits bruts de 2.000 à 4.000 francs par hectare, sur lesquels il reste à imputer les frais généraux, les frais de vente, etc.; dans les terrains devenus maraîchers, les dépenses de culture peuvent monter à 2.000 et 2.500 francs, mais le produit brut atteint 7.000 à 8.000 francs.

Ces résultats, obtenus par la pratique journalière, et absolument en dehors de l'influence directe des ingénieurs, qui considèrent comme leur premier devoir de laisser à la culture une liberté d'allures complète, ont décidé les intéressés à s'associer de suite au développement que le service municipal va donner incessamment à son exploitation.

Des demandes régulières ont été adressées pour l'irrigation de 571 hectares, capables d'absorber par jour 93.495 mètres cubes d'eau d'égout, contre 80.200 mètres cubes environ qui vont arriver dans la plaine au printemps prochain. Tout en faisant une faveur à ces premiers cultivateurs ou industriels, qui viennent ainsi soutenir au début le service définitif d'assainissement de la Seine, il leur a été imposé une taxe progressive moyenne de 50 francs par hectare, toute liberté étant du reste laissée et réservée à l'administration pour les taxes à établir sur les eaux qui pourront être ultérieurement élevées; en un mot, 80.000 mètres cubes disponibles actuellement sont frappés d'une taxe de faveur contre 170.000 à 200.000 mètres cubes libres et disponibles dans l'avenir. Sur les 571 hectares inscrits, 400 sont présentés par des industriels qui ont repris les propositions de régie intéressée et cherchent actuellement à organiser une compagnie destinée à entreprendre en grand les opérations de mise en culture des terrains ou de placement des eaux. Des tentatives ont été faites à diverses reprises pour obtenir de l'administration municipale une concession par monopole de la totalité des eaux disponibles en faveur de ces industriels; les ingénieurs ont constamment refusé de sacrifier les cultivateurs qui, dès le mois de juin 1871, reprenaient avec courage leur exploitation, et si, dans l'avenir, un intermédiaire, un régisseur intéressé, peut être utile pour obtenir et régulariser des abonnements aux eaux d'égout, il convient de laisser la porte ouverte à tous les intérêts et de ne refuser le concours de personne.

Telle est la situation actuelle de la question des eaux d'égout à Paris; par suite de travaux et de recherches, qui n'ont subi que la cruelle interruption de la guerre étrangère et civile, les bases du problème ont pu être fixées. L'administration municipale aborde aujourd'hui franchement la solution définitive du problème d'assainissement

de la Seine; au point de vue technique, les gros travaux sont terminés ou projetés, et assurent l'élévation et l'envoi dans la plaine de Gennevilliers de 80.000 mètres cubes d'eau d'égout par jour; il ne restera pour tripler le service qu'à ajouter sur un terrain déjà acquis des machines conformes à un type déjà établi. Dans la plaine, un noyau d'exploitation fonctionne régulièrement sur 50 hectares : c'était tout le service que pouvaient faire les machines d'essai. Le développement de l'irrigation suivra le développement du cube élevé, et déjà l'industrie privée intervient pour profiter des bénéfices possibles d'une opération qui, pour la ville de Paris, doit cependant être avant tout une œuvre d'assainissement et non une spéculation financière.

Si l'administration municipale peut revendiquer quelque mérite, c'est au moins celui de la continuité et de la persévérance; c'est de s'être souvenue que le vrai progrès est lent et sûr et que les révolutions seules sont rapides et dangereuses.

§ II. *Villes diverses.* — La solution de la question des eaux d'égout présente jusqu'ici peu de développement en France en dehors de Paris. Il faut le regretter vivement : les plaintes des agriculteurs sur le prix élevé et la rareté des engrais sont continuelles; elles ont influé sur la marche suivie dans la capitale pour le service des vidanges; et cependant de toutes nos villes de province, des moindres bourgades sortent des ruisseaux ou de petits cours d'eau où viennent se perdre les ordures et les déjections des hommes et des animaux; le gaspillage est considérable, l'insalubrité souvent flagrante, et cependant le faible cube journalier des eaux d'égout ou des eaux-vannes des petits centres d'habitation, la situation topographique des environs, le genre de culture adopté généralement à la porte des villes ou dans les vallées des rivières, rendraient souvent facile et peu coûteuse l'application des principes exposés ci-dessus.

A Reims, des études et des expériences sérieuses sont entreprises depuis plusieurs années. Le cube journalier des égouts est de de 15.000 à 17.000 mètres cubes extrêmement chargés de résidus industriels; les eaux de ces égouts infectent la rivière, la Vesle, et la banlieue de la ville. Des industriels ont expérimenté, dès 1867, le traitement chimique de ces eaux à l'aide des lignites qu'on trouve aux environs de Reims, et qui se composent de charbon, de sulfure et de sulfate de fer, de sulfate d'alumine, etc.; en associant ces lignites à de la chaux, ils ont obtenu une épuration satisfaisante moyennant une dépense, en réactifs seuls, de 0',023 par mètre cube; les mêmes chimistes ont également essayé un autre procédé, dans lequel le réactif est formé de houille, de sulfate de fer et de chaux: l'épuration du mètre cube s'est élevée comme dépense à 0',032; les résidus de l'opération devaient, dans l'esprit des inventeurs, servir d'engrais ou plutôt de combustible pour les machines à vapeur. L'utilisation agricole des eaux a été également indiquée comme solution à Reims; on propose d'amener ces eaux par un collecteur long de plusieurs kilomètres jusqu'au domaine des Maretz; elles seraient utilisées pour l'irrigation et le colmatage des terrains de ce domaine, d'une étendue de 267 hectares, à la dose d'environ 20.000 mètres cubes par hectare et par an. La nature essentiellement tourbeuse du terrain proposé a inspiré à un grand nombre de personnes des doutes sur le succès de l'opération proposée; on a songé à remplacer le domaine de Maretz par 200 hectares de terrains crayeux situés à la porte de la ville, mais exigeant une élévation mécanique des eaux. Des essais méthodiques et comparatifs des deux systèmes d'épuration et d'utilisation agricole ont été installés définitivement depuis la fin de la guerre, et se poursuivent sous l'inspection d'une commission spéciale.

A Versailles, les eaux d'égout, réunies dans deux vastes galeries établies par Louis XIV, viennent déboucher dans

un bassin maçonné, dit quarré de la *Réunion*, d'où elles sortent pour former presque intégralement le *ru de Gailly*. Les riverains du ru ont adressé de nombreuses réclamations à la municipalité de Versailles relativement à l'insalubrité de ces eaux. Des études sommaires ont été demandées sur la question aux ingénieurs du service municipal de Paris; aucune décision n'a encore été prise, quoique la disposition des lieux se prête facilement à l'application des deux systèmes d'épuration ou d'utilisation agricole.

A *Saint-Germain* (Seine-et-Oise), les eaux d'égout descendent au Pecq en formant un ru infect qui vient tomber en Seine en amont du pont. Ce ru borde une belle prairie de plus de 20 hectares. Le fermier tenta, en 1869, d'appliquer les eaux du ru à l'irrigation de cette prairie : après trois années de discussions, d'enquêtes et d'essais, un arrêté préfectoral a autorisé définitivement, au mois d'octobre 1872, l'usage des eaux du ru pour l'irrigation. Les résultats pratiques des expériences antérieures étaient du reste frappants, et une végétation luxuriante couvre aujourd'hui la prairie, grâce aux eaux dont le seul rôle avait été jusqu'ici d'infecter les environs. Une petite pompe centrifuge à vapeur, installée avec intelligence par le fermier, assure avec les canaux ordinaires d'irrigation le fonctionnement du système sur toute l'étendue de la propriété.

Aux environs de *Montpellier*, un agriculteur, M. Marès, applique chaque jour, sur environ 4 hectares, 250 à 500 mètres cubes d'eau d'égout et obtient de beaux produits maraichers. Il utilise également sur une assez grande échelle les boues d'égout, déposées dans de simples bassins ou fossés.

A *Carcassonne*, *Cambrai*, *Aix*, *Chambéry*, *Saint-Étienne*, les eaux des ruisseaux et cours d'eau qui sortent de la cité sont appliquées à des irrigations de prairie ou à des irrigations maraichères; mais ces applications sont faites par de simples saignées pratiquées au passage par les intéressés,

sans qu'il y ait plan d'ensemble, sans que la question générale d'assainissement soit examinée, sans qu'il existe aucune liaison entre l'utilisation partielle du dehors et la salubrité de l'intérieur des villes.

Ajoutons enfin que, dans le nord, un certain nombre de sucreries et d'établissements industriels commencent à consacrer d'une manière régulière leurs eaux-vannes à fertiliser les terres, au lieu de les laisser infecter les cours d'eau; ils suivent ainsi l'exemple donné depuis longtemps par M. Dailly à sa ferme de Trappes (Seine-et-Oise). Des efforts sont tentés dans le même sens, avec une grande persévérance, à la porte même de Paris, aux usines de Gonesse, près Saint-Denis, par M. Gérardin.

II. — ANGLETERRE.

La question des eaux d'égout était née et s'élaborait en Angleterre à une époque où elle n'existait pour ainsi dire pas en France. Il y a plus d'un siècle que les eaux d'égout d'Édimbourg fertilisent les prairies qui entourent cette ville. D'autre part, dès 1855, un système d'épuration était installé à Leicester. Sans entrer dans des descriptions détaillées, faites du reste à diverses époques par plusieurs auteurs et entre autres par MM. Hervé Mangon, Mille, Ronna et de Freycinet, nous allons chercher à esquisser l'état présent de la question dans un pays où ce problème préoccupe vivement l'opinion publique.

§ I. *Londres.* — L'assainissement méthodique et complet de Londres est une œuvre toute moderne. Jusqu'en 1856, une multitude de galeries d'égout avaient été établies sans l'ombre de méthode : chacune des nombreuses paroisses, dont l'agglomération formait Londres, avait adopté des types différents; aucune règle dans la distribution des pentes, dans les jonctions réciproques des galeries.

A chaque marée haute, les eaux infectes étaient refoulées dans leur réseau irrégulier ; à chaque marée basse, elles venaient se déverser dans la Tamise, formant une vase immonde dont les exhalaisons chassaient un jour de leurs salles des séances de Westminster les membres des deux Chambres. La situation était d'autant plus fâcheuse que peu à peu toutes les maisons de Londres s'étaient munies de water-closets et envoyaient directement leurs vidanges dans les égouts.

La centralisation fut reconnue nécessaire pour sortir de difficulté ; la *métropole* fut nettement définie et limitée ; un service métropolitain des travaux publics fut organisé ; sous la direction de M. Bazalgette, d'immenses travaux furent exécutés sur un plan général, et, moyennant une dépense de 180 millions, l'assainissement intérieur de Londres fut assuré.

Sur chaque rive de la Tamise, trois grands collecteurs ramassent les eaux d'égout, le sewage ; avec une longueur de 132 kilomètres, ils assainissent 30.432 hectares ; ils transportent le courant impur à une distance de 30 kilomètres du pont de Londres ; lorsqu'en route la pente a fait défaut, au milieu des marais qui entourent Londres, de puissantes machines à vapeur (2.380 chevaux de force) ont été installées ; plus de 400.000 mètres cubes d'eau d'égout viennent ainsi déboucher chaque jour à Barking et à Crossness dans la Tamise maritime, à un endroit où cette rivière n'a pas moins de 700 mètres de large, dans une région absolument désertée. L'œuvre d'assainissement est terminée ; Londres est débarrassé de ses classiques émanations, les impuretés sont emmenées au loin, en un point où elles sont noyées dans une masse d'eau énorme, constamment agitée par le jeu des marées, loin de tout centre d'habitation.

La municipalité londonnienne s'est alors arrêtée, elle a abandonné complètement la question agricole à l'industrie

privée. Une compagnie (*Metropolis sewage and Essex reclamation company*) s'est organisée en 1865. Ses projets étaient magnifiques; un canal de 70 kilomètres de longueur devait partir de Barking et porter les eaux de la partie nord de Londres jusqu'aux sables de Maplin, sur la mer du Nord. En route on parlait de distribuer les eaux d'égout aux cultivateurs, au prix de 0',20 le mètre cube; à l'extrémité du parcours, on avait à sa disposition des milliers d'hectares de grève sableuse livrées gratuitement par le gouvernement. On s'inquiétait peu des difficultés techniques; d'immenses machines à vapeur devaient relever en route, à une hauteur totale de 20 mètres, un cube d'eau qu'on évaluait à 300.000 mètres cubes par jour; les travaux de première installation devaient coûter 70 à 80 millions. Dès 1867, 1 kilomètre de galerie de grand type était construit près de Barking. Puis les grands travaux s'arrêtèrent; tout se réduisit à un petit essai fait sur la ferme de Lodge-Farm à 2 kilomètres de Barking. Depuis quatre à cinq ans, l'exploitation des 80 hectares de ce domaine est tout ce qu'a produit la compagnie, et encore sur ces 80 hectares, 45 seulement étaient soumis à l'irrigation à l'eau d'égout en 1870; en 1871, la surface irriguée a atteint 65 hectares. Le cube d'eau utilisé journellement est des plus restreints, 1.400 à 1.700 mètres cubes. Il est appliqué à des doses variant de 9.000 à 11.000 mètres cubes à l'hectare. La culture du ray-grass et l'élevage des bestiaux, qui devaient primitivement constituer la base essentielle de l'exploitation, ont cédé peu à peu la place dans une large proportion à la culture des légumes. En 1871, 15 à 20 hectares environ, c'est-à-dire moins du tiers de la superficie arrosée, étaient seuls maintenus à l'état de prairie permanente. Le revenu brut à l'hectare était en 1871 de 1.785 contre 1.530 francs de dépenses, soit un revenu net de 255 francs par hectare; le climat brumeux et pluvieux de l'Angleterre, l'impossibilité de faire absorber un cube

d'eau considérable sur un terrain d'une perméabilité médiocre, et d'autre part les charges de l'élévation, du refoulement, de la distribution des eaux qui pèsent intégralement sur la compagnie, empêchent de dépasser ce résultat déjà assez satisfaisant en lui-même, mais qui n'a rien de bien extraordinaire. Il est juste de reconnaître que les comptes de la ferme sont tenus avec une régularité parfaite et livrés chaque année au public par des comptes rendus méthodiques.

Malgré ce que l'essai de Lodge-Farm avec ses documents agricoles peut avoir d'intéressant, on voit le médiocre développement qu'a pris jusqu'ici à Londres l'utilisation agricole. La municipalité s'étant tenue à l'écart d'une opération qui n'était plus, comme elle l'est à Paris, une œuvre d'assainissement, il était bien difficile que cette opération devint industriellement fructueuse. En analysant les projets, on reconnaît que la compagnie devait dépenser au minimum 0^f,04 par mètre cube distribué; pour obtenir un résultat pratique et financier, il fallut donc vendre son eau dès le premier jour à ce prix, et aucun cultivateur sérieux ne l'eût accepté; ou bien il fallait atteindre les sables de Maplin, c'est-à-dire dépenser 70 millions de francs avant même de créer 1 millimètre de terre arable sur des sables arides et exposés à toutes les intempéries de la mer du Nord.

Les systèmes d'épuration chimique se sont présentés de leur côté, au nom de l'industrie privée, pour exploiter les eaux d'égout. Cette fois l'opération a été pratiquée sur la rive sud de la Tamise, à Crossness. La compagnie du *Native-Guano* ou de l'A.B.C. a établi une petite usine à ses risques et périls. A l'aide d'un réactif complexe comprenant de l'alun ou du sulfate d'alumine, du charbon, du sang, de la chaux, etc., et grâce à toute une machinerie extrêmement compliquée et coûteuse, elle prétendait produire un engrais solide, excellent, payant et au delà les frais de fabrication.

Le service métropolitain de Londres, averti par les sévères appréciations des rapports officiels, dus spécialement au docteur Franckland, résolut de contrôler le service d'essai de Crossness. Il fit suivre les opérations par ses agents qui viennent de publier leurs rapports. Il résulte de ces documents que la compagnie a exploité couramment, dans les derniers mois de 1872, un cube de 580 mètres seulement par jour, que le prix d'épuration du mètre cube ressort à la valeur de 0',41, et que la tonne de dépôt sec a coûté 159 francs en frais de fabrication, tandis que sa faible teneur en ammoniacque (0,93 p. 100) et en phosphate de chaux (0,76 p. 100) lui donne à peine une valeur théorique de 20 francs, avec une valeur pratique infiniment moindre. Ajoutons que ces résultats désastreux trouvent leur confirmation dans un essai fait simultanément par la même compagnie dans les bassins de la ville de Paris à Gennevilliers; 3.000 mètres cubes environ ont été expérimentés; le prix d'épuration du mètre cube, non compris les frais des machines et du personnel dont il a été tenu compte à Londres, s'est élevé à 0',28 rien qu'en réactifs, et de ce seul chef la tonne de dépôt produite coûtait 95 francs avec une teneur de 0,89 p. 100 en azote.

L'échec de l'industrie privée est encore plus éclatant de ce côté qu'au point de vue de l'utilisation agricole. La leçon qu'il nous paraît permis de tirer de ce double fait est que, du moins pour les grandes villes, les œuvres d'assainissement sont et doivent être avant tout de grandes opérations municipales. Le concours de l'intérêt privé peut être excellent, mais il doit rester un simple concours; l'industrie ne peut assumer à elle seule les charges et les sacrifices qui s'imposent à l'ensemble de l'opération.

Examinons si l'état de la question dans le reste du Royaume-Uni justifie cette manière de voir.

§ II. *Villes diverses.* — L'emploi agricole des eaux d'égout a, comme nous l'avons déjà dit, un spécimen séca-

laire dans les prairies d'*Edimbourg*. Là, la question ne s'est nullement présentée comme question municipale d'assainissement ; un ruisseau fangeux emportait chaque jour vers la mer un cube de 16.000 mètres cubes d'eau d'égout ; les propriétaires riverains eurent l'heureuse idée de le détourner sur leurs prairies ; les moyens qu'ils employèrent et qu'ils emploient encore pour l'irrigation sont des plus primitifs ; mais le produit en herbe devint bientôt le quintuple de ce qu'il était dans son état naturel, et aujourd'hui 100 hectares offrent à Lochend et à Craigentenny un luxuriant tapis de verdure, qui donne par an un produit de 1.500 à 2.000 francs à l'hectare. La nature sableuse et poreuse du sable permet d'atteindre de fortes doses dans les arrosages (plus de 30.000 mètres cubes par an et par hectare en certains points).

En dehors d'*Edimbourg*, où l'on voit le caractère tout spécial de l'utilisation agricole, l'Angleterre nous offre un assez grand nombre de localités où ce procédé complète l'assainissement municipal ; mais toutes ces localités sont de troisième et de quatrième ordre. De là des conditions toutes particulières : le cube journalier des eaux d'égout descend à quelques milliers de mètres (4.000 mètres en moyenne pour vingt-six villes ou établissements pour lesquels nous avons entre les mains des documents complets). Utilisées à des doses variant de 10.000 à 30.000 mètres cubes à l'hectare, ces eaux exigent des surfaces restreintes comme établissement agricole, 40 à 100 hectares généralement ; ces surfaces sont faciles à trouver, surtout au voisinage de villes peu considérables. La plupart du temps les municipalités les achètent ou plus souvent les louent moyennant des prix assez rapprochés de 300 francs l'hectare ; elles les exploitent elles-mêmes par des agents administratifs (*Bedford*, *Warwick*, *Banbury*, *Merthyr-Tydvil*, etc.), on les sous-loue à des industriels, des compagnies agricoles ou de simples agriculteurs (*Rugby*, *Romford*, *Croydon*, *Worthing*, camp

d'Aldershot, etc.). Rarement les eaux sont envoyées sur des terrains appartenant en propre à des particuliers et indépendants des municipalités (Leamington, Carlisle, Watford).

Les procédés agricoles d'emploi des eaux tendent à s'uniformiser; après des essais de tuyaux et canaux de différents types, on revient partout, pour les conduites maitresses et les canaux principaux, aux tuyaux en grès à joints en ciment, et pour la distribution de détail aux simples rigoles en terre avec vannes en bois ou en métal. — La nature généralement argileuse et forte des terres exige presque partout un drainage artificiel du sous-sol destiné à procurer la perméabilité et l'aération nécessaires. Le système du drainage du sous-sol a été porté récemment à ses dernières limites dans la méthode dite de la *filtration intermittente* dont M. Bailey-Denton est le représentant le plus autorisé. Dans ce cas, une ligne de drains est disposée sous chaque rigole de distribution, sous chaque *raie*, tandis que sur les sillons prospèrent des plantes diverses. On est arrivé ainsi à Merthyr-Tydvil (pays de Galles) à faire absorber au sol devenu artificiellement extraperméable 50.000 mètres cubes et plus par an et par hectare. Quant aux cultures des divers établissements d'irrigation, les prairies permanentes, et spécialement le ray-grass, ont joui tout d'abord d'une faveur presque exclusive; peu à peu la culture des légumes, si avantageuse aux environs des villes, a pris le dessus; à Bedford, Warwick, Croydon, Merthyr-Tydvil, etc. la majeure partie du sol est occupée par des cultures de ce genre. La transformation est des plus remarquables à Croydon, où nous n'avons guère vu en 1869 que des prairies, assez irrégulièrement tenues, et où nous avons trouvé cette année de magnifiques champs de choux, choux-fleurs, mangolds, etc.

Les résultats financiers de l'utilisation agricole sont généralement nuls ou minimes pour les municipalités qui con-

servent naturellement les charges de l'élévation des eaux. A Warwick, à Bedford, à Merthyr, à Bambury, les régies municipales donnent dans les meilleures circonstances une opération se soldant à blanc. Les eaux sont livrées gratuitement aux cultivateurs à Édimbourg, à Aldershot, à Leck, à Malvern, etc. A Croydon, les terrains, loués par la municipalité 312 francs l'hectare, sont sous-loués à la compagnie exploitante 624 francs; la compagnie a donné en 1870 un dividende à ses actionnaires, mais s'est trouvée en perte en 1871. Une sous-location rémunératrice du même genre (625 francs contre 231 francs) existe à Rugby. A Leamington, la ville a les charges de l'élévation et lord Warwick lui paye 11.343 francs par an pour l'usage des eaux (5.634 mètres cubes par jour); à Romford, M. Hope reçoit les eaux, élevées par la ville, sur les terrains dont il est le fermier; il paye la terre et l'eau 22.700 francs pour 48 hectares irrigués et 1.590 mètres cubes par jour; cette somme est taxée d'exagérée par un grand nombre d'agriculteurs pratiques; à Carlisle, la rente descend à 126 francs pour 2.200 mètres cubes par jour.

Des exploitations agricoles restreintes, dont nous venons d'esquisser les traits principaux, aux cubes énormes et aux vastes surfaces qu'exigeraient les grandes cités, il y a tout un abîme.

On se rend compte, en effet, des difficultés financières et techniques toutes nouvelles qu'offrirait des opérations plus développées, basées sans modification sur les résultats des petites exploitations qui existent seules jusqu'ici en Angleterre. Les ingénieurs anglais l'ont parfaitement senti, et c'est pour parer à une de ces difficultés qu'ils semblent actuellement s'attacher à ce système de filtration intermittente qui a pour résultat de donner au sol les propriétés poreuses et filtrantes, offertes si heureusement par la nature à la ville de Paris dans la plaine de Gennevilliers.

L'importante ville de Birmingham, qui vomit chaque

jour 77.000 mètres cubes d'eau d'égout et qui les soumettait à un simple dépôt mécanique et à un emploi agricole très-imparfait à Sauley, s'était décidée à recourir au système de la filtration intermittente. Les études les plus consciencieuses avaient conduit ses magistrats municipaux à reconnaître comme minimum de terrain indispensable 324 hectares ; on avait rejeté bien loin les idées de M. Hope, lequel n'estimait pas à moins de 4.000 hectares la surface nécessaire. Les dépenses de premier établissement atteignaient, d'après le projet, le chiffre considérable de 8 millions de francs. Au Parlement, le projet a échoué dans la dernière session, à une faible minorité il est vrai : une partie des membres s'est révoltée à la pensée de donner à une ville le pouvoir d'exproprier des centaines d'hectares ; qu'eût-ce été si l'on était venu demander l'expropriation des 4.000 hectares de M. Hope ? La ville de Birmingham a donc échoué ; il était sans doute plus commode pour elle de chasser tout d'un coup les détenteurs de 300 hectares plutôt que de placer ses eaux peu à peu chez les cultivateurs, ainsi que l'essaye la ville de Paris. On voit que l'opinion publique n'a pas encore consacré de l'autre côté du détroit une façon aussi sommaire d'obtenir l'assainissement de la banlieue. La ville de Birmingham est aujourd'hui réduite à reprendre des essais sur les procédés d'épuration chimique ; elle paraît assez satisfaite du procédé du général Scott qui, après avoir épuré les eaux par la chaux, calcine les résidus et forme une espèce de ciment.

On se tromperait, du reste, si l'on croyait les idées d'épuration mortes en Angleterre. Elles y ont aujourd'hui peu de défenseurs parmi les ingénieurs et les savants, et les rapports officiels des commissaires royaux sur la pollution des rivières expriment sur les divers procédés chimiques le jugement le plus sévère. Mais une partie du public et quelques municipalités se laissent encore séduire par la facilité apparente d'application de systèmes qui exigent

pour s'établir quelques acres seulement de terrain et qui s'annoncent tous comme devant fournir les engrais les plus précieux. Dès 1855, une compagnie s'organisait pour exploiter les eaux d'égout de Leicester par le lait de chaux (procédé Wicksteedt); des installations mécaniques complexes étaient destinées à opérer les mélanges, extraire les dépôts, les dessécher, etc. — 14.000 à 15.000 mètres cubes étaient ainsi traités chaque jour. La compagnie annonçait l'intention de vendre le dépôt 50 francs la tonne, et cependant la valeur théorique résultant des analyses n'était que d'environ 20 francs; aussi la vente fut nulle; la compagnie ruinée disparut, et la ville de Leicester se borne aujourd'hui à faire administrativement une épuration sommaire à la chaux, se débarrassant de ses dépôts comme elle peut sans jamais en obtenir un prix supérieur à 2 francs. A Blackburn, à Tottenham, Leiton, Worksop, le procédé à la chaux a été également appliqué en grand; au début, des appareils mécaniques coûteux accompagnaient aussi le système et devaient trouver leur compensation dans le prix de vente des dépôts. Ce dernier ayant fait défaut comme à Leicester, on est revenu à une épuration grossière faite à la chaux dans de simples bassins doubles avec dessiccation à l'air et absence de manipulation sur les dépôts. Ceux-ci présentent généralement une odeur des plus prononcées. A Northampton, un mélange de chaux et perchlorure de fer a servi quelque temps à épurer les eaux; la municipalité est en train d'abandonner l'épuration chimique pour l'irrigation; le système est encore employé par la petite ville d'Alton. Divers autres procédés, phosphate de magnésie, sulfate d'alumine pur, sels de fer, etc. ont été essayés en divers endroits, puis abandonnés.

Nous avons vu plus haut les résultats obtenus récemment à Londres par le procédé de l'A. B. C., auquel une publicité développée avait donné, en 1871, une certaine faveur à la Bourse. La même compagnie avait installé un

service d'essai à *Leamington*; ce service a disparu devant l'emploi agricole et devant la concession faite à lord Warwick. A *Leeds*, elle a fait une expérience depuis un an sur 9.000 mètres cubes par jour, soit le cinquième de la totalité des eaux d'égout de la ville; quoique la ville ait fait tous les frais d'installation, les dépenses d'épuration sont telles que la tonne de dépôt revient à 67 francs. La compagnie reconnaît elle-même qu'elle est en perte, en refusant de développer son service sans subvention de la part de la municipalité; à *Bolton* et à *Hastings*, des essais ont également eu lieu, sans conduire à un résultat beaucoup plus favorable.

A côté de la compagnie de l'A. B. C. ou du *Native guano*, une autre compagnie a également fait récemment quelque bruit en Angleterre, c'est la « *Phosphate sewage company* ».

Celle-ci traite les eaux d'égout par un mélange de chaux et de phosphate d'alumine; ce dernier est extrait d'une île voisine de Saint-Domingue, dite d'Alto-Vela, et est assez riche en acide phosphorique (25 à 32 p. 100). A croire les représentants de la compagnie, venus l'été dernier à Paris pour faire les offres les plus séduisantes à la ville, le succès était complet en Angleterre: les villes de Leicester, de Tottenham appliquaient le système (désigné quelquefois sous le nom de système de Forbe et Price); la compagnie disposait à Alto-Vela d'une mine inépuisable de réactif; elle vendait ses dépôts 100 francs la tonne, etc. Toute vérification faite, aucun traité n'existe entre la compagnie et les municipalités anglaises; le gouvernement de Saint-Domingue a repris depuis deux ans la concession de l'île d'Alto-Vela. Une expérience en grand, faite l'été dernier à Gennevilliers, a donné des résultats suffisants au point de vue de l'épuration, mais avec une dépense de 0,40 par mètre cube épuré, et de 125 francs par tonne de dépôt produit.

Enfin nous citerons un dernier procédé, mécanique plutôt que chimique, que nous aurions passé sous silence, vu son

insignifiance en Angleterre, si son introduction à Paris pour le traitement des vidanges à Bondy ne lui donnait un intérêt d'actualité : c'est le procédé *Weare*, ou le procédé de la « *Peat Engineering and sewage filtration company* ». Le principe du système est purement et simplement la filtration des eaux d'égout ou des matières de vidange à travers du charbon d'origine végétale. A Newcastle-unter-Lyme, à l'établissement de charité dépendant de la ville de Stoke, le détenteur primitif du brevet, le sieur Weare, traite le cube journalier insignifiant de 80 mètres cubes environ de sewage par le charbon de bois concassé et pilé et par les cendres. L'eau sort assez claire de ses filtres, mais au bout de quelques heures elle dégage à nouveau une odeur infecte. C'est là tout ce que la compagnie exploite actuellement en Angleterre. A Paris, profitant du système d'adjudication adopté au printemps dernier par la municipalité, la compagnie a obtenu le bail de la voirie de Bondy pour quinze ans, moyennant la redevance de 6^f,07 consentie envers la ville par chaque mètre cube de matière de vidange, lequel ne dose environ que 3 kilogrammes à 3^k,50 d'azote. Depuis le mois de juin 1872, la compagnie, qui prétend user exclusivement à Bondy du charbon de tourbe (*peat*), n'a pas traité industriellement 100 mètres cubes de vidange.

On le voit, si les systèmes d'épuration en Angleterre ne sont pas absolument abandonnés, ils présentent de bien minimes applications et ne peuvent être mis en ligne de compte avec le système de l'utilisation agricole qui, pour les vingt-six localités principales où il est appliqué, comprend un cube journalier total de 100.000 mètres cubes et plus de 1.000 hectares en culture.

Ajoutons enfin que dans un grand nombre de localités anglaises citées ci-dessus, y compris Londres, les eaux d'égout, le *sewage*, renferment les matières de vidange qui y descendent directement des water-closets. Cette addition ne modifie pas, du reste, sensiblement les manipulations

agricoles ou chimiques que nécessitent par elles-mêmes les eaux d'égout; elle constitue, pour les localités qui la pratiquent, un moyen simple et efficace d'assurer leur salubrité intérieure. Les grandes villes industrielles, Leeds, Birmingham, Manchester, ne pratiquent guère, au contraire, l'écoulement direct à l'égout; le service des vidanges s'y fait dans des conditions déplorables à l'aide des fosses fixes ou mobiles, communes à des centaines de personnes et situées souvent au voisinage d'immenses ateliers dont elles altèrent profondément la salubrité. Le progrès, tel qu'il est compris dans ces localités, consiste à adopter partout des fosses mobiles dans lesquelles on ajoute soit des cendres, soit d'autres matières désinfectantes.

La municipalité de Birmingham, dans sa remarquable enquête sur les eaux d'égout et les vidanges, avait ainsi conclu à un système de fosses mobiles, enlevées fréquemment de nuit et à l'exclusion absolue du déversement des matières de vidanges dans les égouts.

III. — PAYS DIVERS.

§ I. *Belgique.* — La ville de Bruxelles a exécuté récemment de larges travaux d'assainissement intérieur, dont la conséquence naturelle est la nécessité d'aborder à l'extérieur la question des eaux d'égout. La rivière de la Senne, qui servait autrefois d'infect réceptacle aux eaux sales de la ville et qui était exposée à des inondations désastreuses pour les quartiers bas, a été voûtée en maçonnerie dans toute la traversée de Bruxelles. Deux collecteurs latéraux ont été accolés à la Senne; ils présentent respectivement une longueur d'un peu plus de 2.000 mètres et se réunissent en un collecteur unique qui va porter les eaux d'égout à 5 kilomètres de la ville, sur la rive droite de la Senne, un peu en amont du village de Vilvorde. Tous ces travaux, plus l'établissement d'un grand boulevard au-dessus de la

Seine voûtée et la construction d'une bourse devaient être exécutés à forfait par une compagnie anglaise (Belgian public works company), moyennant une subvention de 24 millions et l'abandon de la plus-value provenant de la revente des terrains en bordure sur le nouveau boulevard. Après deux faillites de la compagnie, la municipalité dut reprendre et terminer les travaux. Aujourd'hui l'œuvre est terminée dans Bruxelles. A l'extérieur la question des eaux d'égout n'est qu'ébauchée. Elle se présente cependant avec un degré évident d'urgence, attendu que peu à peu les cabinets d'aisances des maisons de Bruxelles ont été mis en communication directe avec les égouts et qu'ainsi les eaux ont acquis un caractère d'infection des plus prononcés. Dans le contrat primitif avec la compagnie anglaise, celle-ci devait établir à l'extrémité du collecteur une usine de décantation, puis répandre les eaux décantées sur 60 hectares de prairies permanentes, qu'elle eût entretenues à ses frais et dont elle eût tiré tel parti qu'elle aurait voulu. L'exploitation de ces prairies devait soi-disant constituer un des grands bénéfices de la compagnie. Sans s'arrêter à ces affirmations par trop confiantes, on remarquera que le cube journalier des eaux d'égout étant de 50.000 mètres cubes au moins et de 75.000 mètres cubes au plus, c'était imposer à chacun des 60 hectares un service de 200.000 à 500.000 mètres cubes. bien lourd sur des terrains d'alluvions, médiocrement perméables, situés au fond d'une vallée déjà garnie de prairies naturelles, sous le ciel brumeux de la Belgique. Après la disparition de la compagnie anglaise, les ingénieurs belges reprirent l'étude de la question. Ils vinrent visiter le service fait à Gennevilliers par la ville de Paris et recommandèrent à la municipalité de Bruxelles un essai expérimental analogue pour servir de base à leurs projets. Ceux-ci sont actuellement à l'étude. Les ingénieurs belges, abandonnant le fond de la vallée de la Seine et la théorie des prairies permanentes, songent à

élever les eaux sur les plateaux de Loo et Penthy, qui renferment plusieurs milliers d'hectares de terrains sablonneux, perméables et de qualité médiocre, éminemment propres à la culture maraîchère à l'eau d'égout. L'élévation des eaux à la hauteur voulue, 22 et 36 mètres, serait obtenue à l'aide d'appareils à vapeur et de pompes centrifuges, suivant les principes adoptés à Gennevilliers.

La question n'est donc pas encore résolue à Bruxelles, mais, débarrassée des illusions primitives, elle est en voie d'études.

§ II. *Allemagne.* — En Allemagne, la ville de Dantzig vient de terminer son assainissement intérieur, avec utilisation extérieure des eaux d'égout.— Les plans des travaux ont été donnés par M. Latham, ingénieur anglais, qui s'est longtemps occupé de l'assainissement et de l'utilisation des eaux d'égout de Croydon. Une machine à vapeur avec pompes a été établie à l'extrémité des collecteurs moyennant une dépense de 189.000 francs; elle déverse les eaux sur une superficie de 800 hectares, dont l'exploitation est entreprise pour trente années par un Anglais, M. Aird. — *Le Journal officiel* du 10 septembre 1872 rend compte en termes favorables du fonctionnement du système.

A Berlin, la salubrité municipale est à l'état d'enfance; les égouts existent à peine; les immondices de la ville viennent pourrir dans les bas-fonds du Thier-Garden. — Une branche de la compagnie des phosphates d'alumine (Berlin Phosphate sewage company) existe cependant dans la capitale de la Prusse; elle essaye d'appliquer le phosphate aux matières de vidange pures, pour en constituer un engrais. La déchéance de la concession de l'île d'Alto-Vela, gîte du phosphate d'alumine, ôte toute valeur sérieuse à la compagnie en question.

A Vienne, à Pesth, des études sont faites en vue de compléter l'assainissement, et des ingénieurs, envoyés en mission par les municipalités de ces villes, sont venus étudier

l'exploitation des eaux d'égout de la ville de Paris à Gennevilliers et les divers établissements des cités anglaises.

§ III. *Italie.* — En Italie, les marcites du Milanais, vastes prairies permanentes qui couvrent plus de 1.000 hectares à la porte de Milan, sont arrosées par la *Vettalia*, cours d'eau qui ramasse les liquides impurs de la cité et donne par jour un débit minimum de 100.000 mètres cubes. Ces marcites ont été souvent citées comme type d'utilisation agricole des eaux d'égout; rien n'est cependant moins exact. Les eaux de la *Vettalia* sont presque limpides : « La dilution, dit M. l'ingénieur en chef Mille dans un rapport adressé en 1862 à M. le préfet de la Seine, dépasse toutes les proportions connues; elle ne montre rien de semblable au flot de la Tamise sous les ponts ou de l'égout d'Asnières à son débouché en Seine. » Des analyses dues à M. Hervé Mangon apprennent en effet que le mètre cube de la *Vettalia* contient dix fois moins de matières organiques que les eaux du collecteur d'Asnières. L'emploi se fait par ados, et le sol recouvert d'une herbe permanente acquiert une telle imperméabilité que « les eaux de la *Vettalia*, qui s'épuisent peu dans leur fuite rapide sur les ailes d'une marcite, servent jusqu'à quarante fois avant de se jeter au Lambro. » Il n'y a rien là d'analogue aux conditions dans lesquelles se présente forcément le problème dans la plupart des villes.

Aussi la municipalité de Florence, désireuse de compléter à l'extérieur le service de ses égouts, a-t-elle cherché hors d'Italie les principes de l'opération. Le syndic de Florence est venu à Paris étudier l'exploitation et les projets de l'administration municipale.

§ IV. *Espagne.* — Enfin, en Espagne, la Huerta de Valence irrigue ses splendides cultures maraîchères à l'aide du canal de *Rusafa*, qui a recueilli les eaux de lavage d'une ville de 100.000 âmes. Mais là, comme à Milan, les eaux d'égout sont diluées dans un cours d'eau qui avait son em-

ploi et sa valeur agricole par lui-même en dehors des déjections qu'il reçoit comme par hasard. Néanmoins M. Mille a pu en conclure dès 1866 que les cultures maraichères comportaient l'application des eaux impures et qu'il était peu rationnel de parler uniquement de prairies. Mais le problème d'assainissement municipal ne s'y montre pas sous la forme impérative que nous avons rencontrée en France et en Angleterre.

Résumé.

En résumé, les eaux d'égout sont, comme les vidanges avec lesquelles elles se confondent quelquefois, une conséquence *extérieure* forcée de l'assainissement *intérieur* des agglomérations humaines. Versées brutalement dans les cours d'eau à la porte des villes, elles constituent un inconvénient et un danger pour la salubrité de la banlieue; elles anéantissent en même temps en pure perte les éléments fécondants qu'elles renferment.

Traitées chimiquement par des réactifs divers, elles peuvent se *clarifier* en abandonnant, sous forme de dépôts solides, les substances qu'elles tenaient en suspension; il y a déjà progrès; l'eau devenue claire peut retourner à la rivière avec moins d'inconvénients; les dépôts contiennent en outre une partie des matières fertilisantes. Mais les substances dissoutes laissent encore aux eaux un degré marqué d'impureté, malgré leur aspect limpide; il y a en même temps perte au point de vue agricole de ces mêmes matières dissoutes. Pour parer à ce dernier inconvénient, on peut chercher à utiliser les eaux épurées; mais les travaux nécessaires sont aussi coûteux que dans la méthode d'utilisation immédiate. Dans l'utilisation immédiate, les eaux sont versées à leur état naturel sur le sol, elles le traversent, s'il est naturellement ou artificiellement perméable; dans ce passage, elles s'oxydent, fournissent de suite des azotates

et autres matières solubles qui sont absorbées par la végétation, tandis que les particules solides retenues à la surface forment un excellent humus. La solution de la question est complète.

En France, la ville de Paris, s'appuyant sur les deux systèmes d'épuration et d'utilisation agricole, mais en admettant les opérations chimiques comme simple moyen transitoire et complémentaire, a poursuivi des expériences progressives depuis cinq ans. Un service provisoire, installé dans la plaine de Gennevilliers, fonctionne régulièrement sur 50 hectares avec un cube journalier de 6.000 à 12.000 mètres cubes d'eau d'égout. Des travaux viennent d'être exécutés pour porter ce cube à 80.000 mètres cubes, soit au tiers des eaux d'égout totales; il ne restera plus qu'à multiplier les types établis pour arriver au service de la totalité des eaux, c'est-à-dire à l'assainissement complet de la Seine. La ville de Paris n'exploite pas par elle-même ses eaux d'égout, mais s'appuie sur le concours des cultivateurs pour consommer le courant fertilisant de la manière la plus rationnelle. La nature du sol et le climat permettent d'atteindre de fortes doses, 50.000 mètres cubes par hectare et par an.

Dans les autres villes de France, l'étude et la solution de la question n'existent pour ainsi dire pas, sauf à Reims, où des essais se poursuivent depuis quelques années.

En Angleterre, la ville de Londres a conduit ses eaux d'égout dans la Tamise maritime et a assuré ainsi suffisamment son assainissement et celui de sa banlieue; l'industrie privée a fait des expériences restreintes, agricoles à Lodge-Farm, chimiques à Crossness. Les projets d'ensemble, pour l'emploi des eaux de Londres, n'ont reçu aucun commencement sérieux d'exécution.

Un assez grand nombre de villes de province, d'importance secondaire, traitent leurs eaux d'égout et ont adopté généralement l'utilisation agricole sur des terrains, soit ex-

plaités, soit acquis, soit loués par les villes elles-mêmes; il y a actuellement une tendance générale à restreindre les surfaces irriguées (système de la filtration intermittente) et à profiter de l'abondance des matières fertilisantes pour cultiver les légumes au détriment des prairies.

Il reste quelques spécimens d'épuration chimique; mais les compagnies, qui s'étaient organisées pour l'exploitation des divers réactifs, ont disparu ou sont dans la situation la plus critique.

Dans les autres pays étrangers, la Belgique cherche à compléter par l'utilisation agricole de ses eaux d'égout les beaux travaux d'assainissement qui viennent d'être terminés à Bruxelles; les ingénieurs en sont encore à la période des essais et des études. A Dantzig, un système d'irrigation semble fonctionner depuis quelques mois avec succès. Partout ailleurs, la question n'est qu'à l'étude, et l'on peut simplement citer quelques localités comme les marciés du Milanais ou la Huerta de Valence, où les eaux d'irrigation, employées pour elles seules, se trouvent accidentellement chargées de détritiques organiques dus au voisinage des grandes villes.

Il reste donc encore bien à faire en France comme à l'étranger pour résoudre d'une manière générale cette grave question d'hygiène et de culture. Mais la voie est certainement tracée aujourd'hui: le sol transforme les eaux d'égout en substances inoffensives et immédiatement utilisables par la végétation. Nous n'avons qu'à nous en prendre à nous-mêmes si nous refusons d'accepter un procédé d'assainissement aussi simple et aussi productif, si nous ne voyons pas dans cette régénération des détritiques l'effet des grandes lois de la nature.

Paris, le 28 février 1873.

N° 10

NOTE

Sur les onglets.

Par M. STOECKLIN, ingénieur des ponts et chaussées.

Ayant dû rattacher les uns à la suite des autres, et dans des conditions diverses, une série de plans qui n'avaient pas été disposés en conséquence, et n'ayant trouvé nulle part une théorie complète des onglets, j'ai été conduit à étudier cette théorie.

Comme les résultats de cette étude peuvent présenter quelque intérêt, je vais les consigner ici très-succinctement (*).

Problème à résoudre. — Dans sa forme la plus générale, le problème se pose ainsi :

Étant données deux feuilles de papier M et N, ayant la même largeur L, les réunir par une bande P, et calculer les plis de l'onglet (*arête et charnière*), de façon à ce qu'une ligne donnée C'E' se place exactement sur une autre ligne CB, le point C' étant placé sur le point C (Pl. 4, fig. 1).

Soit $EDK = A$, $E'D'K' = A'$ (les angles étant tournés vers la droite), $A - A' = \alpha$, $CF = H$, $C'F' = H'$, $H - H' = h$.

Il est évident que tous les cas seront compris dans les quatre suivants : α et $h > 0$, $\alpha > 0$ avec $h < 0$, $\alpha < 0$ avec $h > 0$, $\alpha < 0$ avec $h < 0$.

Nous allons considérer successivement les quatre hypothèses.

(*) Je crois devoir engager les lecteurs, — s'il s'en trouve pour affronter l'aridité de cette note abstraite, — à reproduire les figures, ou tout au moins la fig. 2, sur une feuille séparée, et à faire les plis de la charnière (pli intérieur) et de l'arête (pli extérieur).

Or
$$\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \delta'\right) = \cos\frac{\alpha}{2} \cos\delta' - \sin\frac{\alpha}{2} \sin\delta',$$

donc
$$RS = -\frac{h}{2} \frac{\cos\frac{\alpha}{2} \cos\delta' - \sin\frac{\alpha}{2} \sin\delta'}{\sin\frac{\alpha}{2} \sin\delta'},$$

et en divisant les deux termes par $\sin\frac{\alpha}{2} \sin\delta'$:

$$RS = -\frac{h}{2} \left(\cotang\frac{\alpha}{2} \cotang\delta' - 1 \right) = \frac{h}{2} \left(1 - \cotang\frac{\alpha}{2} \cotang\delta' \right).$$

Tous les points de la ligne C'K répondent théoriquement au problème, pourvu que les plis remplissent les conditions suivantes :

- 1° Que la charnière soit perpendiculaire au milieu de CC' ;
- 2° Que l'angle N'C'E' = $90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta$ (PCE'' étant égal à $180^\circ - ECE''$ ou α , et CG étant bissectrice de PCE'', on a

$$GCC' = 180^\circ - (PCG + C'CE) = 180^\circ - \left(90^\circ - \frac{\alpha}{2} + \delta \right) = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta;$$

Donc il suffit, en pratique, de faire l'angle E'CN' = GCC' = G'C'I' (G'C' étant parallèle à GC).

Mais pour que la brisure R ne se fasse pas dans l'intérieur du papier, c'est-à-dire que l'onglet puisse se faire pratiquement, il faut encore que RS soit égal ou supérieur à H. Or si l'on fait RS = H dans la formule

$$RS = \frac{h}{2} \left(1 - \cotang\delta' \cotang\frac{\alpha}{2} \right),$$

$$\text{on a} \quad H - \frac{h}{2} = -\frac{h}{2} \cotang \delta' \cotang \frac{\alpha}{2},$$

$$\text{et comme} \quad H - \frac{h}{2} = \frac{2H - H + H'}{2} = \frac{H + H'}{2},$$

$$\text{on a} \quad \frac{H + H'}{2} \times \frac{1}{\cotang \frac{\alpha}{2}} \quad \text{ou} \quad \frac{H + H'}{2} \tang \frac{\alpha}{2} = -\frac{h}{2} \cotang \delta'.$$

Si l'on mène $CB = H$, si par J , milieu de CK , on mène l'horizontale JX , et si l'on fait en même temps l'angle $CBX = ECA$ (CA étant la bissectrice de ECE'') $= \frac{\alpha}{2}$, on a dans le triangle JBX :

$$JX = BJ \tang JBX = \frac{H + H'}{2} \tang \frac{\alpha}{2},$$

et dans le triangle CJX :

$$JX = JC \tang JXC = JC \cotang JXC = \frac{h}{2} \cotang JXC;$$

$$\text{donc} \quad \frac{H + H'}{2} \tang \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{2} \cotang JXC,$$

$$\text{d'où} \quad \cotang JXC = -\cotang \delta'$$

$$\text{et} \quad JXC = -\delta' = -(A - \delta) = \delta - A.$$

Par conséquent, en prolongeant CX jusqu'en C'' sur l'horizontale KC' , on obtiendra le point C'' en deçà duquel on ne pourra placer C' .

En résumé, on obtient les formules :

$$\gamma \text{ ou } RC'C = 90^\circ - \frac{\alpha}{2},$$

$$\beta \text{ ou } N'C'E' = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta,$$

$$RS = \frac{h}{2} \left(1 - \cotang \delta' \cotang \frac{\alpha}{2} \right).$$

DEUXIÈME CAS.

$\alpha > 0$ avec $h < 0$.

En suivant la même marche et conservant les mêmes notations, savoir (voir fig. 3) :

$$\gamma = RC'C, \quad \alpha = ECE'', \quad \beta = N'CE', \quad BK = H', \quad CB = H,$$

$$CK \text{ ou } C'H = H' - H = -(H - H') = -h,$$

$$BJ = \frac{H + H'}{2}, \quad C'CE = \delta, \quad A - \delta = \delta',$$

on a

$$RC'E' = \gamma + \delta,$$

$$RC'E' + \gamma - \delta + \alpha = 180^\circ,$$

d'où

$$\gamma = 90^\circ - \frac{\alpha}{2},$$

$$\beta = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta.$$

$$RS = RC \sin RC'S = RC \sin (RCC' - SCC') = RC \sin (\gamma - \delta'),$$

de même

$$\frac{CC'}{2} = RC \sin \frac{\alpha}{2},$$

$$C'H = CC' \sin (A - \delta),$$

donc

$$RS = -\frac{h}{2} \frac{\sin \left(90^\circ - \frac{\alpha}{2} - \delta' \right)}{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \delta'} =$$

$$-\frac{h}{2} \frac{\cos \left(\frac{\alpha}{2} + \delta' \right)}{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \delta'} = \frac{h}{2} \left(1 - \cotang \delta' \cotang \frac{\alpha}{2} \right).$$

On trouvera, comme dans le premier cas, le point C''.

TROISIÈME CAS.

$$\alpha < 0 \text{ avec } \delta > 0.$$

Admettant toujours les mêmes notations (voir fig. 4),

$$RCC' = \gamma, \quad ECE'' = A' - A = -\alpha, \quad RCE' = \beta;$$

on a par la superposition :

$$RC'E' = RCE = RCC' - ECC' = \gamma - \delta$$

$$\text{et } RCE' \text{ ou } N'CU = 180^\circ - (RC'C + UC'C) = 180^\circ - \gamma - \delta + \alpha,$$

$$\text{d'où} \quad 2\gamma - \alpha = 180^\circ$$

$$\text{ou} \quad \gamma = 90^\circ + \frac{\alpha}{2}$$

$$\beta = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta,$$

d'autre part,

$$RS = RC \sin RCS = RC \sin [\gamma - (\delta - A)] = RC \sin (\gamma + \delta'),$$

$$\frac{CC'}{2} = RC \sin (90^\circ - \gamma) = RC \sin \left(-\frac{\alpha}{2} \right) = -RC \sin \frac{\alpha}{2},$$

$$CH = CC' \sin (\delta - A) = -CC' \sin (A - \delta) = -CC' \sin \delta',$$

$$\text{donc } RS = \frac{h}{2} \frac{\sin \left(90^\circ + \frac{\alpha}{2} + \delta' \right)}{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \delta'} = \frac{h}{2} \frac{\cos \left(\frac{\alpha}{2} + \delta' \right)}{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \delta'}$$

$$= \frac{h}{2} \frac{\cos \frac{\alpha}{2} \cos \delta' - \sin \frac{\alpha}{2} \sin \delta'}{\sin \frac{\alpha}{2} \sin \delta'} = \frac{h}{2} \left(\cotang \frac{\alpha}{2} \cotang \delta' - 1 \right) =$$

$$- \frac{h}{2} \left(1 - \cotang \delta' \cotang \frac{\alpha}{2} \right),$$

ce qui est la même formule que pour le premier cas, on changeant le signe de RS, qui est passé au-dessous de l'horizontale.

La limite de RS étant L — H ou K, on aura

$$K = -\frac{h}{2} \left(1 - \cotang \delta' \cotang \frac{\alpha}{2} \right),$$

ou
$$K + \frac{h}{2} = +\frac{h}{2} \cotang \frac{\alpha}{2} \cotang \delta',$$

ou encore

$$\left(K + \frac{h}{2} \right) \tang \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{2} \cotang \delta'.$$

Or

$$K + \frac{h}{2} = BJ;$$

donc en faisant l'angle $JBX = \frac{ECE''}{2} = -\frac{\alpha}{2}$, on aura :

$$JX = BJ \tang \left(-\frac{\alpha}{2} \right) = -\left(K + \frac{h}{2} \right) \tang \frac{\alpha}{2}$$

et

$$JX = JC \cotang CXJ,$$

donc
$$-\left(K + \frac{h}{2} \right) \tang \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{2} \cotang CXJ,$$

d'où
$$CXJ = -\delta' = -(\Lambda - \delta) = \delta - \Lambda.$$

En prolongeant CX, on obtient le point C''.

QUATRIÈME CAS.

$$\alpha < 0 \text{ avec } h < 0.$$

On a encore RC'E' qui se superpose sur RCE (voir fig. 5),

donc
$$RC'E' = RCE = RCC' - ECC' = \gamma - \delta$$

et
$$RC'E' \text{ ou } UCN' = 180^\circ - (RC'C + UC'C) = 180^\circ - \gamma - \delta + \alpha,$$

d'où
$$\gamma = 90^\circ + \frac{\alpha}{2}, \text{ RC'E' ou } \beta = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta,$$

$$RS = RC \sin RCS = RC \sin \left(90^\circ + \frac{\alpha}{2} + \Lambda - \delta \right) = RC \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \delta' \right),$$

$$\frac{CC'}{2} = RC \sin \left(-\frac{\alpha}{2} \right) = -RC \sin \frac{\alpha}{2}, \quad CH = CC' \sin \delta',$$

$$\text{donc } RS = -\frac{C'H \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \delta'\right)}{\sin\frac{\alpha}{2} \sin\delta'} = \frac{h \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \delta'\right)}{\sin\frac{\alpha}{2} \sin\delta'} =$$

$$\frac{h}{2} \left(\cotang\frac{\alpha}{2} \cotang\delta' - 1 \right) = -\frac{h}{2} \left(1 - \cotang\frac{\alpha}{2} \cotang\delta' \right)$$

et l'on trouvera, comme pour le troisième cas, le point C".

On obtient donc :

Pour $\alpha > 0$, c'est-à-dire si le pivot est au-dessus, ou le papier plié en descendant,

$$\gamma = 90^\circ - \frac{\alpha}{2}, \quad \beta = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta \quad \text{ou} \quad 90^\circ - \left(\delta - \frac{\alpha}{2} \right),$$

$$RS = \frac{h}{2} \left(1 - \cotang\frac{\alpha}{2} \cotang\delta' \right).$$

Pour $\alpha < 0$, c'est-à-dire si le pivot est au-dessous, ou le papier plié en montant,

$$\gamma = 90^\circ + \frac{\alpha}{2}, \quad \beta = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta = 90^\circ - \left(\delta - \frac{\alpha}{2} \right),$$

$$RS = -\frac{h}{2} \left(1 - \cotang\frac{\alpha}{2} \cotang\delta' \right).$$

REMARQUES.

I. En pliant le papier suivant OR et C'R (fig. 6), de façon à ce que C'E' tombe sur CE, l'horizontale C'K fera, avec l'horizontale CH, un angle égal à HCE ou $(180^\circ - A) + KC'E'$, ou $(A') = 180^\circ - (A - A') = 180^\circ - \alpha$; de même si (fig. 7) $\alpha < 0$, l'angle de C'K avec CH, après la rotation, sera

$$HCE \quad \text{ou} \quad (180^\circ - A) + KC'E' \quad \text{ou} \quad A' = 180^\circ - (A - A') = 180^\circ - \alpha.$$

Donc si α est > 0 , l'angle que fait $C'K$ avec CH , est $< 180^\circ$, le pivot est en haut et le pli de la feuille se fait en descendant; si α est < 0 , l'angle devient $> 180^\circ$, le pivot est en bas et le pli de la feuille se fait en montant.

Il en résulte aussi, que α devra être toujours $< 180^\circ$; si α était supérieur à 180° , il faudrait faire deux onglets successifs.

II. γ étant égal à 90° moins la valeur positive de $\frac{\alpha}{2}$, et étant compris entre 0° et 90° , pour que l'onglet puisse avoir lieu, il faut encore que $\frac{\alpha}{2}$ soit $< 90^\circ$, ou $\alpha < 180^\circ$.

III. Pour que la superposition directe de $C'E'$ sur CE puisse avoir lieu, il faut que β , ou $90^\circ - \left(\delta - \frac{\alpha}{2}\right)$ soit > 0 , d'où $\delta - \frac{\alpha}{2} < 90^\circ$, ou $C'CA < C'''CA$ (*fig. 2*), c'est-à-dire qu'il faut que le point C' soit pris à droite de C''' . Si C' est pris à gauche de C''' , c'est le prolongement de $C'E'$ qui se placera sur le prolongement de CE .

On peut encore se rendre compte de ces résultats, en suivant sur le papier l'effet matériel du mouvement des onglets.

Prenons en effet la *fig. 2*, et ne faisons que le seul pli de la charnière, la ligne $C'E'$ se placera sur CE''' . Il est facile de voir, en répétant l'opération et le raisonnement pour tous les cas, que la superposition directe de $C'E'$ sur CE n'aura lieu, qu'autant que CE''' se trouvera à gauche de CE , et qu'il y aura superposition des prolongements, lorsque CE''' se trouvera à droite de CE , et comme l'angle $C'CE''' = CCE' = VCE' = 180^\circ - CCE' = 180^\circ - (\delta - \alpha)$, et que l'angle $C'CE = \delta$, on aura :

Superposition directe, avec $180^\circ - \delta + \alpha > \delta$ ou $\delta < 90^\circ + \frac{\alpha}{2}$,

et *Superposition des prolongements*, avec $180^\circ - \delta + \alpha < \delta$

$$\text{ou } \delta > 90^\circ + \frac{\alpha}{2};$$

et dans tous les cas, la charnière $C'N'$, qui correspondra, après le premier rabattement, à la bissectrice de l'angle ECE'' , fera alors avec CE''' , ou en réalité avec $C'E'$, un angle $= \frac{1}{2} (C'CE''' - C'CE) = 90^\circ - \delta + \frac{\alpha}{2}$, vers la gauche, s'il y a superposition directe, et vers la droite, s'il y a superposition des prolongements.

D'un autre côté, si l'on remarque, 1° que l'angle MQC' que la charnière fait avec l'horizontale, est égal à $90^\circ + (A - \delta) = 90^\circ + \delta'$ (car $QQC' = 90^\circ - QC'O$ ou OCH); 2° que, pour $\delta < 90^\circ + \frac{\alpha}{2}$, on a $\delta' > A' - \frac{\alpha}{2} - 90^\circ$, ou $90^\circ + \delta' > \frac{A + A'}{2}$, et pour $\delta > 90^\circ + \frac{\alpha}{2}$ on a $90^\circ + \delta' < \frac{A + A'}{2}$; enfin, 3° que l'angle $ACH = \frac{A + A'}{2}$, on voit que pour $h > 0$ (ce qui exige un angle $C'QM$ ou $90^\circ + \delta' < 90^\circ$ ou $\delta' < 0$);

si $\frac{A + A'}{2}$ est $> 90^\circ$, c'est-à-dire si CA se trouve à gauche de la verticale CB' , on aura $\frac{A + A'}{2}$ à fortiori $> 90^\circ + \delta'$; donc aussi, $\delta > 90^\circ + \frac{\alpha}{2}$, et par conséquent toujours superposition des prolongements;

si $\frac{A + A'}{2}$ est $< 90^\circ$, c'est-à-dire si CA se trouve à droite de la verticale CB' , on aura superposition des prolongements pour $\frac{A + A'}{2}$ compris entre 90° et $90^\circ + \delta'$, et superposition directe pour $\frac{A + A'}{2} < 90^\circ + \delta'$;

Et pour $h < 0$ (ce qui exige $90^\circ + \delta' > 90^\circ$ ou $\delta' > 0$):

si $\frac{A + A'}{2} < 90^\circ$, c'est-à-dire si CA est à droite de CB' ,

on aura, à fortiori $\frac{A + A'}{2} < 90^\circ + \delta'$; donc aussi, $\delta < 90^\circ + \frac{\alpha}{2}$, et par conséquent *toujours* superposition directe;

si $\frac{A + A'}{2} > 90^\circ$, c'est-à-dire si CA est à gauche de CB',

on aura,

superposition directe pour $\frac{A + A'}{2}$ compris entre 90° et $90^\circ + \delta'$, et superposition des prolongements pour $\frac{A + A'}{2} > 90^\circ + \delta'$.

IV. Si l'on fait $\beta = 0$ (fig. 8), la ligne C'E' sert elle-même d'arête, il faut alors que $90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta = 0$; donc $\delta = 90^\circ + \frac{\alpha}{2}$, c'est-à-dire que CC' est perpendiculaire à CA et devient la bissectrice de l'angle RCE''.

Mais pour que, dans ce cas, l'onglet puisse se faire, il faut :

1° Que la bissectrice CC' rencontre l'horizontale C'K à droite du point C, ou, comme cela vient d'être indiqué à la fin de la remarque III, que : avec $h > 0$, la bissectrice CA soit à droite de la verticale CB, et qu'avec $h < 0$, cette bissectrice CA soit à gauche de la verticale CB;

2° Que le point de rencontre R ne se trouve pas dans l'intérieur du papier, et pour cela, que la bissectrice CC' rencontre l'horizontale C'K au delà du point C'', déterminé comme il est dit ci-dessus par la formule

$$\frac{H + H'}{2} \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2} = -\frac{h}{2} \operatorname{cotang} \delta'$$

quand le pivot est en dessus, et

$$\left(K + \frac{h}{2} \right) \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{2} \operatorname{cotang} \delta'$$

quand le pivot est en-dessous.

APPLICATIONS PRATIQUES.

PLANS D'ALIGNEMENT.

Quand on rapporte, soit un plan d'alignement, soit l'axe d'un tracé, on dispose d'ordinaire son papier à l'avance, de la façon qui suit (*fig. 9*) :

Si le premier alignement est une ligne AB, et si le deuxième alignement fait avec celle-ci un angle $ABC = a$, on mène DB bissectrice de ABC; du point E on mène EF perpendiculaire sur AB, on fait $FEG = DEF$; en prenant alors KF comme charnière et EG comme arête, la ligne HO, prolongement de AB, se placera sur BC. En effet, EG se place sur ED, H sur B, et comme l'angle $GHO = ABD = DBC$, la ligne HO se placera sur BC.

Comme $EBH = \frac{a}{2}$ ainsi que EHB, l'angle BEH sera égal à $180^\circ - a$.

D'ordinaire on prend la ligne AB horizontale; la charnière EF est alors verticale.

Ces résultats peuvent se déduire directement de la théorie indiquée ci-dessus. En effet, si l'on se réfère au raisonnement qui accompagne la *fig. 2*, on voit que dans le cas actuel, c'est la ligne HO qui doit, après la rotation, tomber sur BC, un point quelconque H coïncidant d'ailleurs avec le point B; comme CC' devient ici BO; CE, BC; C'E', OZ; CG, BE; on devra prendre pour arête, une ligne E'G' faisant avec OZ un angle $ZOG' = EBO$, et pour charnière, une perpendiculaire au milieu de BO.

Or on a

$$\alpha = OBC, \quad \delta = OBC, \quad \text{donc } ZOG'$$

$$\text{ou } 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta = 90^\circ - \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} = EBH = EHB = OHG,$$

ce qui indique que E'G' est parallèle à EG; le plus petit onglet sera obtenu, en menant par E une ligne EG faisant,

ou bien avec BE, un angle égal à α ou CBO ou $180^\circ - \alpha$, ou bien avec BO un angle $\text{EHB} = \frac{\alpha}{2}$, puis menant EF, soit comme bissectrice de l'angle HEB, soit comme perpendiculaire à BH.

Si, pour un motif quelconque, on n'avait pas pris le premier alignement AB horizontal (fig. 10), et si l'on désirait que l'onglet étant ouvert, le deuxième alignement, au lieu de fournir le prolongement de AB, devint horizontal, il faudrait mener BE bissectrice, non plus de l'angle ABC ou A'BC', mais de l'angle CBH, et mener EH en faisant, soit avec BE un angle $\text{BEH} = \text{OBC}$, ou avec BH un angle $\text{EHB} = \text{EBH}$, puis tracer EF bissectrice de BEH.

Toute ligne parallèle à EG pourrait également servir d'arête.

SOLUTION GÉNÉRALE.

Quand on aura à résoudre le cas général indiqué à la fig. 1, on mènera (fig. 11) CE'' parallèle à $\text{C'E}'$, CA bissectrice de ECE'' , puis la verticale CB (ou CB' si α est < 0 , c'est-à-dire si CE'' se trouve à gauche de CE), on prendra $\text{BK} = \text{H}'$; par le point J, milieu de KC, on mènera l'horizontale JX, et par B une ligne BX telle que CBX soit égal à ECA; on prolongera CX jusqu'en C'' ; on mènera ensuite CC''' bissectrice de l'angle PCE'' ; tout point C' de l'horizontale KC' placé au delà de C'' et de C''' , pourra servir pratiquement à tracer l'arête $\text{C}'\text{N}$ en faisant l'angle $\text{E}'\text{C}'\text{N} = \text{C}'\text{CC}'''$. Au moyen des indications données ci-dessus à la remarque III, on voit que tout point C' placé à droite de C''' , donnera lieu à la superposition directe; et que tout point C' donnera lieu à une superposition des prolongements. Pour avoir l'onglet le plus petit, et si d'ailleurs aucune autre sujétion ne s'y oppose, on prendra pour C' le point C'' , ou mieux, un point placé un peu à droite de C'' .

Si avec C'' placé à droite de C'' , on a en même temps, $\lambda > 0$

avec la bissectrice CA à droite de la verticale CE , ou $\lambda < 0$ avec la bissectrice CA à gauche de la verticale CE , $C'E$ pourra servir elle-même d'arête, et se placer sur CE en prenant pour charnière une perpendiculaire menée au milieu de CC' .

MOUVEMENT PARALLÈLE.

Un cas qui rentre également dans la question des onglets, est celui dans lequel la ligne $C'E$ (Pl. 5, fig. 1) devrait, au moyen de l'onglet, prendre la situation parallèle CE .

En appliquant les formules

$$\gamma = 90^\circ - \frac{\alpha}{2} \quad \text{et} \quad \beta = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta,$$

et remarquant qu'ici $\alpha = 0$, on voit que la charnière et l'arête seront parallèles, et perpendiculaires à CC' ; et en effet, si l'on mène une ligne CC' quelconque, et si l'on prend pour charnière et pour arête, respectivement les perpendiculaires OP et $C'R$, $C'E$ viendra se placer sur CE .

Si l'on avait deux feuilles M et N (Pl. 5, fig. 2) de même hauteur, mais placées à des niveaux différents, pour relever la seconde au moyen d'un onglet, au même niveau que la première, on pourrait prendre deux charnières quelconques OP et $C'R$, déterminées comme il vient d'être dit. Mais pour qu'avec l'onglet fermé, les arêtes ab , fg restent sans interruption, il faudra mener bt faisant avec tg un angle droit, c'est-à-dire faire sur bg un segment capable d'un angle droit, et prendre pour charnière et pour arête su et gt .

NOTA. Pour épuiser la question, on pourrait encore chercher à déterminer, quelles modifications il faudrait introduire dans la théorie qui précède, si dans la fig. 1 on devait prendre pour arête une ligne passant par C , au lieu de prendre une ligne passant par C' , c'est-à-dire si CE devait s'appliquer sur $C'E$ et non plus $C'E$ sur CE .

Pour résoudre ce problème il suffit de retourner la papier en mettant l'avant à l'arrière, et l'on retombe dans les cas étudiés ci-dessus. On voit que si l'on prend (Pl. 5, fig. 3) RO pour charnière et RN pour arête, RCE tombe sur RCE', donc

$$RCE = RCE' = CCR \text{ (ou } \gamma) - CCE' \text{ (ou } \delta);$$

en appelant toujours γ l'angle que fait l'arête avec la ligne CC', et δ l'angle de cette ligne CC' avec la ligne *restant fixe* CE'. On a de même

$$RCE \text{ (ou } NCU) + C'CR + UCC' \text{ (ou } CCE' \text{ ou } CCE' + E'CE'') = 180^\circ,$$

$$\text{ou} \quad RCE + \gamma + \delta - \alpha = 180^\circ;$$

$$\text{donc} \quad 2\gamma = 180^\circ + \alpha \quad \text{ou} \quad \gamma = 90^\circ + \frac{\alpha}{2},$$

$$\text{et} \quad RCE = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta.$$

Ce sont les mêmes formules que ci-dessus pour $\alpha < 0$.

Pour obtenir l'arête RN, il suffit donc de tracer la bissectrice G'C' de l'angle E'CP, de mener CG parallèle à G'C', et de faire avec CE l'angle ECR = GCK; en effet,

$$GCK = G'C'C = G'C'E' - CCE' = 90^\circ + \frac{\alpha}{2} - \delta.$$

L'arête *en avant* ne peut évidemment pas répondre à des cas autres que ceux auxquels satisfait l'arête *en arrière*, puisqu'il suffit de retourner le papier, pour que l'arête en avant devienne arête en arrière. L'arête en avant ne pourrait être employée avec quelque avantage, que s'il devait se produire, vers l'origine du plan, un angle très-prononcé.

Bayonne, le 15 octobre 1872.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

CHRONIQUE.

Février 1873.

N° 11

LOCOMOTIVE ARTICULÉE DE M. RARCHAËRT.

NOTE

Par M. Es. COLLIGNON, ingénieur des ponts et chaussées.

Les lecteurs des *Annales* connaissent bien le nom de M. Rarchaërt, ingénieur civil, et n'ont pas oublié le rapport inséré, en 1863, par M. Couche (*), au nom d'une commission composée de MM. Avril, Mary et Busche sur son projet de *locomotive articulée à douze roues couplées*. Depuis cette époque, M. Rarchaërt n'a pas abandonné des études si importantes pour l'avenir des chemins de fer. Dès le 4 février 1865, il présentait à la *Commission des inventions* un nouveau système de locomotive à quatre essieux moteurs : cette communication fut bientôt suivie

(*) Tome VI, pages 178 et suivantes.

d'un rapport favorable, et valut à l'inventeur les encouragements de l'administration.

La locomotive à quatre essieux est maintenant construite, et nous nous proposons dans cette note de rendre un compte sommaire des essais dont elle vient d'être l'objet. Avant tout, il est utile de donner une idée de la machine elle-même (Pl. 5, fig. 4, 5, 6).

C'est une locomotive-tender, pesant en charge 31 tonnes; elle repose sur deux chariots américains rattachés chacun au bâti par une cheville ouvrière, qui leur permet de suivre toutes les inflexions de la voie dans le plan horizontal. Sur un alignement droit, les roues extrêmes de la locomotive sont espacées de 4 mètres d'axe en axe; les roues d'un même chariot sont à la distance de 1^m,20. La disposition adoptée réduit donc dans le rapport de 40 à 12, ou de 10 à 3, la longueur rectiligne qui mesure, pour ainsi dire, la roideur de la machine. Le rayon minimum des courbes s'abaisse, grâce à cette combinaison, au-dessous de 30 mètres, et le passage de la machine dans de telles courbes s'effectue avec la plus grande facilité.

Les roues ont un diamètre de 1^m,10; les essieux sont, à peu de chose près, également chargés, de 8.700 kilogrammes au maximum. La machine a une surface de chauffe de 80 mètres carrés, comprenant 5^m,73 pour le foyer et 74^m,27 pour les tubes. La pression dans la chaudière s'élève à 8 ou 9 atmosphères; enfin les pistons moteurs ont 0^m,40 de diamètre et 0^m,50 de course. La force de traction développée par la machine, évaluée au moyen de la formule pratique $0,63 \frac{Pd^2}{D}$, est de 4.254 kilogrammes;

la vitesse maximum peut monter à 50 kilomètres, limite que la petitesse des roues ne permet guère de dépasser. A ces caractères, on reconnaît une machine très-convenable pour le service des marchandises et des trains mixtes sur les lignes secondaires, où l'on a le plus d'intérêt à

réduire le rayon des courbes pour adopter un tracé peu coûteux.

La transmission du mouvement entre les cylindres et les roues motrices constitue, à proprement parler, l'invention de M. Barchaert. Au lieu de rattacher directement la bielle du piston à la manivelle de l'un des essieux moteurs, pour transmettre ensuite la rotation de cet essieu aux autres, il fait agir la bielle sur un *faux essieu* suspendu au milieu des longerons du châssis, et qui conserve toujours sa position relative par rapport aux cylindres. Les extrémités du faux essieu portent deux manivelles à angle droit, ou plutôt forment deux coudes en dehors desquels sont rejetés les excentriques de la distribution, et auxquels les bielles des pistons viennent s'articuler. Outre ces deux coudes, le faux essieu en a un troisième au milieu de sa longueur. De là partent les pièces qui commandent les essieux moteurs. Nous avons dit que le faux essieu était au niveau des longerons, c'est-à-dire à quelques centimètres au-dessus des centres des roues motrices, aussi est-ce par une véritable *bielle triangulaire* qu'il agit sur les coudes des deux essieux voisins. On comprend l'avantage de cette disposition. Le faux essieu peut agir de deux manières sur chacun des deux essieux voisins : directement, au moyen de la bielle rectiligne qui les unit ; indirectement, par la bielle qui commande l'autre essieu moteur, et par le lien qui rattache le coude de ce second essieu au coude du premier. La machine de M. Barchaert, bien qu'elle n'ait qu'une bielle, n'a ainsi aucun point mort, car, quelle que soit la position de cette bielle triangulaire, le coude de l'arbre moteur ne peut être à la fois en prolongement des deux tiges qui le sollicitent, et dont l'une au moins exerce sur lui tout son effet.

Pour assurer la transmission malgré le jeu des chariots autour des chevilles ouvrières, il suffit de substituer aux portées cylindriques des bielles sur les arbres coudés, des

portées sphériques qui laissent aux essieux moteurs la liberté de subir sans résistance les déviations angulaires commandées par le passage des courbes. En résumé, la transmission est indifférente à la flexion de la machine, car elle est tout entière concentrée dans son plan moyen, là où les longueurs des pièces ne subissent pas d'altération sensible.

Des bielles d'accouplement ordinaires complètent le mécanisme en réunissant l'une à l'autre les roues dans chacun des chariots américains.

Cette description, trop rapide assurément, et les figures dont elle est accompagnée, suffisent pour faire apprécier ce qu'il y a d'ingénieux et de neuf dans la solution adoptée par l'inventeur. Venons aux essais qui ont eu lieu du 8 au 15 octobre dernier, sur les voies des ateliers de MM. Maze et Voisine, à Saint-Denis, et sur le chemin de fer du Nord, et qui ont justifié tous ses calculs.

Le 8 octobre, la machine démarrait pour la première fois, et parcourait les voies des ateliers. L'épreuve se faisait là dans des conditions peu favorables. Les voies étaient difficiles, inégales, les ressorts de la machine n'étaient pas réglés, l'ajustage des diverses pièces n'avait pas encore été contrôlé par l'expérience. Néanmoins la locomotive parcourut à différentes reprises, avec une douceur remarquable et avec une liberté absolue, ces chemins de fer à l'état rudimentaire. Elle gagna ensuite les voies du chemin de fer du Nord ; dans la gare de Saint-Denis, elle démarra sans hésitation, et traîna à la vitesse de 20 kilomètres, sur la *voie des bestiaux* jusqu'au *pont de la Révolte*, en rampe de 4 à 6 millimètres, seize wagons chargés de 10 tonnes chacun.

L'épreuve fut continuée les jours suivants sur les voies de service des ateliers Maze et Voisine, jusqu'au 15 octobre, où un essai complet, avec la machine définitivement réglée, eut lieu sur la ligne du Nord, entre Saint-Denis et

Paris, en présence des agents du contrôle (*). La vitesse s'est régulièrement maintenue à 20 kilomètres à l'aller; pour le retour, la machine est revenue à vide en six minutes de la Chapelle à Saint-Denis, à une vitesse de plus de 50 kilomètres.

L'examen des pièces du mouvement, démontées après ces huit jours d'essai, a fait reconnaître qu'elles avaient toutes fonctionné dans les conditions les plus convenables. Les coussinets des bielles triangulaires n'avaient pas chauffé, et nulle part on ne trouva d'organes forcés par le passage sur les courbes de 50 mètres de rayon, que l'on rencontre dans les voies de raccordement de la ligne du Nord avec les ateliers.

La machine a été transportée depuis sur le chemin de Vitry à Fougères, où les courbes sont déjà bien prononcées pour les locomotives rigides, et où une locomotive articulée est sans doute appelée à rendre de grands services. Si, comme il est permis de l'espérer, l'essai pratique qui va en être fait réussit aussi bien que les essais préliminaires, la locomotive Rarchaërt pourra exercer une heureuse influence sur le tracé des voies ferrées : elle permettra en effet de suivre de plus près les formes du terrain, et d'éviter, sans de trop grandes dépenses de premier établissement, des déclivités qui grèvent pour l'avenir les frais d'exploitation d'excédants si regrettables. A un moment où de tous côtés on réclame de nouveaux chemins de fer d'intérêt local, l'apparition d'une machine appropriée aux courbes de faible rayon est un fait qui ne doit pas passer inaperçu.

LÉGENDE DE LA FIGURE 5, PLANCHE 5.

A, faux-essieux.

B, C, essieux courbés des chariots américains.

(*) MM. Bouvier et Cuvilier, gardes-mines des contrôles du Nord et de l'Ouest.

- AEC,** bielle triangulaire.
D, D', pistons moteurs.
E, E', bielles actionnant le faux-essieu.
F, F', excentriques de distribution.
K, K', chevilles ouvrières.
L, L', longerons.
M, M', traverses.
G, G', H, H', bielles d'accouplement des chariots américains.
-

N° 12

SUR QUELQUES PROGRÈS RÉCENTS DE LA FABRICATION DU FER
ET DE L'ACIER EN ANGLETERRE (*).

NOTE

Par M. GEORGES LEMOINE, ingénieur des ponts et chaussées.

« A la métallurgie du fer, se rattachent aujourd'hui en Angleterre les plus grandes questions de la science et de l'industrie. Pour en comprendre toute l'importance, il faut se reporter surtout aux conditions économiques dans lesquelles se trouve aujourd'hui placée la production du fer dans la Grande-Bretagne : augmentation des salaires, grèves répétées de la population ouvrière, élévation énorme du prix de la houille. Pour peindre par un exemple local toutes ces difficultés, il suffira de citer un extrait d'une lettre que le 18 janvier 1873. on m'écrivait de Newcastle :

« La houille, qui valait $2\frac{1}{2}$ shellings le tonneau il y a dix ans, se paye actuellement 15 shellings. Il est difficile de se procurer du menu, et les fabricants ont le plus souvent à payer le prix du tout-venant... La hausse sur la houille, en 1872, est de 112 p. 100, ce qui est nécessairement nuisible à l'industrie anglaise. Le prix trop élevé se maintient parce que la demande se soutient, parce que l'industrie du fer est très-prospère, et parce qu'il y a grève en Écosse et dans le pays de Galles. Les affaires ne se font guère qu'au comptant. Il n'y a pas de

(*) Cette note est extraite d'une communication plus étendue faite à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, dans les séances du 27 décembre 1872 et du 28 février 1873.

« grève ici : les mineurs sont assez réguliers au travail ;
 « ceux de Durham persistent dans leur demande de 15
 « p. 100 de hausse. La nouvelle loi sur les mines, mise en
 « vigueur le 1^{er} janvier, par ses dispositions sur le travail
 « des enfants, a réduit l'extraction de 10 à 15 p. 100. On
 « s'occupe des nouveaux règlements qui en sont la consé-
 « quence. Les maîtres rejettent la responsabilité de la
 « hausse sur le gouvernement qui s'est mêlé de réglemen-
 « ter leur industrie... »

Ces détails suffisent pour faire comprendre quel immense intérêt s'attache aujourd'hui à toutes les méthodes qui peuvent diminuer le prix de revient du fer et de l'acier. Sans parler de la méthode Bessemer, déjà ancienne et bien connue, je distinguerai surtout à ce point de vue : d'un côté, le procédé Danks pour le puddlage mécanique de la fonte ; de l'autre, les procédés de fabrication de l'acier employés par M. Siemens.

Puddlage mécanique de la fonte : procédé Danks. — C'est à Middlesborough, à quelque distance de Newcastle, que j'ai vu fonctionner le puddlage mécanique de la fonte par le procédé Danks, l'une des grandes nouveautés industrielles de l'Angleterre, importée d'Amérique en 1872. M. Frontault, ancien élève de l'École des ponts et chaussées, a donné dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* (année 1872), une description très-exacte de cette méthode (*). Je me borne à en rappeler le principe.

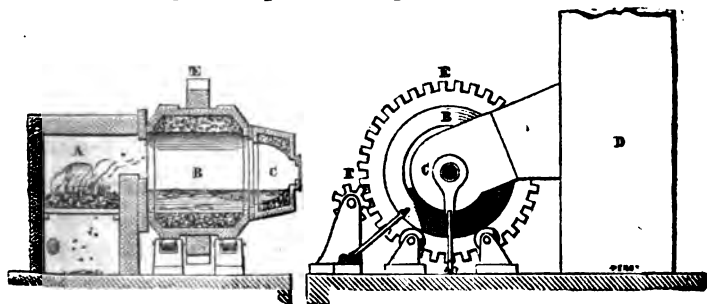
La fonte est placée dans un cylindre à axe horizontal, animé d'un mouvement de rotation qui atteint environ qua-

(*) Voir également dans le journal le *Constructeur* (janvier et février 1873 : Paris, 20, avenue Trudaine) le rapport d'ingénieurs belges sur cette nouvelle méthode. C'est surtout dans le *Journal of Iron and Steel Institute* que l'on trouvera tous les renseignements désirables.

Depuis la rédaction de cette notice, M. Amlot, ingénieur des mines, a publié un mémoire détaillé sur le procédé Danks (*Annales des mines*, tome II, année 1872).

tre tours par minute. Le cylindre est chauffé par la flamme d'un foyer ordinaire où l'on brûle de la houille. Le seul fait de la rotation fait rouler la fonte sur elle-même et la remue d'une manière très-énergique. Elle se décarbure pendant ce mouvement surtout par l'action du *fettling*, c'est-à-dire du revêtement de l'appareil, fait très-soigneusement avec de l'oxyde de fer, choisi de manière à être presque exempt de silice. D'après M. Danks, la nouvelle méthode ne produit pas de perte de fer : on a même un léger gain sur la quantité introduite à l'état de fonte, car le revêtement et les scories ajoutées fournissent une certaine quantité de métal, grâce à l'action du carbone et du silicium de la fonte, qui décomposent le peroxyde de fer.

Le puddleur a soin d'injecter de l'eau à la surface du revêtement : cette eau est essentielle au succès du travail ; elle agit en oxydant le fer, et il ne serait pas impossible que son hydrogène ne purifiât les produits.



- A. Foyer : la combustion y est activée par une tuyère.
- B. Rotateur, reposant sur quatre galets.
- C. Appendice faisant communiquer le rotateur avec la cheminée : cet appendice peut se déplacer lors du chargement et du déchargement.
- D. Cheminée.
- E. Roue dentée, mise en mouvement par le pignon F.

L'opération que j'ai vue dans l'usine de M. Hopkins, en y assistant pendant toute sa durée, a pris en tout une heure trente-cinq minutes, en y comprenant la fusion du métal. Elle portait sur 250 kilogrammes de fonte.

L'avantage du nouveau procédé sera surtout très-sérieux lorsque, comme on allait le faire, on fondra la fonte au cubilot avant de l'introduire dans l'appareil rotatif. Un seul de ces appareils fera alors, dit-on, la besogne de six des fours à puddler ordinaires de l'usine. Aussi en construit-on actuellement dans plusieurs grandes forges anglaises. On peut peut-être lui reprocher d'agencer d'une manière peu commode l'appareil qui unit le rotateur à la cheminée ; mais l'adoption en est accélérée, relativement aux autres procédés de puddlage mécanique, par la faiblesse du droit prélevé par l'inventeur.

Fours Siemens. — M. W. Siemens est l'une des plus hautes personnalités de l'Angleterre actuelle. A la fois savant et ingénieur, il a déjà réalisé dans l'industrie une véritable révolution par l'invention des fours à gaz et à chaleur régénérée si répandus en France aujourd'hui. Ces fours n'emploient, comme on sait, que des combustibles gazeux obtenus par une sorte de distillation de la houille : on les brûle en les mélangeant avec de l'air. Les gaz produisent ainsi par leur combustion la température que l'on veut obtenir. Avant de se rendre dans la cheminée générale de l'usine, ils passent sur des massifs de brique qu'ils échauffent au moyen de leur chaleur perdue ; au bout d'un certain temps, on change le sens du courant gazeux : les briques redonnent alors la chaleur qu'elles ont emmagasinée, et au gaz et à l'air dont la combustion doit produire la température désirée.

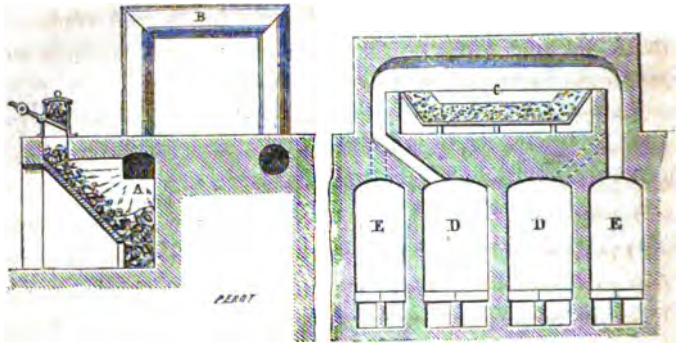
Rien n'est plus élégant que la disposition des grandes usines marchant tout entières avec les fours à gaz. Une série de foyers fournissent le gaz combustible pour toute l'usine : des valves le distribuent à volonté, comme cela a lieu dans nos laboratoires pour le gaz d'éclairage. On est d'ailleurs complètement maître de la nature chimique de la flamme : en réglant avec une valve la quantité d'air introduite, on la rend à volonté neutre, oxydante ou réductrice.

Fabrication de l'acier au four Siemens. — L'une des applications les plus importantes des fours Siemens est leur emploi pour la fabrication de l'acier.

On sait que l'acier peut être obtenu directement en fondant ensemble de la fonte et du fer, ou de la fonte et des minerais très-riches et très-purs, ceux de Mokta-El-Hadid, par exemple. Cette réaction peut se faire, soit au creuset, soit dans un four à réverbère chauffé par le système Siemens.

1° La méthode fondée sur l'emploi de la fonte et du fer est appliquée en France sur une grande échelle par M. Martin. Elle joue également un grand rôle en Angleterre, où on l'appelle procédé Siemens-Martin. A Sheffield, plusieurs usines ne fabriquent que de l'acier produit par l'action de la fonte sur le fer : l'acier de cémentation, rendu homogène par une fusion au creuset, est réservé pour les objets de choix.

2° La méthode fondée sur l'emploi de la fonte et des minerais de fer est appliquée, en même temps que la précédente, à l'usine de Landore, près de Swansea, appartenant à M. Siemens et à plusieurs de ses amis. On y affine la fonte et on la transforme en acier, sur sole ouverte, au moyen d'une addition de minerai de fer riche, en couverture sur le bain.



- A. Générateur de gaz combustibles.
 B. Tuyau en forme de siphon qui, en refroidissant les gaz, leur donne un certain excès de pression.
 C. Sole du four.
 D, D. Chambres à briques, destinées au passage de l'air.
 E, E. Chambres à briques, destinées au passage des gaz combustibles.

La sole a environ 5^m,30 de long ; son épaisseur est d'environ 0^m,50. Elle est formée d'un mélange à parties égales de sable de mer et de sable d'eau douce, sans qu'on prenne aucune précaution bien spéciale pour la pureté de ces substances.

Pour une charge d'environ huit tonnes, la réaction dure de neuf à dix heures ; elle se fait sans aucun travail mécanique. La flamme est maintenue légèrement oxydante, l'oxygène du minerai ne suffisant pas tout à fait pour brûler le carbone de la fonte. Le jour de ma visite, le poids de minerai ajouté était les 25 p. 100 de la fonte : celle-ci provenait du Cumberland.

A la fin de l'opération, on ajoute, comme dans la méthode Bessemer, 10 p. 100 de fonte manganésifère *spiegel-eisen* : elle contient elle-même 10 p. 100 de magnanèse, et est fabriquée dans une usine voisine avec des minerais originaires d'Angleterre. La coulée se fait à très-peu-près comme pour les appareils Bessemer, à l'exception du moteur hydraulique, qui, ici, n'existe pas et est remplacé par une

grue mue par la vapeur. Les lingots bruts sont réchauffés dans un four toujours chauffé au gaz, puis laminés sous forme de barres qu'on livre au commerce.

Le grand avantage du procédé actuel est sa lenteur même, car on ne fait la coulée qu'après avoir vérifié par des prises d'essai la qualité du métal.

La grande condition de succès de cette méthode, comme de tous les procédés de fabrication de l'acier, est la pureté des matières employées. On la contrôle au moyen d'analyses chimiques qui ont lieu après chaque coulée. A Landore, l'acier produit contient en général :

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| 0,35 à 0,40 p. 100 de carbone | } | (Il n'y a que des traces de carbone libre.) |
| 0,35 id. de manganèse. | | |
| 0,03 id. de silicium. | | |

On s'arrange de manière qu'il ne contienne pas plus de sept dix-millièmes (0,07 p. 100) de soufre, ni plus de huit dix-millièmes (0,08 p. 100) de phosphore. Pour que cette condition essentielle soit réalisée, il y a un grand nombre de minerais auxquels on est forcé de renoncer.

Nouvelle méthode de M. Siemens pour la fabrication du fer. — A côté de ces procédés d'aciération dont les principes sont déjà connus, vient se placer une nouvelle méthode, toute différente, que M. Siemens étudie pour la fabrication du fer. Elle est peut-être destinée à un grand avenir; car, d'une part, elle réalise une économie considérable sur les procédés actuels, et de l'autre, elle permettrait d'utiliser pour la fabrication de l'acier des minerais plus ou moins phosphoreux.

Cette nouvelle méthode n'est autre que celle des forges catalanes, exécutée avec les appareils modernes. Son principe consiste à fondre le minerai et à réduire directement par le charbon ce minerai fondu, sans passer par l'intermédiaire de la fonte.

1° Lors de mon voyage à Landore, ce procédé s'exécutait provisoirement dans un four à puddler à gaz du système Siemens, chauffé à une température un peu plus élevée que pour le puddlage de la fonte. La durée de l'opération était à peu près de trois à quatre fois plus longue que lorsqu'il s'agit de la fonte.

On produit la fusion du minerai, ramené au besoin au minimum d'oxydation par l'addition d'un peu de charbon, et additionné même d'un peu de chaux. Le minerai étant fondu, on y incorpore de l'anhracite; le silicate de fer est réduit grâce à la présence de la chaux ou d'autres bases.

On précipite ainsi par le charbon, non pas la totalité, mais la plus grande partie du fer, soit les $\frac{2}{10}$ environ. Le métal réduit est aggloméré et retiré comme dans les fours à puddler, puis il est porté sous le marteau-pilon. La scorie reste liquide, car elle retient encore une quantité suffisante d'oxyde de fer et, de plus, les autres bases provenant de la gangue.

Le fer brut ainsi produit est employé, souvent même encore chaud, pour fabriquer de l'acier en le fondant avec de la fonte, comme nous l'avons vu tout à l'heure.

D'après les essais en grand déjà faits, un avantage essentiel du procédé de M. Siemens serait de donner du fer très-pur avec des minerais sulfureux et surtout notablement phosphoreux.

On conçoit jusqu'à un certain point que le phosphore puisse rester dans la scorie, car malgré sa richesse en silice, cette scorie reste très-basique et même ferrugineuse; le charbon n'a pas été ajouté en excès; enfin la température est moindre que dans le haut fourneau, de manière qu'on a du fer métallique spongieux très-pur et non pas de la fonte, où se rassemblent toutes les impuretés.

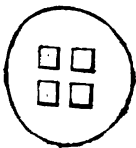
Cette élimination du phosphore serait un avantage capital : elle permettrait une très-grande extension de la fa-

brication de l'acier, grâce à l'emploi de minerais relativement impurs.

1° Le nouveau procédé de M. Siemens est trop important pour ne pas être employé sur une grande échelle, avec des appareils spéciaux. C'est ce qui se fait aujourd'hui à Sheffield et à Birmingham : c'est ce qu'on essaye également dans une de nos grandes usines du centre de la France.

Ces appareils ont beaucoup varié : lors de mon voyage (septembre 1872), on comptait opérer la fusion et la réduction dans deux appareils séparés ; il paraît qu'aujourd'hui on s'est arrêté à un appareil unique pour les deux phases de l'opération. On emploie un cylindre tournant autour d'un axe horizontal et inspiré sans doute par celui du procédé Danks pour le puddlage mécanique de la fonte, mais le mode de chauffage est différent : il repose sur un principe spécial qu'il est bon de signaler.

L'appareil rotatif est chauffé au gaz comme tous ceux qu'emploie M. Siemens, mais c'est par une même extrémité de l'axe horizontal de rotation qu'on fait à la fois entrer les gaz combustibles et l'air, et sortir les produits de la combustion. L'autre extrémité de l'axe reste ainsi complètement libre comme porte de travail, et elle est fermée par une plaque réfractaire qu'on fait déplacer comme les portes d'un four à puddler, mais qui est fixe par rapport à l'appareil tournant. Cette disposition offre de très-sérieux avantages sur celle de l'appareil Danks.



Pour réaliser ce mode de chauffage, on a un système de quatre orifices voisins. A un moment donné, le gaz combustible et l'air entrent par les deux orifices d'un même côté, à gauche par exemple : ils se répandent dans l'appareil en vertu d'un léger excès de pression qui leur est propre, et donnent par leur combustion la chaleur nécessaire à la réaction. Ils s'échappent ensuite par les deux ori-

fices de droite, appelés qu'ils sont par le tirage général de l'usine. Au bout d'un certain temps, on change le sens des courants gazeux : le gaz et l'air, préalablement échauffés sur les massifs de briques, entrent par les deux orifices de droite et s'échappent par les deux orifices de gauche.

Cet appareil tournant ne peut fonctionner qu'à la condition d'avoir, sur toute sa surface intérieure, un revêtement suffisamment réfractaire. Lors de mon voyage, cette sole devait se faire avec du minerai fondu, moulé en forme de briques, et couvert de minerai qu'on fondait dans l'appareil même; c'était un système analogue à celui du procédé Danks. Il paraît qu'aujourd'hui, à Birmingham, on se sert pour ce revêtement de la bauxite dont M. Le Châtelier n'a pas cessé de poursuivre avec persévérance les applications métallurgiques. Cette substance, qui contient environ 55 p. 100 d'alumine, doit, en raison de ses propriétés réfractaires, constituer un grand avantage.

L'économie réalisée par le nouveau procédé suffit pour montrer comment il a pu être appliqué couramment depuis 1872, malgré de nombreux changements dans les appareils définitifs. D'après les premiers essais faits avec le rotateur, la consommation du charbon serait, par tonne de fer :

510 kilog. pour la réduction dans le rotateur;

765 kilog. de charbon ordinaire dans le générateur de gaz combustible, qui seul représente la production de chaleur dans les usines de M. Siemens.

Le charbon ainsi employé est, de qualité et de prix, très-inférieur à celui qui sert à produire le coke alimentant les hauts fourneaux. En tenant compte de cette différence, on conclurait, d'après M. Siemens, que la dépense en combustible est environ *moitié* de ce qui a lieu dans le haut fourneau pour une tonne de fonte.

A côté de cette économie, et quel qu'en soit le chiffre dé-

nitif, le procédé nouveau de M. Siemens présente, dit-on, un autre avantage. Son caractère spécial serait de permettre, pour la fabrication de l'acier, l'utilisation, vainement cherchée jusqu'ici, de minerais notablement phosphoreux. C'est pour cela que des hommes tels que M. Williamson en Angleterre, M. Le Châtelier en France, se sont vivement intéressés à ce procédé, et fondent sur lui de si grands espoirs. Pour la France en particulier, cette méthode peut être de première importance : c'est ce qui m'a fait surtout y insister.

Je ne terminerai pas cette revue rapide sans faire remarquer les liens de plus en plus étroits qui unissent aujourd'hui l'industrie et la science. Chaque usine importante a son laboratoire, depuis les fabriques de soude ou de ciment de Portland jusqu'aux fabriques d'acier : l'analyse chimique sert de contrôle incessant aux réactions qui s'y accomplissent sur une grande échelle, dans des appareils perfectionnés, en économisant de plus en plus le travail manuel de l'homme. Déjà les grands industriels ont appris à respecter et même à aimer la science. Une preuve éclatante en a été donnée cette année même par la fondation définitive du célèbre laboratoire de chimie agricole de MM. Lawes et Gilbert, à Rothamsted, près de Londres : après avoir fait sa fortune dans l'industrie, M. Lawes a assuré à cet établissement tout privé un capital de 2.500.000 fr. »



N° 13

Pont construit à Lucerne en 1869-70.

NOTICE

Par M. JULES GAUDARD, ingénieur civil, professeur à l'Académie
de Lausanne.

I. — HISTORIQUE ET DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Construit en 1869-70 à travers la Reuss, au point même où cette rivière débouche du lac des Quatre-Cantons, le pont métallique de Lucerne est revenu à un prix fort modéré, nonobstant ses fondations en eau profonde ou à travers d'épaisses couches de sable vaseux, et malgré la gêne d'épaisseur disponible pour les poutres du tablier. Aussi une courte relation sur cet ouvrage présentera-t-elle sans doute quelque intérêt aux lecteurs des *Annales*, d'autant plus que l'emploi du fer tend à acquérir de jour en jour davantage, dans la construction des ponts-routes, un rôle important, sinon aussi considérable que celui qui lui a déjà été dévolu depuis bien des années dans les ouvrages d'art des railways.

Le 14 décembre 1865, le conseil municipal de la ville de Lucerne ouvrait un concours pour l'étude d'un projet de pont métallique à construire en face de la gare du chemin de fer, en amont de la passerelle couverte en bois, ainsi que de l'unique pont à voitures, ouvrage également en bois, reconstruit en 1860, mais devenu tout à fait insuffisant en raison du développement de la circulation et de sa

position excentrique par rapport à la gare et aux quartiers des principaux hôtels. Tout en définissant les conditions générales au moyen d'un plan et d'un profil de l'emplacement, le programme du concours appelait l'attention sur la nécessité de faire des piles assez étroites, obstruant le moins possible le courant, et il fixait à 1 mètre seulement l'épaisseur disponible entre le dessous des poutres et le niveau de la chaussée. Le passage devait comprendre une chaussée à voitures de 7^m,50 de largeur et deux trottoirs de 3^m,60 chacun; la longueur entre culées s'élevait à 145 mètres; enfin les rampes inverses du tablier ne devaient pas excéder le taux d'inclinaison de 0,015.

Au 50 juin 1866, de nombreux projets étaient parvenus à l'administration de la ville, qui les exposa aux yeux du public, puis les soumit à l'examen d'une commission technique. Enfin, en décembre 1867, furent décernés les prix suivants :

Premier prix au projet présenté par MM. B. Cuénod et J. Gaudard, ingénieurs civils, anciens élèves de l'École centrale de Paris;

Deux seconds prix, l'un à M. Max Becker, ingénieur et professeur à l'École polytechnique de Carlsruhe, l'autre à M. Brustlein, ingénieur à Bâle.

Le projet de MM. Cuénod et Gaudard, qui fut adopté avec quelques modifications, présentait les dispositions générales suivantes :

1° Sept travées : nombre qui parut imposé par la gêne d'épaisseur disponible, bien que la dépense des fondations tendit de son côté à conseiller une diminution du nombre des piles. L'utile atlas d'épures, dressé par M. le professeur Bresse, concernant les moments de flexion dans les poutres à travées solidaires (*Mécanique appliquée*, 3^e partie), venait de paraître à point nommé pour faciliter aux auteurs du projet leurs études comparatives. C'est ce recueil qui leur conseilla l'adoption du rapport 1,20 entre une travée inter-

médiaire et une travée de rive, la première étant ainsi portée à 22 mètres, la dernière se réduisant à $\frac{5}{6} \cdot 22 = 18^m,3\bar{3}$ comme portée effective admise dans les calculs, soit à une largeur de $17^m,50$ mesurée de l'axe de la pile au parement de la culée.

2° Six poutres : celles de rive treillissées et ornées, comme supportant une faible charge, étant seules en vue, et devant contribuer par leurs évidements à donner un grand aspect de légèreté à l'ouvrage ; — puis deux poutres pleines posées à la séparation des trottoirs et de la chaussée, place toute marquée d'elle-même comme fournissant le meilleur moyen de former une bordure solide, tout en profitant de la surélévation du trottoir pour accroître un peu la hauteur utile de l'âme en tôle ; — enfin, deux poutres intérieures de chaussée, aussi à âme pleine, forcément plus basses que les autres, et plus rapprochées entre elles qu'elles ne le sont des poutres-bordures précédentes. Ce rapprochement se justifie, non-seulement par la plus grande fréquence de roulage vers l'axe de la chaussée, mais encore par le désir d'augmenter la part de chargement afférente aux poutres-bordures, ou d'obtenir du moins que celles-ci, qui ont le bénéfice d'une meilleure hauteur, ne se trouvent pas moins chargées que les poutres basses centrales.

3° Système de chaussée formé d'arceaux en briques creuses soutenant un pavage en bois ; et pour les trottoirs, tôle ondulée recouverte de béton, puis d'une couche d'asphalte de 15 millimètres. Le pavage en bois était proposé en vue d'allègement du poids mort, condition rendue importante en raison de la faible hauteur des poutres médianes, si l'on voulait arriver à des portées un peu plus notables. C'est le même motif qui suggérait l'emploi des briques creuses de préférence aux voûtes pleines, ainsi qu'on l'a fait au pont en patte d'oie de la gare Saint-Lazare, à Paris. Les arceaux venaient retomber sur les entretoises

métalliques, espacées de 1^m,464 et de 1^m,396, posées un peu penchées, en raison du bombement de la chaussée, et dont enfin les plus courtes, dans l'intervalle axial, avaient aussi reçu une hauteur et une section réduites.

4° Culées en maçonnerie fondées sur pilotis, et piles tubulaires à fondation pneumatique. Bien que, du côté de la rive gauche, le profil du terrain présentât une couche de sable suivie par de la marne bleue pénétrable aux pieux, d'autres portions du lit, par la grande profondeur d'eau s'élevant à 8 ou 9 mètres, commandaient le recours à l'air comprimé : dès lors, il avait paru plus simple et plus sûr de suivre un mode uniforme dans toutes les piles, d'autant plus que, en exécutant celles-ci en colonnes de fonte de 1^m,50 de diamètre, remplies de béton, on supprimait les empâtements et l'encombrement de bases en pierre, et l'on satisfaisait ainsi le mieux possible à l'une des conditions du programme.

Chaque pile du projet comprenait trois tubes seulement, deux sous les poutres de rive, le troisième à l'aplomb de l'axe longitudinal de la chaussée. Il suivait de là que les poutres centrales, et surtout celles des bordures de trottoirs, tombaient en porte-à-faux en dehors des colonnes, et venaient alors reposer sur un fort chapeau en tôle et cornières, entretoisant et couronnant les trois tubes de la pile. On sait qu'une disposition toute semblable existe à Londres, au pont de la gare de Cannon-street (Pl. 15, vol. XXVII, *Minutes of proceedings of the Institution of civil Engineers*).

Ajoutons enfin que le mémoire annexé au projet suggérait, comme variante, un expédient qui promettait une économie de 28 tonnes sur les fers. Ce moyen consistait à tirer parti des rampes inverses données à la chaussée sur la longueur du tablier, pour accroître progressivement la hauteur des poutres à partir de leurs extrémités jusqu'au milieu : la pente du dessus étant 0,025, on eût donné une inclinaison du même sens, moitié moindre, soit de 0,0075

à la semelle inférieure, de telle sorte que l'épaisseur disponible, toujours limitée à 1 mètre au point de départ des culées, se fût élevée à 1^m,46 dans la travée centrale. Ce profil à hauteur variable n'aurait d'ailleurs été attribué qu'aux poutres pleines non visibles depuis les quais : quant aux poutres de rive treillisées, elles auraient été maintenues à hauteur constante, d'abord parce que leur faible charge ne laissait voir qu'un mince bénéfice à les modifier, puis surtout parce qu'on pouvait craindre un effet désagréable par le fait de la variation d'épaisseur du tablier si elle eût été apparente, accentuée même par les couronnements inégaux des piles.

Indiquons maintenant les quelques changements apportés au projet lorsque vint le moment de l'exécution, changements conseillés par M. Bridel, actuellement ingénieur en chef de la correction des eaux du Jura, et qui faisait partie de la commission d'examen des projets du pont de Lucerne.

Tout d'abord, sous l'empire du même sentiment qui avait inspiré la variante dont il vient d'être question, M. Bridel fit observer aux autorités lucernoises que le chiffre de 1 mètre, imposé dans le programme comme épaisseur disponible, pouvait aisément être porté à 1^m,20 par un léger relèvement des abords. Cette modification, laissant d'ailleurs les hauteurs constantes sur toute la longueur, ne nécessita qu'une révision des épures de résistance, en vue d'affaiblir les semelles des poutres en raison de l'augmentation de hauteur qui leur était attribuée, et sans rien changer du reste aux dispositions générales de la charpente métallique.

Ensuite, le système de chaussée à voitures fut transformé : de petits pavés de pierre furent préférés au pavage en bois, et en outre les fers Zorès, de Fraisans, qui à ce moment entraient largement en lice dans les travaux publics, furent substitués, comme support résistant continu,

aux arceaux de briques. Grâce aux bons offices qu'apportait ce type nouveau de platelage métallique, ce qu'on perdait d'allègement dans le pavage superficiel se récupérait par un bénéfice de poids dans l'infrastructure de la chaussée.

Enfin, et c'est là la modification principale, sur les six piles, il fut résolu que trois seulement seraient fondées par l'air comprimé, ainsi que la culée de rive droite, les trois autres piles pouvant s'établir à moins de frais sur des pilotis coiffés d'un massif de béton et protégés par des enrochements. Or, du moment que certaines piles s'exécutaient en pierre de taille, l'uniformité d'aspect extérieur commandait d'employer les mêmes matériaux pour celles à fonçage pneumatique, et par suite de recourir aux caissons perforateurs en tôle, système Kehl, au lieu des tubes en fonte prolongés sur toute la hauteur et remplis de béton. Empressons-nous d'ajouter que la teinte blanche de la pierre de taille, tranchant sur le tablier, devait produire un aspect plus heureux que de sombres couronnements de fonte ou que les peintures artificielles dont se revêtent les matériaux métalliques. Malgré ce changement important, on s'est attaché à conserver aux formes extérieures le caractère du projet primitif : les piles n'ont toujours que 1^m,50 d'épaisseur au sommet, avec couronnement analogue ; seulement, au lieu de présenter des faces verticales, elles prennent de l'empiètement par un fruit de $\frac{1}{10}$, et par un ou deux ressauts de la base de fondation au-dessous de l'eau. Enfin, la continuité du pilier maçonné a amené la suppression du chapeau traversier métallique.

L'aspect de grande légèreté du tablier ressort du fait que la poutrelle évidée de rive apparaît seule au promeneur posté sur les quais : les pièces nerveuses et pleines demeurent cachées. Une gouttière en fonte formant guirlande et décorée de gargouilles en têtes de lions contribue beaucoup à l'agrément du coup d'œil, non moins que les candélabres posés sur tous les dés. Aux dés terminaux de culées les

auteurs du projet voulaient installer quatre lions en fonte, mais cet accessoire de fantaisie a été rayé de leur dessin : Lucerne se contente de son célèbre lion mourant, colosse de pierre, œuvre de Thorwaldsen, souvenir vénéré des fidèles gardiens de Louis XVI au 10 août 1792. Outre ce monument historique, les touristes qui arrivent à Lucerne vont en foule, comme on sait, visiter le Righi, qui aujourd'hui compte pour deux merveilles : il y a toujours et tout d'abord le site incomparable, le splendide panorama qui se déroule tout à l'entour du *Kulm* : il y a de plus la manière d'y grimper, tirage à vapeur, rail-crémaillère central, rampe à 25 p. 100, en un mot moyen perfectionné, mis au pas du siècle.

Rappelons encore que Lucerne est actuellement le siège de la compagnie du percement des Alpes par le passage du Saint-Gothard.

Mais revenons au pont.

Une considération qui se rattache encore à l'esthétique de l'ouvrage est relative aux rampes inverses qui règnent de part et d'autre sur trois travées et aboutissent à un palier sur la travée centrale : de là des points anguleux, de légers jarrets qui deviennent sensibles à l'œil depuis certains points de vue, et qu'on aurait pu aisément effacer en ciatrant sous forme de raccordement curviligne la poutre de rive et le garde-corps dans le milieu du pont.

L'exécution des travaux, entreprise au commencement de septembre 1869, fut menée à bonne fin pour octobre 1870, époque de la réception de l'ouvrage, sous la surveillance de M. Ed. Naeff, alors ingénieur de la ville de Lucerne. Le tablier et les caissons métalliques ont été construits dans les ateliers du chemin de fer Central suisse, à Olten, sous la direction de M. l'ingénieur Riggenbach, de Bâle. L'entrepreneur général du pont était M. Schmidlin, de Bâle, qui chargea spécialement M. R. Mohr, de Lucerne, de la direction des travaux.

II. — DÉTAILS DIVERS.

Les Pl. 1, 2 et 3, représentant les dispositions esquissées dans les lignes précédentes, nous dispenseront d'entrer dans une description détaillée. Sans nous proposer davantage de reproduire tout au long des calculs de résistance qui n'offriraient rien de neuf, il reste pourtant quelques indications complémentaires qui ne paraîtront pas hors de propos.

Les poutres, fixées sur l'une des piles du milieu, glissent librement sur les plaques de fonte rabotées qui leur servent d'appui aux autres piles et aux culées. Dans la maçonnerie de ces dernières est ménagé, ainsi que l'indique la coupe AB de la Pl. 7, un jeu de 0^m,11, ample marge offerte au plus grand essor de la dilatation du demi-tablier. Ce vide est d'ailleurs couvert par une cornière qui soutient la dernière rangée de pavés et dont la nervure horizontale vient plus ou moins recouvrir, selon la température, le bord supérieur de l'assise de maçonnerie. Le long des trottoirs, le pavage s'adosse pareillement à un longeron en tôle et cornières qui s'aperçoit dans la coupe transversale, et qui, n'arrivant pas tout à fait au contact de la poutrebordure, ménage une rainure longitudinale pour l'écoulement des eaux pluviales. Sur le trottoir, la pente transversale étant dirigée contre le dehors, les eaux se rejettent dans la gouttière décorative en fonte. Le garde-corps, également en fonte, se laisse entraîner dans la dilatation du tablier : en conséquence, ses emmanchements dans les dés fixes en pierre de taille ont un glissement libre de quelques centimètres. L'asphalte du trottoir s'étend entre deux bordures de fonte : d'une part, la rigole extérieure dont il vient d'être question ; d'autre part, une plaque à nervures appliquée sur la poutre intérieure.

La tôle ondulée pèse 30 kilogrammes par mètre carré ;

elle a une épaisseur de 3 millimètres, et ses cannelures occupent une hauteur de $0^m,080$. Une onde complète de $0^m,320$ de largeur présente un moment de résistance égal à $31R$, en appelant R le travail maximum du métal par millimètre carré. Cette résistance suffit parfaitement à des platelages de trottoirs, mais paraît en général trop faible pour des chaussées, bien que la compagnie de l'Ouest suisse ait employé le même modèle sur quelques petits passages supérieurs à voitures, sous des portées de $1^m,30$ ou de $1^m,40$ entre les entretoises de support. Aussi ce sont, comme nous l'avons déjà dit, des *fers Zorès* demi-circulaires, du calibre de $14 \frac{1}{2}$ kil. le mètre, qui ont été posés en juxtaposition dans la zone centrale de $7^m,30$ de largeur réservée à la circulation des voitures.

Qu'il nous soit permis à ce sujet de discuter en quelques mots le choix le plus convenable entre ce type arrondi de 14 ou 15 kilogrammes et celui à bords anguleux, pesant 19 ou 20 kilogrammes, que M. Nordling a employé sur le réseau secondaire d'Orléans à des platelages de viaducs métalliques rendus impénétrables aux roues d'une machine déraillée. La question de comparaison des deux calibres s'est offerte au service des ponts et chaussées du canton de Vaud, qui a exécuté déjà plusieurs petits tabliers métalliques pour routes ordinaires en y employant d'abord le type à 15 kilogrammes, ensuite celui de 20 . Dans le premier cas, les fers étaient juxtaposés jointifs, ou plutôt avec un léger jeu de 2 ou 3 centimètres pour l'écoulement des eaux qui traversent le cailloutis; dans le second cas, c'est-à-dire avec le modèle plus pesant, on s'arrange à ne pas dépenser davantage de métal, en portant à $0^m,10$ ou $0^m,12$, les vides entre les barres, puis en garnissant ces intervalles avec de gros cailloux rangés à la main, ainsi qu'on le voit au type représenté dans la Pl. 8. Dans ces conditions, il est évident que le dernier système est le plus résistant; car les barreaux de fer étant indépendants

reçoit que des voitures à chevaux, bien moins rapides que les pesants trains de voies ferrées.

Les *épure de résistance* de la Pl. 7 ne demanderont pas de longues explications, n'étant, comme nous l'avons dit, qu'une simple application des diagrammes bien connus de M. Bresse, le savant professeur de l'École des ponts et chaussées (*). Que le lecteur veuille bien se reporter à la Pl. 22, soit *fig. 48*, de l'atlas du *Cours de mécanique appliquée* (3^e partie) : il y trouvera le contour-enveloppe des moments maximum pour sept travées, les cinq portées intermédiaires ayant une même valeur c , dont le rapport $\frac{b}{c}$

ou δ à la portée b de rive est égal à 1,20. Comme on le sait, les portions de courbes tracées au-dessous de l'axe horizontal de l'épure se rapportent à la charge permanente p par mètre courant, et les courbes du dessus à la charge mobile p' , appliquée ou supprimée par travées entières selon les combinaisons les plus dangereuses. Les chiffres des ordonnées inférieures doivent se multiplier par pb^2 , et les supérieures par $p'b^2$.

Or nous avons au pont de Lucerne $c = 22$ mètres, $b = \frac{5}{6} c = 18^m,33$. En outre, pour les poutres médianes de chaussée et pour les poutres-bordures de trottoirs, la charge

(*) Bien que M. Heppel, ingénieur anglais, ait trouvé moyen d'introduire la variation des sections dans le calcul des poutres à plusieurs travées solidaires, les épures de M. Bresse, construites sans cette complication, suffisent parfaitement aux besoins ordinaires de la pratique. On sait, d'autre part, que M. Albaret a montré la convenance qu'il pourrait y avoir, dans une poutre variable ou d'égale résistance, de renforcer d'environ $\frac{1}{2}$ les sections avoisinant les piles, en vue de tenir compte sommairement de l'erreur d'assimilation à une poutre prismatique. — D'après M. Ch. Pierre (*Ann. des P. et Ch.*, 1871, n° 3), le renforcement de $\frac{1}{2}$ sur les piles suffit. En revanche, on pourrait affaiblir de près de $\frac{1}{2}$ les milieux des travées.

se compose de $p = 1.700^k$ et $p' = 1.100^k$. La valeur de la surcharge accidentelle p' résulte d'une épreuve supposée d'environ 270 kilogrammes par mètre carré de trottoir et de 450 kilogrammes par mètre carré de chaussée à voitures. Ayant ainsi $pb^2 = 571.389$ et $p'b^2 = 369.722$, nous trouvons, par exemple, pour moment fléchissant limite sur la première pile $0,1224 pb^2 + 0,1448 p'b^2 = 123.470$: c'est l'ordonnée portée tout entière à la Pl. 7 d'un même côté de l'axe horizontal, dans le but de faciliter l'application comparative des moments de résistance.

Le premier point d'inflexion de la charge morte, pour la seconde travée comprise entre les piles 1 et 2, est situé à $0,2588b = 0,2588 \times 18^m,33 = 4^m,74$ au delà de la première pile, et le moment accidentel en ce point est $0,0447 p'b^2 = 16.520$. Ainsi de suite.

Les dessins sont complétés par l'application de bandes horizontales en gradins successifs, représentant les moments de résistance de l'âme, des cornières et des tôles de semelles. La plus grande accumulation de ces dernières feuilles se rencontre au droit des piles. Les figures indiquent enfin la disposition des joints chevauchés et de leurs couvre-joints.

Si l'on passe à la poutre de rive, on a $p = 730$ kil., $p' = 520$, $pb^2 = 245.361$, $p'b^2 = 174.778$; moment sur la première pile = 55.340; etc.

Dans le calcul des barres de treillis, on s'est servi des efforts tranchants calculés comme dérivées des formules de moments fléchissants.

On remarque que les épures, Pl. 7, sont construites absolument comme pour un tablier horizontal, sans tenir aucun compte des rampes inverses, dont la déclivité est trop faible pour influencer le mode de résistance, moyennant que les poutres reçoivent en exécution le profil correct qui les fasse s'asseoir bien régulièrement sur tous leurs points d'appui.

Une autre remarque qu'il importe de faire, c'est que l'application des épures de M. Bresse suppose une symétrie complète, qui se trouve altérée au pont de Lucerne par le fait du biais de 68° 50' donné à la culée de rive droite, tandis que l'autre culée et toutes les piles sont normales à l'axe longitudinal. Mais d'abord, pour les poutres médianes sous chaussée, l'effet de ce biais est négligeable; ensuite, pour ce qui concerne les autres poutres, il en a été tenu compte après coup, en renforçant convenablement les portions allongées, d'après une petite épure partielle modifiée que nous ne reproduirons pas. Quant aux longueurs écourtées, il n'a pas paru valoir la peine d'affaiblir leur section.

Les calibres des cornières employés dans le tablier sont :

$$\frac{100/100}{12} \text{ à } 17^{\text{kil.}}, 6; \quad \frac{70/110}{11} \text{ à } 14^{\text{t}}, \frac{1}{2}; \quad \frac{70/70}{8} \text{ à } 8^{\text{t}}, \frac{1}{2}; \quad \text{et} \quad \frac{60/60}{8} \text{ à } 7 \text{ kil.}$$

Passons enfin aux *fondations pneumatiques* appliquées à la moitié de l'ouvrage, du côté de la rive droite. Elles ont été exécutées selon le mode inauguré à Kehl par les ingénieurs français, celui de vastes caissons perforateurs en tôle munis de doubles cheminées à sas et à air comprimé pour l'introduction des ouvriers, et d'un puits central laissant remonter l'eau à l'air libre et servant au dragage mécanique, toute la masse enfin s'enfonçant peu à peu sous le poids additionnel des maçonneries qui la surchargent. On remarquera dans le dessin de la Pl. 8 que l'intérieur du caisson en tôle était revêtu d'une chemise maçonnée, cramponnée aux goussets de renfort, et destinée, non-seulement à accroître la charge d'enfoncement, mais encore à prévenir par sa rigidité tout défoncement partiel des tôles de la paroi latérale sous la poussée de la vase. Quant à l'armature du ciel, elle est reportée en dessus de la tôle, afin de rendre plus aisé le remplissage exact des cases du grillage, au moyen de béton et d'arceaux qui soutiennent la maçon-

nerie supérieure, sans permettre au plafond métallique de s'affaisser dans les intervalles entre les poutrelles.

Pour ne pas multiplier sans nécessité les appareils mécaniques, les divers fonçages se sont exécutés successivement en partant de la pile n° 4, la plus avancée dans le cours d'eau, et terminant par la culée de rive droite.

Pile n° 4. — Fonçage du caisson en un mois à peu près, du 12 janvier au 10 février 1870, à travers des couches de sable siliceux et de sable vaseux. Dans la crainte de s'asseoir sur un sol de cette nature, on fit des sondages d'exploration qui indiquèrent la persistance des mêmes sables jusqu'à 7^m,50 de profondeur. Toutefois, sur l'avis de M. l'ingénieur en chef Granicher, on se décida à ne pas descendre plus bas. Le remplissage en maçonnerie hydraulique fut exécuté du 14 au 20 février.

Pile n° 5. — Fonçage en dix jours, du 21 au 31 mars, dans la même nature de terrain; remplissage de la chambre du 1^{er} au 4 avril.

Pile n° 6. — Fonçage en vingt-trois jours, du 29 avril au 21 mai; on atteignit le roc, qui dut être dérasé. Maçonnerie du 23 au 26 mai.

Culée rive droite. — Fonçage en cinq jours jusqu'au rocher, y compris l'exécution de la maçonnerie (20 à 25 juin).

Le poids d'un caisson perforateur, soit de culée, soit de pile, se montait à 28.500 kilogrammes, au prix de 0^f,50 le kilogramme. Le prix alloué pour l'opération du fonçage était fixé à 1.000 francs par mètre courant en contrebas de l'étiage.

En regard de ce fonçage pneumatique, disons un mot de celui qu'exécutait l'année suivante (1871) la compagnie de l'Ouest-Suisse à *Saint-Maurice*, sur le Rhône, pour les deux piles-culées d'un pont à simple voie présentant une grande travée de 64 mètres et deux petits passages de rives, avec tours séparatives. Comme nous avons communiqué un

dessin de cet ouvrage, d'abord à l'Institution des ingénieurs civils anglais, qui l'a publié dans le volume XXXI (Pl. 5^e) de ses *Minutes of Proceedings*, puis à M. Eug. Lacroix, qui l'a reproduit au numéro de novembre 1872 (Pl. XXXII) des *Annales du génie civil*, nous nous bornons ici à représenter (Pl. 8) la disposition encore inédite de l'appareil de fonçage d'après le relevé qu'en a fait M. l'ingénieur Cuénod. Les caissons, n'ayant qu'une dimension de 10^m,20 de longueur sur 4^m,40 de largeur (tandis que ceux de Lucerne ont 17^m,10 sur 4^m,20), et ne devant d'ailleurs descendre qu'à 7 ou 8 mètres sous l'eau, étaient enfoncés avec le modeste appareil d'une cheminée unique. Le sas, appartenant à M. Ott, de Berne, présentait une cage principale par où s'effectuaient les passages d'équipes d'ouvriers, et un renflement latéral muni de clapets spéciaux, par où l'on sassait avec la moindre perte d'air possible, soit les bennes prises une à une, soit même des ouvriers isolés. Ce petit sas était muni d'une grue de manœuvre, tandis que la grande chambre avait seulement une échelle pour atteindre le clapet supérieur. De même qu'à Lucerne, les caissons de Saint-Maurice ont leur grillage de renfort en dessus de la tôle du plafond; mais les parois latérales étaient armées d'une manière plus économique, au moyen de contre-fiches en bois, qui auraient pu à la vérité s'enlever après le fonçage, mais qu'on jugea plus prudent et plus simple de laisser en place, noyées dans la maçonnerie du remplissage. Il est clair qu'avec le montage à bras par petites bennes, on ne pouvait pas prétendre à un avancement très-rapide, bien que le travail fût continu durant les vingt-quatre heures, grâce à l'organisation de trois postes successifs de huit heures. En moyenne, la marche du fonçage fut de 0^m,25 par jour à l'une des fondations et de 0^m,35 à l'autre; le maximum s'éleva à 0^m,74. La masse extraite en vingt-quatre heures variait de 7 à 27 mètres cubes de sable, avec un nombre de neuf à treize ouvriers constamment oc-

cupés au creusement, au chargement et à l'extraction. Chaque benne élevait en moyenne $\frac{1}{3}$ de mètre cube. Le prix de revient de fondation est ressorti à 107 francs le mètre cube, échafaudage non compris.

De même que le pont de Lucerne, la grande travée métallique de Saint-Maurice, qui comprend près de 200 tonnes de fers, a eu l'heureuse chance de se construire dans l'époque où les entrepreneurs pouvaient livrer des tabliers métalliques tout posés à raison de 0',50 le kilogramme, peinture comprise. L'ouvrage complet a coûté 207.230 fr., soit un peu moins de 250.000 fr., si l'on y ajoute les travaux aux abords. Les entrepreneurs étaient MM. Pilichody, Ott et Probst, à Berne, et M. R. Gaulis, de Lausanne.

III. — DÉPENSES DE CONSTRUCTION.

Voici, pour terminer, le résumé de la dépense de construction qui a servi de base au marché à forfait de l'entreprise du pont de Lucerne, et qui nous est communiqué de la part de MM. les ingénieurs Naeff et Schmidlin :

Superstructure.

| | | |
|---|------------------------------|----------------------|
| Ouvrages en tôle et cornières : 323.403 k. | francs. | |
| à 0',50 | 161.701,50 | |
| Platelage en fers Zorès : 66.000 kilog. à | | |
| 0',38 | 25.080 | |
| Fonde. { | 33.312 k. à 0',36. 11.992,32 | |
| | | Plaques de ca- |
| | | lage 6.030 |
| | | Bordures et |
| gouttières | | |
| de trottoirs. 12.322 | | |
| Garde-corps. 14.960 | | |
| Piomb pour scellement des plaques de ca- | | |
| lage : 2.500 kilog. à 0',70. | 1.750 | |
| Bétonnage de la chaussée et des trottoirs : | | |
| 160 mètres cubes à 1 franc. | 3.360 | |
| Pavage : 1.100 mètres carrés à 3',50. | 3.850 | |
| <hr/> | | |
| A reporter 207.733,82 | | |

| | <i>Annex.</i> |
|---|-------------------|
| <i>Report.</i> | 207.733,82 |
| Asphalte de 15 millimètres d'épaisseur : | |
| 1.062 mètres carrés à 6 francs. | 6.372 |
| Candélabres. | 3.000 |
| | <hr/> |
| | 217.105,82 |
| <i>Piles et culées.</i> | |
| Culée de rive gauche, fondée sur pilotis. | 31.073,60 |
| Piles n ^{os} 1, 2 et 3, fondées sur pilotis. | 69.398,70 |
| Piles n ^{os} 4, 5 et 6, sur caissons pneumatiques. | 146.190,00 |
| Culée de rive droite, sur caisson pneumatique. | 40.112,50 |
| Raccordement avec le quai de la place du Cygne. | 37.159,80 |
| | <hr/> |
| | 325.934,60 |
| <i>Échafaudages.</i> | 30.000,00 |
| <i>Pour frais accessoires divers.</i> | 8.959,58 |
| | <hr/> |
| Total général. | 580.000,00 |
| | <hr/> <hr/> |

L'aire totale du tablier entre les parements des culées étant = $145^m \times 14^m,85 = 2.153$ mètres carrés, nous en concluons que le tablier seul est revenu à 101 francs, et l'ensemble de l'ouvrage à 269 francs le mètre carré en plan. On sait que les ponts en pierre de Paris ont coûté de 310 francs (Saint-Michel, Bercy, avec fondations et vieux matériaux en partie réutilisés) à 588 francs (Alma, conditions difficiles) par mètre carré (*Annales des ponts et chaussées*, 1864, 2^e semestre, n^o 84.) On peut estimer que des monuments semblables, construits sur le type parisien, reviendraient à un prix de 300 à 350 francs le mètre carré, mais sans comprendre dans ce chiffre la dépense des fondations, très-variable selon les terrains.

Comparé à quelques grands ouvrages, comme lui métalliques, le pont de Lucerne contraste non moins avantageusement. Ainsi :

Pont Saint-Louis (Paris), arche de 64 mètres en fonte,

640 francs par mètre carré, dont 366 francs pour le métal;

Pont de Solferino (Paris), trois arches de 40 mètres en fonte, 431 francs par mètre carré, dont 255 pour le métal.

Il est juste de bien faire remarquer que ces arches ont des ouvertures beaucoup plus grandes que les travées de Lucerne, observation qui s'appliquera surtout à la voûte élancée de 80 mètres du pont en fer d'Arcole, revenue à 700 francs le mètre carré. D'autre part, l'ouvrage de Lucerne avait la charge de ses fondations pneumatiques, ainsi que la gêne de hauteur, sans laquelle il y aurait eu intérêt à agrandir les ouvertures.

Si nous cherchons aussi un ou deux exemples en Angleterre, nous trouvons :

Pont en fonte de Tewkesbury, sur la Séverne, arche de 51^m,80; coût, environ 300 francs le mètre carré;

Pont en fonte sur la Lary, près Plymouth, cinq arches de 24^m,70 à 30^m,50; coût, 635 francs le mètre carré;

Enfin, le grand ouvrage Victoria (Pimlico), à Londres, qui a quatre arches en fer de 53^m,30, mais qui porte, il est vrai, des voies ferrées, n'a pas coûté moins de 715 francs par mètre carré de tablier.

La comparaison, peut-être la plus intéressante, sera celle avec le pont du mont Blanc, à Genève; car cet ouvrage, construit dans le même pays, pour un passage public également très-fréquenté, et à une époque assez peu éloignée (en 1862), présente des arches métalliques dont les ouvertures 18^m,30 et 19^m,10 diffèrent peu des grandeurs des travées droites de Lucerne. La longueur totale s'élève à 264^m,65 entre culées, et la largeur à 16 mètres. Or, d'après les renseignements qu'a bien voulu nous fournir M. Blanchot, ingénieur de la ville de Genève, le coût total ressortirait à 276 francs le mètre carré, chiffre, on le voit, peu différent des 269 francs de Lucerne. Mais ce qui diffère notablement, c'est la décomposition de la dépense : la

superstructure en fer et la chaussée s'élèvent à 172 francs le mètre carré au pont de Genève; par compensation, les piles n'ayant pas eu à vaincre les mêmes difficultés de fondation qu'à Lucerne, ont été beaucoup plus économiques.

Lausanne, janvier 1873.

N° 14

Substitution d'une navigation continue, à l'aide des barrages mobiles, à la navigation intermittente produite par les éclusées () de l'Yonne sur la Seine et sur l'Yonne, entre Paris et Auxerre.*

NOTICE

Par M. CAMBUZAT, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La grande voie navigable qui relie le Havre, Rouen et Paris à Lyon et à Marseille par les rivières de la Seine et de l'Yonne, par le canal de Bourgogne et par les rivières de la Saône et du Rhône, présentait jusqu'au mois de septembre 1871 de Paris à Laroche, où le canal de Bourgogne débouche dans l'Yonne, une partie défectueuse, une véritable lacune de 190 kilomètres de longueur. En effet, pendant environ huit à neuf mois de l'année, de mars à novembre, la descente des embarcations chargées n'était possible, spécialement sur l'Yonne, que deux fois par semaine avec le secours des éclusées ou flots venant de la haute Yonne, et avec un tirant d'eau variant de 0^m,75 à 1 mètre et à 1^m,10 au plus; de sorte que les bateaux du canal de Bourgogne, chargés de 1^m,10 à 1^m,40, étaient

(*) On appelle éclusées sur la rivière d'Yonne des crues factices produites par la fermeture et le débouchage régulier et successif des pertuis et barrages établis sur son cours, lesquelles crues entraînent les embarcations de toutes sortes, trains, bateaux, équipés de vin destinés à l'approvisionnement de Paris.

obligés de rompre charge à Laroche. Quant aux embarcations ascendantes, elles étaient généralement vides ou portaient seulement quelques tonnes de marchandises. Cette navigation coûteuse, lente et tout à fait insuffisante était accompagnée de grandes fatigues, de dangers et d'accidents nombreux. Quoique un peu moins difficile sur la Seine, la navigation était extrêmement gênée et souvent entravée entre Montereau et Paris. Depuis le 1^{er} septembre 1871 la navigation est continue de Paris à Laroche, grâce au fonctionnement de 17 barrages mobiles construits sur l'Yonne, de deux dérivations latérales à cette rivière et de 12 barrages mobiles établis sur la Seine. Le tirant minimum d'eau dans les biefs est de 1^m,60 ; aussi les embarcations peuvent circuler en toute sécurité dans les deux sens avec un tirant de 1^m,20 à 1^m,50. Jusqu'ici, à cause de la transition, la plupart des chargements, surtout ceux qui viennent du canal du Nivernais, ne dépassent pas 1^m,20 de tirant ; mais quand les travaux de même nature (c'est-à-dire 8 barrages mobiles et une dérivation) en construction entre Laroche et Auxerre (où débouche le canal du Nivernais) seront achevés, ce qui aura lieu à la fin de cette année (1873), les grands avantages qu'a eus en vue l'administration, et qu'attendent avec impatience et confiance la batellerie, le commerce, l'industrie et l'agriculture, seront heureusement réalisés.

Pour bien faire comprendre toute l'importance de l'amélioration apportée par l'application en grand des barrages mobiles sur l'Yonne et sur la Seine en amont de Paris, il est nécessaire d'exposer avec quelques détails le mode de flottage et de navigation usité jusqu'ici sur les parties hautes de ces deux cours d'eau. Il est naturel de commencer cette description par la rivière d'Yonne qui est le principal affluent de la Seine, à cause de la grande surface de son bassin, du volume de ses eaux et de l'importance de son tonnage.

RIVIÈRE D'YONNE.

La rivière d'Yonne, qui depuis sa source dans le Morvand jusqu'à son embouchure à Montereau traverse les trois départements de la Nièvre, de l'Yonne et de Seine-et-Marne sur un parcours de 293.280 mètres, se divise naturellement en trois parties distinctes (*), suivant le mode de transport pour lequel ses eaux sont utilisées.

La première partie, longue de 97.974 mètres, s'étend de la source voisine des étangs de Belleperche jusqu'à Armes près Clamecy (Nièvre); elle transporte à bûches perdues les bois des forêts du Morvand, lesquels sont retirés sur les ports voisins de Clamecy, pour y être confectionnés en radeaux appelés trains, ou y être chargés en bateaux à destination de Paris.

La deuxième partie d'Armes à Auxerre sur une distance de 75.720 mètres présente 23 pertuis ou barrages, employés à former à des jours déterminés, deux fois par semaine, des lâchures ou éclusées qui font descendre les trains de bois; les bateaux suivent le canal du Nivernais qui, entre Armes et Auxerre, est latéral à la rivière, la traverse une fois, et est même confondu avec elle quatorze fois dans des parties appelées râcles ou biefs, sur une longueur totale de 15.500 mètres.

La troisième partie, qui d'Auxerre à Montereau sur une longueur de 119.586 mètres est navigable de temps immémorial pour toutes les embarcations, trains et bateaux, et

(*)

| | LONGUEURS. | PENTE TOTALE. | PENTE par mètre. |
|---|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1 ^{re} partie flottable à bûches perdues, de la source au village d'Armes..... | mètres. 97.974 | mètres. 579,59 | mètres. 0,005915 |
| 2 ^e partie, flottable en trains, d'Armes à Auxerre..... | 75.720 | 51,94 | 0,000686 |
| 3 ^e partie, navigable, d'Auxerre à Montereau..... | 119.586 | 50,58 | 0,000422 |
| Totaux..... | 293.280 | 682,11 | |

qui doit faire plus spécialement l'objet de cette notice, se divise elle-même en deux sections : la première section comprise entre Auxerre et Laroche, c'est-à-dire entre les embouchures des deux canaux du Nivernais et de Bourgogne, et longue de 27.616 mètres, est encore soumise au régime des éclusées ou de la navigation intermittente; mais les travaux d'amélioration destinés à procurer la navigation continue dans cette première section, déclarés d'utilité publique par un décret du 11 juillet 1868, sont en exécution, et tout fait espérer qu'ils seront achevés en 1873, et qu'avant le 1^{er} janvier 1874 les éclusées de l'Yonne, si elles sont conservées en amont d'Auxerre, ne descendront plus en aval de cette ville. La seconde comprend 91.970 mètres entre Laroche et Montereau, c'est-à-dire entre l'embouchure du canal de Bourgogne et le confluent de l'Yonne dans la Seine. Sur cette seconde section le régime des éclusées ou de la navigation intermittente n'existe plus depuis le 1^{er} septembre 1871, époque à laquelle ont été relevés les barrages mobiles destinés à procurer une navigation continue sur la basse Yonne, conformément au décret du 17 avril 1861.

Le tableau suivant fait connaître les longueur, largeur et pente moyenne du lit de l'Yonne, avec le débit entre Auxerre et Montereau.

| DÉSIGNATION DES PARTIES. | LONGUEUR. | LARGEUR moyenne du lit. | PENTE moyenne à l'écluse. | DÉBIT | |
|--|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------|
| | | | | à l'écluse. | en crues. |
| 1 ^{re} partie : d'Auxerre à Laroche. | mètres. 27.616 | mètres. 80 à 90 | mètres. 0,000667 | mét. cub. 13 | mét. cub. 300 à 500 |
| 2 ^e partie : de Laroche à Montereau. | 91.970 | 80 à 100 | 0,000349 | 17 | 700 à 1.100 |
| | 119.586 | | | | |

OBSERVATIONS. — L'Yonne a trois principaux affluents : la Cure qu'elle reçoit à Cravant, à 29 kilomètres en amont d'Auxerre, le Serein et l'Armançon, qu'elle reçoit à peu de distance de Laroche.

Basses eaux et crues. — Sur l'Yonne, les eaux sont dites basses lorsqu'elles ne dépassent point la hauteur de 0^m,50

au-dessus de l'étiage; ordinaires ou moyennes de 0^m,50 à 1^m,50. La rivière est en crue quand l'eau dépasse 1^m,50, et en grande crue au delà de 2^m,20; à cette hauteur de 2^m,20 les chemins de halage commencent à être atteints sur quelques points, et la navigation cesse. Pendant sept années de 1865 à 1871 inclusivement, l'Yonne a été moyennement en crue pendant 20 jours par an, en basses eaux pendant 118, et en eaux ordinaires ou moyennes pendant 227; la navigation a été interrompue par les grandes eaux et par les glaces pendant 18 jours en moyenne par an.

Plus grandes crues. — Les plus grandes crues depuis un siècle sont données par le tableau ci-après :

| DATE des plus grandes crues. | HAUTEURS à | | | OBSERVATIONS. |
|---------------------------------------|---------------|---------|------------|---|
| | Auxerre. | Joigny. | Montereau. | |
| | mètres. | mètres. | mètres. | |
| 3 avril 1772. | » | 4,20 | » | Ordinairement la crue de la Cure arrive à Cravant dans le lit de l'Yonne douze heures avant la crue de l'Yonne elle-même; les crues du Serein et de l'Armançon sont assez généralement simultanées et arrivent dans l'Yonne, à Laroche, quatre heures avant les crues de l'Yonne (*). |
| 1 ^{er} janvier 1802. | » | 4,12 | 4,91 | |
| Janvier 1822. | » | 3,42 | » | |
| Février et mars 1831. | 2,87 | 3,55 | » | |
| Mai 1836. | 4,36 | 4,11 | 4,61 | |
| Décembre 1840. | » | 3,50 | » | |
| Mai 1850. | 3,20 | 3,79 | 4,22 | |
| Septembre 1866. | 3,67 | 4,09 | 4,62 | |
| Hauteurs moyennes. | 3,70 | 3,84 | 4,59 | |

(*) Les crues extraordinaires de l'Yonne font un grand mal aux récoltes quant elles arrivent en mai, comme en 1836 et en 1856; le champ d'inondation variant de 100 mètres à 1.000 mètres entre Auxerre et Laroche, et de 800 mètres à 2.400 mètres entre Laroche et Montereau.

1. L'ingénieur en chef Cambuzat qui, après la crue de 1856, fut chargé de l'étude relative aux inondations dans le bassin de l'Yonne, remit à l'administration supérieure, le 25 décembre 1856, un avant-projet général avec un rapport dont voici les conclusions :

1^o En établissant douze réservoirs dans la partie supérieure du bassin de l'Yonne, on pourra emmagasiner un volume d'eau de 103.600 000 mètres cubes.

2^o En créant un lit majeur sur la partie inférieure de l'Armançon, avec des travaux de régularisation du lit mineur, on diminuera la submersion de la plaine vaste et fertile que traverse cette rivière, en favorisant l'écoulement des premières eaux des crues.

3^o En mettant par le télégraphe les réservoirs de l'Yonne en communication entre eux et avec un centre unique de direction qui serait Paris, on pourrait, par des manœuvres convenables, diminuer dans la partie inférieure de l'Yonne la hauteur des inondations d'un mètre environ, et transformer une crue extraordinaire en une grande crue, et une grande crue en une crue ordinaire.

1^o Les douze réservoirs coûteront. 11.180.000 francs.
 Les travaux d'endiguement de l'Armançon. 2.450.000 »
 Divers travaux de défense de berges, etc. 400.000 »
 Dépense totale. 14.030.000 francs.

Régime de l'Yonne sous l'influence des éclusées. — L'état de navigabilité de l'Yonne, qui dépend jusqu'ici (au moins

en amont de Laroche) du régime des éclusées, est très-variable et précaire; pendant environ huit à neuf mois de l'année, de mars en novembre, et quelquefois plus longtemps, la navigation n'a lieu qu'à l'aide de flots ou éclusées qui partent deux fois par semaine, le mardi et le samedi, à dix heures du matin, du pertuis d'Armes situé à 2 kilomètres en amont de Clainecy. Les éclusées de l'Yonne sont fortifiées à Cravant par les lâchures des eaux de la Cure et à Laroche par les lâchures des eaux de l'Armançon. Pendant six années, de 1865 à 1870 inclusivement, le nombre moyen des éclusées par an a été de 85, et la hauteur d'eau moyenne produite sur les baissiers (*) de 1^m,08.

À la descente, le flot entraîne rapidement toutes les embarcations, trains de bois et bateaux, avec un tirant d'eau limité et qui varie de 0^m,50 à 0^m,65 pour les trains, et de 0^m,75 à 1^m,10 pour les bateaux. Mais pour la remonte l'eau manque souvent à cause des affameurs (**), qui succèdent au passage des éclusées; ce qui fait que la navigation ascendante se compose seulement de bateaux vides ou très-peu chargés.

Les éclusées sont conduites par des agents inférieurs appelés meneurs d'eau, qui font ouvrir successivement aux heures convenables les pertuis ou barrages par lesquels s'écoule avec une grande vitesse le flot, dont l'effet utile est de quatre heures environ et le volume de 1.500.000 mètres cubes, quand l'éclusée est bonne. En amont d'Auxerre, les trains seuls suivent l'éclusée en lit de rivière; les bateaux

(*) Sur l'Yonne et sur la Seine, on appelle baissiers ou maigres les portions hautes du fond du lit formées généralement de sables et de gravier.

(**) On appelle affameur l'état qui succède au passage de l'éclusée quand le pertuis ou barrage a été fermé; pendant douze et vingt-quatre heures et quelquefois plus, l'eau est au-dessous du niveau de l'étiage, et la circulation de la moindre barque est impossible sur les baissiers ou bancs de sable qui traversent le chenal.

descendent la veille de l'éclusee par le canal du Nivernais qui, une fois l'éclusee passée, reste presque à sec pendant un ou deux jours dans les biefs mixtes, c'est-à-dire en communication avec la rivière. En aval d'Auxerre, les bateaux descendent les premiers et les trains de bois viennent ensuite tant que le flot est suffisant; il arrive souvent que des trains retardataires qui suivent la queue de l'éclusee restent sur des bancs de sable et attendent l'éclusee suivante pour reprendre leur marche vers l'aval. En bonnes eaux les trains de bois mettent six à huit jours pour descendre d'Armes à Paris (distance de 295 kilomètres); mais aussi souvent le voyage dure quinze, vingt jours et même un mois; le manque d'eau, une fausse manœuvre, le brouillard, le vent, de nombreuses causes d'accidents et d'avaries rendent difficile et tout à fait précaire ce mode de navigation intermittente, qui pendant trois siècles (*) a rendu de grands services pour le transport économique des bois du Nivernais et de la Bourgogne, destinés à l'approvisionnement de Paris, lorsqu'il n'existait pas d'autres voies de communication faciles, rapides et à bon marché.

Vers le milieu du siècle dernier, l'administration, le commerce de bois et la marine commencèrent à se préoccuper de l'appauvrissement des éclusees, dû à diverses causes, et des moyens d'y remédier. Le meilleur de ces moyens parut être d'approvisionner, dans les parties hautes de l'Yonne et de ses affluents, de grandes masses d'eau qui seraient recueillies en hiver et utilisées en été pour fortifier les éclusees. En effet, la loi du 31 mai 1846, en affectant un crédit de 6.500.000 francs à l'amélioration de la navigation intermittente de l'Yonne, autorisa l'exé-

(*) C'est en 1549 que Jean Rouvet inventa le flottage en trains de bois à brûler. Pendant plusieurs siècles la marine de l'Yonne et la célèbre institution des coches transportant les voyageurs et les marchandises furent florissantes jusqu'à l'établissement du chemin de fer de Paris à Lyon.

cution du réservoir des Settons (*), qui a une capacité de 23 millions de mètres cubes, et qui, depuis l'année 1858, a rendu les plus grands services à la marine et au flottage de l'Yonne; en été on fait descendre de ce réservoir, pour chaque éclusée, un volume de 500.000 à 700.000 mètres cubes. Les eaux du réservoir des Settons seront aussi fort utiles, avec la navigation continue, pour augmenter le débit des basses eaux de l'Yonne et réparer une partie des pertes dues à l'absorption et à l'évaporation, à cause de la hauteur et de l'étendue des biefs que créent les nouveaux barrages.

Mais le flot de l'écluse, ramassé sur tous les pertuis en amont d'Auxerre et fortifié par les lâchures des affluents, une fois arrivé à Auxerre, ne trouvant plus d'obstacles, allait en s'affaiblissant jusqu'à la Seine, sur laquelle son action était peu considérable; aussi une loi de 1837 avait-elle affecté un crédit de 2.250.000 francs à l'exécution de cinq barrages mobiles entre Laroche et Sens, savoir : à Épineau, à Pêchoir, à Joigny, à Villeneuve-sur-Yonne et à Saint-Martin-près-Sens; avec ces cinq barrages qui furent exécutés de 1837 à 1841, on fit de nombreuses expériences sur les deux systèmes à l'aide desquels il était question, à cette époque, d'améliorer le régime des éclusées, que personne ne songeait à supprimer; avec les trois barrages d'Épineau, de Pêchoir et de Joigny, étagés à de petites distances (de 2.500 à 5.000 mètres), on retardait seulement l'écluse pour lui donner plus de force au passage de chaque barrage; ce système comportait l'exécution de trente-cinq barrages entre Auxerre et Montereau. Avec les trois barrages de Joigny, de Villeneuve-sur-Yonne et de Saint-Martin, échelonnés à de grandes distances (de 20 à

(*) Un modèle du barrage, des dessins du réservoir des Settons et une notice ont figuré à l'exposition universelle de Londres en 1862.

25.000 mètres), on arrêtait l'écluse, on la reformait, ce qui permettait aux embarcations de venir se garer en amont de chaque barrage avant l'ouverture de celui-ci; avec ce dernier système qui avait été adopté par la loi du 31 mai 1846, on devait construire six nouveaux barrages, ce qui faisait onze en tout entre Auxerre et Montereau, et chacun de ces barrages devait être accompagné d'une écluse pour permettre ou faciliter la remonte des bateaux.

Donc la loi du 31 mai 1846 affecta un crédit de 6.500.000 francs (*) à perfectionner le régime des éclusées de l'Yonne :

1° En créant le réservoir des Settons dans le Morvand, près des sources de la Cure ;

2° En construisant sur l'Yonne six nouveaux barrages éclusés, savoir : trois entre Auxerre et Laroche, à la Chânette à l'extrémité aval du port d'Auxerre, à Monéteau et à Bassou, et trois entre Laroche et Montereau, un à Champfleury, un à Port-Renard et un à Cannes, à 3 kilomètres de Montereau ;

3° En accolant des écluses aux cinq barrages qui existaient déjà entre Laroche et Sens ;

4° En faisant divers autres travaux de défense de berges, de restauration des chemins de halage, etc., etc. En conséquence on accola une écluse au barrage d'Épineau, on construisit les deux barrages de Port-Renard et de la Châ-

(*) Les dépenses autorisées étaient divisées ainsi qu'il suit en neuf groupes ou paragraphes :

| | francs. |
|---|---------------------|
| §§ 1, 2, 3. — Défenses de rives, chemins de halage, digues et levées, dragages, etc. | 1.469.849,19 |
| § 4. — Travaux d'utilité locale pour ports, etc. | 435.000,00 |
| § 5. — Écluses à accoler aux cinq barrages déjà construits. | 846.000,00 |
| § 6. — Six nouveaux barrages mobiles avec écluse. | 1.980.500,00 |
| § 7. — Réservoir des Settons | 810.000,00 |
| § 8. — Barrages particuliers en forme de pertuis, sur la haute Yonne, en amont d'Auxerre. | 208.000,00 |
| § 9. — Dépenses diverses. | 750.650,81 |
| Total. | <u>6.500.000,00</u> |

nette, on établit le réservoir des Settons ; tous ces ouvrages furent exécutés de 1847 à 1860 ; le dernier de tous, le barrage de la Chainette, construit en 1859 et 1860, a figuré par un modèle à l'exposition universelle de Londres en 1862 ; c'est le dernier barrage mobile du système Poirée avec fermettes et aiguilles qui ait été établi sur l'Yonne.

La moitié des crédits prévus et autorisée par la loi du 31 mai 1846 était à peine dépensée que l'on se préoccupait avec raison de l'insuffisance de l'amélioration qui en résulterait à cause de l'intermittence de la navigation due au régime des éclusées de l'Yonne. En effet, les progrès de l'industrie, de l'agriculture et du commerce et le développement des voies ferrées exigeaient que la batellerie de l'Yonne et de la Seine en amont de Paris se perfectionnât elle-même, ce qu'elle ne pouvait évidemment faire que quand la navigation serait rendue continue avec un tirant d'eau convenable pour les embarcations (*).

(*) Aussi le 26 novembre 1859, M. l'ingénieur en chef Cambuzat (chargé depuis le 1^{er} septembre 1856 du service de la rivière d'Yonne et du canal de Nivernais) présentait-il à M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics une ébauche d'avant-projet général qui, avec dix-sept barrages mobiles du système Poirée et deux dérivations, établirait la navigation continue sur l'Yonne entre Laroche et Montereau avec un tirant minimum d'eau de 1^m,60 ; l'amélioration entre Auxerre et Laroche dans les mêmes conditions ne devrait être exécutée qu'ultérieurement. Une dépêche ministérielle du 19 mars 1860 invita, d'après l'avis du conseil général des ponts et chaussées, M. Cambuzat à présenter un avant-projet régulier et complet de travaux d'amélioration entre Laroche et Montereau, en adoptant toutefois pour les barrages le système à hausses Chanoine, approuvé récemment pour les barrages de la Seine entre Montereau et Paris. En conséquence un nouvel avant-projet fut dressé en 1860 et soumis aux enquêtes.

| | ANNÉES. | TRANSPORTS en bateaux. | | | TRANSPORTS EN TRAINS. (descents.) | | | TOTAL général. | OBSERVATIONS. |
|---|--|---------------------------|----------|---------|--------------------------------------|------------|---------|-------------------|---------------|
| | | Descents. | Remonte. | Total. | Bois à brûler. | Charpente. | Total. | | |
| Fréquentation entre Laroche et Laroche ramené (27 kilom.). | Moyenne de 7 années de 1866 à 1872 | tonnes. | tonnes. | tonnes. | tonnes. | tonnes. | tonnes. | (1) (2) | |
| | inclusivement. | 74.593 | 2.340 | 76.933 | 110.131 | 4.267 | 114.398 | | |
| | Maxima en 1866. | 120.172 | 3.264 | 123.436 | 138.912 | 5.561 | 144.473 | | |
| | Minima en 1870. | 31.776 | 1.652 | 33.428 | 79 827 | 683 | 80.610 | | |
| Fréquentation entre Laroche et Montereau ramené (21 kilom.). | Moyenne de 7 années de 1866 à 1872 | | | | | | | (3) | |
| | inclusivement. | 206.884 | 7.130 | 214.014 | 110.705 | 22.469 | 133.174 | | |
| | Maxima en 1866. | 270.699 | 5.815 | 276.514 | 140.882 | 36.352 | 179.236 | | |
| | Minima en 1870. | 118.014 | 3.039 | 121.053 | 74.804 | 11.365 | 86.169 | | |

(1) 1870. Année de la guerre.

(2) Le transport des bois en trains diminue depuis l'année 1863; tandis que la quantité des transports en bateau augmente depuis la même année 1863, surtout en 1872.

(3) 1870. Année de la guerre.

Établissement de la navigation continue de Laroche à Montereau (décret du 17 avril 1861). — Un décret du 17 avril 1861 déclara d'utilité publique les nouveaux travaux destinés à procurer en tout temps un tirant minimum d'eau de 1^m,60 sur l'Yonne, entre Laroche et Montereau, et estimés 5.200.000 francs par l'avant-projet qui avait été soumis aux enquêtes et à l'examen du conseil général des ponts et chaussées. Une décision ministérielle du 30 avril 1861 fixa, d'après le résultat des enquêtes, la largeur des écluses à 10^m,50 et la longueur utile (*) à 96 mètres, de manière à contenir 6 bateaux de canal par

(*) On appelle longueur utile du sas d'une écluse la distance comprise entre la corde qui sous-tend l'arc du mur de chute et l'enclave de la porte d'aval. Les écluses des canaux du Nivernais et de Bourgogne ont une largeur de 5^m,20 et une longueur utile moyenne de 50^m,70; les bateaux qui les fréquentent ont une largeur de 5 mètres et une longueur de 30 mètres; un train de bois a 4^m,80 de largeur et 90 mètres de longueur; un couple de deux trains a 9^m,60 de largeur et une longueur de 95 mètres, parce que l'un des trains dépasse son consort de 5 mètres.

couple de deux, ou deux trains de bois accouplés. C'est d'après ce type qu'ont été construites les 15 écluses nouvelles; quant aux deux anciennes d'Épineau et de Port-Renard, qui avaient 8^m,30 (*) de large et 177 mètres de longueur utile, elles ont été conservées en les allongeant de 4 mètres, de sorte que leur longueur utile est de 181 mètres, et qu'elles reçoivent aussi six bateaux ou deux trains de bois placés à la file.

Les ouvrages approuvés et exécutés pour l'établissement d'une navigation continue entre Laroche et Montereau, avec un tirant minimum d'eau de 1^m,60, consistent donc :

1° En 17 barrages mobiles dont 15 sont accompagnées d'écluses;

2° En 2 déviations, celle de Joigny et celle de Courlon;

3° En travaux d'amélioration des chemins de halage et de défense de berges;

4° En dragages;

5° En dépenses diverses pour frais de personnel, d'opérations, pour indemnités de dommages et acquisitions de terrains, pour travaux d'assainissement, etc.

Barrages mobiles. — Sur les 17 barrages mobiles qui fonctionnent actuellement de Laroche à Montereau, 6, ceux d'Épineau, de Pêchoir, de Joigny, de Villeneuve-sur-Yonne, de Saint-Martin-lès-Sens et de Port-Renard existaient et étaient manœuvrés pour les éclusées avant la promulgation du décret du 17 avril 1861, relatif à l'établissement d'une navigation continue; tous ces barrages avaient une seule passe large de 59 à 70 mètres, fermée par des fermettes et aiguilles du système Poirée. Deux de ces barrages, ceux

(*) Une largeur de 8^m,30 était nécessaire parce que sur l'Yonne il y a quelques grands bateaux de rivière ayant de 7 à 8 mètres de large et de 35 à 40 mètres de long; la longueur utile de 177 mètres suffisait, avec la navigation par éclusées, pour recevoir un trait ou convoi remontant de cinq à six bateaux et batelets de diverses dimensions.

d'Épineau et de Port-Renard ont été conservés avec les deux écluses qui les accompagnaient; seulement les fermettes du barrage de Port-Renard, ont été exhausées de 0^m,33, et les deux écluses ont été allongées chacune de 4 mètres, comme il a été dit plus haut. Chacun des barrages d'Épineau et de Port-Renard est accompagné d'un déversoir en maçonnerie dont le couronnement est au niveau de la retenue. Le seuil de la passe du barrage d'Épineau est à 0^m,64 sous l'étiage; le seuil de la passe du barrage de Port-Renard est à 0^m,60 sous l'étiage. L'ancien barrage de Joigny du système Poirée a été démoli. Un nouveau barrage avec hausses Chanoine a été construit à 400 mètres en aval de l'ancien, en tête de la dérivation de Joigny. Par conséquent, ce barrage n'a point d'écluse. Les trois autres barrages de Pêchoir, de Villeneuve-sur-Yonne et de Saint-Martin-lès-Sens ont été transformés en barrages à hausses; chacun d'eux est accompagné d'une écluse.

Les onze nouveaux barrages sont ceux de Villevallier d'Armeau, d'Étigny, de Rosoy, de Saint-Bond, de Villeperrot, de Champfleury, de Courlon, de Barbey, de Labrousse et de Cannes. Le barrage de Courlon, placé en tête de la dérivation de ce nom, n'a point d'écluse; chacun des dix autres est accompagné d'une écluse.

Il y a donc entre Laroche et Montereau 12 barrages complètement nouveaux, qui ont une passe de 35^m,10 ou 35^m,15 d'ouverture, accolée à la tête d'aval de l'écluse et séparée par une pile de 3 mètres d'épaisseur du déversoir, qui a une longueur minimum de 50 mètres. Le seuil de la passe est horizontal et placé à 0^m,60 en contre-bas du niveau de l'étiage. Le seuil du déversoir est placé à 0^m,50 en contre-haut de l'étiage, d'où résulte une différence verticale de 1^m,10 entre le seuil de la passe et celui du déversoir. Le déversoir se termine par un épaulement enraciné dans la berge opposée à l'écluse. Les dimensions de la passe et du déversoir ont été calculées de manière à

procurer un débouché suffisant pour les crues ordinaires, avec ou sans le secours du sas de l'écluse ; car, par les grandes crues, les maçonneries du barrage et de l'écluse sont couvertes, et aucun relief ne s'aperçoit à la surface de l'eau dans l'emplacement d'un barrage quelconque.

Aux trois anciens barrages de Pêchoir, de Villeneuve-sur-Yonne et de Saint-Martin-lès-Sens, on s'est servi autant que possible des anciennes maçonneries, en donnant 35^m, 15 à la passe, dont le seuil a été abaissé à 0^m, 60 sous l'étiage. A Villeneuve-sur-Yonne, le nouveau déversoir à hausses a pu recevoir une longueur convenable de 50^m, 45, et son seuil a été élevé de 0^m, 50 au-dessus de l'étiage. A Pêchoir et à Saint-Martin, le nouveau déversoir, dont le seuil est bien à 0^m, 50 au-dessus de l'étiage, n'a en longueur que 22^m, 40 à Pêchoir et 23^m, 85 à Saint-Martin ; mais on a augmenté le débouché de l'ensemble de l'ouvrage en abaissant sur une certaine longueur le couronnement de l'ancien déversoir fixe du barrage Poirée à 1 mètre au-dessous de la retenue.

Dérivations de Joigny et de Courlon. — Pour éviter des parties de rivière très-sinueuses et dangereuses pour la navigation, on a exécuté deux dérivations, savoir :

Celle de Joigny, immédiatement en aval du barrage de ce nom ; longue de 3.574 mètres, elle correspond à un parcours en rivière de 6.127 mètres, ce qui économise un trajet de 2.553 mètres ;

Celle de Courlon, immédiatement en aval du barrage de ce nom ; longue de 4.154 mètres, elle correspond à un parcours en rivière 8.398 mètres, ce qui économise un trajet de 4.264 mètres.

| | |
|---|---------------|
| Entre Laroche et Montereau, la longueur actuelle du lit | mètres. |
| est de | 94.970 |
| Les deux dérivations procurent un raccourcissement de. | 6.817 |
| Longueur canalisée pour la navigation continue entre | |
| Laroche et Montereau | <u>88.153</u> |

En tête de chaque dérivation est une porte de garde pour empêcher l'introduction des crues, et à la sortie une écluse avec une chute de 3^m,25 pour la dérivation de Joigny, et de 3^m,88 pour celle de Courlon.

La largeur au plafond de chaque dérivation est de 16 mètres, et la hauteur de 1^m,80 au-dessous du plan d'eau normal, pour assurer un tirant de 1^m,60 sur le busc de la porte de garde. Les talus sont réglés à 3 de base pour 2 de hauteur, ce qui donne 21^m,40 de largeur à la surface de l'eau; ces dimensions permettent aisément le croisement de trois bateaux de canal chargés, ou de deux grands bateaux de rivière. Au niveau de l'eau existe une petite banquette de 0^m,50 de largeur, en grande partie défendue par des perrés à pierres sèches pour prévenir les dégradations dues au batillage de l'eau. Les digues ou chemins de halage, qui ont une largeur de 4 à 6 mètres en couronne, sont élevées de 0^m,50 au moins au-dessus des plus grandes inondations connues. Le passage sous les ponts est réduit à 10^m,50; la hauteur de l'intrados au-dessus du plan d'eau est de 5^m,50.

Amélioration des chemins de halage et défense des berges.

— Sur une longueur de 9.000 mètres, entre Villeneuve-sur-Yonne et Rosoy, on a reporté le chemin de halage de la rive gauche sur la rive droite, de manière que de Joigny à Montereau le chemin de halage est sur la même rive dans un parcours de 84.000 mètres; la conséquence de cette amélioration de réelle importance a été de remplacer aux deux ponts de Joigny et de Villeneuve-sur-Yonne deux petites arches par une seule arche de grande dimension, ce qui a permis d'établir une banquette de halage sous cette nouvelle arche. On a fait sur divers autres points des travaux d'amélioration du chemin de halage, qui a une largeur variable de 4 à 8 mètres, mais généralement de 6 mètres; le chemin de contre-halage existe presque partout avec une largeur très-variable. On a défendu les berges sur beaucoup

de points par des enrochements, des perrés à pierres sèches, quelquefois par des murs de quai, très-souvent avec des plantations d'osiers et de simples gazonnements.

Dragages. — Dans plusieurs biefs, on a exécuté des dragages de manière à donner au chenal une largeur de 30 mètres et une profondeur de 1^m.60 au-dessous du plan d'eau de la retenue supposé horizontal. Les produits de ces dragages ont toujours été utilisés pour exhausser les points des berges et des propriétés riveraines atteints par le niveau de la retenue du barrage voisin.

Dépenses diverses. Assainissement. — Parmi les nombreuses causes de dépenses diverses, dans une entreprise d'aussi grande importance que celle de la transformation du système de navigation intermittente en navigation continue sur une grande rivière, je ne mentionnerai que les submersions des propriétés riveraines produites par le relèvement permanent du plan d'eau. Entre Laroche et Montereau, la vallée de l'Yonne, large de 800 à 2.400 mètres, offre un sous-sol de gravier; elle est sillonnée par des fossés, par d'anciens bras de la rivière appelés noues, qui se remplissent d'eau à la moindre crue; enfin de nombreux atterrissements en formation existent sur l'une ou l'autre rive dans le lit même de la rivière. Le relèvement du plan d'eau par les barrages a donc produit trois espèces de submersions et donné lieu à un certain nombre de réclamations :

1° Les submersions directes se produisent sur les atterrissements des bords de la rivière non encore élevés au-dessus des plus hautes eaux navigables; dans ces cas, les plus nombreux, mais qui ne compromettent que des intérêts limités et ordinairement sans droit, on a eu recours à la délimitation administrative du lit de la rivière, conformément à la jurisprudence du Conseil d'État et de la cour de cassation;

2° Pour empêcher l'introduction des eaux dans les fossés

et anciens lits existants, on a établi des barrages, comblé des bas-fonds et fait d'autres fossés de dérivation.

3° Les cas les plus fréquents et qui de prime abord ont suscité les plus énergiques réclamations, ce sont les submersions par filtration des eaux dans le sous-sol graveleux, ce qui a atteint les récoltes et rendu quelquefois impossible le labour ; on a fait un fossé ou un réseau de fossés d'assainissement en conduisant l'eau à l'aval du barrage voisin, et partout où ce travail a été possible, on a réussi, à la grande satisfaction et à l'avantage des propriétaires et des fermiers, qui trouvent dans ce nouvel état une humidité convenable et le moyen même d'arroser. Dans quelques cas rares il a été payé des indemnités peu considérables.

En résumé, les travaux de canalisation de l'Yonne, qui ont considérablement amélioré la navigation, qui ont facilité l'écoulement des crues par la régularisation du lit, ont aussi rendu service à l'agriculture de la vallée.

Établissement de la navigation continue d'Auxerre à Laroche (décret du 11 juillet 1868). — Les travaux d'amélioration de l'Yonne de Laroche à Montereau, autorisés par décret du 17 avril 1861, touchaient à leur fin quand fut rendu, le 11 juillet 1868, un deuxième décret qui déclarait d'utilité publique les travaux estimés 3 millions de francs, et destinés à procurer aussi une navigation continue avec un tirant minimum d'eau de 1^m, 60 entre Auxerre et Laroche, c'est-à-dire entre l'embouchure du canal du Nivernais et l'embouchure du canal de Bourgogne. Ces travaux ont été commencés en 1869 ; retardés par les malheureux événements de 1870 et de 1871, ils ont reçu une nouvelle et vive impulsion en 1872, et ils seront achevés en 1873, de sorte que l'on peut d'ores et déjà regarder comme certain l'établissement prochain de la navigation continue d'Auxerre à Paris, à la grande satisfaction du commerce, de l'industrie, de la batellerie et de tous les intéressés à l'amélioration des voies navigables qui relient la Loire, la Seine et le Rhône,

par le canal du Nivernais, par l'Yonne, par le canal de Bourgogne et par la Saône; à cette heureuse époque, les éclusées de l'Yonne auront cessé en aval d'Auxerre, comme aussi, il faut l'espérer, en amont d'Auxerre, et alors disparaîtra la grande gêne qui résulte des éclusées, même retraits.

Donc les ouvrages construits et en construction pour l'amélioration complète de l'Yonne entre Auxerre et Laroche, en combinant les travaux autorisés par la loi du 31 mai 1846 et ceux autorisés par le décret du 11 juillet 1868, comprennent :

- 1° Huit barrages mobiles, dont sept avec écluses ;
- 2° La dérivation de Gurgy ;
- 3° L'amélioration du chemin de halage et la défense des berges ;
- 4° Des dragages ;
- 5° Des dépenses diverses.

Barrages mobiles. — Le barrage de la Chainette, situé à la sortie du port d'Auxerre, a une passe large de 42^m, 20, fermée par des fermettes et aiguilles du système Poirée, et un déversoir fixe en maçonnerie de 200 mètres de longueur et ayant son couronnement au niveau de la retenue. Le seuil de la passe est à 0^m, 50 au-dessous de l'étiage. L'écluse accolée à ce barrage a 8^m, 50 de largeur de sas et une longueur utile de 93 mètres, de manière à contenir trois bateaux de canal ou un train de bois à brûler. Le barrage de la Chainette fonctionnait pour le régime des éclusées avant l'approbation de l'avant-projet pour l'établissement de la navigation continue.

Parmi les sept nouveaux barrages, cinq, ceux de l'Île-Brûlée, des Dumonts, des Boisseaux, de Monéteau et de Bassou sont achevés et fonctionnent; les deux autres, de Gurgy et de la Gravière, sont en construction et seront achevés en 1873; un seul des nouveaux barrages, celui de Gurgy, n'a point d'écluse, parce qu'il est en tête d'une

dérivation. Ces sept barrages ont des passes larges de 30 à 35 mètres, fermées par des hausses Chanoine et ayant le seuil à 0^m,60 sous l'étiage; les déversoirs, dont les seuils sont à 0^m,50 au-dessus de l'étiage, ont une longueur de 25 à 40 mètres : six de ces déversoirs sont surmontés de fermettes et d'aiguilles du système Poirée, et un seul, celui du barrage de l'Île-Brûlée, est fermé par de grandes vannes du système Girard, larges de 3^m,52 et d'une hauteur verticale de 2 mètres au-dessus du seuil.

| | |
|---|------------------|
| Dérivation de Gurgy. — La dérivation de Gurgy longue, de. | mètres. 5.007 |
| correspond à une longueur de rivière de. | 9.499 |
| d'où résulte une diminution de. | 4.492 |
| dans le parcours d'Auxerre à Laroche, qui est par la voie actuelle de. | 27.616 |
| et qui ne sera plus par la voie nouvelle que de. | <u>23.124</u> |

La dérivation de Gurgy a d'ailleurs les mêmes profil et dimensions que les deux dérivations de Joigny et de Cour-lon, une porte de garde à l'origine et, vers l'aval, deux écluses séparées par un bief et ayant chacune 2^m,50 de chute.

Amélioration du chemin de halage, défenses des berges, dragages, etc. — L'amélioration du chemin consiste à éviter les passages en bac sur la rivière, à faire passer les chevaux de halage sur les deux ponts de Monéteau et de Bassou; à cet effet un pont sera construit sur la rivière du Serein, un peu en aval du barrage de Bassou. Il est nécessaire d'exhausser et de défendre les berges en amont et dans le voisinage de quelques barrages, notamment du barrage de la Gravière placé près et en amont de l'embouchure de la rivière d'Armançon.

Emplacement des barrages et fixation des hauteurs de leurs retenues. — Cinq données principales ont présidé à la détermination de l'emplacement et de la hauteur de la retenue de chaque barrage :

- 1° La conservation des barrages existants;
- 2° Le plan horizontal passant par le sommet des hausses de la passe d'un barrage (lequel sommet fixe la hauteur de la retenue) devant être à 1^m,60 en contre-haut du busc aval de l'écluse immédiatement supérieure, et des biefs intermédiaires, sauf quelques points particuliers où des dragages seraient exécutés;
- 3° La hauteur des berges naturelles, qui devaient dépasser de 0^m,40 à 0^m,50 au moins la retenue, sauf à exhausser quelques portions rapprochées des barrages;
- 4° La hauteur sous clef des voûtes ou travées des ponts, qui doit être au minimum de 5^m,50 (*) au-dessus du plan normal de la retenue, parce que les plus forts chargements des bateaux atteignent et ne dépassent pas 5 mètres;
- 5° Enfin une hauteur verticale maximum de 3 mètres à 3^m,10 à donner aux hausses de la passe au-dessus du seuil.

1° Il existait sept barrages à fermettes : ceux de la Chainette, d'Épineau et de Port-Renard avec écluses, et ceux de Pêchoir, de Joigny, de Villeneuve-sur-Yonne et de Saint-Martin-lès-Sens sans écluses. Le barrage de la Chainette a été conservé avec son écluse, sans aucun changement; à celui d'Épineau on a seulement allongé la tête d'aval de son écluse; à Port-Renard on a exhausé les fermettes de 0^m,33 et on a allongé l'écluse. Les trois barrages de Pêchoir, de Villeneuve et de Saint-Martin ont été transformés en barrages à hausses en leur accolant des écluses; le barrage de Joigny a été démoli et remplacé par un barrage à hausses. Un tableau donne plus loin l'emplacement des dix-huit autres barrages.

(*) Un seul pont fait exception, c'est le vieux pont d'Auxerre, situé en amont du port et qui n'a que 4^m,35 au-dessus de la retenue du barrage de la Chainette; mais ce pont fait en quelque sorte suite au canal du Nivernais, sur lequel les ponts n'ont actuellement que 3^m,70 et devront être élevés à 4 mètres au-dessus du plan d'eau.

2° C'est pour éviter tout mécompte, à cause du faible débit des basses eaux, qu'on a négligé le remous des barrages dans la fixation du busc d'aval des écluses; à une seule écluse, celle d'embouchure du canal du Nivernais, il n'existe qu'une hauteur de 1^m,44 entre le busc d'aval et le plan horizontal de la retenue du barrage de la Chainette; il y aura lieu de comprendre dans les projets d'amélioration du canal du Nivernais l'abaissement de ce busc, parce qu'on ne peut modifier la retenue du barrage de la Chainette à cause du vieux pont d'Auxerre.

Les données 3 et 4 se justifient par leur simple énoncé.

5° Quand on a projeté et approuvé l'application des barrages à hausses sur l'Yonne, dont les berges ne dépassent pas généralement la hauteur de 2^m,20 au-dessus de l'étiage, on ne pensait pas que le système de hausses Chanoine pût comporter des hausses de plus de 3 mètres à 3^m,10 de hauteur verticale. Récemment, en 1869 et 1870, on a exécuté au barrage de Port-à-l'Anglais, sur la Seine, un pertuis avec des hausses de 3^m,80 de hauteur, comme il sera dit plus loin dans cette notice.

Le tableau suivant donne les cotes relatives des retenues, des seuils des passes et des déversoirs des barrages, et des buscs d'aval des écluses.

| DÉSIGNATION des ouvrages. | EMPLACEMENTS. | DISTANCES. | COTES D-Dessus DU NIVEAU DE LA MER. | | | | HAUTEUR au-dessus du seuil de la passe du déversoir. | | | | OBSERVATIONS. | |
|---|--------------------------|---------------|-------------------------------------|--|--------------------|---------------|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------|---|
| | | | Kilogs. | Seuil ou couronnement du déversoir. | Seuil de la passe. | Revenu | des hauteurs des formites | des hauteurs des formites | des hauteurs des formites | des hauteurs des formites | | |
| Embranchure du canal du Nivernais. | Écluse du Bâtardeau. | mét. 1.555 | mét. 96,60 | mét. " | mét. " | mét. 95,70 | mét. " | mét. " | mét. " | mét. " | mét. " | Le seuil d'aval de l'écluse du Bâtardeau doit être abaissé de 0 ^m ,16 pour atteindre 1 ^m ,40 en contre-bas de la retenue de la Chalignette. |
| 1 B. de la Chalignette. | " | 1.440 | 95,54 | 97,14 | 97,14 | 95,93 | 1,21 | 2,43 | " | " | " | Déversoir fixe. |
| 2 B. de l'Île-Brûlée. | " | 1.860 | 93,53 | 92,93 | 94,03 | 95,92 | 94,08 | 92,48 | 1,45 | 3,00 | 2,00 | Vannes Girard au déversoir. |
| 3 B. des Dumonts. | " | 1.705 | 91,68 | 91,08 | 92,18 | 94,08 | 92,23 | 90,63 | 1,85 | 3,00 | 2,45 | Système Poirée pour le déver- soir. |
| 4 B. des Boisseaux. | " | 1.564 | 89,83 | 89,23 | 90,33 | 92,23 | 90,38 | 88,78 | 1,85 | 3,00 | " | Idem. |
| 5 B. de Monéteau. | " | 3.016 | 87,88 | 87,38 | 88,48 | 90,38 | 88,54 | 86,94 | 1,84 | 3,00 | " | Idem. |
| 6 B. de Gurgy. | " | 5.007 | 86,04 | 85,44 | 86,54 | 88,54 | " | 86,94 | 2,50 | 3,10 | " | Idem. |
| Dériv. de Gurgy (b). | Ecl. de Néron. | 1.277 | " | " | " | 88,54 | 86,64 | 84,44 | 2,50 | " | " | La distance en rivière est de 9,499 ^m et la diminution de par- cours de 9,499 - 8,007 = 1,492. |
| 7 B. de Bassou. | Ecl. de Ravéuse. | 3.583 | 81,03 | 80,53 | 81,63 | 83,54 | 81,34 | 79,74 | 2,20 | 3,01 | 2,45 | Système Poirée pour le déver- soir. |
| 8 B. de la Gravière. | " | 2.117 | 78,94 | 78,34 | 79,44 | 81,34 | 79,26 | 77,74 | 1,98 | 3,00 | 2,45 | Idem. |
| Embranchure du canal de Bourgogne. | Ecl. de Laroche. | 2.044 | 76,18 | " | " | 79,26 | 77,61 | " | " | " | " | La longueur du bief d'épaveau est de 4,161 ^m . |
| 9 B. d'Épineau. | " | 2.590 | 77,74 | 77,10 | 79,26 | 79,26 | 78,44 | 76,85 | 0,92 | " | 2,40 | Déversoir fixe. |
| 10 B. de Peholot. | " | 4.891 | 76,11 | 75,37 | 76,61 | 78,44 | 76,61 | 75,31 | 1,83 | 2,97 | 1,97 | Déversoir à basses mobiles de seuil bascule et avec passe- relle de manœuvre. |
| 11 B. de Joigny. | " | 3.374 | 74,76 | 74,16 | 75,26 | 76,91 | " | 75,31 | 2,16 | 2,75 | 1,68 | Déversoir à basses mobiles avec passerelles de manœuvre. |
| Dériv. de Joigny (c). | Ecl. de St-Aubin. | 4.410 | " | " | " | 76,91 | 73,66 | 72,06 | 3,25 | " | " | La distance en rivière est de 6,187 ^m et la diminution de par- cours de 6,187 - 3,874 = 2,313 ^m . |
| 12 B. de Villevalier. | " | 4.783 | 71,26 | 70,86 | 71,76 | 73,66 | 71,76 | 70,16 | 1,91 | 3,00 | 1,66 | Déversoir à basses mobiles avec passerelles de manœuvre. |

NAVIGATION DE LA HAUTE-SEINE ET DE L'YONNE. 199

| | | | | | | | | | | | |
|----|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---|
| 14 | B. de Villeneuve-a-V. | 5.750 | 65,60 | 67,30 | 68,30 | 70,15 | 69,83 | 67,73 | 71,20 | 1,00 | Idem. |
| 15 | B. d'Euigny. | 4.400 | 66,35 | 69,65 | 66,75 | 68,43 | 66,93 | 65,33 | 1,50 | 2,78 | Idem. |
| 16 | B. de Rosoy. | 4.735 | 61,53 | 63,93 | 65,03 | 66,93 | 65,07 | 63,47 | 1,86 | 3,00 | Idem. |
| 17 | B. de Saint-Benoit. | 4.273 | 62,98 | 62,36 | 63,46 | 65,07 | 63,50 | 61,90 | 1,57 | 2,71 | Déversoir à hausses mobiles de deux hauteurs et avec passerelle de manœuvre. |
| 18 | B. de Saint-Martin. | 4.908 | 81,14 | 60,54 | 61,64 | 63,50 | 61,06 | 60,06 | 1,84 | 2,26 | Déversoir à hausses mobiles avec passerelle de manœuvre. |
| 19 | B. de Villersreuil. | 5.466 | 59,37 | 56,77 | 59,87 | 61,65 | 59,73 | 58,13 | 1,93 | 2,89 | Idem. |
| 20 | B. de Champfleury. | 7.074 | 57,56 | 56,76 | 57,86 | 59,73 | 57,76 | 56,16 | 1,97 | 2,97 | Idem. |
| 21 | B. de Courton. | 4.134 | 55,50 | 58,00 | 56,10 | 57,76 | 5 | 56,16 | 2,26 | 2,76 | Longueur en rivière = 8,98m. Les raccourcissements dus au défilé = 4,15m = 4,80m. |
| | Dériv. de Courton (d). Roi. de Vinneuf. | 463 | | | | | | | | | Déversoir fixe. |
| 22 | B. de Per-Renaud. | 4.233 | 52,18 | 51,53 | 53,88 | 53,88 | 53,01 | 51,41 | 0,87 | 2,39 | Déversoir à hausses mobiles avec passerelles de manœuvre. |
| 23 | B. de Barbey. | 4.679 | 50,84 | 50,21 | 51,34 | 53,01 | 51,87 | 49,77 | 1,64 | 2,80 | Idem. |
| 24 | B. de Labrosse. | 3.997 | 49,97 | 48,37 | 49,47 | 51,37 | 49,45 | 48,03 | 1,78 | 3,60 | Idem. |
| 25 | B. de Cannes. | 3.238 | 47,27 | 46,67 | 47,77 | 49,65 | 47,59 | 45,68 | 2,06 | 2,98 | Idem. |
| | Embranch. de l'Yonne } Pont de Montre- dans la Seine } reau. | 46,92 | | | | | | | | | |
| | Pareours total par les dérivaions. | 108.277 | | | | | | | | | |
| | Ajoûtant les raccourcissements dus au trois dérivaions. | 11.509 | | | | | | | | | |
| | Longueur totale par le lit naturel de l'Yonne. | 119.586 | | | | | | | | | |
| | La cote d'étiage à Auxerre est de | 96,60 | | | | | | | | | |
| | Pente totale d'Auxerre à Montreau. | 50,58 | | | | | | | | | |

108.277m }
 Longueur canalisée d'Auxerre à Laroche. . . = 52.124m }
 Idem. }
 Longueur canalisée d'Auxerre à Laroche. . . = 85.153 }

(a) Les seuls de Rarneau est à 50 mètres de l'embranchure, et la distance entre les deux écluses de Rarneau et de Néron est de 1.435 mètres.
 (b) Chute à l'étiage en rivière.
 (c) L'écluse de Saint-Aubin est à 300 mètres de l'embranchure, ce qui donne au bief de péchoir à Saint-Aubin une longueur de 2.815 mètres, et au bief de Villeneuve une longueur de 4.760 mètres.
 (d) L'écluse de Vinneuf est à 900 mètres de l'embranchure, ce qui donne au bief de Champfleury à l'écluse de Vinneuf une longueur de 10.385 mètres, et au bief de Per-Renaud une longueur de 1.875 mètres.
 (e) Chute à l'étiage en rivière.

Il résulte du tableau ci-dessus :

1° Que dans la première section d'Auxerre à Laroche, Les huit barrages ont des chutes variant de 1^m,21 à 2^m,50, et une chute moyenne de 1^m,91 ;

Les deux écluses de la dérivation de Gurgy ont chacune une chute de 2^m,50 ;

Les neuf biefs compris entre l'embouchure du canal du Nivernais et le barrage de la Gravière ont des longueurs variables de 1.327 à 6.548 mètres et une longueur moyenne de 2.334 mètres ;

2° Que le bief d'Épineau, qui est commun à la première et à la deuxième section, a une longueur de 4.161 mètres ;

3° Que dans la deuxième section de Laroche à Montereau, Les dix-sept barrages ont des chutes variant de 0^m,87 à 2^m,26 et une chute moyenne de 1^m,71 ;

Les deux écluses de dérivation ont des chutes de 3^m,25 et 3^m,88 ;

Les seize biefs comptés entre les barrages d'Épineau et de Cannes ont des longueurs variables de 1.373 à 10.258 mètres et une longueur moyenne de 4.990 mètres ;

4° Que la portion de 3.238 mètres comprise entre le barrage de Cannes et le pont de Montereau fait partie du premier bief de la Seine qui se termine au barrage de Varennes.

Parties fixes des barrages. Dimensions principales et mode de construction. — La largeur du radier de la passe des nouveaux barrages à hausses (*) est de 7 à 10 mètres dans le sens du courant ; son épaisseur est au moins égale à la hauteur de la chute du barrage, et rarement inférieure à 2 mètres.

(*) On ne parle pas ici des trois anciens barrages à fermettes et aiguilles du système Poirée qui ont été décrits dans divers articles des *Annales des ponts et chaussées*, et notamment le barrage de la Chalnette dans la notice de l'exposition universelle de 1853 (à Londres). Leur manœuvre est bien connue.

Entre Auxerre et Joigny, le massif du radier repose directement sur le solide, rocher ou craie ; les maçonneries ont été exécutées dans des enceintes mises à sec ; entre Joigny et Montereau, le massif est formé d'une couche de béton coulé dans une enceinte de pieux et palplanches ; sur ce massif on a posé par épousement la plate-forme du radier, qui est en pierres de taille et moellons piqués ou smillés.

Dans le radier en maçonnerie sont noyées des ancrs, des barres de fer et des plaques de fonte destinées à relier solidement au massif de maçonnerie le seuil en bois contre lequel viennent buter les culasses des hausses.

Le radier du déversoir des nouveaux barrages a généralement une largeur de 4 mètres et une épaisseur minimum de 2 mètres ; il est entièrement en maçonnerie ou formé d'un coffrage en charpente rempli de béton et couvert d'un pavage maçonné.

Le déversoir est compris entre une pile en maçonnerie de 5 mètres d'épaisseur et 6 mètres de longueur qui le sépare de la passe, et un épaulement en maçonnerie qui s'enracine par deux murs en retour dans la berge.

A l'aval de la plupart des barrages il a été établi un arrière-radier en enrochements formé de gros moellons ou de blocs artificiels ; à quelques barrages on a retenu les enrochements au moyen de pieux battus en quinconce.

Parties mobiles des barrages, leur fonctionnement. — Les passes des vingt-deux nouveaux barrages de l'Yonne sont fermées par des hausses mobiles en bois (du système Chanoine), larges de 1^m, 25 et espacées entre elles de 0^m, 05. Pendant la saison des basses eaux on recouvre ces vides entre les hausses avec des couvre-joints qui rendent la passe plus ou moins étanche.

On sait que chaque hausse est mobile autour d'un axe formant la tête d'un chevalet qui tourne lui-même autour d'un axe inférieur dont les tourillons sont engagés dans

deux crapaudines scellées dans la face aval du seuil de la passe. La hausse debout est inclinée à 15 degrés environ avec la verticale, et bute de 0^m.08 contre la face amont du seuil; son couronnement est au niveau de la retenue; l'axe de rotation de la hausse est placé de manière que la hauteur de la culasse au-dessus du seuil soit les $\frac{4}{12}$ de la hauteur totale, et par suite la volée les $\frac{7}{12}$. La tête du chevalet passe dans l'œil supérieur d'un arc-boutant dont le pied s'appuie, quand la hausse est debout, contre un heurtoir en fonte scellé dans le radier. Lorsque la hausse est abattue sur le radier, l'arc-boutant est logé dans une glissière dont le heurtoir est la tête. Quand on veut abattre une hausse qui est debout, on pousse le pied de l'arc-boutant par la saillie correspondante de la barre à talons, qui se meut horizontalement sur le radier au moyen d'un treuil logé dans la pile ou dans le bajoyer de l'écluse; car chaque passe est manœuvrée par deux barres à talons, qui agissent chacune sur la moitié du nombre des hausses en partant du milieu de la passe.

Au contraire, les hausses couchées sur le radier sont relevées à la gaffe au moyen d'un bateau de manœuvre muni d'un treuil et de divers agrès (*).

Il est bien évident que les chevalets, les arcs-boutants et les barres à talons sont en fer; les glissières et leurs heurtoirs sont en fonte.

Les déversoirs des quinze nouveaux barrages compris entre Laroche et Auxerre ont été, lors de leur construction, munis de hausses automobiles avec des contre-poids mobiles du système Chanoine; ces hausses en bois ont une largeur de 1^m.35, avec des intervalles de 0^m.05 entre elles.

(*) Toutes les parties mobiles de la passe à hausses et leurs manœuvres ont été décrites avec détail dans un article de MM. les ingénieurs Chanoine et de Lagrené, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1861 (novembre et décembre).

On peut rendre le déversoir plus ou moins étanche en appliquant des couvre-joints sur les vides qui existent entre les hausses.

Chaque hausse de déversoir est mobile autour d'un chevalet qui porte un arc-boutant, comme une hausse de passe; il existe sur le radier une glissière avec son heurtoir pour chaque hausse; M. l'ingénieur en chef Chanoine avait même ajouté une barre à talons, que cependant il ne regardait pas comme très-nécessaire. L'axe de rotation d'une hausse de déversoir n'étant élevé que de 0^m,05 au-dessus du tiers de la hauteur de la hausse, il suffisait que l'eau de la retenue d'amont s'élevât de 0^m,09 à 0^m,14 au-dessus du sommet de cette hausse pour qu'elle se mît en bascule; le contre-poids mobile placé au bas de la culasse, qui tenait la hausse debout quand la retenue était à son niveau normal, glissait sur la volée lorsque la hausse se mettait en bascule. Si le niveau de la retenue baissait d'une certaine quantité, la hausse se redressait et le contre-poids retombait au pied de la culasse.

Ce système ingénieux frappait par sa simplicité et séduisait au premier abord dans les expériences faites isolément à un seul barrage, alors qu'on se préoccupait surtout du moyen d'écouler rapidement une crue, sans craindre d'affamer le bief d'amont et de nuire à la marche des embarcations; mais il présenta de grands mécomptes quand on voulut faire en 1868 (*) l'essai de la navigation continue

(*) Les douze barrages mobiles de la Seine entre Paris et Montereau ayant été achevés en 1864, M. l'ingénieur en chef Chanoine, qui était l'inventeur du système, proposa le fonctionnement de ces barrages; mais d'après l'avis d'une commission spéciale, qui se livra à une grande enquête, et aussi d'après l'avis conforme du conseil général des ponts et chaussées, une décision ministérielle du 13 décembre 1865 ajourna le fonctionnement des douze barrages de la Seine jusqu'à ce que les dix-sept barrages de l'Yonne entre Montereau et Laroche fussent terminés; en 1867, par suite de la retraite de M. l'ingénieur en chef Chanoine, M. l'ingénieur

sur l'Yonne et sur la Seine entre Paris et Laroche. Une décision ministérielle du 4 mai 1868, en approuvant un règlement provisoire pour le nouveau mode de navigation, autorisa les ingénieurs à relever les barrages établis sur la Seine et sur l'Yonne de Paris à Laroche; la décision ministérielle recommandait de procéder à cette opération délicate avec toutes les précautions nécessaires pour ne pas gêner la navigation. Les barrages de la Seine furent relevés du 18 mai au 7 juin; les quatre premiers barrages de l'Yonne furent fermés du 8 au 10 juin; mais le relèvement des treize autres ne fut terminé que le 5 septembre après le chômage des canaux. Il se présenta immédiatement une difficulté due à la coexistence des éclusées de la haute Yonne, dont le flot venait deux fois par semaine mettre en bascule un certain nombre de hausses des déversoirs, lesquelles hausses, bien que dites automobiles, ne se relevaient qu'avec un rabais de 1 mètre dans le bief d'amont; de là naissait une grande gêne pour la marche des embarcations. Grâce au zèle et à l'activité des ingénieurs, à la bonne surveillance des conducteurs et au dévouement des éclusiers barragistes, on put, pendant la durée des basses eaux, maîtriser la situation; avec des bateaux et divers procédés imaginés par les agents de la navigation, on vint à bout de relever assez rapidement les hausses, et en définitive l'amélioration du nouveau mode fut sensible et constatée par tous. Mais dans le mois d'août les eaux de la vidange des canaux et celles de violents orages se joignant au flot de l'éclusee produisirent dans les biefs des perturbations qui se firent sentir jusqu'à Paris; aussi, après cette expérience, on avait pris la précaution de vider quelques biefs d'amont avant l'arrivée de l'éclusee; le 22 octo-

en chef Cambuzat fut chargé des deux services de l'Yonne et de la Seine entre Auxerre et Paris; les dix-sept barrages de l'Yonne ne furent terminés qu'en 1868.

bre une petite crue de 0^m,20 de la rivière d'Armançon arriva à Laroche sans être annoncée (*), et par conséquent sans que l'on eût pris à l'aval les précautions prescrites pour recevoir l'écluse; il en résulta un véritable bouleversement de tous les déversoirs, et dans tous les biefs de Laroche à Paris. Immédiatement les ingénieurs proposèrent d'établir en amont de chaque déversoir à hausses automobiles une passerelle qui permettrait, à l'aide d'un treuil et de chaînes, de manœuvrer ces hausses et de régler le niveau de la retenue du bief d'amont; en attendant, tous les barrages furent ouverts et le système des éclusées continua librement comme par le passé. Une commission de trois inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées (**), chargée de faire une enquête (***), entendit les intéressés à Joigny, à Sens, à Montereau et à Paris; elle adopta les propositions des ingénieurs, lesquelles, sur l'avis du Conseil général des Ponts et Chaussées, furent approuvées par une décision ministérielle du 28 décembre 1869.

Donc, pendant les deux campagnes de 1869 et de 1870, on exécuta en amont de chaque déversoir à hausses dites automobiles une passerelle de manœuvre, et, sans les malheureux événements de la fin de 1870, la navigation continue eût été établie de Paris à Laroche au mois de septembre

(*) On n'avait point l'habitude d'annoncer par le télégraphe une crue d'aussi faible importance.

(**) MM. Comoy, Perrier et Romany.

(***) Il s'éleva à cette époque force clameurs et récriminations dans les journaux, dans le commerce, dans la batellerie; des réclamations furent adressées à MM. les préfets et à M. le ministre des travaux publics. L'auteur de cette notice, qui n'était point l'inventeur du système de déversoirs automobiles et qui était convaincu que l'application des passerelles de manœuvre compléterait le déversoir d'une manière satisfaisante, demanda et obtint qu'on ne répondît pas aux accusations, mais seulement qu'on fit connaître et qu'on expliquât à l'occasion aux intéressés les travaux complémentaires reconnus nécessaires; ce qui eut lieu et calma toute l'agitation un peu factice qui s'était produite à l'occasion de l'essai fait en 1868.

1870, tandis qu'elle n'a pu l'être qu'au 1^{er} septembre 1871, après une année de retard. Chaque passerelle de manœuvre se compose de fermettes en fer, du genre des fermettes des barrages Poirée, mobiles autour d'un axe horizontal perpendiculaire à l'axe du déversoir; chaque fermette correspond à l'axe d'une hausse; ces fermettes sont reliées à leurs têtes par deux barres d'assemblage qui limitent la largeur de la passerelle; entre ces barres est établi un plancher en bois, qui est élevé de 0^m,50 au-dessus du niveau de la retenue; les deux barres d'assemblage sont les rails sur lesquels roule le chariot qui porte le treuil de manœuvre; enfin à ce treuil peuvent aboutir deux chaînes, l'une attachée à la tête de la volée et l'autre au bas de la culasse de chaque hausse. A l'aide du treuil, solidement amarré à une ou deux fermettes, et avec les deux chaînes, on fait sans fatigue et sans danger toutes les manœuvres nécessaires pour relever, coucher les hausses, les mettre en bascule, etc., enfin pour régler le niveau de la retenue. En temps de crue, les fermettes de la passerelle s'abattent dans un encadrement qui est à peu près au niveau du radier du déversoir; les planches, les barres et le treuil se mettent en magasin. On a enlevé des hausses des déversoirs les contre-poids mobiles qui n'ont plus de raison d'être.

Aux deux anciens déversoirs des barrages de Péchoir et de Saint-Martin qui ont des hausses particulières (lesquelles ont figuré à l'exposition universelle de 1867) mobiles autour d'un axe fixe scellé à la crête amont du couronnement du déversoir, on a aussi établi des passerelles (*).

Ce système a parfaitement réussi; la nuit chaque éclu-

(*) Chacune de ces passerelles spéciales aux deux anciens déversoirs de Péchoir et de Saint-Martin est fixée sur le couronnement du déversoir et en aval des hausses mobiles dont les culasses s'appliquent contre la face amont du déversoir, quand les hausses sont debout.

sier est prévenu de la variation de l'eau en amont de son barrage par une sonnerie mise en mouvement par un flotteur; prochainement tous les barrages seront reliés entre eux par une correspondance télégraphique, et le système ainsi complété empêchera toute surprise.

L'expérience faite en 1868 par le fonctionnement des vingt-neuf barrages mobiles construits entre Laroche et Paris devait nécessairement servir, et a en effet servi pour la rédaction des projets et pour l'exécution des travaux qui, d'après le décret du 11 juillet 1868, étaient destinés à améliorer la navigation de l'Yonne entre Laroche et Auxerre. Une décision ministérielle du 1^{er} juin 1869 approuva, d'après l'avis du Conseil général des Ponts et Chaussées, pour les nouveaux barrages à construire entre Auxerre et Laroche, une passe fermée par des hausses mobiles et un déversoir surmonté de fermettes et d'aiguilles (*). Les déversoirs des quatre barrages des Dumonts, des Boisseaux, de Gurgy et de la Gravière sont construits conformément à la décision du 1^{er} juin 1869; les déversoirs des deux barrages de Monéteau et de Bassou, qui avaient été munis de hausses automobiles sans passe-

(*) La décision ministérielle contient cette observation importante: « MM. les ingénieurs font remarquer que ce système n'a été appliqué en général jusqu'à présent que combiné avec un déversoir régulateur fixe d'une étendue suffisante pour laisser toujours le temps à l'éclusier, en cas de crue, de manœuvrer convenablement le barrage mobile; mais qu'avec les nouvelles dispositions adoptées, ce déversoir fixe est inutile, la passe du barrage fermée par des hausses mobiles, par-dessus lesquelles l'eau peut s'écouler, tient lieu d'un déversoir régulateur, avec cette ressource de plus que, au besoin, l'éclusier pourrait abattre un certain nombre de hausses, si cela était nécessaire, pour dégager complètement en cas de surprise par une crue la passerelle des fermettes.

« Ces surprises, du reste, pourront être évitées par des avis télégraphiques transmis à propos, et aussi par des appareils d'avertissement mis en action en cas de crue par l'eau de la retenue. »

relles, ont été transformés l'été dernier, et ont maintenant des fermettes et des aiguilles sans hausses.

Le déversoir du barrage de l'île-Brûlée, situé près d'Auxerre, et qui devait recevoir aussi des fermettes et des aiguilles, est surmonté, en vertu d'une décision ministérielle du 23 juin 1870, de grandes vannes ayant 3^m,52 de large, de l'invention de M. Girard, ingénieur civil (*); ces vannes, mobiles par le pied autour d'un axe horizontal fixé à la crête d'amont du couronnement du déversoir, s'appuient sur des arcs-boutants qui sont les tiges des pistons d'autant de corps de pompe inclinés, solidement scellés dans le radier; ces pistons sont mis en mouvement par de l'eau qui arrive par des tuyaux noyés sous l'eau et communiquant avec un réservoir qu'alimente une turbine mue elle-même par la chute du barrage. Enfin le barrage de la Chaînette placé à Auxerre même, en tête de la navigation fluviale, a une passe unique fermée par des fermettes et aiguilles et un déversoir fixe.

En résumé, parmi les vingt-cinq barrages mobiles établis sur l'Yonne, entre Auxerre et Montereau, trois sont du système Poirée pur; il n'en reste aucun du système Chanoine pur; vingt-deux ont bien la passe avec les hausses Chanoine, mais les déversoirs sont munis de divers systèmes; quinze déversoirs sont surmontés de hausses mobiles avec des passerelles de manœuvre, six de fermettes et d'aiguilles du système Poirée, et un seul de grandes

(*) M. Girard était un ingénieur civil fort distingué, connu par ses turbines et par diverses inventions hydrauliques; il fut malheureusement tué après le siège de Paris pendant l'armistice, les premiers jours de février 1871, par suite d'une méprise d'une sentinelle prussienne. Le Conseil général des Ponts et Chaussées en adoptant, et M. le Ministre des travaux publics en faisant exécuter aux frais de l'État l'essai du système du barrage mobile de M. Girard, avaient voulu encourager le zèle et le dévouement de tous les inventeurs sérieux, qu'ils appartenissent ou non au corps des ingénieurs des ponts et chaussées.

vannes Girard. Dans l'état actuel, la manœuvre de tous ces barrages se fait avec facilité, sans danger pour les hommes, et les surprises ne sont plus à craindre avec les sonneries à flotteur placées à chaque barrage et surtout avec la correspondance télégraphique de barrage à barrage (*).

Écluses, dimensions, forme, mode de construction. — Il existe vingt-six écluses entre Auxerre et Montereau, tandis qu'il n'y a que vingt-cinq barrages mobiles, parce que la dérivation de Gurgy, qui vient immédiatement à la suite du barrage de ce nom, présente deux écluses. Sur ces vingt-six écluses vingt-trois sont nouvelles, et leur sas a une largeur de 10^m,50 et une longueur utile de 96 mètres, de manière à recevoir six bateaux de canal couplés deux par deux, ou un couplage de deux trains de bois à brûler; deux des trois anciennes écluses, celles d'Épineau et de Port-Renard, ont un sas large de 8^m,30 et d'une longueur utile de 181 mètres; elles reçoivent aussi six bateaux de canal et deux trains de bois à brûler à la file; une seule écluse, celle de la Chaînette, a un sas large de 8^m,30 et d'une longueur utile de 93 mètres. Cette écluse reçoit trois bateaux de canal ou un train, ce qui ne présente aucun inconvénient, comme on l'a déjà dit plus haut.

Les trois écluses de la Chaînette, d'Épineau et de Port-Renard ont leurs bajoyers verticaux entièrement en maçonnerie de pierres de taille et de moellons piqués pour les parements vus; le bajoyer du large a une épaisseur de 2^m,50.

Treize des quinze écluses nouvelles en aval de Laroche ont seulement leurs têtes et les chambres des portes en maçonnerie et avec parements verticaux; le reste du sas est compris entre deux perrés maçonnés à l'inclinaison de

(*) A la fin de cette notice, après avoir parlé des barrages de la Seine, on établira succinctement les avantages et les inconvénients de tous les systèmes expérimentés entre Auxerre et Paris.

45 degrés (*) : ces perrés, qui sont en moellons smillés pour dix écluses et bruts pour trois, reposent sur un massif en béton ou en maçonnerie, fondé sur le solide ou soutenu par une ligne de pieux et palplanches ; pour les écluses en rivière, la digue qui forme bajoyer du large a une épaisseur de 3 mètres en couronnement avec un talus extérieur perreyé en moellons bruts à l'inclinaison de trois de base pour deux de hauteur ; le pied du talus extérieur est protégé par une ligne de pieux et palplanches, ou par des moellons, quand il ne repose pas sur le rocher. La plate-forme du couronnement de la digue est maçonnée. Cette digue, qui est en terre et contient un noyau central de 2 mètres d'épaisseur, formé de terre grasse corroyée et pilonnée, est généralement très-étanche. Les deux écluses de Pêchoir et de Saint-Martin ont leur sas compris entre un talus incliné à 45 degrés du côté de terre, et un bajoyer vertical en maçonnerie de 2^m,50 d'épaisseur, avec renflement à la tête d'aval pour recevoir la chambre dans laquelle est logé le cric à axe vertical qui dirige la barre à talons de la passe du barrage.

Sur les huit écluses nouvelles entre Auxerre et Laroche deux, celles de Monéteau et de Bassou, ont absolument la même forme que les deux écluses de Pêchoir et de Saint-Martin. Les six autres écluses ont leur sas compris entre deux bajoyers verticaux en maçonnerie ; et pour les quatre

(*) Conformément à l'esprit et au texte de la dépêche ministérielle du 19 mars 1860, qui prescrivait d'adopter pour les travaux d'amélioration de l'Yonne les types approuvés pour la Seine, on avait projeté et exécuté par économie des perrés à pierres sèches, reposant sur un noyau ou massif de béton coulé sous l'eau ; divers accidents, des glissements survenus à plusieurs sas d'écluses ainsi perreyés déterminèrent l'administration à revenir franchement à un mode plus solide, et la décision ministérielle du 28 décembre 1868, qui approuvait l'exécution des passerelles de manœuvre pour les déversoirs à hausses des barrages, prescrivit la reconstruction en maçonnerie des revêtements des talus du sas des écluses et de la plate-forme du couronnement des digues du large.

écluses en rivière, le bajoyer du large a une épaisseur de 2^m,50.

Les trois portes de garde placées à l'origine des trois dérivations ont leurs bajoyers verticaux en maçonnerie et ont la forme des chambres des portes des écluses avec deux buscs.

Les maçonneries des écluses entre Auxerre et Joigny sont fondées sur le rocher ou sur la craie, et entre Joigny et Montereau généralement sur massif de béton avec enceinte de pieux et palplanches. Les écluses dont les sas sont compris entre deux talus perreyés n'ont point de radier général, mais les autres écluses ont un radier, à moins que le fond de l'écluse ne soit en rocher.

Tous les vantaux des écluses et des portes de garde sont en bois et fonctionnent très-bien; chaque vantail est généralement manœuvré par une crémaillère circulaire en fonte ou en fer, et dont les dents s'engrènent sur un pignon que fait tourner une manivelle de forme très-variable.

Les vantelles des portes sont à jalousies.

Les garde-corps des portes des écluses en rivière, qui sont submersibles, sont mobiles de manière à pouvoir être enlevés en temps de crue.

Le tableau suivant résume les principales dimensions des barrages et des écluses :

| Numéros des barrages. | DÉSIGNATION DES BARRAGES et des écluses. | SAS de l'écluse. | | PASSE. | | |
|--------------------------|--|--------------------------------|---------------------------|----------|-----------------|-------------------|
| | | Largeur entre les têtes. | Longueur utile. (1) | Largeur. | Nombre | |
| | | | | | des hausées. | des fermettes. |
| 1 | Barrage éclusé de la Chainette. | 8,30 | 93 | 42,20 | " | 26 (a) |
| 2 | Id. de l'île Brulée. | 10,50 (3) | 96 | 30,00 | 23 | " |
| 3 | Id. de Dumonts. . . | 10,50 | 96 | 30,00 | 23 | " |
| 4 | Id. des Boisseaux. . | 10,50 | 96 | 30,00 | 23 | " |
| 5 | Id. de Moncteau. . . | 10,50 | 96 | 29,95 | 23 | " |
| 6 | Barrage de Gurgy (sans écluse). | " | " | 30,00 | 23 | " |
| | Ecluse de Néron. | 10,50 | 96 | " | " | " |
| | Ecluse de Ravense. | 10,50 | 96 | " | " | " |
| 7 | Barrage éclusé de Bassou. . . . | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 8 | Id. de la Gravière. | 10,50 | 96 | 35,00 | 27 | " |
| 9 | Id. d'Épineau. | 8,30 | 181 | 59,20 | " | 57 (b) |
| 10 | Id. de Péchoir. | 10,50 | 96 | 35,10 | 27 | " |
| | " | " | " | " | " | " |
| 11 | Barrage de Joigny (sans écluse). | " | " | 35,10 | 27 | " |
| | Écluse de Saint-Aubin. | 10,50 | 96 | " | " | " |
| 12 | Barrage éclusé de Villevallier. | 10,50 | 96 | 35,35 | 27 | " |
| 13 | Id. d'Armeau. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 14 | Id. de Villeneuve- sur-Yonne. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 15 | Barrage éclusé d'Etigny. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 16 | Id. de Rosoy. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 17 | Id. de Saint-Bond. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 18 | Id. de St-Martin. | " | " | " | " | " |
| 19 | Id. de Villeperrot. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 20 | Id. de Champfleury. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 21 | Barrage de Courlon (sans écluse). | " | " | 35,15 | 27 | " |
| | Écluse de Vinneuf. | 10,50 | 96 | " | " | " |
| 22 | Barrage éclusé de Port-Benard. | 8,30 | 181 | 64,40 | " | 58 (c) |
| 23 | Id. de Barbey. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 24 | Id. de Labrosse. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |
| 25 | Id. de Cannes. | 10,50 | 96 | 35,15 | 27 | " |

(1) La longueur utile est la distance comprise entre la corde de l'arc du mur de chute et l'enclave de la porte d'aval.

(2) Pour tous les barrages la passe est perpendiculaire à l'axe de l'écluse; le déversoir est dit droit quand il est dans le prolongement de la passe et oblique dans le sens contraire.

| DÉVERSOIR. | | | | OBSERVATIONS. |
|------------|-----------------|-------------------|--|--|
| Longueur. | Nombre | | Direction droite ou oblique (2). | |
| | des hausses. | des fermettes. | | |
| | | | | (a) Fermettes espacées de 1 ^m , 112 d'axe en axe. |
| 200,00 | " | " | Déversoir oblique vers l'aval. | Ancien barrage Poirée; écluse pour trois bateaux de canal ou pour un train de bois à brûler. |
| 25,00 | 7 | " | droit. | Déversoirs en maçonnerie. |
| 25,00 | " | 21 | Id. | |
| 29,40 | " | 25 | Id. | |
| 24,94 | " | 20 | Id. | |
| 25,00 | " | 21 | Id. | |
| " | " | " | " | |
| " | " | " | " | Ces deux écluses sont sur la dé- rivation de Gurgy. |
| 29,45 | " | 24 | droit. | Déversoirs en maçonnerie. |
| 40,00 | " | 35 | Id. | |
| | | | | (b) Fermettes espacées de 1 mètre d'axe en axe. |
| 100,00 | " | " | oblique vers l'amont. | Ancien barrage Poirée; écluse pour six bateaux de canal ou pour deux trains de bois à brûler. |
| 22,40 | 16 | " | petit déversoir droit. | Déversoirs en maçonnerie. |
| 56,00 | 28 | 27 | grand déversoir oblique vers l'amont. | |
| 30,40 | 36 | " | droit. | (4) Déversoir avec coffrage en charpente. Cette écluse est sur la dériva- tion de Joigny. |
| " | " | " | " | |
| 50,45 | 36 | " | oblique vers l'aval. | (4) Déversoir avec coffrage en charpente. |
| 50,45 | 36 | " | droit. | |
| 50,45 | 36 | " | Id. | Déversoirs en maçonnerie. |
| 50,45 | 36 | " | oblique vers l'aval. | |
| 54,45 | 39 | " | oblique vers l'amont. | |
| 50,45 | 36 | " | droit. | |
| 22,06 | 17 | " | petit déversoir droit. | |
| 100,00 | 50 | " | grand déversoir oblique vers l'amont. | |
| 50,45 | 36 | " | droit. | (4) Déversoirs avec coffrage en charpente. |
| 63,06 | 45 | " | oblique vers l'aval. | |
| 53,25 | 28 | " | droit. | Déversoir en maçonnerie. Cette écluse est sur la dériva- tion de Courlon. |
| " | " | " | " | |
| | | | | (c) Fermettes espacées de 1 ^m , 12 d'axe en axe. |
| 90,00 | " | " | oblique vers l'amont. | Ancien barrage Poirée; écluse pour six bateaux de canal ou deux trains de bois à brûler. |
| 54,45 | 39 | " | oblique vers l'aval. | Déversoir en maçonnerie. (4) Déversoirs avec coffrage en charpente. |
| 60,25 | 43 | " | droit. | |
| 58,25 | 38 | " | Id. | |

(2) Les vingt-trois écluses nouvelles ont ces dimensions, et chacune d'elles con-
tient six bateaux de canal ou un couplage formé de deux trains de bois à brûler.

(4) Sur les vingt-cinq déversoirs, six seulement ont été construits dans le système
de M. Chanoine, avec coffrage et grillage en charpente; tous les autres sont entiè-
rement en maçonnerie.

| | |
|---|-----------------------------|
| <i>Dépenses.</i> — La loi du 31 mai 1846 avait affecté à l'amélioration de l'Yonne entre Auxerre et Montereau, tout en conservant le régime des éclusées, une dotation de. | francs. 6.500.000,00 |
| Le décret du 17 avril 1861 affecta à l'établissement de la navigation continue entre Laroche et Montereau une dotation de. | 5.200.000,00 |
| (*) | 11.700.000,00 |
| Mais il y a eu une augmentation de. | 3.452.038,46 |
| qui a été approuvée au fur et à mesure de l'avancement des travaux et justifiée par le renchérissement de la main-d'œuvre depuis 1846 et depuis 1860, par divers travaux imprévus, etc., etc. | |
| Dépense réelle. | <u>15.152.038,46</u> |
| Le décret du 11 juillet 1868 a affecté pour l'établissement de la navigation continue entre Auxerre et Laroche une dotation (qui ne sera point dépassée) de. | <u>3.000.000,00</u> |
| Donc l'établissement de la navigation continue sur l'Yonne entre Auxerre et Montereau aura coûté, y compris le réservoir des Settons. | <u><u>18.152.038,46</u></u> |

Les dépenses par nature d'ouvrages se groupent à peu près de la manière suivante :

| | |
|---|---------------------|
| | francs. |
| Le réservoir des Settons a coûté. | 1.327.680,46 |
| 7 barrages éclusés d'Auxerre à Laroche, à 317.000 fr. l'un. | 2.219.000,00 |
| 1 barrage non éclusé d'Auxerre à Laroche à. | 140.000,00 |
| 8 barrages éclusés de Laroche à Sens, à 462.000 fr. l'un. | 3.696.000,00 |
| A reporter. | <u>7.382.680,46</u> |

(*) On ne doit pas ajouter à ce chiffre le crédit de 2.250.000 fr. qui fut alloué par une loi de 1837 pour faire divers essais, notamment pour la construction de cinq barrages à Épineau, à Pêchoir, à Joigny, à Villeneuve-sous-Yonne et à Saint-Martin; l'un de ces barrages, celui de Joigny, a été démoli; trois autres ont été transformés de manière que les dépenses nouvelles auraient été à peu près suffisantes pour faire des barrages neufs : au barrage d'Épineau, qui a été conservé dans le système Poirée, on a ajouté une écluse, on a abaissé le radier, etc.

NAVIGATION DE LA HAUTE-SEINE ET DE L'YONNE. 215

| | |
|--|-----------------------|
| | francs. |
| Report. | 7.382.680,46 |
| 1 barrage non éclusé de Laroche à Sens. | 170.000,00 |
| 7 barrages éclusés de Sens à Montereau, à 561.000 fr. l'un. | 3.927.000,00 |
| 1 barrage non éclusé de Sens à Montereau. | 200.000,00 |
| 12.715 mètres de dérivation à grande section, à 238,45 le mètre. | 3.032.000,00 |
| | <u>14.711.680,46</u> |
| Travaux de défense des berges, d'amélioration des chemins de halage et des ports, dragages; travaux d'assainissement; indemnités et dépenses diverses. | 3.440.558,00 |
| Total comme ci-dessus. | <u>18.152.038,46</u> |
| La longueur totale du cours naturel de l'Yonne, d'Auxerre à Montereau est de. | mètres. 119.586,00 |
| La longueur de la rivière canalisé par les dérivations est de. | <u>108.277,00</u> |
| La dépense par mètre courant de rivière canalisée est de. | francs. 167,64 |
| Mais si l'on retranche la dépense afférente au réservoir des Settons. | 12,26 |
| La dépense par mètre se réduit à. | <u>155,38</u> |

LA SEINE (fleuve).

La Seine, qui prend sa source dans le département de la Côte-d'Or, n'est navigable qu'à partir du village de Marcilly (département de la Marne), où elle reçoit la rivière de l'Aube et le canal de la haute Seine.

La portion du fleuve comprise entre Marcilly et Paris, et longue de 187 kilomètres, prend le nom de Haute-Seine; elle se divise en deux sections bien distinctes: la première, appelée Petite-Seine, va de Marcilly à Montereau, et la deuxième, qui est la Haute-Seine proprement dite, de Montereau à Paris (enceinte des fortifications d'amont).

Le tableau suivant fait connaître les longueur, largeur et pente moyenne du lit de la Seine avec le débit entre Marcilly et Paris :

| DÉSIGNATION des parties. | LONGUEUR. | LARGEUR moyenne du lit. | PENTE moyenne à l'étiage. | DÉBIT | | OBSERVATIONS. |
|---|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|--|
| | | | | à l'étiage. | en crue. | |
| 1 ^{re} section. De Marcilly à Montereau. . . | kilomètres. 89 | mètres. 65 à 70 | 0,000227 | mèt. cu b 10 | mèt. cub. 300 | La Seine reçoit trois principaux affluents : L'Yonne à Mon- tereau ; Le Loing à Saint- Bammès ; Et la Marne près de Paris ; (a) Le débit à l'é- tiage de 32 m. c. est en aval et près du Loing, et celui de 55 mèt. à la porte de Paris en aval de la Marne. |
| 2 ^e section (98 k.). 1 ^{re} partie. — De Montereau au canal du Loing | 12 | 100 à 110 | 0,000218 | 28 | | |
| 2 ^e partie. — Du canal du Loing à Paris. | 86 | 140 à 170 | 0,000195 | (a) } 32 à 52 | de 900 à 2.000 | |
| Total ('). . . | 187 | | | | | |

(') Sur ce parcours de 187 kilomètres, la Seine traverse les cinq départe-
ments de la Marne, de l'Aube, de Seine-et-Marne, de Seine-et-Oise et de la
Seine.

Basses eaux et crues. — A l'étiage sur la Petite-Seine, le tirant est de 0^m,20 à 0^m,30 sur les baissiers et de 0^m,50 à 0^m,60 entre Montereau et Paris.

Les crues commencent sur la Petite-Seine en amont de Montereau quand les eaux atteignent la hauteur de 1^m,50 au-dessus de l'étiage; la navigation cesse ordinairement quand l'eau dépasse 2^m,20. En aval de Montereau, sur la Haute-Seine, les crues commencent à la hauteur de 2^m,50 au-dessus de l'étiage. La navigation montante cesse à la hauteur de 3 mètres et la navigation descendante à celle de 3,30 environ. Le tableau suivant fait connaître les plus grandes crues du XIX^e siècle :

| DATES. | HAUTEURS A | | | | | | OBSERVATIONS. |
|---------------------|------------|-------|------------|--------|----------|--------------------------------------|--|
| | Nogent. | Frey. | Montereau. | Meina. | Corbell. | Paris (pont de la Tourneille). | |
| Janvier 1802. . . | " | " | 4,01 | 5,66 | 6,35 | 7,50 | Les crues de l'Yonne arrivent à Montereau gé- néralement qua- tre jours avant les crues de la Seine. |
| Mai 1836. | 2,61 | 2,88 | 4,68 | 5,78 | 5,90 | 5,60 | |
| Janvier 1861. . . . | 3,01 | 3,13 | 4,10 | 4,18 | 4,10 | 5,60 | |
| Sept. et oct 1866. | 2,92 | 3,07 | 4,80 | 4,87 | 4,40 | 5,20 | |
| Décembre 1872. . | 2,79 | 2,70 | 3,90 | 4,35 | 4,07 | 5,83 | |

Etat de la navigabilité sous l'influence des écluses. — Il faut distinguer la Seine en amont de Montereau et la Seine entre Montereau et Paris.

1° De l'embouchure de l'Aube à Nogent-sur-Seine, la navigation fluviale, qui fait suite à celle du canal de la Haute-Seine, peut être regardée comme continue jusqu'à Nogent, et relativement facile, grâce à la présence de la déviation de Marcilly à Nogent et aux deux barrages de Conflans et de Nogent. Mais de Nogent à Montereau, il n'existe que quatre barrages qu'on fait manœuvrer dans la saison des basses eaux pour donner des flots ou éclusées jusqu'à Montereau. De là une navigation fort peu importante sur la Petite-Seine. On étudie en ce moment un avant-projet de travaux destinés à procurer, dans un temps plus ou moins rapproché, un tirant minimum d'eau de 1^m,60 à la Seine en amont de Montereau, comme sur la Seine et sur l'Yonne entre Paris et Auxerre.

2° Sur la Seine en aval de Montereau, la navigation est naturellement moins difficile et plus importante (notamment en aval de l'embouchure du Loing) que sur la Seine et sur l'Yonne en amont de Montereau. Cependant l'état de navigabilité de cette portion de la Seine était, avant le mois de septembre 1871, fortement influencé par le régime des éclusées de l'Yonne. Aussi pendant près des trois quarts de l'année la navigation de la Seine était intermittente comme celle de l'Yonne, au grand préjudice des embarcations à la remonte, lesquelles étaient presque toujours vides ou du moins très-peu chargées. Les trains de bois et les bateaux descendants suivaient le flot de l'éclusée, qui était très-sensible jusqu'à Paris. Cet état précaire et fâcheux sur un fleuve de l'importance de la Seine, aux portes de Paris, et sur la grande ligne navigable du Havre à Marseille, a cessé depuis le mois de septembre 1871 par le relèvement des douze barrages mobiles exécutés dans ces dernières années entre Paris et

Montereau, en vertu de deux décrets des 16 septembre 1859 et 28 juillet 1860.

Résumé de la fréquentation pendant les sept dernières années (1866-1872).

| ANNÉES. | 1 ^{re} SECTION. — De Moretilly à Montereau. Distance légale : 88 kilom. (a). | | | 2 ^e SECTION. — De Montereau à Paris. Distance légale : 100 kilom. | | | Observations. |
|--|--|---------------|----------------|---|----------------|---------------------|---------------|
| | Tonnage ramené au parcours total | | | Tonnageramené au parcours total | | | |
| | à la descente | à la remonte. | Total. | à la descente. | à la remonte. | Total. | |
| Moyenne des sept années de 1866 à 1872 inclusivement . . . | tonnes. 45.348 | tonnes. 2.754 | tonnes. 48.102 | tonnes. 731.172 | tonnes. 77.550 | tonnes. 808.722 (a) | |
| Maxima en 1868. . . | 69.539 | 7.622 | 77.171 | " | " | " | |
| — en 1866. . . | " | " | " | 930.908 | 105.763 | 1.036.671 | |
| Minima en 1872. . . | 27.342 | 2.388 | 29.730 | " | " | " | |
| — en 1870. . . | " | " | " | 411.145 | 20.309 | 430.454 (b) | |

(a) Distance admise par l'administration des contributions indirectes pour la perception des droits de navigation.
(b) Année de la guerre.

Amélioration de la navigation de la Seine (loi du 31 mai 1846). — En 1845, une commission d'enquête, réunie à Melun, examina un avant-projet dressé par M. l'ingénieur en chef de Sermet, et qui consistait à établir quatorze barrages accompagnés d'écluses entre Paris et Montereau, et dix autres barrages semblables entre Montereau et Nogent-sur-Seine, de manière à assurer une navigation continue avec un tirant minimum d'eau de 1^m,30. La commission d'enquête adopta le projet pour la partie supérieure à Montereau, mais elle le rejeta pour la partie inférieure dans les termes suivants :

« Considérant, quant au parcours de Paris à Montereau, « que la conservation du système des éclusées paraît peu « compatible avec l'établissement des écluses en rivière;

« Qu'indépendamment des engagements antérieurement « pris de conserver ce système, il paraît à la commission « réunir de grands avantages en permettant d'assurer à « la navigation un tirant d'eau suffisant, tout en laissant

« libre le cours du fleuve, condition à laquelle elle attache
« un grand intérêt;

« Que les barrages déjà établis sur l'Yonne ont eu un
« excellent effet sur les éclusées, etc...;

« (La commission) est d'avis que les travaux indispen-
« bles et urgents consistent :

«
«

« Dans l'établissement à Montereau et en aval du port,
« d'un seul barrage avec écluse ayant 12 mètres de lar-
« geur et 160 mètres de longueur, et devant avoir pour
« effet d'élever à un même et semblable niveau les eaux des
« deux rivières. »

Un nouveau projet fut donc rédigé en conformité des
vues de la commission d'enquête; cependant dans leur
rapport les ingénieurs faisaient pressentir l'utilité d'un
second barrage [qui serait placé en aval de l'embouchure
du Loing.

Le projet comprenait aussi tous les autres travaux jugés
utiles pour l'amélioration du lit du fleuve; on calculait que
l'on obtiendrait un mouillage d'au moins 1 mètre au plein
de l'écluse, et qu'il ne descendrait guère au-dessous de
0^m,80 pendant les affameurs.

La loi du 31 mai 1846 accorda 7 millions pour ces tra-
vaux, qui furent commencés dans l'année même de 1846;
à la fin de l'année 1858, on avait dépensé environ 4 millions
et demi à exécuter les divers travaux résumés ci-après :

- 1° La fixation et la consolidation des berges du fleuve;
- 2° Des digues propres à faciliter le halage et à resserrer
le lit du fleuve dans les endroits où il était trop large;
- 3° Des ports, gares et autres ouvrages utiles à la navi-
gation;
- 4° Trois barrages mobiles (système Poirée) avec écluses
au Vesoul, près Noyen, à la Grande-Bosse, près et en aval
de Bray, et à Courbeton, près et en amont de Montereau;

5° Un petit barrage mobile du système Poirée dans le petit bras de la Seine, à Melun ;

6° Et en sus des travaux prévus, la grande dérivation de Marcilly à Nogent-sur-Seine et les ports de la Gare d'Ivry.

Dans un rapport de M. l'ingénieur en chef Chanoine, du 31 mars 1859, on lit ce qui suit :

« Le lit de la Seine a été notablement amélioré par les
« travaux exécutés; on n'y rencontre plus ni roches ni
« hauts-fonds dangereux; les bateaux et les trains s'y en-
« gravent moins souvent; les berges ne sont plus corro-
« dées par les eaux; les chemins de halage sont plus
« viables, et le flot de l'écluse, descendu de l'Yonne, s'y
« trouve renforcé par celui que l'on amène de la Petite-
« Seine.

« L'amélioration dans le mouillage que l'on espé-
« rait de l'exécution du projet de 1846 n'est pas encore
« obtenue. Il est vrai que jusqu'à présent on n'a exécuté
« aucun travail entre Montereau et Paris qui pût réagir
« utilement sur le mouillage résultant de l'écluse. »

D'après les observations faites sur l'Yonne et sur la Petite-Seine, M. Chanoine, dans le même mémoire, faisait remarquer que le flot de l'écluse ne produit pas d'effet très-utile quand il a parcouru plus de 30 kilomètres; que par suite, entre Montereau et Paris, un seul barrage serait insuffisant, et qu'il en faudrait *trois* pour reformer successivement le flot sur le parcours d'environ 100 kilomètres, de manière à obtenir un mouillage d'au moins 1 mètre. En conséquence, cet ingénieur en chef proposait de construire trois barrages, un à Champagne, à une petite distance en aval de l'embouchure du Loing, un autre à Melun, et le troisième à Évry. Prévoyant avec raison que bientôt le commerce, la marine et l'industrie ne pourraient plus se contenter d'une simple amélioration dans le régime des écluses, M. Chanoine annonçait que les trois barrages de

Champagne, de Melun et d'Évry, dont il demandait l'exécution immédiate sur les fonds encore disponibles de la loi du 31 mai 1846, faisaient partie d'un ensemble de douze barrages dont il avait étudié le projet; ces douze barrages devaient procurer de Montereau à Paris une navigation continue avec un tirant minimum d'eau de 1^m,60.

Décret du 17 septembre 1859. — Un décret du 17 septembre 1859, approuvant les propositions de M. l'ingénieur en chef Chanoine, affecta à la construction des trois barrages de Champagne, de Melun et d'Évry un crédit de 1.380.000 francs à prendre sur la partie non encore dépensée de la dotation de 7 millions de francs de la loi du 31 mai 1846.

Établissement de la navigation continue de Montereau à Paris (décret du 18 juillet 1860). — Un décret du 18 juillet 1860, approuvant le projet de l'établissement d'une navigation continue de Montereau à Paris, affecta une nouvelle dotation de 6 millions de francs à l'exécution de neuf autres grands barrages éclusés à Varennes, à la Madeleine, à Samois, à la Cave, aux Vives-Eaux, à la Citanguette, au Coudray, à Ablon et à Port-à-l'Anglais.

Les douze grands barrages mobiles dont on vient de donner l'énumération furent construits de 1859 à 1864, dans le système de M. Chanoine, c'est-à-dire, avec des hausses mobiles larges de 1^m,20 pour la passe, et des hausses automobiles larges de 1^m,30 pour le déversoir; le vide entre deux hausses debout est de 0^m,10; un seul barrage, celui de Melun, conserva pour déversoir le barrage à fermettes et aiguilles qui existait dans le bras droit de la Seine. Les passes navigables en maçonnerie ont de 40^m,40 à 65^m,10 de largeur; leur seuil en bois, solidement encastré dans un radier de 10 mètres de largeur, est à 3 mètres au-dessous du niveau de la retenue et à 0^m,60 au-dessous de l'étiage. Les nouveaux déversoirs ont 60^m,30 à 70^m,10 de longueur, leur seuil est à 0^m,50 au-dessus de l'étiage; le

radier, large de 4 mètres, est formé d'un coffrage en charpente rempli de béton et surmonté de traverses aussi en bois, entre lesquelles est encastré un pavage en maçonnerie; chaque déversoir est compris entre une pile de 3 mètres d'épaisseur qui le sépare de la passe et un épaulement qui le relie à la berge.

Les écluses ont un sas large de 12 mètres et d'une longueur utile d'au moins 180 mètres (*), de manière à recevoir au moins douze bateaux de canal ou quatre trains de bois à brûler.

Les écluses ont leurs têtes et les chambres des portes en maçonnerie; mais les revêtements du sas étaient tout simplement des perrés inclinés à 45 degrés faits avec des pierres sèches et brutes, reposant sur un noyau de béton coulé sous l'eau; la digue du large en terre, avec un noyau de corroi, a 3 mètres d'épaisseur en couronne; son talus extérieur est revêtu d'un perré en pierres sèches brutes reposant sur des enrochements. L'écluse de Port-à-l'Anglais a des bajoyers en maçonnerie, avec parements intérieurs verticaux. Le busc d'une écluse est placé à 1^m,60 au moins en contre-bas de la retenue du barrage inférieur, cette retenue supposée horizontale.

Les couronnements des barrages et des écluses sont à 0^m,40 au moins au-dessus des retenues d'amont.

L'essai de la navigation continue fait en 1868, et dont il a été parlé plus haut au sujet des barrages de l'Yonne, avait démontré le vice des hausses automobiles des déversoirs et le défaut de solidité des revêtements du sas des écluses, lesquels avaient été faits à pierres sèches, brutes et souvent gélives. La décision ministérielle du 28 décembre 1868

(*) Ces dimensions exceptionnelles ont paru nécessaires à cause du grand nombre d'embarcations de toute grandeur qui arrivent de l'Yonne, de la Petite-Seine, du Loing, et des ports de la Seine entre Montereau et Paris.

approuva en principe les travaux complémentaires qui avaient été reconnus nécessaires, et qui consistaient principalement :

- 1° Dans l'abaissement du busc d'aval de l'écluse de Port-à-l'Anglais et la réfection du sas de cette écluse ;
- 2° Dans l'établissement de passerelles de manœuvre, formées avec des fermettes placées devant tous les déversoirs à hausses automobiles du système Chanoine ;
- 3° Dans la consolidation des perrés des sas des écluses ;
- 4° Dans l'établissement d'une ligne télégraphique de barrage à barrage.

Les travaux indiqués pour les déversoirs et pour les sas des écluses ont été exécutés pendant les deux campagnes de 1869 et de 1870 ; mais à cause des événements de la guerre et de la Commune, les barrages n'ont pu fonctionner qu'au commencement du mois de septembre 1871. D'importantes modifications et améliorations ont été apportées à l'écluse et au barrage de Port-à-l'Anglais ; il en sera rendu plus loin un compte particulier dans cette notice. On a refait à toutes les autres écluses les revêtements du sas en maçonnerie, et avec de bons moellons non gélifs, reposant sur le solide ou contre une file de pieux et palplanches. Des passerelles de manœuvre ont été établies en amont des déversoirs à hausses de onze barrages ; le barrage de Melun a un déversoir surmonté de fermettes et d'aiguilles. Tous ces travaux sont très-solides et ont parfaitement réussi.

La pose de la ligne télégraphique est commencée depuis plusieurs mois ; la longue crue de la fin de 1872 a retardé l'achèvement des travaux.

A l'aide des deux tableaux suivants, on peut très-bien se rendre compte des hauteurs relatives des seuils des barrages et des buscs des écluses, et de leurs principales dimensions :

Tableau donnant les cotes relatives des retenues des seuils des passes et des déversoirs et des baux d'aval des retenues.

| N ^{os} des barrages. | DÉSIGNATION des ouvrages. | DISTANCES. mèt. | COTES AU-DESSUS DU NIVEAU de la mer. | | | | | CHÛTE. | | | HAUTEUR au-dessus du seuil. | | | OBSERVATIONS. | |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------|-------|------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------|--|
| | | | Kilage. | Seuil de la passe. | Seuil ou couronnement du déversoir. | Retenue d'amont d'aval. | Buse d'aval de l'écluse. | mèt. | mèt. | mèt. | de hausses la passe. | des hausses du déversoir. | des hausses, pertuis, retenues. | | des hausses, pertuis. |
| 26 | Pont de Montereau. | 3.614 | mèt. | | | | | | | | | | | | Note. Le couronnement des hausses du déversoir est au-dessus de la passe à 0m.10 en contre-bas. |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | Barrage de Varennes. | 5.442 | | 45,19 | 44,59 | 45,69 | 47,59 | 45,97 | 44,37 | 1,52 | 2,91 | 1,91 | 1,91 | | Déversoir à hausses mobiles et passerelles de manoeuvre. |
| | Id. de la Madeleine. | 4.700 | | 43,67 | 42,97 | 44,17 | 45,97 | 44,30 | 42,73 | 1,67 | 2,90 | 1,90 | 1,90 | | |
| 28 | Canal du Loing. | 2.266 | | 42,55 | | | | | 41,97 | | | | | | Idem. |
| 29 | Barrage de Champagne. | 9.742 | | 41,90 | 41,20 | 42,40 | 44,30 | 42,66 | 41,11 | 1,64 | 2,91 | 1,90 | 1,90 | | Idem. |
| 30 | Id. de Samois. | 7.840 | | 40,26 | 39,69 | 40,75 | 42,66 | 40,88 | 39,06 | 2,06 | 2,91 | 1,91 | 1,91 | | Idem. |
| 31 | Id. de la Cave. | 8.940 | | 38,17 | 37,58 | 36,68 | 40,58 | 38,71 | 37,01 | 1,87 | 2,92 | 1,89 | 1,89 | | Idem. |
| 32 | Id. de Melun. | 5.969 | | 36,31 | 35,71 | 36,81 | 38,71 | 37,37 | 35,61 | 1,34 | 2,90 | 1,91 | 1,91 | | Le déversoir est remplacé par un barrage à fermettes construit sur le bras droit de la Seine. |
| | Id. des Vives-Eaux. | 6.587 | | 34,96 | 34,36 | 35,46 | 37,37 | 35,91 | 34,27 | 1,46 | 2,91 | 1,91 | 1,91 | | |
| 33 | Id. de la Cinguette. | 7.097 | | 33,51 | 32,91 | 34,01 | 35,91 | 34,48 | 32,82 | 1,43 | 2,93 | 1,90 | 1,90 | | Déversoir à hausses mobiles avec passerelles de manoeuvre. |
| 34 | Id. du Coudray. | 9.201 | | 32,08 | 31,48 | 32,58 | 34,48 | 32,66 | 31,06 | 1,82 | 2,93 | 1,90 | 1,90 | | Idem. |
| 35 | Id. d'Évry. | 11.409 | | 30,25 | 29,65 | 30,75 | 32,66 | 31,12 | 29,48 | 1,54 | 2,88 | 1,91 | 1,91 | | Idem. |
| 36 | Id. d'Ablois. | 11.208 | | 28,72 | 28,12 | 29,22 | 31,12 | 29,26 | 27,65 | 1,86 | 2,91 | 1,90 | 1,90 | | Déversoir à hausses mobiles, pertuis navigable à hausses mobiles et passerelles de manoeuvre. La section de la navigation de la Seine finit à l'ensemble des fortifications de Paris; la distance de Montereau à cette section est de 20 kilomètres. |
| | Id. de Port-à-l'Anglais. | 4.045 | | 26,86 | 26,26 | 27,36 | 29,26 | 26,95 | 24,25 | 3,00 | 2,91 | 1,90 | 1,90 | 3,70 | |
| 37 | Fortifications de Paris. | 98.000 | | 26,42 | | | | | | | | | | | |
| | Pont de la Tournelle. | 3.800 | | 26,30 | | | | | | | | | | | |

M. L. 2000

Tableau donnant les principales dimensions des barrages et des écluses.

| Nombres des barrages. | Désignation des barrages. | SAS des écluses. | | PASSER. | | DÉVERSROI. | | | OBSERVATIONS. |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------------------------|--|
| | | Largeur entre les lites. | Longueur utile. | Largeur. | Nombre des hausses. | Longueur. | Nombre des hausses. | Direction droite ou oblique. | |
| 26 | Barrage de Varennes. | mét. 12 | mét. 150,00 | mét. 40,40 | 31 | mét. 60,30 | 43 | déversoir droit. | Déversoir avec coffrage en charpente. |
| 27 | — de la Madeleine. | 12 | 150,00 | 40,40 | 31 | 60,30 | 43 | très-oblique. | Idem. |
| 28 | — de Champagne. | 12 | 150,00 | 45,00 | 35 | 60,30 | 43 | oblique. | Idem. |
| 29 | — de Samois. | 12 | 150,00 | 26,10 | 20 | 60,60 | 43 | droit. | Il existe deux passes, une sur chaque bras de la Seine; celle de gauche est accolée à l'amont de l'écluse, celle de droite au déversoir. |
| 30 | — de la Cave. | 12 | 150,00 | 45,00 | 35 | 67,30 | 48 | droit. | Déversoir avec coffrage en charpente. |
| 31 | — de Melan. | 12 | 150,00 | 65,10 | 50 | 40,00 | 35 | oblique. | Ce déversoir est formé d'un barrage à formaites Poirée. |
| 32 | des Vires-Eaux. | 12 | 150,00 | 49,50 | 38 | 64,50 | 46 | droit. | Déversoir avec coffrage en charpente. |
| 33 | de la Chaignette. | 12 | 150,00 | 49,50 | 38 | 64,50 | 46 | droit. | Idem. |
| 34 | du Caudray. | 12 | 150,00 | 50,80 | 39 | 70,10 | 50 | oblique. | Idem. |
| 35 | d'Érvy. | 12 | 150,00 | 50,80 | 39 | 70,10 | 50 | oblique. | Idem. |
| 36 | d'Abion. | 12 | 150,00 | 54,70 | 42 | 70,10 | 50 | droit. | Idem. |
| 37 | de Port-à-l'Anglais. | 12 | 187,50 | 54,70 (c) | 42 | 37,90 | 27 | droit. | (c) Pertuis avec radier en maçonnerie. |

| | |
|---|----------------------|
| <i>Dépenses.</i> — La dotation de la loi du 31 mai 1846 | francs. |
| était de | 7.000.000,00 |
| La dotation du décret du 28 juillet 1860 de | 6.000.000,00 |
| Total | <u>13.000.000,00</u> |

Par suite du renchérissement de la main-d'œuvre, de l'exécution d'ouvrages imprévus approuvés et de travaux supplémentaires autorisés par la dépêche ministérielle du 28 décembre 1868, les dépenses totales au 31 décembre 1872 se sont élevées à 17.607.201,60

D'où résulte une augmentation de 4.607.201,60

Mais il a été exécuté sur la Petite-Seine en amont de Montereau, sur les fonds de la loi de 1846, divers travaux de barrages, de dérivation, etc., montant à 3.253.141,60

Les dépenses faites sur la Haute-Seine entre Montereau et Paris s'élèvent à 14.354.060,00

Total pareil 17.607.201,60

Les douze grands barrages entre Montereau et Paris ont coûté 10.812.559,81
ce qui fait en moyenne par barrage 902.713',30.

Les autres travaux de défenses de berges, d'amélioration de chemins de halage, de dragages, etc. ont coûté 3.541.500,19

Total comme ci 14.354.060,00

La dépense par mètre courant de Montereau à Paris, sur 98 kilomètres, est de 146,47

Modifications à l'écluse et au barrage de Port-à-l'Anglais.

— A cause de la grande distance de 24.600 mètres qui existe entre le barrage de Port-à-l'Anglais situé en amont de Paris et le barrage de Suresnes situé en aval, et par suite de l'abandon définitif du projet d'établir un barrage dans l'intérieur de Paris, la décision ministérielle du 28 décembre 1868 avait prescrit l'abaissement du busc d'aval de l'écluse de Port-à-l'Anglais et la réfection du revête-

ment du sas; en conséquence un projet ayant pour but d'abaisser de 1 mètre le busc d'aval et de comprendre le sas entre deux bajoyers en maçonnerie à parements verticaux, fut approuvé le 12 mai 1869, et les travaux furent exécutés en 1869 et 1870.

Pendant l'exécution des travaux d'abaissement du busc d'aval de l'écluse du barrage de Port-à-l'Anglais, la navigation avait lieu au moyen d'une brèche large de 35 mètres pratiquée dans le déversoir de la rive droite, dans l'emplacement de l'ancien chenal. Une décision ministérielle du 25 février 1870 approuva un projet présenté le 18 décembre 1869 par les ingénieurs pour établir dans cette brèche un pertuis de navigation ayant son seuil à 0^m,70 en contrebas du seuil de la passe du barrage, et fermé par des hausses de 3^m,70 de hauteur verticale. Ces travaux ont été exécutés en 1870 et terminés à peu près complètement quelques jours seulement avant l'investissement de Paris. Ce n'est qu'en 1871 que le pertuis a pu être essayé, ainsi que l'ensemble du barrage éclusé de Port-à-l'Anglais.

Voici l'état actuel du barrage de Port-à-l'Anglais, qui fonctionne parfaitement depuis le 1^{er} septembre 1871 pour la navigation continue :

| | |
|---|---------|
| | mètres. |
| La retenue d'amont du barrage est à la cote. | 29,26 |
| L'écluse ayant une largeur de 12 mètres dans les chambres des portes et une longueur utile de sas de 187 ^m ,80, a son busc d'aval à 2 mètres au-dessous des basses eaux d'aval (*) ou à la cote. | 24,26 |
| L'ancienne passe, large de 54 ^m ,70, a son seuil au niveau du | |

| | |
|---|---------|
| | mètres. |
| (*) L'étiage de 1840 était à la cote. | 26,86 |
| Mais par suite de travaux de dragages en aval et d'autres circonstances, le niveau des basses eaux a baissé de 0 ^m ,60, et est maintenant à. | 26,26 |
| La crête du déversoir fixe du barrage de Suresnes est à la cote. | 26,02 |
| Il y a une pente de 0 ^m ,40 environ sur la distance de 24.600 mètres qui sépare les deux longueurs. | |

| | mètres. |
|---|---------|
| nouvel étiage à la cote. | 26,26 |
| Cette passe est fermée par des hausses mobiles Chanoine, manœuvrées par une barre à talons et par un bateau; elles ont leur sommet à 0 ^m ,10 en contre-bas de la retenue, et par suite 2 ^m ,90 de hauteur verticale au-dessus du seuil. Il serait facile d'ajouter au sommet une planchette de 0 ^m ,10 de hauteur. | |
| Le seuil du déversoir est à la cote. | 27,36 |
| Sa longueur a été réduite à. | 37,90 |
| Les hausses mobiles, au nombre de 27, ont 1 ^m ,90 de hauteur verticale, et sont manœuvrées à l'aide d'une passerelle établie en amont. | |
| Le pertuis séparé du déversoir par une pile de 3 ^m ,50 d'épaisseur a son seuil à la cote. | 25,56 |

Ce pertuis, long de 28^m,70 est fermé par vingt-six hausses de 1 mètre de largeur et ayant leur sommet à 0^m,10 en contre-bas du niveau de la retenue d'amont, de manière qu'une tranche d'eau de 0^m,10 passe par-dessus; mais il est facile d'ajouter une planchette de 0^m,10 sur le sommet de ces hausses qui ont aujourd'hui 3^m,70 de hauteur verticale au-dessus du seuil et qui auraient ainsi 3^m,80. Une passerelle supportée par de fortes fermettes en fer de 4^m,75 de hauteur est établie en amont pour la manœuvre des hausses qui s'abattent sur le radier à l'aide d'une barre à talons.

On avait eu aussi la pensée d'établir une passerelle de manœuvre en amont de la passe du barrage de Port-à-l'Anglais, ce qui aurait présenté l'avantage de permettre aux agents de la navigation de traverser à pied le fleuve quand le barrage est fermé; mais on avait ajourné cette idée, et maintenant on y a renoncé tout à fait, parce qu'en temps de gelée et de débâcle il est essentiellement nécessaire de pouvoir ouvrir une portion quelconque du barrage; or il est arrivé que par un froid brusque et exceptionnel de 21° dans la nuit du 7 au 8 décembre 1871, tous les barrages étant relevés ont été enveloppés de gla-

cons avant qu'il ait été possible de rien ouvrir ; mais bien avant le dégel on a pu dégager les hausses de la passe non précédées de fermettes, et avant la débâcle on a abattu ces hausses, ce qui a facilité l'écoulement des glaçons sans avarie pour le barrage. Avec une complication de passerelles et de hausses, on n'aurait peut-être pas pu arriver au même résultat.

Enfin, à quelques hausses de la passe du barrage de Port-à-l'Anglais, on a adapté à titre d'essai une petite vanne appelée *vanne-papillon*, qui placée dans la volée d'une hausse peut s'ouvrir d'elle-même lorsque le niveau de la retenue dépasse une hauteur déterminée et se referme aisément lorsque l'eau a baissé d'une certaine quantité. On pourrait avec un nombre calculé de vannes-papillon, appliquées aux hausses d'une passe, permettre l'écoulement d'un volume d'eau en excès sur le débit ordinaire avant de mettre en bascule les hausses du déversoir.

| | |
|--|-----------------------|
| La dépense pour l'abaissement au busc d'aval de l'écluse de Port-à-l'Anglais et la réfection des murs de revêtement du sas s'est élevée à. . . . | francs. 372,056,74 |
| La dépense pour la construction du pertuis a été de. | 225.000,00 |
| <hr/> | |
| Dépense totale résultant des modifications approuvées par plusieurs décisions ministérielles. . . . | 597.056,74 |
| La dépense primitive était de. | 983.675,62 |
| De sorte que le barrage de Port-à-l'Anglais dans son état actuel à coûté. | <u>1.580.732,36</u> |

Observations générales. — Moyens de traction. — Charge moyenne et charge maximum des bateaux. — Nature des principales marchandises. — Taux du fret. — Correspondance télégraphique.

Moyens de traction. — Dans le système de navigation intermittente au moyen des éclusées, toutes les embarcations à la descente suivent le flot de l'écluse ; à la remonte elles sont traînées de Paris à Montereau par les toueurs à

vapeur se halant sur une chaîne noyée, et en amont de Montereau par des chevaux.

Avec la navigation continue établie depuis le 1^{er} septembre de Paris à Laroche, tous les moyens de traction sont tentés; les toueurs de la Seine traient les bateaux à la descente comme à la remonte entre Paris et Montereau (*); on voit aussi des bateaux à vapeur porteurs et remorqueurs et des chevaux; quelques embarcations, les trains de bois surtout, descendent lentement au fil de l'eau. Entre Montereau et Laroche les chevaux de halage traient dans les deux sens les bateaux et même les trains de bois à la descente; on rencontre aussi des bateaux à vapeur porteurs et remorqueurs; enfin quelques embarcations descendent au fil de l'eau. La concession d'un touage à vapeur avec chaîne noyée a été donnée par décret du 18 janvier 1873, mais les concessionnaires n'ont pu encore rien faire.

Charge moyenne des bateaux.—On est au début du nouveau mode de navigation continue, les bateaux n'ont pas encore tout le tirant qu'ils peuvent avoir; on se sert de l'ancien matériel, surtout de celui des canaux. La charge moyenne des bateaux est de 100 tonnes et la charge maximum de 200 tonnes pour les bateaux de canaux et de 300 à 350 tonnes pour les grands bateaux de rivière.

Nature des marchandises. — Les principales marchandises transportées sont les bois et les charbons de bois, les vins, les matériaux de construction, les céréales, la houille et les minerais.

(*) Quand les barrages sont fermés, la chaîne passe dans l'écluse au moyen d'une échancrure au bas des ventelles des portes entre les deux poteaux busqués; un câble transversal mû par un treuil sert à remettre cette chaîne à sa place. Quand les barrages sont ouverts, si l'on ne veut pas laisser passer les toueurs par l'écluse, la chaîne est aisément reportée dans la passe; mais alors il y a des précautions à prendre pour que cette chaîne n'endommage pas les hausses couchées.

Taux du fret. — Il est extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, de connaître exactement le taux du fret, à cause des événements de 1870 et 1871 qui ont apporté une grande perturbation dans les relations commerciales, et aussi à cause du nouveau mode de navigation. On peut évaluer le taux du fret à 0',03 par tonne et par kilomètre, entre Paris et Laroche, dans les deux sens, pour les marchandises diverses; à 0',04 par tonne et par kilomètre à la descente sur la Petite-Seine en amont de Montereau, et sur l'Yonne en amont de Laroche, et à 0',06 par tonne et par kilomètre à la remonte.

Pour le bois à brûler, le transport de Clamecy à Paris en trains se paye 22 francs le décastère, et en bateau 35 fr.; un décastère représente environ 5 tonnes; la distance de Clamecy à Paris est de 284 kilomètres par le lit canalisé de l'Yonne, ce qui fait en train 0',0155 par tonne et par kilomètre, et en bateau 0',0246 par tonne et par kilomètre.

Malgré cette différence de prix, le transport des bois à brûler par trains diminue en faveur du transport par bateau, parce que le bois flotté pèse moins et donne moins de calorique que le bois apporté par bateaux; de plus, le nombre des ouvriers floteurs diminue chaque année, parce que cette profession est extrêmement pénible; les ouvriers préfèrent le métier de marinier qui est aussi lucratif et moins dangereux. Quand la navigation continue sera établie complètement d'Auxerre à Paris, ou mieux de Clamecy à Paris, le flottage de bois à brûler disparaîtra et le prix du transport des bois en bateau diminuera, le tout au grand avantage des propriétaires et des marchands de bois.

Le tableau suivant donne le nombre des trains et des bateaux de bois à brûler de 1863 à 1872, c'est-à-dire pendant dix ans.

| ANNÉES. | NOMBRE | | OBSERVATIONS. |
|---------|---|------------------------------------|---|
| | des bateaux chargés de bois à brûler. | des trains de bois à brûler. | |
| 1863 | 230 | 1.302 | <p>Avant 1863, on ne transportait presque pas de bois à brûler en bateau; le nombre des trains était de 1.500 en moyenne. Un train de bois long de 90 mètres, large de 4^m,80 et épais de 0^m,55 à 0^m,60, contient environ 24 décastères de bois; à 5 tonnes le décastère, cela fait 120 tonnes; un bateau de canal transporte à peu près le même volume de bois, 24 décastères.</p> <p>Année de la guerre.</p> <p>Les transports furent actifs en 1871, après la Commune.</p> <p>La navigation continue, établie depuis le 1^{er} septembre 1871, a une influence très-sensible sur le transport des bois par bateau.</p> |
| 1864 | 224 | 1.312 | |
| 1865 | 231 | 1.280 | |
| 1866 | 241 | 1.280 | |
| 1867 | 281 | 1.040 | |
| 1868 | 303 | 1.033 | |
| 1869 | 324 | 963 | |
| 1870 | 111 | 651 | |
| 1871 | 252 | 1.080 | |
| 1872 | 453 | 710 | |

Correspondance télégraphique. — Un complément indispensable à l'amélioration de la navigation sur la Seine et sur l'Yonne, c'est une correspondance télégraphique qui mette en rapport chaque barrage avec les deux barrages voisins de l'amont et de l'aval; la ligne télégraphique s'établit en ce moment entre Paris et Laroche, et prochainement elle sera prolongée jusqu'à Auxerre; cette ligne sera en communication avec l'intérieur de Paris, avec la Basse-Seine et avec la Marne. Il y a lieu d'espérer que cette communication s'étendra plus tard à la Petite-Seine, aux canaux du Loing, de Bourgogne et du Nivernais.

Résumé et conclusions.

1° La navigation continue est établie depuis le 1^{er} septembre 1871 avec un tirant minimum d'eau de 1^m,60 sur la Seine et sur l'Yonne entre Paris et l'embouchure du canal de Bourgogne (à Laroche) au moyen de douze barrages éclusés de Paris à Montereau (distance de 98 kilomètres), de dix-sept barrages et de deux dérivations, de Montereau à Laroche (distance de 92 kilomètres); parmi les dix-sept

barrages de l'Yonne deux ne sont pas accompagnés d'une écluse, parce qu'ils sont placés en tête des deux dériva-tions. La batellerie, le commerce en général, le commerce de bois en particulier, l'industrie, la propriété agricole et forestière trouvent que le nouveau mode de navigation continue remplace la navigation intermittente par éclusées avec de grands avantages de sécurité et de régularité, en attendant l'économie qui sera forcément et prochainement obtenue quand les travaux en cours d'exécution entre La-roche et Auxerre seront terminés.

2° La navigation continue sera établie dans les mêmes conditions à la fin de cette année (1873) sur l'Yonne entre Laroche et Auxerre, c'est-à-dire entre les embouchures du canal de Bourgogne et du canal du Nivernais sur un parcours de 23 kilomètres au moyen de huit barrages et d'une dérivation; parmi ces huit barrages un seul n'est pas accompagné d'une écluse parce qu'il se trouve en tête de la dérivation.

3° Les douze grandes écluses de la Seine, qui ont un sas large de 12 mètres et une longueur utile de 180 mètres au minimum, contiennent douze bateaux de canal longs de 30 mètres et larges de 5 mètres, ou quatre trains de bois à brûler larges de 4^m,80 et longs de 90 mètres; quand les grands bateaux de rivière longs de 35 à 40 mètres et larges de 7 à 8 mètres entrent dans le convoi, celui-ci contient moins de douze embarcations; dans un convoi remorqué par un toueur de la chaîne noyée, si le toueur franchit une écluse, il tient nécessairement la place d'un bateau dans le convoi.

Parmi les vingt-six écluses de l'Yonne, vingt-trois nou-vellement construites ont leur sas large de 10^m,50 avec une longueur utile de 96 mètres; deux écluses anciennes ont leur sas large de 8^m,30 avec une longueur utile de 181 mètres; ces vingt-cinq écluses contiennent six bateaux de canal ou deux trains de bois à brûler. Une seule écluse

ancienne, celle du barrage de la Chainette, située à Auxerre à la suite du canal du Nivernais et en tête de la navigation fluviale, a un sas large de 8^m,30 avec une longueur utile de 93 mètres; elle contient trois bateaux de canal ou un train de bois à brûler. On sait d'ailleurs que les écluses des canaux de Bourgogne et du Nivernais, qui ont un sas large de 5^m,20 avec une longueur utile de 30^m,70, ne reçoivent qu'un bateau.

Chaque écluse accompagnant un barrage a nécessairement la chute de ce barrage.

4° Les trois dérivations de Gurgy, de Joigny et de Courlon ont une cunette large de 16 mètres au plafond et profonde de 1^m,80 au-dessous du plan d'eau; les ponts qui ont la largeur des écluses (10^m,50) ont leur intrados à 5^m,50 au moins au-dessus du plan d'eau.

| | |
|---|------------------|
| La dérivation de Gurgy, longue de | mètres. 5.007 |
| a deux écluses ayant chacune 2 ^m ,50 de chute. | |
| La dérivation de Joigny, longue de | 3.574 |
| a une seule écluse de 3 ^m ,25 de chute. | |
| La dérivation de Courlon, longue de | 4.134 |
| a une seule écluse de 3 ^m ,88 de chute. | |
| Longueur totale des trois dérivations de l'Yonne. | <u>12.715</u> |
| Lesquelles procurent un raccourcissement de. | 11.309 |
| La distance d'Auxerre à Montereau par le lit naturel de l'Yonne est de. | <u>119.586</u> |
| Cette distance par les dérivations est réduite à. | <u>108.277</u> |

5° Les douze grands barrages mobiles de la Seine ont une passe large de 40^m,40 à 65^m,10 dont le seuil est à 0^m,60 au-dessous de l'étiage; cette passe est fermée par des hausses du système Chanoine, lesquelles s'abattent à l'aide d'une barre à talons glissant sur le radier et se relèvent à l'aide d'un bateau dit bateau de manœuvre que l'éclusier et ses aides tiennent à l'amont. Chaque barrage est accompagné d'un déversoir dont le seuil ou couronnement est à 0^m,50 au-dessus de l'étiage. Le déversoir du

barrage de Melun, long de 40 mètres, est surmonté par des fermettes et aiguilles du système Poirée. Les déversoirs de dix barrages ont une longueur de 60^m,30 à 70^m,10 et sont surmontés de hausses dites automobiles dans le système primitif de M. Chanoine; le déversoir du barrage de Port-à-l'Anglais a été réduit à une longueur de 37^m,90 par l'établissement d'un pertuis navigable ou nouvelle passe de 28^m,70 d'ouverture. Les hausses dites automobiles des déversoirs s'abattaient bien d'elles-mêmes lorsque leur sommet était surmonté d'une tranche d'eau de 0^m,09 à 0^m,14 d'épaisseur, mais elles ne se relevaient, malgré le contre-poids mobile, que quand l'eau du bief d'amont avait baissé de près d'un mètre, ce qui rendait impossible le règlement de la tenue des biefs; aussi on a établi à l'amont de chacun de ces déversoirs à hausses une passerelle de manœuvre sur laquelle est placé un treuil qui avec deux chaînes attachées à la culasse et à la volée des hausses permet de les manœuvrer avec une grande facilité; grâce à ce complément, on a pu conserver les déversoirs à hausses.

La chute des douze barrages de la Seine varie de 1^m,43 à 3 mètres.

Trois des vingt-cinq barrages mobiles de l'Yonne, ceux de la Chalnette, d'Épineau et de Port-Renard, ont leur passerelle de fermettes et d'aiguilles du système Poirée avec un déversoir fixe; les largeurs des passes sont de 42^m,20, 59^m,20 et 64^m,40; la longueur des déversoirs est de 200, 100 et 90 mètres. Les vingt-deux autres barrages ont leur passe large de 30 mètres à 30^m,15 fermée par des hausses mobiles du système Chanoine; les déversoirs ont une longueur variant de 22^m,40 à 63^m,05; quinze déversoirs entre Montereau et Laroche ont des hausses dites automobiles de M. Chanoine avec le complément indispensable d'une passerelle de manœuvre à l'amont; six déversoirs entre Laroche et Auxerre sont surmontés de fermettes et d'aiguilles

Poirée avec une passerelle élevée de 0^m,25 au-dessus de la retenue; enfin un seul barrage, celui de l'Île-Brûlée, près d'Auxerre, est surmonté de grandes vannes du système Girard. Les vingt-cinq barrages de l'Yonne ont le seuil de leur passe à 0^m,50 ou 0^m,60 sous l'étiage; le couronnement des trois déversoirs fixes des trois barrages Poirée est au niveau de la retenue; le seuil ou couronnement des vingt-deux autres déversoirs à fermeture mobile est à 0^m,50 au-dessus de l'étiage.

La chute des vingt-cinq barrages de l'Yonne varie de 0^m,87 à 2^m,50. Les trois anciens barrages éclusés du système Poirée ont des chutes de 0^m,87, 0^m,92 et 1^m,21; dix-neuf barrages nouveaux avec écluses ont des chutes de 1^m,50 à 2^m,20; les trois barrages nouveaux sans écluses de Gurgy, de Joigny et de Courlon ont des chutes de 2^m,50, 2^m,15 et 2^m,20.

6° Aux grands ouvrages des barrages, des écluses et des dérivations, se sont joints à diverses époques d'autres travaux moins importants, mais nécessaires, d'amélioration des chemins de halage, de défenses des berges, de digues, de dragages, d'assainissement, etc..., et en dernier lieu l'établissement d'une correspondance télégraphique de barrage à barrage, qui complétera l'ensemble des précautions indispensables pour la manœuvre intelligente, utile et opportune des barrages, tant dans l'intérêt de la facilité et de la sécurité de la navigation que pour l'écoulement des crues de la manière la moins préjudiciable possible.

7° Malgré les imperfections de la voie navigable jusqu'à ce moment et les malheureux événements des années 1870 et 1871, le tonnage sur l'Yonne et sur la Seine a une importance réelle qui s'accroîtra prochainement d'une manière notable par les communications plus faciles et régulières entre Paris et Lyon, entre le Havre et Marseille, entre les bassins de la Seine, de la Loire et du Rhône.

8° Les travaux exécutés à diverses époques et dans dif-

férents systèmes, d'abord pour améliorer la navigation intermittente au moyen des éclusées, et en dernier lieu pour établir une navigation continue, ont dû nécessairement occasionner plus de dépenses que si, dès l'origine, on avait décidé un mode invariable de barrage, d'écluse, etc.; mais cela n'était pas possible avec les usages anciens de la batellerie, avec les exigences du flottage, du commerce, etc.; les ingénieurs ont dû suivre la marche de l'industrie, tout en préparant néanmoins la voie au progrès, qui n'est certainement pas arrivé à son dernier perfectionnement en fait de travaux de navigation, de barrages mobiles, etc.

Quoi qu'il en soit, à la suite de l'ouverture de la première grande ligne navigable perfectionnée sur un parcours de 213 kilomètres, au moyen de barrages mobiles d'une invention plus ou moins récente, on trouvera de l'intérêt dans les chiffres suivants, qui font connaître les dépenses faites sur l'Yonne et sur la Seine, par barrage, par mètre courant de dérivation, etc.

1° Sur l'Yonne entre Auxerre et Montereau.

| | mètres. |
|--|----------------------|
| Longueur de rivière canalisée. | 108.277,00 |
| | francs. |
| La mètre courant d'amélioration a coûté. | 155,38 |
| L'ensemble. | <u>16.824.080,26</u> |
| Chacun des sept barrages éclusés d'Auxerre à Laroche a coûté moyennement 317.000 francs, ci. | 2.219.000,00 |
| Le barrage de Gurgy sans écluse a coûté 140.000 fr., ci. | 140.000,00 |
| Chacun des huit barrages éclusés de Laroche à Sens a coûté moyennement 462.000 francs, ci. . | 3.696.000,00 |
| Le barrage de Joigny sans écluse a coûté 170.000 fr., ci. | 170.000,00 |
| Chacun des sept barrages éclusés de Sens à Montereau a coûté moyennement 561.000 francs, ci. | 3.927.000,00 |
| Le barrage de Courlon sans écluse a coûté 200.000 f., ci. | <u>200.000,00</u> |
| A reporter. | 10.352.000,00 |

| | francs. |
|--|---------------|
| Report. | 10.352.000,00 |
| Un mètre courant de dérivation à grande section a côté 238',45, soit pour 12.715 mètres. | 3.031.891,75 |
| | <hr/> |
| | 13.383.891,75 |
| Travaux divers, dragages, digues, améliorations de chemins de halage, études, personnel, etc. | 3.440.188,51 |
| | <hr/> |
| Total comme ci-dessus (*). | 16.824,080,26 |
| | <hr/> <hr/> |

2° Sur la Seine entre Montereau et Paris.

| | mètres. |
|---|---------------|
| Longueur de rivière canalisée. | 98.000,00 |
| | francs. |
| Le mètre d'amélioration a coûté. | 156,47 |
| L'ensemble. | 14.354.060,00 |
| | <hr/> <hr/> |
| Un des cinq barrages éclusés de Montereau à Me- lun a coûté moyennement 809.283',25, ci. | 4.046.416,25 |
| Un des six barrages éclusés de Melun à Ablon a coûté moyennement 864.255',20, ci. | 5.185.411,20 |
| Le barrage éclusé de Port-à-l'Anglais a coûté 1.580.732',36, ci. | 1.580.732,36 |
| | <hr/> |
| Travaux divers, dragages, digues, amélioration de chemins de halage, études, personnel. | 0.812.559,81 |
| | <hr/> |
| Total comme ci-dessus (*). | 14.354.060,00 |
| | <hr/> <hr/> |

9° Il paraît utile de terminer cette notice en comparant sommairement entre eux les divers systèmes de barrages mobiles établis sur l'Yonne et sur la Seine en amont de Paris, et pour cela, on s'appuiera sur les expériences faites dans ces dernières années tant pour la navigation intermittente que pour la navigation continue.

Le plus ancien de ces systèmes est le barrage à fermettes et aiguilles de M. l'inspecteur général Poirée ; entre Auxerre

(*) L'intérêt des dépenses de premier établissement, augmenté de la dépense annuelle d'entretien, représente à peu près, pour le trafic moyen actuel, 0',02 par tonne et par kilomètre pour l'Yonne et 0',01 pour la Seine.

et Montereau, sur l'Yonne, on a conservé les trois barrages de ce système construits avant 1861, pour l'amélioration du régime des éclusées, à la Chaînette, à Épineau et à Port-Bernard. Pour les éclusées, ces barrages fonctionnent mieux que tout autre système. Pour la navigation continue, ces mêmes barrages fonctionnent bien ; ils ont une faible chute de 0^m,87 à 1^m,21, et les aiguilles n'ayant que 2^m,50 à 2^m,80 de longueur, se manœuvrent aisément ; il est même facile de rendre la fermeture convenablement étanche à cause de la faiblesse de la chute ; la seule amélioration qu'il conviendrait d'apporter à ces barrages, à celui d'Épineau, notamment, serait d'élever de 0^m,25 à 0^m,30 au-dessus de la retenue d'amont la passerelle, afin d'éviter une surprise en cas de crue subite, comme cela est arrivé dernièrement au barrage d'Épineau ; mais en exhaussant les fermettes, il faut allonger les aiguilles, qui deviennent moins maniables, plus flexibles et moins propres à une certaine étanchéité.

Le deuxième système par ordre de date est le barrage à hausses de M. l'ingénieur en chef Chanoine, tel qu'il existe encore sur la petite Seine à Conflans et à Beaulieu ; la passe est fermée par des hausses mobiles et le déversoir surmonté de hausses automobiles ; sur l'Yonne et sur la Seine, plusieurs barrages, construits primitivement dans ce système, ont fonctionné avec les éclusées ; trois inconvénients se présentaient : 1° souvent les hausses du déversoir se mettaient trop tôt en bascule et le flot de l'éclusée était altéré ; 2° l'ouverture rapide de la passe par l'abatage des hausses donnait un courant violent qui affouillait à l'aval ; 3° les hausses si souvent manœuvrées se détérioraient rapidement, les chocs répétés cassaient la barre à talons, etc..... ; enfin le barrage à hausses, inventé par M. Chanoine, était destiné par son auteur à la navigation continue et non à la navigation intermittente par éclusées. On a vu dans le courant de cette notice que le système de hausses automobiles

du déversoir ne convient pas mieux pour la navigation continue, parce que les hausses dites automobiles s'abaissent bien quand une tranche d'eau de 0^m,09 à 0^m,14 les surmonte; mais elles ne se relèvent que quand un abaissement de 1 mètre environ a vidé en grande partie le bief supérieur et rendu la marche des embarcations difficile et même impossible pendant quelque temps (*).

Donc il a fallu modifier et compléter le mode de manœuvre des hausses du déversoir des barrages Chanoine par l'adjonction d'une passerelle portée sur des fermettes mobiles qu'on a établies en amont de ces hausses; ce qui donneréellement un troisième système de barrage mobile, né de circonstances impérieuses, qui fonctionne très-bien, mais qu'on n'aurait pas construit de prime abord avec cette complication. Pour des chutes de 1^m,50 à 2^m,50, les passes des barrages sont fermées par des hausses de 3 mètres à 3^m,10 de hauteur verticale au maximum; ces hausses sont abattues par la barre à talons et relevées par le bateau de manœuvre; on ne pourrait pas relever avec un bateau des hausses ayant plus de 3 mètres à 3^m,10 de hauteur et dans un barrage ayant plus de 2^m,50 de chute, parce qu'il y aurait danger pour les hommes du bateau, si celui-ci venait à s'appuyer trop sur la volée des hausses.

Quand la chute dépasse 2^m,50 et atteint 3 mètres, comme au barrage de Port-à-l'Anglais, on a bien fermé le pertuis avec des hausses de 3^m,70 de hauteur verticale, mais celles-ci sont manœuvrées avec une grande facilité et une

(*) Si le premier inconvénient de l'automobilité des hausses du déversoir subsiste aussi bien pour la navigation continue qu'avec le régime des éclusées, les deuxième et troisième inconvénients signalés avec les éclusées ne se présentent point pour une navigation continue, attendu que la passe se manœuvre rarement, que l'on est maître d'abattre les hausses avec une certaine lenteur, et que par conséquent les hausses et les barres à talons se détériorent beaucoup moins.

grande sécurité à l'aide d'une passerelle solidement établie avec de fortes fermettes mobiles. Rien ne paraîtrait s'opposer à ce qu'on donnât 4 mètres et même 4^m,50 de hauteur à des hausses manœuvrées au moyen d'une passerelle; cette solution est applicable pour les barrages de 2^m,50 à 3^m,50 et même 4 mètres de chute.

L'adjonction d'une passerelle de manœuvre aux déversoirs à hausses mobiles n'étant qu'une solution de circonstance pour des barrages déjà construits et qu'il fallait modifier, on a, pour les barrages qui restaient à construire sur l'Yonne en amont de Laroche, appliqué au déversoir des fermettes et des aiguilles Poirée, comme cela existe au petit barrage de Melun. On a eu soin pour les six déversoirs à aiguilles compris entre Laroche et Auxerre d'élever la passerelle de 0^m,25 au moins au-dessus de la retenue, ce qui rend toute surprise impossible et la manœuvre facile en tout temps; en effet, le sommet des hausses de la passe forme un déversoir sur lequel une tranche d'eau de 0^m,20 d'épaisseur peut passer avant que les hausses ne basculent, suivant l'état de l'eau d'aval; mais l'éclusier, averti ou par la sonnerie correspondant au flotteur qui suit le niveau de l'eau de la retenue d'amont, ou par le télégraphe, pourra toujours déboucher à temps une partie de son déversoir avant que l'eau surmonte de 0^m,20 le sommet des hausses de la passe. Ce système fonctionne parfaitement bien.

Enfin on a appliqué les grandes vannes Girard au déversoir de l'Île-Brûlée près d'Auxerre; ce système, qui est à peine terminé, fonctionne bien, mais il coûte cher et on doit lui préférer la fermeture à aiguilles.

En résumé, dans un système de navigation continue :

1° Pour de faibles chutes ne dépassant pas 1^m,50 on peut employer avec avantage les barrages Poirée à fermettes et aiguilles avec un déversoir fixe, et en élevant la passerelle de 0^m,25 à 0^m,50 au-dessus de la retenue;

2° Pour des chutes de 1^m,50 à 2^m,50, on applique avec grand avantage les barrages dont les passes sont fermées avec des hausses du système Chanoine et les déversoirs surmontés de fermettes et d'aiguilles Poirée avec une passerelle élevée de 0^m,25 à 0^m,30 au-dessus de la retenue;

3° Pour des chutes dépassant 2^m,50, on emploie avec sécurité de grandes hausses manœuvrées au moyen d'une passerelle; seulement il faut, pour éviter les surprises en temps de crue, de dégel et de débâcle, ménager une passe dont le seuil soit assez élevé pour recevoir des hausses manœuvrées à l'aide d'un bateau et un déversoir surmonté de fermettes et d'aiguilles.

Paris, le 14 février 1873.

Nota. Une des livraisons suivantes des *Annales* contiendra le plan général et le profil en long de l'Yonne et de la Seine entre Auxerre et Paris.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Mars 1873.

N° 15

RÉSULTATS A ATTENDRE DE L'EXPLOITATION D'UNE PARTIE
DES NOUVEAUX CHEMINS DE FER.

La Chronique des *Annales* (1872, 1^{re} sem., p. 320) a publié une analyse et des extraits d'une communication faite au conseil général de la Manche, relativement aux chemins de fer d'intérêt local, par M. Dufresne, membre de ce conseil et inspecteur général des ponts et chaussées. Les résultats statistiques et les tableaux fournis à cette occasion pouvaient être développés et étendus à beaucoup d'autres lignes. Ce travail a été fait récemment: il a conduit à de nouveaux tableaux que l'on trouvera ci-après.

Les tableaux (N) font connaître, pour l'année 1869 et pour chaque ligne du nouveau réseau, savoir :

La longueur exploitée,

La recette kilométrique,

La dépense d'exploitation,

L'intérêt des frais de premier établissement que repré-

sente le produit net par rapport aux frais de premier établissement,

Enfin la durée de l'exploitation depuis l'ouverture du chemin.

Le dernier tableau (A) donne des renseignements analogues pour toutes les lignes de l'ancien réseau dont le revenu n'atteint pas 5 p. 100 du capital dépensé pour la construction du chemin.

Ces tableaux permettent de se rendre compte de la progression que suivent les dépenses d'exploitation, au fur et à mesure que le trafic et les recettes augmentent, et ils montrent que, pour les chemins dont les recettes brutes sont inférieures aux dépenses d'exploitation, ces dépenses minima se sont élevées, savoir :

- A 6.330 francs sur la ligne de Flamboin à Montereau, de 28 kilomètres de longueur;
- A 7.350 francs sur la ligne de Châtillon à Chaumont, de 43 kilomètres de longueur;
- A 7.528 francs sur la ligne d'Arvant au Lot, de 171 kilomètres de longueur;
- A 8.140 francs sur la ligne de Hagueneau à Niederbronn, de 20 kilomètres de longueur.

On peut donc, ayant à considérer un chemin particulier, rechercher dans les tableaux ci-après une ligne qui se trouve dans des circonstances analogues, et voir quelles sont les recettes et les dépenses d'exploitation de cette ligne, en tenant compte naturellement du nombre d'années écoulées depuis l'ouverture du chemin. Les renseignements que l'on trouvera ainsi seront vraisemblablement, dans la plupart des cas, les meilleurs qu'on puisse se procurer pour évaluer les produits futurs des nouveaux chemins à créer.

(N) Tableaux donnant les résultats de l'exploitation pendant l'année 1869 pour toutes les lignes des nouveaux réseaux des six compagnies principales.

EXTRAITS DU RÉSUMÉ GÉNÉRAL PUBLIÉ PAR LE MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS (N° 15).

(N) CHEMIN DE FER DU NORD.

Résumé par ligne des résultats de l'exploitation.

| DÉSIGNATION DES LIGNES. | LONGUEURS exploitées. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU P. 100 de la totalité des dépenses faites. | DURÉE de l'exploitation jusqu'à la fin de 1869. |
|---|-----------------------|--|-----------|---|---|
| | | Recettes. | Dépenses. | | |
| <i>Nouveaux réseaux.</i> | | | | | |
| | kilom. | francs. | francs. | francs. | années. |
| Paris à Soissons. | 111 | 33.580 | 12.756 | 3,27 | 8 |
| Chantilly à Senlis (1). | 11 | 7.850 | 11.545 | " | 7 |
| Amiens à Tergnier. | 71 | 20.048 | 11.821 | 3,67 | 2 |
| Boulogne à Calais. | 40 | 24.887 | 14.500 | 1,81 | 2 |
| Erment à Argenteuil. | 5 | 75.173 | 24.600 | 8,55 | 6 |
| Embranchement de Pontoise (2). | 4 | 20.911 | 34.000 | " | 6 |
| Amiens à Rouen (pour deux tiers). | 87 | 23.115 | 13.310 | 1,93 | 2 |
| Totaux et moyennes. | 329 | 26.453 | 13.310 | 3,12 | |
| (1) Perte par kilomètre. | | | | 3.695 fr. | |
| (2) Perte par kilomètre. | | | | 13.089 | |

(N) CHEMINS DE FER DE L'EST.

Résumé par ligne des résultats de l'exploitation.

| DÉSIGNATION DES LIGNES. | LONGUEURS exploitées. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU P. 100 de la totalité des dépenses faites. | DURÉE de l'exploitation jusqu'à la fin de 1869. |
|--|-----------------------|--|-----------|---|---|
| | | Recettes. | Dépenses. | | |
| <i>Nouveaux réseaux.</i> | | | | | |
| | kilom. | francs. | francs. | francs. | années. |
| Noisy-le-Sec à Mulhouse. | 481 | 44.830 | 23.760 | 3,28 | 16 |
| Grez à Coulommiers. | 33 | 12.890 | 10.570 | 0,39 | 7 |
| Longueville à Provins. | 7 | 12.150 | 9.963 | 0,61 | 11 |
| Flamboin à Montereau. | 28 | 6.330 | 6.320 | " | 21 |
| Troyes à Bar-sur-Seine. | 29 | 15.790 | 14.211 | 0,67 | 7 |
| Biesme à Chaumont et Chalindrey à Gray. | 131 | 33.740 | 18.557 | 2,62 | 13 |
| Nancy à Gray. | 176 | 23.440 | 15.470 | 2,43 | 9 |
| Lignes des Ardennes. | 418 | 30.820 | 19.108 | 2,69 | 9 |
| Dieuze à Avricourt. | 22 | 9.250 | 8.787 | 0,23 | 5 |
| Epinal à Remiremont. | 24 | 10.000 | 9.000 | 0,41 | 5 |
| Lunéville à Saint-Dié. | 50 | 13.970 | 11.176 | 1,36 | 5 |
| Strasbourg à Barr, Mutzig et Wasselonne. | 49 | 9.970 | 8.973 | 1,12 | 5 |
| Hagueneau à Niederbronn. | 20 | 8.140 | 8.140 | " | 5 |
| Sainte-Marie-aux-Mines à Schlestadt (1). | 21 | 7.690 | 8.459 | " | 5 |
| Châtillon à Chaumont (2). | 43 | 4.900 | 7.350 | " | 3 |
| Totaux et moyennes. | 1.532 | 30.223 | 18.042 | 2,65 | |
| (1) Perte par kilomètre. | | | | 768 fr. | |
| (2) Perte par kilomètre. | | | | 2.450 | |

(N) CHEMINS DE FER DE L'OUEST.

Résumé par ligne des résultats de l'exploitation.

| DÉSIGNATION DES LIGNES. | LONGUEURS exploitées. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU p. 100 de la totalité des dépenses faites. | DURÉE de l'exploitation. jusqu'à la fin de 1869. |
|---|--------------------------|--|----------------|---|--|
| | | Recettes. | Dépenses. | | |
| <i>Nouveau réseau.</i> | | | | | |
| Caen à Cherbourg et Saint-Lô | kilom. 149 | francs. 17.392 | francs. 12.378 | francs. 1,25 | ans. 10 |
| Colombes à Argentueil (Nord) | 1 | 54.258 | 5.621 | 0,19 | 6 |
| Laigle à Conches (1) | 40 | 6.866 | 8.461 | " | 3 |
| Lisieux à Bonbecq | 43 | 18.156 | 15.424 | 0,64 | 9 |
| Le Mans à Mézidon et Falaise | 145 | 31.322 | 18.576 | 2,62 | 11 |
| Le Mans à Angers | 95 | 25.639 | 15.215 | 2,47 | 6 |
| Louviers à la ligne de Rouen (2) | 7 | 9.775 | 12.622 | " | 2 |
| Post-Lévêque à Trouville | 11 | 14.218 | 13.097 | 0,26 | 0 |
| Rennes à Redon | 70 | 11.945 | 8.329 | 1,00 | 7 |
| Rennes à Saint-Malo | 81 | 12.631 | 9.127 | 2,37 | 5 |
| Rouen à Amiens (pour 1/3) | 44 | 22.880 | 14.374 | 2,74 | 2 |
| Rennes à Brest | 249 | 12.818 | 7.671 | 2,22 | 5 |
| Serquigny à Rouen | 57 | 33.065 | 18.678 | 2,65 | 4 |
| Saint-Cyr à Surdon | 160 | 25.768 | 13.670 | 3,11 | 1 |
| Ceinture (rive gauche) et annexes (3) | 12 | 37.744 | 38.034 | " | 2 |
| Totaux et moyennes | 1.164 | 20.180 | 12.616 | 1,72 | |
| (1) Perte par kilomètre | | | | 4.595 fr. | |
| (2) Perte par kilomètre | | | | 3.247 | |
| (3) Perte par kilomètre | | | | 290 | |

(N) CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.

Résumé par ligne des résultats de l'exploitation.

| DÉSIGNATION DES LIGNES. | LONGUEURS exploitées. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU p. 100 de la totalité des dépenses faites. | DURÉE de l'exploitation jusqu'à la fin de 1899. |
|---|-----------------------|--|----------------|---|---|
| | | Recettes. | Dépenses. | | |
| <i>Nouveau réseau.</i> | | | | | |
| Paris à Orsay et à Limours. | kilom. 43 | francs. 21.328 | francs. 15.931 | francs. 1,03 | années. 12 |
| Limoges à Agen. | 250 | 29.118 | 14.159 | 3,14 | 7 |
| Coutras à Périgueux. | 75 | 25.915 | 9.954 | 3,88 | 12 |
| Niversac à Capdenac. | 157 | 20.350 | 12.400 | 1,96 | 8 |
| Montauban à Capdenac, Rodez et Decazeville (1). | 201 | 12.385 | 7.897 | 0,61 | 10 |
| Toulouse à Lexos et Albi. | 106 | 16.860 | 11.443 | 1,27 | 5 |
| Arvant (près Lempdes) à la rivière du Lot (Figeac) (2). | 171 | 7.383 | 7.528 | » | 4 |
| Bourges à Montluçon. | 100 | 16.774 | 9.891 | 3,09 | 8 |
| Moulins à Montluçon et Bezenel. | 86 | 24.918 | 12.678 | 2,26 | 10 |
| Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière (près Limoges) et Fourneaux. | 137 | 14.911 | 10.482 | 1,40 | 5 |
| Poitiers (Saint-Benoit) à Saint-Sulpice-Laurière (près Limoges) et Fourneaux. | 111 | 9.433 | 8.686 | 0,34 | 2 |
| Nantes à Napoleon-Vendée. | 75 | 9.318 | 7.667 | 0,52 | 3 |
| Angers (La Possonnière) à Niort par Bressuire. | 164 | 9.618 | 8.822 | 0,27 | 2 |
| Totaux et moyennes. | 1.678 | 16.752 | 10.444 | 1,44 | |

(1) Lexos à Montauban (seul). . . | 66 kil. | 5.234 fr. | 7.897 fr. | » |

D'où il résulte par kilomètre une perte de 2.663

(2) Perte par kilomètre. 146

(N) CHEMIN DE FER DE PARIS A LYON ET A LA MÉDITERRANÉE.

Résumé par ligne des résultats de l'exploitation.

| DÉSIGNATION DES LIGNES. | LONGUEURS exploitées. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU p. 100 de la totalité des dépenses faites. | DURÉE de l'exploitation jusqu'à la fin de 1899. |
|--|-----------------------|--|---------------|---|---|
| | | Recettes. | Dépenses. | | |
| <i>Nouveau réseau.</i> | | | | | |
| Nuits-sur-Ravières à Châtillon. | kilom. 35 | francs. 10.300 | francs. 7.200 | francs. 1,30 | années. 5 |
| Gray à Fraisans. | 44 | 7.600 | 6.000 | 0,71 | 6 |
| Saint-Germain-des-Fossés à Clermont. | 65 | 26.900 | 14.700 | 1,31 | 14 |
| Clermont à Brioude. | 70 | | | | 13 |
| Saint-Etienne au Puy. | 86 | 17.200 | 13.900 | 0,46 | 6 |
| Le Clapier à la Béraudière (pour mémoire). | 3 | | | | |
| Saint-Etienne (Saint-Just) à Montbrizan. | 22 | 9.300 | 8.800 | 0,23 | 4 |
| Brioude Brioude à Langeac (1). | 31 | 6.300 | 7.600 | » | 3 |
| à la Levade. Villefort à la Levade (1). | 31 | | | | 2 |
| Totaux et moyennes. | 397 | 16.600 | 11.300 | 0,70 | |

(1) Perte par kilomètre. 1.300 francs.

(N) CHEMIN DE FER DU MIDI.

Résumé par ligne des résultats de l'exploitation.

| DÉSIGNATION DES LIGNES. | LONGUEURS exploitées. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU p. 100 de la totalité des dépenses faites. | DURÉE de l'exploitation jusqu'à la fin de 1902. |
|--|--------------------------|--|-----------|---|---|
| | | Recettes. | Dépenses. | | |
| <i>Nouveau réseau.</i> | | | | | |
| | kilom. | francs. | francs. | francs. | années. |
| Mont-de-Marsan à Tarbes. | 99 | 10.336 | 7.630 | 0,98 | 10 |
| Agde à Lodève. | 57 | 9.684 | 9.061 | 0,27 | 6 |
| Bayonne à Irun. | 36 | 21.562 | 14.393 | 0,92 | 5 |
| Dax à Ramoux. | 30 | 14.380 | 8.682 | 1,22 | 6 |
| Saint-Simon à Foix. | 70 | 11.092 | 7.265 | 1,01 | 7 |
| Boussens à Saint-Girons. 33 kilom. | | | | | 3 |
| Toulouse à Bayonne. 319 — | 374 | 14.028 | 7.884 | 2,29 | 4 |
| Tarbes à Bagnères. 22 — | | | | | 7 |
| Langon à Bazas (1). | 20 | 4.646 | 6.630 | " | 3 |
| Agen à Vic-de-Bigorre. | 129 | 6.440 | 6.200 | 0,07 | 2 |
| Castelnaudary à Castres. | 55 | 10.263 | 7.835 | 0,71 | 4 |
| Castres à Mazamet. | 19 | 10.263 | 7.835 | 0,87 | 3 |
| Perpignan à Port-Vendres (2). | 30 | 5.533 | 8.553 | " | 2 |
| Graissessac à Béziers. | 52 | 16.074 | 11.539 | 1,12 | 11 |
| Carmaux à Alby. | 15 | 11.396 | 6.754 | 1,68 | 11 |
| Castres à Alby. | 47 | 10.263 | 7.835 | 1,06 | 1 |
| Montpellier à Paulhan. | 41 | 19.808 | 8.054 | 5,19 | 1 |
| Totaux et moyennes. | 1.074 | 10.724 | 7.214 | 1,03 | |

(1) Perte par kilomètre. 1.984 francs.
(2) Perte par kilomètre. 3.020 francs.

(N) RÉCAPITULATION

POUR TOUTES LES LIGNES DES NOUVEAUX RÉSEAUX
DES SIX COMPAGNIES PRINCIPALES.

| DÉSIGNATION des compagnies. | LONGUEURS exploitées. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU p. 100 de la totalité des dépenses faites. |
|-----------------------------------|--------------------------|--|-----------|---|
| | | Recettes. | Dépenses. | |
| | kilom. | francs. | francs. | francs. |
| Nord. | 329 | 26.453 | 13.310 | 3,12 |
| Est. | 1.532 | 30.223 | 18.042 | 2,65 |
| Ouest. | 1.164 | 20.169 | 12.646 | 1,72 |
| Orléans. | 1.678 | 16.752 | 10.444 | 1,44 |
| Paris-Lyon-Méditerranée. | 367 | 16.600 | 11.300 | 0,78 |
| Midi. | 1.074 | 10.724 | 7.214 | 1,03 |
| Totaux et moyennes. | 6.164 | 20.202 | 12.391 | 1,17 |

(A) Tableau donnant les résultats de l'exploitation pendant l'année 1869 pour les lignes des anciens réseaux des six compagnies principales dont le revenu n'atteint pas 5 p. 100 des dépenses faites.

Résumé par ligne des résultats de l'exploitation.

| DÉSIGNATION des compagnies et des chemins. | LONGUEURS exploitées, kilom. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU p. 100 de la totalité des dépenses faites. | DURÉE de l'exploitation jusqu'à la fin de 1869. années. |
|--|------------------------------------|--|----------------------|---|--|
| | | Recettes. francs. | Dépenses. francs. | | |
| <i>Compagnie du Nord.</i> | | | | | |
| Lignes des houillères du Pas-de-Calais. | 88 | 31.116 | 18.897 | 4,17 | 8 |
| Creil à Beauvais. | 37 | 25.643 | 17.135 | 2,82 | 12 |
| <i>Compagnie de l'Est.</i> | | | | | |
| Épernay à Reims. | 30 | 29.840 | 20.888 | 1,38 | 15 |
| Vendenheim à Wissembourg. | 57 | 22.200 | 15.540 | 2,72 | 14 |
| Paris à la Varenne. | 17 | 130.150 | 68.980 | 3,89 | 10 |
| <i>Compagnie de l'Ouest.</i> | | | | | |
| Paris à Saint-Germain. | 21 | 115.824 | 60.173 | 3,55 | 32 |
| Anières à Argenteuil. | 4 | 119.584 | 47.466 | 3,99 | 18 |
| Batignolles à Auteuil. | 7 | 129.133 | 106.115 | 1,56 | 16 |
| Anières à Versailles. | 20 | 100.844 | 45.130 | 3,76 | 30 |
| Paris à Versailles. | 17 | 73.550 | 45.411 | 1,59 | 29 |
| Malainay à Dieppe. | 50 | 43.022 | 24.145 | 2,75 | 21 |
| Bouzeville à Fécamp. | 20 | 11.767 | 9.261 | 0,83 | 13 |
| Mantes à Caen. | 182 | 44.705 | 23.374 | 4,28 | 14 |
| <i>Compagnie d'Orléans.</i> | | | | | |
| Breigny à Tours par Vendôme. | 202 | 14.183 | 9.432 | 1,87 | 4 |
| Nantes à Brest par Savenay et Landerneau, avec embranchement sur Napoléonville (1). | 350 | 8.906 | 7.533 | 0,49 | 4 |
| Poitiers à la Rochelle et à Rochefort. | 158 | 20.252 | 10.895 | 5,40 | 12 |
| (1) Auray à Napoléonville (seul). 51 kil. 2.661 fr. 7.533 fr. » d'où il résulte par kilomètre une perte de. 4.892 fr. | | | | | |
| <i>Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.</i> | | | | | |
| Marseille à Toulon. | 66 | 49.000 | 22.700 | 3,38 | 10 |
| Toulon au Var et à Menton. | 182 | 23.700 | 12.500 | 1,63 | 3 |
| La Roche à Auxerre. | 19 | 14.500 | 11.900 | 0,93 | 14 |
| Dijon à Belfort et embranchements. | 371 | 24.800 | 12.700 | 3,46 | 7 |
| Bourg à Besançon. | 140 | 15.700 | 10.400 | 2,00 | 6 |
| Mâcon à Lyon et à Genève. | 235 | 32.500 | 16.100 | 3,04 | 12 |
| Livron à Privas. | 32 | 20.300 | 11.200 | 1,97 | 7 |
| Sorgues à Carpentras (1). | 16 | 7.600 | 9.200 | 0,27 | 6 |
| Aries à Lunel. | 44 | 20.000 | 8.400 | 3,73 | 1 |
| Requac à Aix. | 25 | 16.900 | 12.800 | 1,45 | 13 |
| Aubagne à Valdonne. | 17 | 10.400 | 9.200 | 0,27 | 1 |
| Les Arcs à Draguignan (2). | 13 | 6.300 | 7.900 | 0,27 | 5 |
| Paris à Nevers par Montargis. | 297 | | | | 9 |
| Nevers à Saint-Germain-des-Fossés. | 101 | 37.400 | 16.800 | 3,59 | 15 |
| Saint-Germain-des-Fossés à Roanne. | 67 | | | | 11 |
| <i>A reporter.</i> | 2.885 | | | | |
| (1) Perte par kilomètre. 1.600 fr. | | | | | |
| (2) Perte par kilomètre. 1 600 | | | | | |

Résumé par ligne des résultats de l'exploitation. (Suite.)

| DÉSIGNATION des compagnies et des chemins. | LONGUEURS exploitées. | RÉSULTATS de l'exploitation par kilomètre. | | REVENU p. 100 de la totalité des dépenses faites. | DURÉE de l'exploitation jusqu'à la fin de 1899. |
|--|--------------------------|--|---------------|---|---|
| | | Recettes. | Dépenses. | | |
| | kilom. | francs. | francs. | francs. | années. |
| <i>Report.</i> | 2.885 | | | | |
| Roanne à Saint-Etienne. | 83 | 55.900 | 25.100 | 2,75 | 38 |
| Saint-Etienne à Lyon. | 59 | 119.300 | 53.700 | 2,40 | 37 |
| Roanne à Lyon. | 76 | 17.400 | 12.300 | 0,54 | 2 |
| Saint-Germain-des-Fossés à Vichy. | 9 | 12.200 | 9.100 | 0,60 | 7 |
| Chagny à Nevers et à Moulins. | 280 | 13.800 | 8.900 | 1,84 | 4 |
| Lyon, Grenoble, Saint-Rambert à Rives. | 179 | | | | 10 |
| Valence à Moirans. | 78 | 14.800 | 9.700 | 1,28 | 5 |
| Grenoble à Francin. | 50 | | | | 5 |
| Aix-les-Bains à Annecy. | 39 | 7.200 | 6.300 | 0,24 | 3 |
| Avignon à Cavaillon. | 33 | 9.700 | 7.400 | 0,48 | 1 |
| Totaux et moyennes. | 3.771 | 27.723 | 14.952 | 2,59 | |

N° 16

DE LA STABILITÉ DES CHEMINÉES D'USINES.

NOTE

Par M. KRAFFT, ingénieur des ponts et chaussées.

La Chronique des *Annales* a publié (novembre 1872) un travail de M. l'ingénieur Renaud sur la chute d'une cheminée de filature au Havre.

Cette note et le croquis qui l'accompagne montrent :

1° Que l'on peut négliger la résistance due aux mortiers, et, par une sorte de compensation, ne pas se préoccuper de l'influence des oscillations ;

2° Que l'on doit compter avec les vents qui donnent sur la méridienne des cheminées coniques une pression de 100 kilogrammes par mètre carré.

D'après les observations de Fresnel dans l'article de 1851, auquel renvoie M. Renaud, cette pression correspondrait à une pression de 150 kilogrammes par mètre carré sur la méridienne d'une cheminée pyramidale.

Voici, à l'appui de ces conclusions, les résultats auxquels a donné lieu l'examen des dimensions d'un assez grand nombre de cheminées construites en Angleterre, en Allemagne et en France à diverses époques.

On conservera, pour rester dans les termes de la note de M. Renaud, le chiffre de 150 kilogrammes, mais en faisant observer toutefois que l'on peut s'attendre, sur certains points, à la pression de 170 kilogrammes. (Voir les observations de M. Nordling, *Annales des ponts et chaussées*, 1864, 1^{er} semestre, p. 69 ; 1868, 1^{er} semestre, p. 220, et 1870, 1^{er} semestre, p. 143.)

Pour le calcul de la résistance des cheminées au renversement, on supposera que le vide intérieur est constitué par un seul tronc de cône ou de pyramide ayant pour bases la section inférieure et la section au sommet. Cette hypothèse est suffisamment approchée.

Soient :

A le côté ou le diamètre extérieur du fût à la base ;

a le côté ou le diamètre intérieur du fût au sommet ;

A' et a' les dimensions homologues intérieures ;

H la hauteur ;

p le poids du mètre cube de maçonnerie ;

π le rapport de la circonférence au diamètre ;

Pour une cheminée carrée, le poids des maçonneries sera

$$\frac{1}{3} H [A^2 + a^2 + Aa - (A'^2 + a'^2 + A'a')] p,$$

et l'intensité totale du vent

$$\frac{A+a}{2} \times H \times 150.$$

Le bras de levier de la résistance est $\frac{A}{2}$, abstraction faite de l'influence des oscillations ; celui de la puissance est égal à la distance de la base au centre de gravité de la section méridienne du fût, c'est-à-dire

$$H \frac{A+2a}{3(A+a)}.$$

Le coefficient de stabilité ou le rapport du moment de la résistance à celui de la puissance sera donc

$$S = \frac{[A^2 + a^2 + Aa - (A'^2 + a'^2 + A'a')] A \times p}{150 H (A + 2a)}.$$

Pour une cheminée ronde, en tenant compte du coefficient $\frac{2}{3}$, on aura :

$$S = \frac{3\pi [A^2 - a^2 + Aa - (A'^2 - a'^2 + A'a')] A \times p}{8 \times 150 H (A + 2a)}.$$

En prenant $p = 1.600$ kilogrammes, comme l'a fait M. Renaud, on trouvera :

Cheminée quarrée :

$$S = 10.677 \frac{(A^2 + a^2 + Aa - (A'^2 + a'^2 + A'a')) A}{H(A + 2a)}$$

Cheminée ronde :

$$S = 12.566 \frac{(A^2 + a^2 + Aa - (A'^2 + a'^2 + A'a')) A}{H(A + 2a)}$$

Ainsi, à dimensions égales, une cheminée ronde présente une stabilité supérieure de $1/5$ environ à celle d'une cheminée quarrée.

Le produit de S par 150 représente l'intensité du vent capable de renverser la cheminée.

Ces calculs faits pour un certain nombre de cheminées mènent aux observations suivantes, qui cesseraient d'être complètement vraies avec une autre valeur de p :

1° Les constructeurs se guident en général d'après le sentiment plutôt que d'après des règles précises, car les coefficients de stabilité varient de $1,00$ à $3,22$, c'est-à-dire plus que du simple au triple.

2° La règle empirique que l'on suit souvent et qui consiste, étant donnée la section au sommet, à adopter un fruit extérieur de 25 à 30 millimètres par mètre, n'a pas une importance absolue.

Ce fruit doit plutôt être regardé comme dérivant d'une inspiration architecturale, et il est à remarquer que M. Nordling donne également à ses piles métalliques des fruits de 25 et de 35 millimètres.

3° De ce qu'il existe des cheminées construites avec le coefficient 1 et qui résistent, il résulte que le sentiment de certains constructeurs les a conduits à adopter des dimensions qui correspondent précisément au minimum possible.

Cette confirmation expérimentale du chiffre de 150 kilogrammes a sa valeur.

4° Il est imprudent de descendre au-dessous du coefficient 1,00, même avec de bonnes maçonneries. — Aucune construction connue n'autoriserait cette hardiesse.

Nous pouvons citer à l'appui de cette opinion deux cheminées.

L'une, située à Bischwiller (Alsace), avait été construite avec des dimensions donnant le coefficient 0,74. Elle est tombée sous l'action d'un vent de tempête au mois de mars 1868, cinq mois après son achèvement. L'intensité du vent était vraisemblablement de 124 kilogrammes par mètre carré.

La seconde, située à Haguenau (Alsace), aurait pu tenir sans un affaissement des fondations qui a fait prendre à l'axe une inclinaison de $1^{\circ}0'46''$ sur la verticale : elle n'avait plus alors qu'un coefficient de 0,82 et s'est écroulée sous l'effort d'un vent violent au mois de novembre 1869.

Langres, le 17 mars 1873.

N° 17

LES INONDATIONS EN ITALIE.

Les inondations si fréquentes en Italie pendant ces années dernières, et qui en 1872 ont causé tant de désastres, rendaient nécessaire une étude approfondie de leurs causes et des moyens d'en prévenir le retour. M. Torelli, sénateur, qui, ministre avec M. de Cavour, a été le promoteur actif du tunnel du mont Cenis, a entrepris cette tâche. Il a présenté au Sénat un projet de loi qui vient d'être imprimé et distribué, et qui a pour objet la vente des terres non cultivées appartenant aux communes. D'après les dispositions de ce projet, toutes ces terres qui ne sont ni cultivées ni plantées d'arbres devront être vendues dans un délai de quatre ans.

Le préambule du projet contient un grand nombre d'informations intéressantes. Le comte Torelli attribue les débordements des fleuves et les inondations si communs en Italie, à trois causes : le défrichement des bois, les travaux exécutés sur les bassins supérieurs des rivières tribulaires des fleuves, et la prolongation du lit de ces fleuves dû à l'empiétement de la terre sur la mer, lequel est notable sur beaucoup de points des côtes de l'Italie.

La plupart des écrivains qui, ces mois derniers, ont traité la question des inondations, ont considéré le reboisement des montagnes comme le seul remède nécessaire, la panacée de ce grand fléau, et paraissent avoir pensé qu'il ne faut rien de plus pour garantir l'Italie contre le retour de semblables désastres. Le comte Torelli montre les exagérations de cette opinion, et cite de nombreux exemples d'inondations dans des contrées dont les montagnes sont couvertes de forêts où la hache n'a jamais pénétré.

Dans un appendice au projet de loi se trouve un curieux document émanant de M. Zucchelli, ingénieur en chef de la province de Mantoue, et relatif aux plus mémorables inondations de la vallée du Pô. Ces inondations remontent jusqu'à l'année 520. En 1346, il y a eu dans le pays mantouan une inondation extraordinaire dans laquelle ont péri un grand nombre d'hommes et d'animaux et qui a été suivie de maladies pestilentiennes. Il faut espérer

que l'inondation de 1872-1873 n'aura pas de semblables conséquences ; mais les voyageurs qui ont traversé récemment les districts inondés rapportent que, sur beaucoup de points, l'eau ne s'est pas retirée et n'a pas été absorbée, et si ces marécages d'eaux stagnantes ne sont pas desséchés d'une manière ou d'autre, il est à craindre que les chaleurs de l'été n'amènent des fièvres.

En 1330, il y a eu une inondation du Pô dans laquelle on dit qu'il a péri 10.000 personnes. Les places et les rues de Mantoue étaient recouvertes d'eaux si profondes que les communications ne pouvaient se faire que par des bateaux dans lesquels on montait par les fenêtres du premier étage. Les écrivains italiens rapportent que cette inondation a été causée par des pluies torrentielles qui ont duré sans discontinuer pendant vingt-huit jours.

On a vu des bateaux circuler dans les rues de Rome, et l'on rapporte que deux Anglais, fatigués d'être retenus prisonniers par les eaux qui avaient envahi le Corso, et ne voyant aucun moyen de s'échapper, se mirent à la nage et, de l'hôtel de Rome où ils étaient, gagnèrent la place d'Espagne.

C'est dans le nord de l'Italie, cependant, que les inondations ont toujours été les plus violentes ; le mémoire de M. Zucchelli en mentionne plus de quarante. Il y a certaines combinaisons naturelles contre lesquelles il n'est pas au pouvoir de l'homme de se garantir ; mais on peut au moins diminuer les conséquences terribles de leurs effets ; telles sont par exemple des pluies abondantes avec des vents chauds qui fondent l'immense surface des glaciers. C'est aux vents chauds, plus qu'aux pluies, qu'a été due la grande inondation du Rhône en 1834 ; cette inondation a dévasté le Valais et porté ses ravages bien au delà.

Tout en se gardant de l'exagération qui fait du déboisement des montagnes la seule cause des inondations, M. le comte Torelli reconnaît qu'il exerce une grande influence et explique complètement comment et pourquoi des terrains boisés absorbent par grandes quantités les eaux qui courent à la surface.

Les calculs qu'il donne de la différence qui en résulte sont curieux. En prenant la surface d'une montagne de 10 millions de mètres carrés, ce qui n'est qu'un point dans les immenses régions de l'Apennin, et en supposant une pluie persistante donnant 10 centimètres d'eau, ce qui n'a rien d'extraordinaire, il trouve 1 million de mètres cubes sur cette surface. Si la montagne est couverte de bois, un cinquième de cette eau ou 200.000 mètres cubes coulent dans la plaine, tandis que les quatre autres cin-

quièmes sont absorbés ou retenus. Sur une montagne dénudée la proportion est renversée, et c'est tout au plus si les fissures et une maigre végétation retiennent un cinquième des eaux de pluies, tandis que le surplus, c'est-à-dire 800.000 mètres cubes se précipitent en ruisseaux et vont grossir les torrents et les rivières des vallées.

Des tables annexées au mémoire montrent que les inondations du lac de Côme ont augmenté en nombre et en intensité, à mesure que le bassin de l'Adda a été dépouillé de ses forêts.

Le comte Torelli fait observer que l'abatage des bois, sans mesures prises pour leur reproduction, amène un autre fléau tout contraire, celui de la sécheresse dont certaines régions de l'Italie ont tant souffert.

On trouve une autre cause des inondations dans les travaux exécutés dans les bassins supérieurs des rivières par les particuliers, les sociétés, les paroisses, pour se protéger. En juin dernier, les inondations de Ferrare et la rupture des digues du Pô doivent être attribuées en grande partie à des travaux exécutés sur la rive opposée par les habitants de Polesella, travaux qui ont eu pour effet de rejeter la violence des eaux vers l'autre rive. C'est un résultat qu'il fallait prévoir. De même dans beaucoup de cas, les précautions des communes ou des particuliers peuvent faire courir des dangers à des contrées tout entières.

Le comte Torelli signale un grand nombre de travaux de cette nature qui se font chaque année. Partout les propriétaires de terres traversées par des cours d'eau combattent leur empiétement, rétrécissent le lit de la rivière, et les habitants de la plaine en portent la conséquence.

Le comte Torelli ne cherche pas le remède à ces maux. Il limite son projet au reboisement des montagnes, et cite les exemples des avantages qu'on a obtenus dans la Valteline et la Ligurie. Il insiste sur des moyens qui ne doivent pas être négligés ou méprisés. Dans la nuit du 18 janvier 1863, la ville de Pise a été sauvée de l'inondation par un parapet improvisé de sacs de sable d'un pied de haut, qui a été mis en place en un instant par le régiment d'artillerie de la garnison.

Les eaux enlevèrent bien quelques-uns des sacs, mais la barrière résista. Dans les inondations un niveau de quelques pouces, en plus ou en moins, a de grandes conséquences.

Dans une autre partie de son travail, le comte Torelli montre combien, dans le cours des siècles, l'Italie a gagné sur la mer, tant sur les côtes de l'Adriatique que sur celles de la Méditerranée.

Même pendant les cent dernières années, de grands changements se sont opérés. En 1-88, le village de Goro, sur une des principales branches du Pô, n'était qu'à 2.700 mètres de la mer; il en est actuellement distant de 12 kilomètres.

(Times. — Traduction du *Journal officiel*.)

N° 18

J. MANIEL. — NOTICE BIOGRAPHIQUE.

NOTE COMPLÉMENTAIRE

Par M. CÉZANNE, ingénieur des ponts et chaussées.

Plusieurs lecteurs des *Annales*, camarades ou amis de Maniel, ont bien voulu m'adresser, au sujet de la notice biographique qui a paru dans le numéro de janvier dernier, des renseignements dont je leur suis très-reconnaissant et que je regrette de n'avoir pas connus plus tôt. Ces renseignements sont surtout relatifs aux premières années de la carrière de Maniel et notamment à la part qu'il a prise à la construction du pont-canal d'Agen. La notice rappelle que Maniel a quitté Agen avant l'achèvement du pont-canal, mais elle ne dit pas expressément que le projet primitif dressé par Maniel a reçu, après son départ, des modifications considérables qui ont porté à la fois sur le mode d'exécution des travaux et sur l'ordonnance architectonique que l'on admire dans ce bel ouvrage. L'honneur de ces rectifications appartient à M. Couturier, successeur de Maniel, et à M. de Job qui a été, à Agen, le chef de ces deux ingénieurs.

Vis-à-vis de Maniel, la sincérité absolue est un devoir facile. Je m'empresse de rectifier cette erreur de la notice et j'ai d'autant plus de plaisir à rendre à MM. de Job et Couturier, aujourd'hui inspecteurs généraux en retraite, la part que je leur avais involontairement dérobée dans l'œuvre du

pont-canal d'Agen que l'enquête à laquelle j'ai dû me livrer sur ce point m'a révélé un trait de Maniel qui complètera, près des lecteurs des *Annales*, l'idée qu'ils ont pu se faire de son caractère, en sorte que cette rectification même profitera à sa mémoire.

M. l'inspecteur général Morandière, dans les premières éditions du cours qu'il professe à l'École des ponts et chaussées, avait, — par une erreur analogue à celle que j'ai commise, — attribué à Maniel une part exagérée dans l'œuvre du pont-canal ; Maniel en eut connaissance et, par une lettre minutieusement détaillée, dans laquelle il réduisait à ses justes limites sa participation personnelle à l'œuvre commune, il prit lui-même l'initiative de la rectification que M. Morandière a introduite dans les éditions postérieures de son cours.

Paris, le 19 mai 1873.

N° 19

PAROLES PRONONCÉES

Sur la tombe de M. POIRÉE, inspecteur général des ponts et chaussées,

Par M. COMOY, inspecteur général, vice-président du conseil général des ponts et chaussées.

Messieurs,

L'homme éminent auquel nous rendons les derniers devoirs, quoique parvenu à un grand âge, avait conservé sa force et son intelligence. Sa verte vieillesse n'avait préparé aucun de ses amis à cette séparation. Aussi le temps a-t-il manqué pour réunir les éléments de cette vie si bien remplie et en parler dignement dans cette triste cérémonie. C'est ailleurs que seront exposés les titres de M. Poirée à la gratitude publique et à la vénération des ingénieurs.

Disons seulement ici que, dans ce monde où tout est si fragile et où les souvenirs s'effacent si promptement, le nom de M. Poirée échappera à ce naufrage de la mémoire. Tous ceux qui, dans l'avenir, appliqueront leur intelligence et leur travail aux voies navigables, se trouveront en présence de ce nom indissolublement attaché à l'une des plus remarquables inventions de cette époque.

M. Poirée n'avait jamais cessé, dans sa longue retraite, de s'intéresser aux questions de navigation et d'y apporter le tribut de son expérience.

Ses habitudes laborieuses faisaient oublier son âge avancé. Aussi quand sa vie, à laquelle Dieu a épargné les

douleurs de l'agonie, s'est éteinte, tous ceux qui suivaient avec respect les manifestations de cette active intelligence, ont-ils été surpris.

Que cette fin sereine, Messieurs, ranime notre espérance sur les destinées futures de l'excellent homme que nous regrettons !

N° 20

NOTICE NÉCROLOGIQUE SUR M. POIRÉE,

Inspecteur général des ponts et chaussées.

Par M. CHARIÉ-MARSAINES,
inspecteur général des ponts et chaussées en retraite.

La France a perdu récemment un homme qui a exercé une notable et très-utile influence sur une branche importante de la richesse publique. Cet homme est un modeste ingénieur qui, par une heureuse invention, a donné les moyens d'opérer une transformation radicale dans la navigation des fleuves et rivières. Les lignes qui vont suivre ont pour but de retracer son honorable et laborieuse existence.

Né à Soissons le 11 novembre 1785, Charles-Antoine-François Poirée appartenait à une famille honnête, mais peu fortunée. Son père, officier de santé à l'hôpital de Compiègne, mourut de bonne heure dans l'exercice de ses fonctions. Sa mère, femme distinguée, restée veuve avec deux enfants, un fils et une fille, sans aucune fortune, obtint une place de dame dans la maison qui venait d'être établie à Écouen pour les filles des membres de la Légion d'honneur.

Admis par voie de concours au lycée de Bordeaux, avec une des 6.400 bourses créées par la loi du 11 floréal an X pour les enfants des fonctionnaires publics sans fortune, Antoine Poirée fut reçu ensuite à l'École polytechnique. Il en sortit en 1808 pour entrer à l'École des ponts et chaussées. Envoyé comme élève en mission, d'abord en 1809 à Florence pour le service du département de l'Arno, puis en 1810 dans le département de la Doire pour les ponts de la

Doire, du Melone et de l'Orco, M. Poirée fut l'objet des témoignages les plus flatteurs de la part des ingénieurs en chef de ces deux départements, MM. Goury aîné et Cavenne. Il passa en octobre 1810 dans le département des Apennins pour la construction de la route de la Spezzia à Parme, et y fut maintenu (sur la demande expresse de l'ingénieur en chef de ce département, M. Fèvre, et de l'inspecteur divisionnaire, M. Defougères) par la décision ministérielle du 11 septembre 1811 qui le nommait aspirant. C'est au service de ce département, en résidence à Pontremoli, qu'il passa les trois années qui s'écoulèrent jusqu'aux événements de 1814, occupé aux travaux des routes dont le gouvernement impérial sillonnait les pays annexés à la France pour les rattacher matériellement et moralement à leur nouvelle patrie. Fixé ainsi en Italie pendant près de cinq ans, possédant bien la langue du pays, M. Poirée profita des courts moments de loisir que lui laissait un service fort actif pour en visiter les principales villes, et il en avait rapporté, avec un goût très-développé pour les arts et notamment pour l'architecture, des souvenirs intéressants sur l'état des esprits dans ce pays plutôt soumis en apparence que réellement affectionné à la domination française.

Rentré en France à la suite des événements de 1814 qui, en amenant la chute de l'Empire, avaient amené également la perte des départements situés au delà des Alpes, M. Poirée fut attaché, le 1^{er} août 1814, au service du pavé et des boulevards de Paris; mais, au bout de quelques années, des raisons de santé et des convenances de famille le portèrent à demander son changement pour le département du Gers et, le 1^{er} mai 1817, il était appelé dans ce département à la résidence d'Auch. Quoique son nouveau service ne présentât rien d'exceptionnel, qu'il se composât à peu près exclusivement de travaux de routes et d'opérations d'usines, il s'y fit tellement remarquer que, lorsque l'administration s'occupa d'organiser les services pour l'exé-

cation des canaux à construire en vertu de la loi du 14 août 1822, elle n'hésita pas à l'attacher aux travaux du canal de Bourgogne en l'appelant, le 1^{er} mai 1823, à la résidence de Tonnerre. Mais il ne resta pas longtemps dans ce poste, et les projets de la partie qui lui était confiée, celle de Tanlay à Aisy, ayant été terminés par lui en une seule campagne, une décision du 18 novembre 1823 l'attacha aux travaux du canal du Nivernais en lui confiant le service de la partie comprise entre la limite du département de l'Yonne et l'extrémité du bief de partage du côté de l'Yonne. Peu de temps après, le 1^{er} mai 1824, il était promu à la première classe de son grade, et le 1^{er} février 1826 il fut chargé des fonctions d'ingénieur en chef pour toute la partie du canal du Nivernais comprise dans le département de la Nièvre.

C'est dans ce service, auquel il est resté pendant environ treize ans, que M. Poirée s'est surtout fait connaître, et par l'importance des projets qu'il a présentés, et par la difficulté des travaux qu'il a exécutés, et par l'œuvre capitale de sa vie d'ingénieur : l'invention des barrages mobiles à fermettes.

En ce qui concerne le premier point, nous dirons que, bien que les projets de la partie du canal située dans le département de la Nièvre eussent été présentés, partiellement au moins, par les ingénieurs qui l'avaient précédé, ce sont les dispositions étudiées, avec son concours très-actif, et proposées par les ingénieurs ordinaires placés sous ses ordres, qui ont été définitivement exécutées. Or ces projets présentaient de grandes difficultés, notamment pour la vallée d'Yonne dans laquelle le canal est juxtaposé à une rivière où il existait un système de flottage établi depuis plusieurs siècles, fortement enraciné dans les habitudes du pays, et, comme tel, présentant de nombreuses exigences auxquelles il fallait satisfaire dans la conception et l'exécution de la nouvelle voie à établir.

Pour ce qui est de la difficulté des travaux faits par

M. Poirée, nous devons dire qu'en même temps qu'il était chargé des fonctions d'ingénieur en chef pour toute la partie du canal située dans le département de la Nièvre, il avait, comme ingénieur ordinaire, le service de la partie centrale comprenant les travaux du bief de partage.

Sans entrer ici dans des détails circonstanciés sur les travaux de ce bief, tâche dont nous nous sommes déjà acquitté ailleurs (*), et qui aujourd'hui nous entraînerait beaucoup trop loin, nous nous contenterons de rappeler que le sol dans lequel il est ouvert offre des circonstances géologiques assez rares et fort compliquées, et qu'il en est résulté, dans l'exécution des ouvrages, beaucoup de cas imprévus et des obstacles d'un ordre tout à fait supérieur.

A peine chargé du service du bief de partage, M. Poirée comprit la nécessité de faire une étude approfondie des terrains dans lesquels il devait être ouvert et qui, se montrant à la surface du sol à des distances fort inégales et sans aucun ordre facilement appréciable, donnaient à la constitution géologique de ce bief une apparence très-confuse. Comparant entre eux les divers terrains mis à jour par les travaux déjà exécutés et réunissant entre elles les couches ainsi observées par un nivellement général, il vint à bout de dresser un profil géologique duquel il ressortit que ces couches étaient superposées d'une manière régulière et que leur confusion apparente provenait des failles nombreuses qui, brisant les stratifications de même nature, étaient venues déranger l'ordre qui existait primitivement. En établissant ce profil géologique, M. Poirée avait rendu un service très-réel, car cette opération, faite à l'origine des travaux, eût été certainement d'une grande utilité, et elle a fourni tant à lui qu'à son successeur les lumières les plus précieuses, soit pour la continuation des ouvrages com-

(*) Voir le mémoire inséré aux *Annales des ponts et chaussées*, année 1848, 1^{er} semestre, page 1.

mencés, soit pour la rédaction des projets des ouvrages non encore entrepris.

Pendant qu'il était encore chargé de ce service comme ingénieur ordinaire, M. Poirée eut à lutter contre une des plus grandes difficultés que l'on puisse rencontrer dans la construction d'un souterrain, savoir la traversée d'un *fondis* ou entonnoir formé par l'affaissement des terrains depuis le niveau de la galerie à percer jusqu'au sommet de la montagne. Nous n'entrerons point ici sur cet objet dans des détails qui ne seraient que la reproduction de ceux qui sont consignés dans les pages 22 à 28 du mémoire précité. Nous nous contenterons de dire que, placé en face d'une question des plus majeures, et par sa difficulté, et par la responsabilité qu'elle entraînait pour l'ingénieur chargé de l'exécution des travaux, M. Poirée n'hésita point à la résoudre par un procédé contraire à celui qui avait été recommandé jusqu'alors comme seul efficace par les ingénieurs les plus expérimentés, en tentant l'enlèvement des déblais par le haut et la construction de la voûte à ciel ouvert, et que, grâce à des prodiges de patience et d'énergie, il réussit ainsi à vaincre d'énormes difficultés dont il n'est nullement certain qu'on eût triomphé avec le procédé inverse, celui du recomblement de l'entonnoir et du percement par le bas.

C'est au mois de juin 1830 qu'envoyé comme ingénieur ordinaire sous les ordres de M. Poirée, nous prîmes de ses mains le service du bief de partage, et c'est seulement au mois de mars 1841 que nous sommes parvenu à livrer ce bief à la navigation. Ce n'est point ici le lieu de dire tout ce que nous avons eu d'obstacles à vaincre pendant cette longue période, tout ce qu'il a fallu de patience et d'obstination pour surmonter les difficultés sans cesse renaissantes que nous opposait la nature du terrain ; mais ce qui permettra d'apprécier quels ont été nos efforts et quels avaient dû être ceux de M. Poirée, c'est le témoignage re-

cueilli par nous de la bouche de M. Legrand, sous-secrétaire d'État des travaux publics, à son passage dans le département de la Nièvre, au mois de septembre 1839, qu'il regardait ces travaux comme les plus difficiles de ceux qui s'exécutaient en France à cette époque.

Une fois débarrassé du service d'ingénieur ordinaire dont il était resté chargé depuis son arrivée au canal du Nivernais, M. Poirée put s'occuper plus librement des travaux d'ensemble du canal et notamment de la rédaction des projets pour laquelle son imagination ardente lui donnait beaucoup de prédilection.

C'est ainsi qu'il rédigea un projet de portes d'écluses en métal qui fut approuvé par l'administration et exécuté sur un certain nombre de points du canal. Ce système, qui a été décrit par l'auteur lui-même dans les *Annales des ponts et chaussées* (*), fut présenté à l'Exposition de l'industrie de 1834, où il obtint une mention honorable; mais comme il était plus dispendieux que les portes en bois, il ne pouvait faire abandonner celles-ci, surtout dans un département aussi boisé que celui de la Nièvre, et son application n'a jamais été générale.

Nous arrivons maintenant à l'œuvre capitale de M. Poirée, l'invention des barrages à fermettes mobiles. Ce sont les circonstances spéciales au canal du Nivernais qui l'ont conduit à cette invention. Quelques mots d'explication sont nécessaires à cet égard.

Ce canal présentait, à ses deux extrémités dans le département de la Nièvre, deux problèmes à résoudre ayant entre eux une grande analogie.

D'une part, à sa jonction avec la Loire près de Decize, il débouchait dans un bras du fleuve abandonné par les eaux moyennes et ne présentant, sauf en temps de crue, qu'une mer de sable. Si l'on voulait que les bateaux pûs-

(*) Voir l'année 1834, 2^e semestre, page 147.

sent pénétrer, en tout temps, du canal dans la Loire et réciproquement, il fallait nécessairement relever le niveau des eaux par un barrage et, de plus, ce barrage était nécessaire à un autre point de vue, celui de la communication à établir entre le canal du Nivernais et le canal latéral à la Loire, situés, l'un sur la rive droite, l'autre sur la rive gauche du fleuve. Mais, d'un autre côté, barrer la Loire, la grande voie de transport des houilles vers Paris, à cette époque surtout où le canal latéral n'était point achevé, était une mesure qui aurait excité les plus vives réclamations, et les crues, souvent de courte durée, amenant à Decize quelquefois jusqu'à deux cents bateaux dans la même journée, on ne pouvait songer à faire passer ces bateaux par des pertuis. Il fallait donc trouver un système de barrage qui, soulevant la Loire en basses eaux, pût s'effacer complètement dans les crues et rendre au lit sa largeur intégrale.

D'autre part, à Basseville (point situé au-dessous de Clamecy et près de la limite du département de la Nièvre), le canal devant traverser l'Yonne à niveau dans une partie flottable en trains et à bûches perdues, il fallait pareillement trouver un système qui, soutenant les eaux de la rivière à la hauteur nécessaire pour la navigation des bateaux, pût lui rendre complètement sa section naturelle au moment, soit du passage des trains, soit de l'écoulement des flots à bûches perdues.

Le problème était donc à peu près identique des deux côtés; seulement il se présentait sur une moins grande échelle à Basseville qu'à Decize, la largeur à rendre libre étant de 100 mètres environ sur le second point, tandis qu'elle était de 30 mètres à peine sur le premier.

C'est dans les pertuis de l'Yonne que M. Poirée puisa la première idée de son barrage. Ces pertuis sont des passages de 6 à 7 mètres de largeur fermés par une barre tournante horizontale sur laquelle s'appuient des aiguilles

verticales en bois de dimensions telles qu'un homme exercé puisse les poser et les déposer à la main. M. Poirée fit d'abord, pour le passage de Basseville, un projet composé de cinq pertuis de ce genre accolés l'un à l'autre. Puis l'idée lui vint de remplacer les piles séparatives des pertuis contigus par des cadres en fer placés parallèlement au courant ; enfin il rendit ces cadres mobiles autour de leur base fixée sur le radier du barrage, de telle sorte qu'en les couchant au fond de la rivière ils disparussent complètement et lui rendissent l'intégralité de sa section normale. Enfin il rapprocha beaucoup ces cadres les uns des autres, afin de diminuer la charge d'eau qu'ils auraient à supporter, de manière à n'avoir point à craindre leur rupture ni leur arrachement de la surface du radier. En raison de l'analogie que présentent ces cadres, quand ils sont dressés, avec les fermes qui soutiennent la toiture d'un long bâtiment, il leur donna le nom de *Fermettes* qu'ils ont toujours conservé.

C'est l'invention de ces fermettes qui nous parait l'idée mère du barrage mobile dit *Barrage Poirée* et qui constitue, à nos yeux, sa véritable originalité. Ce serait excéder les bornes naturelles de cette notice que d'entrer dans les détails du mécanisme destiné à le manœuvrer, barres d'assemblage, chaînettes, etc. Ces détails ont été exposés d'une manière très-complète dans les *Annales des ponts et chaussées* (*), et d'ailleurs ils se trouvent dans tous les traités récemment publiés sur les travaux de navigation. Nous nous contenterons de dire qu'indépendamment de son usage pour soulever les eaux d'une rivière en la fermant d'une rive à l'autre, le *barrage Poirée* peut être, à volonté, terminé à une ferme et former ainsi un épi isolé (ce que son auteur appelait un *Épi mobile*) dont on peut faire varier la lon-

(*) Voir le mémoire de M. Chanoine sur le barrage d'épinesu, année 1839, 1^{er} semestre, page 238.

gueur de manière à produire en amont tel gonflement que l'on veut, en laissant une ouverture convenable au débit. Nous rappellerons encore qu'avec ces barrages on a pu, sur certaines rivières, se dispenser d'établir des écluses, en se contentant de *déguiller* sur une certaine longueur au moment où l'on veut faire passer les bateaux et d'abattre (aussitôt que le courant est devenu modéré) quelques fermettes pour établir une communication entre les biefs. Du reste, nous pensons ne pouvoir mieux faire pour mettre en relief les diverses applications des barrages à fermettes que de relater les paroles du rapport du jury mixte international de l'Exposition universelle de 1855 qui, en proposant d'accorder à M. Poirée la grande médaille d'honneur, s'exprimait de la manière suivante :

« En résumé, les barrages à fermettes sont une invention très-importante : ils rendent d'immenses services à la navigation fluviale ; on commence à s'en servir pour les usines ; ils peuvent certainement être employés avec avantage pour les irrigations dans beaucoup de circonstances ; enfin ils donneront probablement de bons résultats pour les chasses dans les ports. »

Les barrages primitivement construits par M. Poirée ne s'appliquaient qu'à des chutes de 1^m,50. Depuis il en a été établi pour des chutes de 2 mètres et même beaucoup plus fortes. De nombreuses discussions se sont élevées sur la hauteur maximum à laquelle ce système est applicable. Il serait superflu de les relater ici, aussi bien que la nomenclature des rivières sur lesquelles le barrage à fermettes a été appliqué tant en France qu'à l'étranger. Nous n'entrons pas non plus dans le détail des systèmes qui sont venus à la suite, bien que plusieurs d'entr'eux soient fort ingénieux, tels que les barrages à hausses mobiles de M. Chanoine et les barrages à vannes tournantes de M. Louiche-Desfontaines. En revanche, voici quelques dates qu'il nous paraît utile de consigner ici : c'est en 1834 que

fut terminé le barrage de Basseville; celui de Decize le fut au commencement de 1857. Un modèle de barrage à fermettes figura à l'Exposition de 1859, et, sur le rapport de M. Charles Dupin, une médaille d'or fut décernée à l'inventeur. En résumé, nous croyons pouvoir dire avec justice que le nom de M. Poirée restera attaché aux barrages à fermettes comme celui de Fresnel aux phares lenticulaires et celui de Stephenson à la machine locomotive.

Du moment où le succès des deux barrages dont la construction avait été autorisée à Basseville et à Decize eut été bien constaté, l'administration songea immédiatement à tirer parti de cette invention pour la navigation de la Seine, dont l'amélioration était depuis longtemps à l'étude et était devenue l'objet d'une vive controverse entre les ingénieurs les plus éminents du corps des ponts et chaussées. En conséquence M. Poirée fut appelé à la résidence de Paris le 1^{er} octobre 1837 et chargé du service de la navigation de la Seine depuis la limite du département de l'Aube jusqu'à Rouen. Apportant à ce nouveau service son ardeur ordinaire stimulée encore par l'éclatant succès qu'il venait d'obtenir, il se mit immédiatement à l'étude des projets qui lui étaient demandés, et, dès la campagne suivante, on commençait les travaux de l'écluse et du barrage de Marly, première application des barrages mobiles à la navigation de la Seine. Il ne saurait entrer dans le cadre de cette notice de donner des détails circonstanciés sur les travaux d'amélioration de cette navigation qui se poursuivent encore au moment où nous écrivons et dans lesquels bien des systèmes ont été essayés. Nous nous contenterons de dire que les services de M. Poirée furent récompensés le 5 août 1840 par le grade d'inspecteur divisionnaire adjoint et le 22 juin 1842 par celui d'inspecteur divisionnaire. Chargé successivement des 12^e, 5^e et 13^e arrondissements d'inspection, il était promu le 30 avril 1850 au grade d'inspecteur général et, suivant la désignation nouvelle, nommé

inspecteur général de 1^{re} classe le 17 juin 1854. C'est dans cette position que la limite d'âge vint l'atteindre et qu'il fut admis à faire valoir ses droits à la retraite par décret en date du 19 décembre 1855.

M. Poirée avait été nommé chevalier de la Légion d'honneur le 23 mai 1825, n'étant encore qu'ingénieur ordinaire, à une époque où la décoration n'était que très-rarement accordée aux ingénieurs de ce grade. Il fut nommé officier le 1^{er} mai 1843 et commandeur le 30 août 1855, au moment où il allait atteindre l'âge de la retraite et presque au même instant où il obtenait à l'Exposition universelle la plus haute des récompenses, la grande médaille d'honneur.

Je n'ai pas besoin de dire que, pendant tout le temps qu'il a siégé au Conseil général des ponts et chaussées, M. Poirée s'est toujours occupé d'une manière toute spéciale des questions de navigation et principalement de celles qui se rattachaient à l'application et au perfectionnement des barrages mobiles. On comprendra aisément que son expérience incontestée et son esprit de recherche continuelle lui donnaient, dans ces matières, une grande autorité.

Cette même direction d'esprit l'avait suivi dans sa retraite, et il n'a cessé jusqu'à la fin de son existence de s'occuper de toutes les questions relatives à la partie de la science hydraulique qui a pour objet l'amélioration des fleuves et rivières. Il suivait avec intérêt toutes les recherches qui se faisaient dans ce but, il encourageait et éclairait de ses avis toutes celles qui lui paraissaient susceptibles d'amener un progrès réel. Resté, malgré de longues souffrances, en pleine possession de ses facultés intellectuelles, il s'est éteint le 30 mars 1873, dans sa quatre-vingt huitième année, sans avoir perdu un seul instant le désir et la pensée d'être utile.

M. Poirée avait épousé, en 1814, mademoiselle Émilie Georges, fille d'un ingénieur des ponts et chaussées décédé

en activité de service, et parente de plusieurs ingénieurs qui ont laissé dans le corps un nom très-honoré, MM. Sganzin, Gayant et Bérigny. Cette union avait été des plus heureuses et rien ne semblait devoir la troubler, lorsqu'au commencement de 1832 la mort vint frapper madame Poirée à peine âgée de trente-cinq. Quelle perte pour son mari resté seul avec quatre enfants dont deux filles en bas âge ! Et pourtant ce n'était que le commencement d'une longue série de douloureuses épreuves. En effet, trente ans plus tard, il avait la douleur de survivre à ses fils qui lui avaient donné une satisfaction accordée à bien peu d'ingénieurs, celle de les voir tous deux entrer dans le corps des ponts et chaussées et y soutenir dignement son nom : tous deux, à quelques années d'intervalle, mouraient dans la force de l'âge, au moment où, arrivés à des positions dignes d'envie, ils faisaient la joie et l'orgueil de leur père (*). L'âme fortement trempée de M. Poirée sut résister à ces coups multipliés : d'une part, les soins à donner aux deux filles qui lui restaient et dont il voulut diriger lui-même l'éducation comme une mère aurait pu le faire ; d'autre part, les recherches relatives à l'art qu'il aimait et qui avait fait l'occupation de toute sa vie ; telles furent les deux puissantes diversions qui le soutinrent dans ces rudes épreuves. Cependant, vers la fin de sa carrière, il sentit le besoin d'autres consolations, et, lorsque ses infirmités le condamnèrent au repos, son esprit se tourna vers ces grandes questions qui doivent tôt ou tard trouver place dans toute vie sérieuse. Elles devinrent pour lui l'objet de patientes lectures, de longues méditations, et ce fut, on peut le dire, sa dernière étude et sa dernière pensée.

(*) Voir l'Appendice ci-après.

APPENDICE.

L'aîné des fils de M. Poirée, Charles-Antoine, né à Paris le 20 juin 1815, et entré à l'École des ponts et chaussées en novembre 1834, avait été successivement attaché aux travaux des fortifications de Paris, au service de la navigation de la Seine et à celui de la restauration des ponts de Paris. Nommé ingénieur en chef en janvier 1854, et attaché au Conseil général des ponts et chaussées en qualité de secrétaire de la section de navigation, il avait obtenu, en 1857, l'autorisation d'entrer au service de la grande compagnie des chemins de fer Russes. C'est dans ce service lointain et dans l'exercice de ses fonctions comme directeur de l'exploitation qu'il avait contracté la maladie dont il mourut à Cannes, le 7 avril 1860. M. Charles Poirée avait obtenu à l'Exposition universelle de 1855 une médaille de première classe pour un système de déversoirs à niveau variable inventé par lui et qui fonctionne encore aujourd'hui dans Paris au barrage de la Monnaie.

Le second fils de M. Poirée, Georges-Jules, né le 30 juin 1817, à la Montjoie (Lot-et-Garonne), et entré à l'École des ponts et chaussées en novembre 1837, avait été attaché successivement aux départements de l'Orne et de Seine-et-Marne, lorsqu'il fut autorisé à entrer au service de la compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon, en avril 1846. Il exécuta, sous les ordres de M. Jullien, la plus grande partie des travaux de ce chemin situés dans les départements de Seine-et-Oise et de Seine-et-Marne. Au mois de septembre 1857, il entra au service de la compagnie de l'Ouest comme ingénieur en chef de la construction, et, en août 1859, il était nommé inspecteur général des travaux de construction sur toutes les lignes concédées à cette com-

pagnie. Enfin, en février 1860, il passait au service de la Société des chemins de fer romains avec le titre d'ingénieur en chef de ladite société. C'est dans cette position qu'après une longue et douloureuse maladie la mort vint le frapper, à Paris, le 16 mai 1866.

Paris, le 23 avril 1873.

N° 21

Sur les grandes crues survenues dans le bassin de la Loire pendant l'hiver 1872-1873.

NOTE

Par M. DEGLAUDE, ingénieur en chef des ponts et chaussées:

PRÉAMBULE.

L'observation régulière et méthodique des éléments qui participent à la formation des crues est un des progrès de notre temps.

Elle ne date guère, dans le bassin de la Loire, que de l'époque où l'on a créé des services pour étudier les divers moyens de remédier aux inondations.

Depuis cette époque, on y enregistre avec soin toutes les circonstances utiles de l'écoulement des crues.

On a de plus organisé un service d'avertissements en temps de crue, qui est un véritable bienfait pour le pays; car avant, on était presque toujours surpris par l'inondation: tandis que, aujourd'hui, les faits de la crue sont annoncés plusieurs jours à l'avance avec un degré suffisant d'exactitude.

C'est du mois de mars 1858 que date l'organisation de ce service.

D'abord, les prévisions de la hauteur que la crue atteindrait dans le fleuve à Orléans, Tours, Saumur et Nantes, n'ont reposé que sur 64 crues dont M. Comoy avait dégagé

les règles pratiques données dans un mémoire du 23 novembre 1857.

Mais aujourd'hui le nombre des crues observées s'élève 120, non compris les crues extraordinaires de 1846, 1856 et 1866.

Ces 120 crues sont classées dans trois tableaux analytiques, dont M. le ministre des travaux publics vient d'autoriser l'impression.

En sorte que l'on est maintenant en mesure d'annoncer, avec une quasi-certitude, pour tout le littoral de Briare à Nantes, la hauteur des crues qui se préparent dans les régions supérieures du bassin.

Il serait superflu d'insister ici sur les avantages qui résultent pour les riverains de savoir à l'avance les conditions dans lesquelles doit se produire une crue qui s'approche.

Indépendamment des grandes crues qui menacent l'existence des digues, il est encore très-utile d'être averti même à l'égard de celles qui doivent rester contenues dans le lit naturel.

Car les négociants peuvent alors opérer en temps utile le garage de leurs bateaux et le déplacement des marchandises exposées.

Car les cultivateurs ont le temps de sauver les récoltes des terres basses que la crue doit submerger.

Car ces avertissements des plus petites crues assurent surtout la conservation d'une quantité considérable de lins et chanvres, qui sont au rouissage dans le fleuve, ou qui sèchent sur les grèves.

Les courtes observations qui précèdent m'ont semblé nécessaires pour faire comprendre l'importance qu'a acquise, dans le service de la Loire, l'observation de tous les faits qui caractérisent les crues, dans leur formation et leur écoulement.

Les crues de l'hiver 1872-1873 ont présenté des circonstances particulières, que j'ai cru devoir signaler à M. le ministre des travaux publics par des rapports spéciaux, et que la commission des inondations a jugé utile de faire connaître.

C'est ce qui a motivé la rédaction de cette note, où la monographie des crues dont il s'agit est exposée plus sommairement, il n'est pas besoin de le dire, que dans les rapports précités.

Avant d'entrer en matière, il ne sera peut-être pas inutile de rappeler que la Loire, entre le bec d'Allier et le bec du Cher, c'est-à-dire sur une longueur de 300 kilomètres, ne reçoit que de petits cours d'eau sans aucune importance.

Mais entre le confluent du Cher et l'embouchure de la Maine, sur une longueur de 100 kilomètres, le fleuve reçoit quatre affluents, le Cher, l'Indre, la Vienne et la Maine.

Il résulte, de cette disposition générale du bassin, des conditions très-différentes pour les crues de la Loire, suivant qu'elles sont produites par les affluents supérieurs au bec d'Allier, ou par les affluents inférieurs au bec du Cher, ou par les deux groupes réunis des affluents supérieurs ou inférieurs.

Ainsi la crue extraordinaire de 1846, due exclusivement au groupe des affluents supérieurs, a été désastreuse en amont de Tours ; mais, parce que les affluents inférieurs n'ont pas donné, elle n'a fait aucun mal au-dessous de Tours.

Ainsi la crue de janvier 1843, la plus haute connue à Nantes avant celle de décembre 1872, est restée inaperçue en amont de Tours, parce qu'elle a été presque exclusivement produite par le groupe des affluents inférieurs.

Ainsi les crues d'inondation générale de 1856 et 1866 ont été causées par le concours des affluents supérieurs et inférieurs. Mais les affluents inférieurs (sauf le Cher en 1856) n'ont eu fort heureusement que des crues moyennes, qui

ont suffi toutefois pour maintenir jusqu'à Nantes la grande hauteur qu'avait la crue en amont de Tours.

Depuis le commencement de ce siècle, il n'existait qu'une seule grande crue du cours inférieur de la Loire, produite par les affluents débouchant en aval du bec du Cher.

On va voir que cette circonstance s'est représentée en décembre 1872.

MONOGRAPHIE DE LA CRUE DU 20 AU 28 OCTOBRE 1872.

La crue d'octobre 1872 a été produite par tous les affluents, à l'exception de la Maine qui n'a donné en moyenne que 0^m,09 de hauteur sur le barrage de Sablé, mais avec une prédominance marquée des affluents supérieurs.

On en jugera par le tableau suivant :

| NOMS des affluents. | LIEUX d'observation. | HAUTEUR du maximum. | HEURE DE MAXIMUM. |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | | mètres. | |
| Loire supérieure. . . | Digoin. | 5,18 | le 27 octobre, midi. |
| Allier. | Moulins. | 3,15 | 20 octobre, 10 heures du soir. |
| Cher. | Noyers. | 2,10 | 23 octobre, 5 heures du matin. |
| Indre. | Châteauroux. . . | 2,05 | 20 octobre, 8 heures du soir. |
| Vienne. | Châtelleraul. . . | 1,90 | 20 octobre, 3 heures du soir. |

D'après ce qui a été dit plus haut, on voit déjà que cette crue présente d'une manière affaiblie les caractères généraux, des crues extraordinaires de 1856 et 1866.

Heureusement, l'affaiblissement a été tel que la crue n'a, nulle part, menacé sérieusement de rompre les digues.

Mais ce qu'il y a surtout de bien remarquable dans cette crue d'octobre 1872, c'est sa complète similitude avec la crue de décembre 1825, ainsi que le montre le tableau suivant :

| INDICATION DES LOCALITÉS. | MAXIMUM DE LA CRUE. | |
|---------------------------|---------------------|----------------|
| | Octobre 1872. | Décembre 1825. |
| | mètres. | mètres. |
| Briare. | 5,01 | 5,43 |
| Gien. | 5,68 | 6,02 |
| Orléans. | 5,23 | 5,98 |
| Meung. | 4,75 | 5,13 |
| Blois. | 5,50 | 5,05 |
| Amboise. | 6,23 | 6,44 |
| Tours. | 5,67 | 6,20 |
| Saumur. | 5,22 | 5,55 |
| Nantes. | 4,65 | 4,94 |

La commission des inondations avait déjà signalé l'importance de la crue de 1825, qui s'est approchée très-près de la hauteur des levées sans les rompre nulle part.

La crue d'octobre 1872 est venue ajouter aux enseignements de celle de 1825 des indications très-utiles.

On ne connaît en effet de la crue de 1825 que quelques hauteurs en des points fort éloignés, tandis que le maximum de la crue de 1872 a été repéré à chaque borne kilométrique.

Ces documents rendront plus facile et plus sûr le bon établissement du seuil des déversoirs, dont le but est de prévenir le retour des inondations désastreuses causées par les brèches, en ouvrant un écoulement régulier dans les vals à l'excédant dangereux du débit des crues.

Les divers éléments qui constituent la forme de la crue d'octobre 1872 aux principales localités riveraines de la Loire, sont sommairement présentés dans le tableau ci-après :

| ÉLÉMENTS de la crue. | BRIARE. | GIEN. | ORLÈANS. | BLOIS. | AMBOISE. | TOURS. | SAURVA. | LES NOZIERS. | POITS-DE-CE. | MONTJAN. | NANTES. |
|---|---------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Distance en kilomètres à la station précédente..... | " | 12 | 72 | 61 | 34 | 24 | 65 | 16 | 26 | 29 | 61 |
| Date et heure de maximum..... | le 22 à 7 heures du soir. | le 22 à 8 heures du soir. | le 23 à 3 heures midi. | le 24 à 4 heures du matin. | le 24 à 5 heures du soir. | le 25 à 1 heure du matin. | le 26 à 2 heures minuit. | le 26 à 5 heures du matin. | le 26 à 2 heures midi. | le 27 à 6 heures du soir. | le 28 à 9 heures du soir. |
| Hauteur du maximum..... | 5 ^m ,01 | 5 ^m ,08 | 5 ^m ,23 | 5 ^m ,50 | 6 ^m ,23 | 5 ^m ,87 | 5 ^m ,22 | 5 ^m ,74 | 4 ^m ,60 | 4 ^m ,84 | 4 ^m ,65 |
| Debit par seconde pendant le maximum..... | 4,817 | 4,597 | 4,226 | 4,591 | 4,393 | 4,219 | 4,199 | 4,300 | 4,106 | 3,809 | " |
| Hauteur au début de la crue..... | 1 ^m ,14 | 1 ^m ,31 | 0 ^m ,86 | 0 ^m ,80 | 1 ^m ,56 | 0 ^m ,76 | 1 ^m ,30 | 1 ^m ,12 | 0 ^m ,83 | 0 ^m ,96 | 0 ^m ,75 |
| Nombre d'heures de la crue..... | 77 | 76 | 72 | 136 | 150 | 137 | 180 | 175 | 150 | 174 | 200 |
| Nombre d'heures de la décroissance..... | 109 | 108 | 110 | 141 | 133 | 152 | 210 | 245 | 300 | 276 | 374 |
| Hauteur à la fin de la décroissance..... | 2 ^m ,31 | 2 ^m ,77 | 1 ^m ,81 | 2 ^m ,95 | 3 ^m ,60 | 1 ^m ,80 | 2 ^m ,00 | 2 ^m ,24 | 1 ^m ,82 | 2 ^m ,22 | 1 ^m ,61 |
| Debit total de la crue en millions de mètres cubes..... | 1,647 | 1,616 | 1,466 | 1,544 | " | 1,699 | 3,293 | 3,334 | 3,219 | 3,888 | " |

Les débits ont été calculés au moyen des formules empiriques établies par M. Sainjon en 1857.

Les résultats concordent aussi exactement qu'on peut l'attendre de formules de cette nature.

Le débit maximum va sans cesse s'atténuant de Briare à Tours, comme cela arrive toujours quand une crue s'écoule sans recevoir d'affluents.

Les apports du Cher et de la Vienne n'ont pas empêché l'atténuation du débit maximum de continuer en aval de Tours, parce que le maximum des crues de ces rivières est arrivé à leur embouchure bien avant le maximum du fleuve lui-même. Les crues de ces affluents n'ont eu pour effet que d'allonger notablement la durée de la crue de la Loire.

Mais l'influence des crues du Cher et de la Vienne s'accuse nettement dans les chiffres du débit total de la crue.

Ce débit total passe brusquement de 1.689 millions à 3.225 millions de mètres cubes, entre Tours et Saumur.

On voit aussi, par les mêmes chiffres, le peu d'importance de la crue de la Maine; car, aux ponts de Cé, le débit total est de 3.279 millions, et l'apport de la Maine ne l'élève, à Montjean, qu'à 3.888 millions de mètres cubes.

La neutralité de la Maine dans cette crue d'octobre 1872 se manifeste d'ailleurs par la comparaison entre les débits du maximum aux ponts de Cé et à Montjean.

Dans le court trajet des ponts de Cé à Montjean, le débit a subi une très-forte atténuation de 297 mètres cubes, parce que, la Maine étant basse, la Loire s'est emmagasinée dans la vallée de cette rivière.

MONOGRAPHIE DE LA CRUE DU 20 NOVEMBRE AU 22 DÉCEMBRE 1872.

La crue de novembre à décembre 1872 appartient aux crues moyennes pour la partie du fleuve supérieure à Tours.

Mais, en aval de Tours, elle grandit démesurément à me-

sure qu'elle s'approche de Nantes, où elle dépasse les plus grandes hauteurs connues.

C'est ce que montre le tableau ci-après :

| | SAUMUR. | MONTJEAN. | NANTES. |
|---|---------|-----------|---------|
| | mètres. | mètres. | mètres. |
| Crue de janvier 1843. | 6,70 | 5,83 | 6,12 |
| Crue d'octobre 1846. | 6,01 | 5,88 | 4,77 |
| Crue de mai-juin 1856. | 7,00 | 6,26 | 5,91 |
| Crue de septembre-octobre 1866. | 6,88 | 6,09 | 5,58 |
| Crue de décembre 1872. | 5,75 | 6,20 | 6,45 |

La grande importance qu'a prise la crue dans la partie basse du fleuve provient donc principalement du groupe des affluents inférieurs, le Cher, l'Indre, la Vienne et la Maine.

La Maine surtout a exercé sur sa hauteur une influence tout à fait extraordinaire.

Nous avons cité plus haut, dans le préambule de cette note, la grande crue de 1843 comme ayant été principalement formée par les affluents situés en aval du bec du Cher.

La crue de novembre à décembre 1872 ressemble donc à celle de 1843 sous ce rapport.

Mais elle en diffère en ce que la crue de 1843 a été simple, c'est-à-dire n'a eu qu'un seul maximum; tandis que celle de novembre à décembre 1872 a eu plusieurs maximum, causés par plusieurs crues successives ou recrudescences des affluents.

Voici les hauteurs et dates des différents maximum de ces crues successives, si rapprochées les unes des autres qu'elles n'en forment véritablement qu'une seule, aussi bien dans les affluents inférieurs que dans les supérieurs.

LA HAUTE-LOIRE à Digoin.

- 1^{er} maximum de 2^m,34, le 22 novembre, à 3 heures du matin.
- 2^e Idem. de 2^m,70, le 25 novembre, à 7 heures du matin.
- 3^e Idem. de 3^m,32, le 2 décembre, à 9 heures du matin.
- 4^e Idem. de 3^m,70, le 4 décembre, à 8 heures du matin.

L'ALLIER à Moulins.

- 1^{er} maximum de 1^m,30, le 22 novembre, à 8 heures du matin.
- 2^e idem. de 1^m,54, le 25 novembre, à 8 heures du matin.
- 3^e idem. de 2^m,00, le 4 décembre, à 4 heures du soir.
- 4^e idem. de 1^m,86, le 8 décembre, à 5 heures du soir.

LE CHER à Noyers.

- 1^{er} maximum de 2^m,70, le 25 novembre, à 6 heures du matin.
- 2^e idem. de 2^m,64, le 28 novembre, à 9 heures du matin.
- 3^e idem. de 2^m,43, le 4 décembre, à 2 heures du soir.
- 4^e idem. de 2^m,97, le 11 décembre, à 5 heures du soir.

LA VIENNE à Châtelleraut.

- 1^{er} maximum de 2^m,50, le 21 novembre, à 6 heures du matin.
- 2^e idem. de 1^m,90, le 25 novembre, à 11 heures du matin.
- 3^e idem. de 3^m,20, le 1^{er} décembre, à 10 heures du matin.
- 4^e idem. de 3^m,60, le 8 décembre, à 6 heures du matin.
- 5^e idem. de 4^m,00, le 11 décembre, à minuit.

L'Indre cependant n'a grossi qu'une seule fois, mais fortement.

Le 8 décembre, à cinq heures du soir, elle s'est élevée à 1^m,96 à Châteauroux.

Quant à la Maine, dont l'influence est mesurée par la hauteur des crues de son affluent intermédiaire, la Sarthe, elle n'a pas cessé d'être très-forte du 20 novembre au 15 décembre, mais surtout à dater du 29 novembre.

Car la hauteur de la Sarthe au-dessus de la crête du barrage de Sablé s'est maintenue entre 1^m,36 et 1^m,51.

Ces recrudescences des affluents se sont, bien entendu, fait sentir dans le fleuve.

Elles y ont produit les résultats qui sont résumés dans le tableau suivant :

| | ORLÉANS. • | SAUMUR. | NANTES. |
|--|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Hauteur au début de la crue. | 0 ^m ,99 | 1 ^m ,92 | 2 ^m ,29 |
| Heure correspondante. | 20 nov., 4 heures du soir. | 14 novembre à midi. | 15 novembre. |
| 1 ^{er} Maximum. | 2 ^m ,85 | 8 ^m ,41 | 8 ^m ,85 |
| Heure correspondante. | 24 nov., 11 heures du matin. | 20 nov., 8 heures du matin. | 29 nov., 6 heures du matin. |
| 1 ^{er} Minimum. | 2 ^m ,38 | 4 ^m ,14 | Étale pendant la journée |
| Heure correspondante. | 26 nov., 3 heures du matin | 28 nov., 2 heures du matin. | du 29. |
| 2 ^e Maximum. | 2 ^m ,82 | 8 ^m ,29 | " |
| Heure correspondante. | 27 nov., 4 heures du soir. | 29 nov., 1 heure du soir. | " |
| 2 ^e Minimum. | 1 ^m ,61 | 4 ^m ,20 | " |
| Heure correspondante. | 1 ^{er} déc., 3 heures du matin. | 30 nov., 6 heures du soir. | 3 décembre, au soir. |
| 3 ^e Maximum. | " | 4 ^m ,33 | 5 ^m ,45 |
| Heure correspondante. | " | 2 déc., 10 heures du matin. | 5 ^m ,00 |
| 3 ^e Minimum. | " | 3 ^m ,86 | 6 décembre. |
| Heure correspondante. | " | 4 déc., 7 heures du matin. | " |
| 4 ^e Maximum. | 3 ^m ,15 | 5 ^m ,12 | " |
| Heure correspondante. | 7 déc., 1 heure du matin. | 9 déc., 11 heures du matin. | " |
| 4 ^e Minimum. | 2 ^m ,35 | 4 ^m ,97 | " |
| Heure correspondante. | 8 déc., 4 heures du soir. | 10 déc., 2 heures du soir. | " |
| 5 ^e Maximum. | 3 ^m ,28 | 5 ^m ,75 | 6 ^m ,45 |
| Heure correspondante. | 11 déc., 9 heures du matin. | 12 déc., 7 heures du soir. | 14 décembre, au soir. |
| Nombre de jours de la période totale de croissance jusqu'au dernier maximum. | 20 jours 8/10 | 28 jours 3/10 | 29 jours. |
| Nombre de jours de la décroissance. | 11 jours. | 17 jours 7/10 | 16 jours. |
| Hauteur à la fin de la crue. | 1 ^m ,25- | 2 ^m ,40 | 3 ^m ,05 |
| Heure correspondante. | 22 déc., 8 heures du matin. | 30 décembre, à midi. | 30 décembre. |

En comparant les documents de ce tableau avec ceux donnés plus haut sur les crues successives des affluents, on reconnaîtra facilement la nature et l'intensité de l'influence que ces diverses crues ont exercée sur l'état du fleuve.

Par exemple, c'est à l'intensité soutenue de la crue de la Maine que la Loire à Nantes a dû de ne pas éprouver de minimum correspondant aux 2° et 4° minimum de la Loire à Saumur.

Cette intervention énergique de la Maine a maintenu la croissance de la Loire à Nantes, du 1^{er} minimum au 3^e maximum et du 3^e minimum au 5^e maximum de la crue à Saumur.

Influence de la Maine sur les crues de Nantes. — L'influence de la Maine, que l'on n'avait pas encore eu l'occasion d'étudier, commence à être connue par les observations de 1872.

Il conviendra de continuer l'examen des crues de cet affluent, puisqu'elles constituent l'un des éléments les plus importants du calcul de la hauteur probable des crues à Nantes.

Les crues de l'hiver 1872-1873 ont déjà fourni à cet égard d'utiles documents.

Dans la crue d'octobre, la Maine n'a pas donné.

La hauteur de la crue, qui est de 5^m,22 à Saumur, n'est plus à Nantes que de 4^m,65.

Le rapport du maximum de Nantes à celui de Saumur s'abaisse à 0^m,89 = $\frac{5^m,22}{4^m,65}$.

Dans la crue de novembre à décembre, au contraire, la Maine a presque constamment été très-forte.

Le rapport des hauteurs de la crue à Nantes et à Saumur est devenu :

$$1,25 = \frac{5^m,45}{4^m,33} \text{ pour le 2}^\circ \text{ maximum de Nantes,}$$

$$\text{et } 1,12 = \frac{6^m,45}{5^m,76} \text{ pour le 3}^\circ \text{ maximum.}$$

Quelques documents antérieurs avaient donné pour les rapports des hauteurs de crue, à Nantes et à Saumur, des chiffres s'élevant jusqu'à 1,12 et 1,15.

Les faits de 1872 montrent que ce rapport peut s'élever jusqu'à 1,25.

Ils établissent, d'autre part, que la valeur de ce rapport ne dépend pas uniquement de l'état de la Maine, puisque cette rivière se trouvait à peu près dans le même état lors du 2^e et du 3^e maximum de Nantes, qui ont donné pour le rapport avec Saumur les chiffres 1,25 et 1,12 assez éloignés l'un de l'autre.

Il faut par conséquent que d'autres causes aient contribué à l'extrême élévation du 2^e maximum de Nantes.

La marée d'abord a ajouté son action à celles de la Maine et de la prolongation de la crue.

Car, au moment du 2^e maximum de Nantes, la hauteur de la pleine mer était de 5^m,30 à Saint-Nazaire et 2^m,10 à Nantes; tandis qu'au moment du 3^e maximum elle était de 4^m,90 seulement à Saint-Nazaire et 1^m,70 à Nantes.

En outre, à cette cause puissante il faut ajouter l'action de la tempête qui soufflait de l'ouest; puis enfin la grosseur extraordinaire des petits affluents inférieurs à la Maine, l'Erdre et la Sèvre-Nantaise notamment.

Tels sont, en résumé, les enseignements qui résultent des deux premières crues de l'hiver 1872-1873.

Le rapport de la hauteur de Nantes à celle de Saumur descend à 0,89 quand la Maine reste basse ou neutre.

Il peut s'élever à 1,10 par l'influence seule d'une crue de la Maine.

Et si l'action d'une forte marée et celle d'une violente tempête de l'ouest s'ajoutent à l'intervention de la Maine, il peut même atteindre 1,25.

Toutefois, dans la pratique, il n'est guère possible de tenir compte de l'action du vent qui est sans doute faible, ni de l'effet des petits affluents inférieurs dont l'état est or-

CRUES DU BASSIN DE LA LOIRE EN 1872-1873. 289

évidemment le même que celui de la Sarthe prise comme type de leur action combinée avec celle de la Maine.

Car les circonstances atmosphériques qui font gonfler la Sarthe y produisent des crues proportionnelles comme sur la Mayenne et le Loir.

CRUE DE FIN JANVIER 1873.

La crue de fin janvier 1873 provient exclusivement des affluents inférieurs.

La Haute-Loire et l'Allier n'y ont pris aucune part.

Elle présente la plus grande analogie avec celle du mois de novembre 1859, la seule d'ailleurs, depuis 1835, où la Loire soit restée basse à Orléans pendant qu'une forte crue se produisait en aval du bec du Cher.

Le tableau qui suit met en évidence cette similitude.

| | MAXIMUM DE LA CRUE. | |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|
| | Novembre 1859. | Janvier 1873. |
| | mètres. | mètres. |
| La Loire à Orléans. | 0,99 | 1,01 |
| Le Cher à Noyers. | 2,59 | 2,70 |
| La Vienne à Châtelleraut. | 5,30 | 5,00 |
| La Loire à Saumur. | 4,53 | 4,80 |
| La Sarthe à Sablé. | " | 3,42 |
| La Loire à Nantes. | 3,54 | 5,20 |

La seule différence notable que présentent ces deux crues singulières de 1859 et 1873 se trouve à Nantes.

Elle doit être le résultat de l'influence de la marée et surtout d'une plus grande intensité en 1873 de la crue de la Maine. Mais on n'a pas de renseignement sur la hauteur de la Sarthe en novembre 1859.

Je crois devoir terminer cette note par une remarque qui me paraît curieuse.

Dans le court espace de trois mois, de fin octobre 1872 à fin janvier 1873, on a vu se renouveler les trois mêmes phé-

nomènes météorologiques qui ont produit, à des époques éloignées, les trois crues singulières de décembre 1825, janvier 1843 et novembre 1859.

Cela paraît d'autant plus surprenant que les caractères particuliers de ces trois crues les distinguaient jusque-là de toutes les autres.

Mais la crue d'octobre 1872 a reproduit celle de décembre 1825.

La crue de décembre 1872 a reproduit celle de janvier 1843.

Et enfin la crue de janvier 1873 a renouvelé celle de novembre 1859.

Orléans, le 21 mai 1873.

N° 22

LES POMPES CENTRIFUGES SIMPLES ET ACCOUPLÉES.

ÉTUDE

Par M. ALFRED DURAND-CLAYE, ingénieur des ponts et chaussées.

INTRODUCTION.

Tout le monde connaît aujourd'hui les pompes centrifuges. On sait qu'elles se composent toutes d'un tambour fixe dans lequel se meuvent des ailettes. L'eau est amenée au centre de l'appareil par un tuyau d'aspiration ; elle est refoulée à la circonférence où elle s'échappe par un tuyau à peu près tangentiel (Pl. 9, fig. 1 et 2).

Les pompes centrifuges sont des appareils dont l'emploi courant sur les chantiers et dans les usines remonte à une époque relativement peu éloignée ; les spécimens qui figuraient à l'Exposition universelle de 1855 étaient considérés comme une nouveauté. On fut frappé dès cette époque des avantages spéciaux à cet engin : dimensions excessivement restreintes, facilité d'installation, absence de toute soupape et de tout clapet, ce qui, joint à la continuité du mouvement, permettait l'élévation des corps solides mêlés à l'eau, tels que sables, boues, etc... Mais en même temps, on lui reprocha un vice qui semblait inhérent au système : la vitesse de rotation des ailettes, excessivement grande, surtout dans les premiers appareils, semblait avoir pour conséquence forcée une vitesse absolue considérable de l'eau à la sortie des aubes ; or l'appareil refoulant l'eau, soit

dans un réservoir où le liquide est sensiblement immobile, soit dans une conduite où la vitesse est relativement modérée, la vitesse absolue en question dépassait notablement la valeur nécessaire et suffisante pour assurer le mouvement d'ascension régulier et permanent de l'eau. L'excès de vitesse ainsi créé se perdait forcément en remous et agitations inutiles, et constituait une perte de travail entraînant une réduction correspondante dans le rendement.

Malgré cette critique, les pompes centrifuges gardaient leur caractère d'extrême simplicité et de faible volume. Lorsqu'en 1867, la ville de Paris commença ses essais sur les eaux d'égout, lorsqu'il fallut élever un liquide rempli d'immondices, pailles, sables, débris végétaux ou débris animaux de toute sorte, on songea immédiatement à une pompe centrifuge pour effectuer l'élévation du cube enlevé journellement au collecteur de Clichy et destiné aux expériences. M. l'ingénieur en chef Mille fit installer une pompe du système Coignard; suivant la disposition habituelle de ces engins, la pompe refoulait les eaux par une conduite verticale de 0^m,15 dans un petit réservoir, d'où ces eaux se rendaient par des tuyaux de 0^m,22 de diamètre au lieu d'exploitation; la pompe avait un petit volume; le diamètre extérieur du tambour mobile était de 0^m,255; elle faisait 1.200 à 1.400 tours à la minute, marchant ainsi à grande vitesse; les aubes de la roue intérieure étaient courbes. En service normal, le débit était de 0^m,015 à 0^m,020 par seconde. Le service se fit dans de bonnes conditions, au moins au point de vue de la continuité de l'élévation des eaux; les corps étrangers de trop grandes dimension étaient arrêtés par une grille, placée à la prise d'eau; les menus détritits passaient assez facilement par les aubes.

En 1868, un système nouveau et beaucoup plus considérable remplaça ce système primitif. Sur la proposition et avec l'excellent concours de M. Farcot, nous adoptâmes

une disposition nouvelle : le cube à élever à la seconde était actuellement de $0^{\text{m}},150$; il fut fourni par deux groupes de pompes, commandés chacun par une machine à vapeur de 20 chevaux ; chaque groupe comprenait (*fig. 8*) deux pompes centrifuges identiques montées sur le même arbre, mais réunies par un conduit commun (système Périgault) ; comme on le voit par les *fig. 4, 5, 6, 10, 11*, ce conduit part de la circonférence extérieure de la première pompe et ramène l'eau sur l'axe de la deuxième ; c'est de la circonférence extérieure de cette deuxième pompe que part la conduite de refoulement. Celle-ci a, du reste, une direction quelconque ; elle n'est plus assujettie à être verticale. Elle se raccorde par un cône et une culotte en fonte avec une grosse conduite de refoulement de $0^{\text{m}},600$ de diamètre, laquelle conduit les eaux à une distance de 2.000 mètres. Les aubes sont planes sans aucune courbure (*fig. 16, 16 bis*). (Dans la *fig. 16*, la pompe A est représentée avec un arrachement destiné à montrer sa contexture intérieure.) Les dimensions de la pompe sont assez considérables ; le diamètre des ailettes est de $0^{\text{m}},440$. Le mouvement de rotation est assez lent : il varie suivant les cas de 420 à 500 tours à la minute.

Ainsi, suppression du réservoir situé verticalement au-dessus des pompes, refoulement direct dans une longue conduite, et surtout accouplement de deux pompes identiques sur un même arbre avec aubes de la forme la plus simple et vitesse réduite : telles étaient les conditions nouvelles du système élévatoire.

Le service se fit avec la régularité attendue : $0^{\text{m}},150$ purent être élevés couramment à la seconde ; le système donnait ainsi la preuve qu'il était capable de fournir à la journée $0,150 \times 86.400 = 14.960$ mètres cubes, quelque sales que fussent les eaux, à la seule condition qu'on éloignât par une grille à larges mailles les corps dont le diamètre était trop considérable pour permettre leur entrée

par l'œil central d'admission des pompes. Malgré le sable constamment suspendu dans les eaux, l'usure de l'appareil est tellement faible que les ailettes n'ont pas encore été remplacées après un service actif de vingt-deux mois.

Les résultats obtenus nous ont engagé, toujours d'accord avec le constructeur M. Farcot, à adopter en principe un appareil du même genre pour l'usine qui s'élève actuellement et qui est destinée à remplacer à son tour le système précédent. Cette fois encore, les dimensions et le cube à traiter ont considérablement augmenté; c'est un cube de 0^m,500 à la seconde, soit 43.200 mètres cubes par jour, qu'une seule pompe centrifuge accouplée devra élever; elle sera mue par une machine horizontale de 150 chevaux, dont le volant actionnera directement l'arbre des pompes. Le diamètre intérieur du tambour des pompes atteint 1^m,60 (fig. 7, 8, 9). Les ailettes conservent leur forme simplement rectiligne; l'admission de l'eau n'aura lieu que d'un seul côté de chaque tambour. La vitesse de rotation est encore réduite; elle ne sera plus que de 150 à 140 tours à la minute. Cinq autres appareils identiques seront érigés ultérieurement, et permettront avec une force totale de 900 chevaux d'enlever journellement à la Seine 260.000 mètres cubes d'eau sale, soit et au delà le cube fourni par le collecteur de Clichy.

Sans entrer dans de plus amples détails de construction, qui seraient déplacés ici et qui du reste ont été déterminés avec le plus grand soin par M. Joseph Farcot, nous allons essayer de faire comprendre comment les appareils dont nous venons de donner l'historique et la description sommaires peuvent donner un service satisfaisant, et justifient ainsi la préférence qui leur a été donnée par le service municipal de Paris.

Nous présenterons d'abord sommairement la théorie des pompes centrifuges ordinaires; nous indiquerons les procédés qui s'offrent au constructeur pour améliorer le ren-

dement de ces appareils, et nous démontrerons que l'accouplement des pompes, avec la réduction de la vitesse de rotation permet d'arriver en principe et en pratique à des rendements qui ont été longtemps refusés aux anciennes pompes centrifuges, simples et à grande vitesse.

Théorie sommaire des pompes centrifuges simples. — Considérons une pompe centrifuge simple, représenté en coupe (fig. 2) et en élévation latérale (fig. 1).

Désignons par H la différence de hauteur des plans d'eau au départ et à l'arrivée de la colonne ascensionnelle (*); par h la hauteur du centre de la pompe au-dessus du plan d'eau inférieur. Soient encore Q le débit à la seconde, r le rayon du tambour mobile, b son épaisseur, γ l'angle sous lequel le dernier élément des ailettes vient rencontrer la circonférence extérieure, W la vitesse relative de l'eau le long des aubes, u la vitesse de rotation à la circonférence du tambour mobile, V la vitesse absolue de l'eau quand elle quitte les ailettes.

Ceci posé, et supposant donné le débit Q à la seconde, ainsi que les dimensions diverses de la pompe, cherchons à déterminer la vitesse absolue V avec laquelle l'eau s'échappe dans la colonne ascensionnelle; c'est en effet cette vitesse qui résume définitivement le jeu de l'appareil et donne son service utile.

Or, en vertu du parallélogramme des vitesses, on a :

$$V^2 = u^2 + W^2 - 2uW \cos \gamma. \quad (1)$$

Il convient donc de déterminer u et W .

Quant à W , c'est la vitesse relative avec laquelle les molécules sortent des ailettes. Cette vitesse est la même tout

(*) Ces notations, ainsi que le principe de la démonstration, sont empruntées à l'*Hydraulique* de M. l'ingénieur en chef Bresse, édition de 1860, p. 446.

autour de la circonférence extérieure, $2\pi r$; les molécules, ainsi chassées dans l'espace annulaire qui existe entre le tambour fixe et le tambour mobile, acquièrent la pression nécessaire pour s'échapper par la seule voie qui leur est ouverte, la colonne ascensionnelle A. Toutes les molécules ayant à la circonférence de rayon r la même vitesse relative W , et coupant toutes cette circonférence suivant l'angle γ , l'épaisseur du tambour étant du reste b , on voit que le débit Q pour expression :

$$Q = 2\pi r b \cdot W \cdot \sin \gamma,$$

$$\text{d'où} \quad W = \frac{Q}{2\pi r b \sin \gamma} = \frac{Q}{m}, \quad (2)$$

en désignant par m le produit $2\pi r b \sin \gamma$, constant pour un même appareil, ce qui donne la valeur de W .

Pour trouver une expression de la vitesse de rotation ω à la circonférence extérieure des ailettes, on remarquera qu'on peut appliquer le théorème de Bernouilli au mouvement *relatif* de l'eau dans l'appareil à la condition d'ajouter un gain de charge fictif égal à l'accroissement de la hauteur due à la vitesse d'entraînement en passant d'un point à l'autre de la trajectoire relative.

Or, on sait que le théorème de Bernouilli peut s'énoncer :
 « La différence des hauteurs dues aux vitesses en deux points d'un même filet est égale à la différence d'altitude des sommets des colonnes piézométriques élevées en ces deux points. »

La hauteur due à la vitesse est, à la sortie des ailettes, $\frac{W^2}{2g}$. La hauteur due à la vitesse peut être considérée, à l'entrée des ailettes, comme sensiblement nulle, l'eau étant introduite perpendiculairement au sens du mouvement général et étant du reste animée d'une vitesse absolue d'as-

cension assez petite. Le premier membre du théorème de Bernouilli, appliqué du centre à la circonférence des ailettes, se réduit donc à $\frac{W^2}{2g}$.

Quant au second membre, on remarquera que les molécules liquides, lorsqu'elles traversent la pompe et se rendent du centre à la circonférence, parcourent dans un sens ou dans l'autre un espace très-petit par rapport à la hauteur totale d'ascension H ; autrement dit les dimensions de l'appareil seront considérées comme négligeables par rapport à cette hauteur; c'est une circonstance qui se rencontre toujours dans la pratique. Donc les différences de hauteur des colonnes piézométriques à l'entrée et à la sortie se réduisent à la différence des pressions :

$$\frac{p - p'}{P} \left\{ \begin{array}{l} p \text{ étant la pression à l'entrée} \\ p' \text{ étant la pression à la sortie} \end{array} \right\} \text{ des aubes.}$$

P le poids du mètre cubé d'eau.

Il ne reste plus qu'à tenir compte du mouvement relatif en introduisant le gain de charge fictif, indiqué ci-dessus. Or, au centre de l'appareil, point d'introduction de l'eau, la vitesse de rotation est nulle; à la circonférence extérieure, point de sortie, elle est u ; le gain de charge fictif se réduit donc à $\frac{u^2}{2g}$, et l'on a finalement :

$$\frac{W^2}{2g} = \frac{p - p'}{P} + \frac{u^2}{2g}. \quad (3)$$

Le terme relatif aux pressions peut se transformer en remarquant que la pression varie suivant la loi hydrostatique jusqu'à l'entrée et depuis la sortie des ailettes. On a donc, en désignant par p_0 la pression atmosphérique :

$$\begin{aligned} p &= p_a - Ph, \\ p' &= p_a + P(H - h), \\ \frac{p - p'}{P} &= -H, \end{aligned}$$

et enfin, en introduisant cette valeur dans l'équation (3)

$$u^2 = W^2 + 2gH. \quad (4)$$

La valeur de V , soit la vitesse absolue de l'eau à la sortie des ailettes, est donc, en fonction du débit et des dimensions du système :

$$\begin{aligned} V^2 &= u^2 + W^2 - 2uW \cos \gamma, \\ &= 2W^2 + 2gH - 2\sqrt{W^2 + 2gH} \cdot W \cos \gamma, \\ &= 2\frac{Q^2}{m^2} + 2gH - 2\sqrt{\frac{Q^2}{m^2} + 2gH} \cdot \frac{Q}{m} \cos \gamma. \quad (5) \end{aligned}$$

Sa grandeur et sa direction s'obtiendraient géométriquement en construisant la diagonale du parallélogramme ayant pour angle γ et pour côtés u et W .

Pour apprécier le *rendement* de l'appareil, nous remarquerons que l'eau sort des ailettes avec la vitesse V , que d'autre part la vitesse nécessaire pour assurer l'écoulement du volume Q dans la conduite ascensionnelle A , dont nous désignerons le rayon par R , est simplement $V' = \frac{Q}{\pi R^2}$. Nous

supposerons, négligeant les mouvements secondaires qui se produisent dans les pièces de raccord entre les ailettes et la conduite de refoulement, que les molécules passent brusquement de la vitesse V à la vitesse moindre V' . V étant supérieur à V' , l'excès $V_1 = V - V'$ constitue un surcroît de vitesse absolument inutile qui se perdra en remous et tourbillons et exigera de l'appareil moteur un surcroît de travail $PQ \frac{V_1^2}{2g}$, correspondant à une hauteur ascensionnelle

$H_1 = \frac{V_1^2}{2g}$. Or, le travail utile reste toujours celui qui consiste à élever le volume Q à la hauteur H , soit

$$PQH.$$

Le travail effectif, grevé maintenant de la hauteur additionnelle H , est

$$PQ(H + H_1).$$

Le rendement a donc pour expression :

$$R = \frac{H}{H + H_1}. \quad (6)$$

Il se rapproche évidemment d'autant plus de l'unité que H_1 et par suite V_1 sont plus petits, c'est-à-dire d'autant plus que la vitesse absolue V à la sortie des ailettes se rapproche de la vitesse de la colonne ascensionnelle V' , c'est-à-dire encore d'autant plus que V est plus petit, car V' est lui-même toujours assez faible.

Application. — Appliquons cette théorie sommaire aux deux types de pompes dont nous avons parlé dans le premier paragraphe.

Les ailettes étant rectilignes, on a dans les deux cas :

$$\gamma = 90^\circ \quad \cos \gamma = 0,$$

et les expressions des trois vitesses se réduisent par suite à :

$$W = \frac{Q}{m},$$

$$u^2 = \frac{Q^2}{m^2} + 2gH,$$

$$V^2 = 2 \frac{Q^2}{m^2} + 2gH.$$

Les données et les résultats des calculs figurent au tableau suivant :

| DÉSIGNATION des appareils. | DONNÉES. | | | | ÉLÉMENTS CALCULÉS. | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|
| | Diamètre des ailettes $\frac{D}{2}$ | Épaisseur du tambour b | Hauteur ascensionnelle H | Objet à la seconde Q | Vitesse relative W | Vitesse de rotation u | Vitesse absolue V | Vitesse ascensionnelle V_1 | Différence $V - V_1 = V_2$ | Hauteur perdue H_1 | Rendement η |
| Pompe n° 1. . | mèt. 0,440 | mèt. 0,125 | mèt. 15,00 | m. c. 0,075 | mèt. 0,433 | mèt. 17,154 | mèt. 17,165 | mèt. 0,265 | mèt. 16,900 | mèt. 14,557 | 0,507 |
| Pompe n° 2. . | 1,600 | 0,400 | 12,00 | 0,500 | 0,249 | 15,669 | 15,669 | 0,854 | 14,785 | 11,142 | 0,518 |

Comme on le voit, les rendements théoriques dans les deux cas ne dépassent guère 50 p. 100 ; et encore le calcul ne tient pas compte du frottement de l'eau contre les parois fixes ou mobiles de l'appareil, ni des pertes accessoires dues au frottement des axes, aux variations de section, etc... La hauteur perdue H_1 , due à la vitesse V de sortie de l'eau, est en effet presque égale à la hauteur utile elle-même H , et la vitesse inutile V_1 est presque la totalité de la vitesse absolue d'échappement V .

Remarquons accessoirement la faible influence de la valeur de la vitesse relative W au point de vue du rendement.

Les valeurs de la vitesse de rotation u et de la vitesse absolue V sont presque égales, ce qui, dans le parallélogramme des vitesses, assure à V une direction presque tangentielle; cette circonstance est favorable au mouvement ascensionnel de l'eau, forcée par la forme du tambour fixe à suivre la circonférence pour trouver le tuyau d'échappement, lequel est lui-même à peu près tangentiel à cette circonférence.

La valeur élevée de la vitesse de rotation u donne un assez grand nombre de tours à la minute surtout pour la pompe n° 1. Le nombre de tours à la minute N s'obtient en

effet par la formule $N = \frac{60 u}{2\pi r}$ et correspond aux valeurs suivantes :

$$\text{Pompe n° 1 } N = 745,$$

$$\text{Pompe n° 2 } N = 190.$$

Il y a une réduction notable dans la pompe n° 2.

Elle tient au grand diamètre des ailettes, puisque les valeurs de u étaient assez voisines dans les deux cas. Cette circonstance ne peut qu'être favorable dans la pratique. Les pertes de travail accessoires, lesquelles n'entrent pas dans les calculs du rendement propre aux pompes, telles que le frottement de l'arbre de couche des pompes sur les tourillons, et diverses résistances passives des machines, croissent proportionnellement à la première ou à la seconde puissance de la vitesse des organes, mesurée par le nombre de tours. Si donc ce nombre diminue, tout en ne rendant pas plus défectueux le rendement propre des pompes, il y aura bénéfice au point de vue de l'effet utile produit par l'ensemble du moteur et de l'appareil élévatoire.

Procédés pour améliorer le rendement des pompes centrifuges. — Quels procédés pratiques s'offrent pour améliorer le rendement des appareils examinés, et pour l'élever au-dessus des valeurs voisines de 50 p. 100 trouvées ci-dessus ?

Le but à atteindre est, comme le confirment les deux exemples précités, la réduction de la valeur absolue de la vitesse V avec laquelle l'eau s'échappe des ailettes pour pénétrer dans la colonne ascensionnelle où le mouvement régulier se fait avec la faible vitesse V' .

Or, reprenant le cas général à ailettes de forme quelconque, on se souvient que V , résultante, est la diagonale du parallélogramme formé avec W et u , et ayant un angle aigu égal à γ , c'est-à-dire à l'angle formé par le dernier élément des ailettes avec la circonférence extérieure (fig. 12, ABCD).

On peut pour un appareil donné, dont on laisserait le diamètre et l'épaisseur invariables, chercher à réduire V :

1° En diminuant l'angle γ , c'est-à-dire en aplatissant le parallélogramme (fig. 12, AB'C'D'');

2° En diminuant la valeur absolue des composantes, et spécialement de la composante de rotation u dont l'influence est prépondérante (fig. 12, AB'C'D'').

Influence de l'inclinaison des ailettes vers la circonférence extérieure. — La forte inclinaison des ailettes vers la circonférence extérieure correspond au premier procédé; elle a été souvent employée. Son influence est cependant moins prépondérante qu'on ne le supposerait à première vue, si l'on se contente de faire varier ce seul élément.

Reprenons en effet la valeur de W en fonction de Q (formule 2), nous avons :

$$W \cdot 2\pi r b \cdot \sin \gamma = Q.$$

Supposons que γ devienne une variable, les autres éléments, débit, hauteur, dimensions, restant les mêmes; autrement dit, cherchons à améliorer l'appareil en disposant librement de γ .

La relation entre W et Q peut, en désignant par K la constante $2\pi r b$, se mettre sous la forme :

$$W = \frac{Q}{K \sin \gamma}, \quad (7)$$

et par suite

$$u^2 = W^2 + 2gH = \frac{Q^2}{K^2 \sin^2 \gamma} + 2gH \quad (8)$$

et

$$V^2 = u^2 + W^2 - 2uW \cos \gamma = 2 \frac{Q^2}{K^2 \sin^2 \gamma} + 2gH - \left. \begin{aligned} & - 2 \sqrt{\frac{Q^2}{K^2 \sin^2 \gamma} + 2gH} \frac{Q}{K \sin \gamma} \cos \gamma. \end{aligned} \right\} (9)$$

Appliquons ces formules à la pompe n° 1, en donnant successivement à γ les valeurs :

- $\gamma = 90^\circ$. Cas des ailettes droites.
- $\gamma = 30^\circ$,
- $\gamma = 15^\circ$.

Les divers éléments calculés sont contenus dans le tableau suivant, où les notations sont les mêmes que précédemment :

| VALEUR de γ | Sin γ | Cos γ | W | u | V | V_1 | H_1 | R | OBSERVATIONS. |
|--------------------|--------------|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--|
| 90° | 1,000 | 0,000 | 0,433 | 17,154 | 17,165 | 16,903 | 14,557 | 0,507 | Dans les trois cas les données restent les mêmes, savoir : $2r = 0,440$ $b = 0,125$ $H = 15,000$ $Q = 0,075$ $V' = 0,263$ |
| 30° | 0,500 | 0,866 | 0,866 | 17,175 | 16,432 | 16,167 | 13,322 | 0,529 | |
| 15° | 0,259 | 0,966 | 1,672 | 17,235 | 15,626 | 15,361 | 12,027 | 0,555 | |

Comme on le voit, en faisant varier γ seul, on améliore médiocrement le rendement, puisqu'en descendant de 90 à 15° , le rendement monte seulement de $0,507$ à $0,555$. L'inspection des formules (7) (8) (9) rend compte de ce résultat.

On voit en effet qu'en vertu de la formule (7), le débit restant constant, W varie forcément en sens inverse de sin γ ou de γ . La vitesse relative W augmente donc quand γ diminue. La vitesse de rotation u suit la même marche, et finalement l'influence de cos γ et de sin γ sur le terme soustractif de la valeur de V^2 est partiellement balancée par le terme positif $2 \frac{Q^2}{K^2 \sin^2 \gamma}$. A la limite même, et au cas irréalisable de $\gamma = 0$, la vitesse tend vers une valeur finie qui est précisément $\frac{Q}{K}$. On peut s'en assurer facilement en considérant les constructions géométriques néces-

fuges, montées toutes sur le même arbre et communiquant l'une avec l'autre à l'aide d'une série de conduites; ces conduites partent tangentiellement d'une pompe pour arriver au centre de la pompe suivante. (Voy. fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Conservons les notations employés précédemment, et suivons la même marche.

A la sortie de la dernière pompe, l'eau sort toujours avec une vitesse absolue V , résultante des vitesses relatives W et de rotation u , et l'on a toujours (fig. 3) :

$$V^2 = u^2 + W^2 - 2uW \cdot \cos \gamma. \quad (1)$$

De même le débit et la vitesse relative W sont toujours liés par l'équation :

$$\begin{aligned} Q &= 2\pi r b W \cdot \sin \gamma. \\ \text{D'où} \quad W &= \frac{Q}{2\pi r b \sin \gamma} = \frac{Q}{m} \end{aligned} \quad (2)$$

Quant à la troisième relation donnée précédemment par l'équation (3) :

$$\frac{W^2}{2g} = \frac{p - p'}{P} + \frac{u^2}{2g}.$$

et résultant de l'application du théorème de Bernoulli au mouvement relatif de l'eau dans l'intérieur d'une pompe simple, nous l'appliquerons successivement aux divers appareils, et nous aurons, en donnant les indices correspondants aux numéros des pompes :

$$\left. \begin{aligned} \frac{W_1^2}{2g} &= \frac{p_1 - p'_1}{P} + \frac{u_1^2}{2g}, \\ \frac{W_2^2}{2g} &= \frac{p_2 - p'_2}{P} + \frac{u_2^2}{2g}, \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{W_{n-1}^2}{2g} &= \frac{p_{n-1} - p'_{n-1}}{P} + \frac{u_{n-1}^2}{2g}, \\ \frac{W_n^2}{2g} &= \frac{p_n - p'_n}{P} + \frac{u_n^2}{2g}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Or, tous les appareils étant identiques et montés sur un même arbre, et le même cube Q traversant en une seconde chacun d'eux, on a :

$W_1 = W_2 = W_3 = \dots = W_n$ ou simplement $= W$ en supprimant les indices.

De même $u_1 = u_2 = u_3 = \dots = u_n = u$.

Quant aux pressions, on a :

$p_1 = p_2 - Ph$ comme dans le cas d'une pompe simple.

On a également à l'autre extrémité du système :

$$p'_n = p_n + P(H - h).$$

Entre l'entrée de l'eau avec la pression p_1 , et sa sortie avec la pression p'_n , on a en passant d'une pompe à l'autre, égalité entre la pression à la sortie d'une pompe, et la pression à l'entrée dans l'autre. D'où

$$\begin{aligned} p'_1 &= p_2, \\ p'_2 &= p_3, \\ &\dots \dots \dots \\ p'_3 &= p_4, \\ p'_{n-1} &= p_n. \end{aligned}$$

Par suite, en ajoutant les n équations (g) membre à membre et supprimant les termes qui se détruisent, on a :

$$n \frac{W^2}{2g} = \frac{p_1 - p'_n}{P} + n \frac{u^2}{2g} = -H + n \frac{u^2}{2g},$$

ou
$$u^2 = W^2 + \frac{2gH}{n}. \tag{10}$$

La valeur de V , soit la vitesse absolue de l'eau à la sortie des ailettes, est donc en fonction du débit et des dimensions du système :

$$\begin{aligned}
 V^2 &= u^2 + W^2 - 2uW \cos \gamma, \\
 &= 2W^2 + \frac{2gH}{n} - 2\sqrt{W^2 + \frac{2gH}{n}} \cdot W \cdot \cos \gamma, \\
 &= 2\frac{Q^2}{m^2} + \frac{2gH}{n} - 2\sqrt{\frac{Q^2}{m^2} + \frac{2gH}{n}} \cdot \frac{Q}{m} \cdot \cos \gamma. \quad (11)
 \end{aligned}$$

Le rendement s'obtiendrait comme précédemment en calculant l'excès V_1 de V sur la vitesse ascensionnelle V .

On déduirait la hauteur correspondante $H_1 = \frac{V_1^2}{2g}$, et le rendement serait :

$$R = \frac{H}{H + H_1}.$$

H_1 est toujours d'autant plus petit que V_1 , et par suite V est plus réduite.

Pour comparer le système des pompes multiples au système des pompes simples, il suffit donc de rapprocher les deux équations (5) et (11) ou plus simplement les équations (4) et (10). On a en effet :

$$\text{Pompe simple } u^2 = W^2 + 2gH, \quad (4)$$

$$\text{Pompe multiple } u^2 = W^2 + \frac{2gH}{n}. \quad (10)$$

La valeur de u^2 ne diffère dans les deux équations que par la réduction dans l'équation (10) du deuxième terme devenu $\frac{2gH}{n}$ au lieu de $2gH$, c'est-à-dire réduite en proportion inverse du nombre des pompes accouplées.

Donc il y a réduction de la valeur de u , soit de la vitesse de rotation. En même temps, la vitesse relative W conserve la même valeur $W = \frac{Q}{m}$ dans les deux cas.

Le parallélogramme des vitesses, dans lequel l'angle γ reste constant, tandis que la composante u diminue, sans

que l'autre composante W soit altérée (*fig. 4*), donne donc dans le cas des pompes accouplées une résultante plus petite. De là une amélioration du rendement.

La comparaison analytique des deux équations (5) et (11) conduirait, mais moins simplement, à la même conclusion.

A côté de l'amélioration théorique, mise en évidence par les équations elles-mêmes, le système des pompes accouplées présente un avantage pratique important dû à la réduction de la valeur de u , c'est-à-dire de la vitesse de rotation. Nous avons vu en effet u^2 passer de la valeur

$W^2 + 2gH$ à la valeur $W^2 + \frac{2gH}{n}$. Cette réduction de vi-

tesse, correspondant à une diminution de tours faits à la minute par les pompes et par l'arbre des machines, entraîne une diminution des pertes accessoires, que nous avons déjà signalées plus haut, et qui n'entrent pas dans les équations, telles que le frottement des arbres sur les tourillons, lequel est proportionnel à la pression et à la vitesse. Seulement, il convient de remarquer qu'on ne peut prendre n , c'est-à-dire le nombre des appareils accouplés bien grand; car on retrouverait par la multiplicité des pertes accessoires, inhérentes forcément à chaque pompe, une partie du désavantage évité par le fait même de l'accouplement. Les formules indiquent du reste que, sous cette réserve, on pourrait conserver une valeur constante à V , et par suite au rendement théorique en faisant croître n proportionnellement à H .

Application. — Appliquons la théorie précédente aux deux types des pompes déjà examinées plus haut. Supposons que l'on accouple deux pompes identiques, les dispositions de chacune d'elles restant exactement les mêmes que dans le cas de pompes simples. On aura dans ce cas :

$$n = 2,$$

et les expressions de la vitesse absolue finale V et de ses deux composantes deviennent par suite :

$$W = \frac{Q}{m},$$

$$u^2 = \frac{Q^2}{m^2} + \frac{2gH}{2} = \frac{Q^2}{m^2} + gH,$$

$$V^2 = 2 \frac{Q^2}{m^2} + gH.$$

Les données et les résultats des calculs figurent dans le tableau suivant, où se trouvent rapprochés les deux cas d'une pompe simple et des pompes multiples.

| DÉSIGNATION des appareils. | DONNÉES. | | | | ÉLÉMENTS CALCULÉS. | | | | | | |
|--|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|
| | Diamètre des ailettes a | Épaisseur du tambour b | Hauteur ascensionnelle H | Debit à la seconde Q | Vitesse relative W | Vitesse de rotation n | Vitesse absolue V | Vitesse ascensionnelle V_1 | Différence $V_1 - V_2 - V$ | Hauteur perdue H_1 | Rendement η |
| Pompe n° 1 { simple. . . accouplée. } | 0,440 | 0,125 | 15,000 | 0,075 | 0,433 | 17,154 | 17,165 | 0,265 | 16,900 | 14,551 | 4,349 |
| | | | | | 0,433 | 12,138 | 12,145 | 0,265 | 11,880 | 7,192 | 4,688 |
| Pompe n° 2 { simple. . . accouplée. } | 1,600 | 0,400 | 12,000 | 0,500 | 0,249 | 15,664 | 15,669 | 0,884 | 14,785 | 11,142 | 3,643 |
| | | | | | 0,249 | 11,080 | 11,082 | 0,884 | 10,198 | 5,301 | 4,781 |

Ce tableau met clairement en évidence l'amélioration produite dans le rendement par l'accouplement des pompes.

Les hauteurs perdues diminuent de plus de moitié, et les rendements s'élèvent des environs de 50 p. 100 à 68 et 75 p. 100. Les vitesses de rotation sont en même temps réduites dans une forte proportion et les nombres de tours à la minute deviennent :

$$\begin{aligned} \text{Pompe n° 1} & \left\{ \begin{array}{l} \text{simple. . . } 745 \\ \text{accouplée. } 527 \end{array} \right. \\ \text{Pompe n° 2} & \left\{ \begin{array}{l} \text{simple. . . } 190 \\ \text{accouplée. } 152 \end{array} \right. \end{aligned}$$

Ainsi, tout en maintenant aux ailettes la forme la plus simple, tout en leur permettant d'élever ainsi les eaux les plus chargées, tout en portant le débit des pompes centrifuges à 500 litres à la seconde et la hauteur d'élévation totale à 12 et 15 mètres avec refoulement dans des conduites de 2 kilomètres de développement, le rendement théorique de ces appareils peut atteindre et dépasser 70 p. 100, grâce à l'ingénieux accouplement des pompes dû à MM. Périgault et Farcot.

Expériences. — Un certain nombre d'expériences exécutées sur les pompes accouplées n° 1, de 0^m,44 de diamètre aux ailettes, en service à Clichy depuis trois ans, ont donné des résultats pratiques suffisamment rapprochés des résultats théoriques. Elles ont été faites en faisant varier le débit et la hauteur ascensionnelle à l'aide d'une valve placée à l'extrémité de la conduite de refoulement (fig. 17). Cette valve, formant un étranglement variable avec son inclinaison, produisait sur toute la colonne ascensionnelle une surcharge. Des manomètres, placés sur la conduite de refoulement et sur celle d'aspiration au voisinage des pompes, permettaient de constater les hauteurs totales, pertes de charge comprises. Le cube était obtenu en constatant à l'aide d'un compteur à secondes le temps employé pour remplir le réservoir maçonné où débouchaient les eaux refoulées et dont la capacité était de 150 mètres cubes. Le travail fourni sur l'arbre des machines était constaté à l'aide du frein de Prony et pouvait varier dans les limites voulues en modifiant l'introduction de la vapeur dans le cylindre.

Les résultats théoriques et pratiques sont résumés au tableau suivant :

| Numéros des expériences. | DONNÉES. | | RÉSULTATS CALCULÉS. | | | | | | RÉSULTATS expérimentaux. | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------|
| | Hauteur totale d'élevation H | Débit Q | Vitesse relative W | Vitesse de rotation ω | Vitesse absolue V | Vitesse ascensionnelle V | Différence $V_1 = \sqrt{V^2 - V^2}$ | Hauteur perdue H ₁ | Rendement théorique R | Travail moteur dépendé $\frac{W}{V} \cdot H$ | Travail utile fourni par la pompe $\frac{Q}{V} \cdot U$ | Rendement pratique |
| 1 | 13,61 | 0,100 | 0,636 | 11,571 | 11,589 | 0,353 | 11,296 | 6,435 | 0,679 | chev. | chev. | 0,60 |
| 2 | 14,26 | 0,083 | 0,480 | 11,836 | 11,846 | 0,294 | 11,552 | 6,802 | 0,677 | 60,0 | 31,4 | 0,60 |
| 3 | 15,00 | 0,082 | 0,474 | 12,139 | 12,149 | 0,290 | 11,859 | 7,168 | 0,677 | 51,8 | 32,7 | 0,61 |
| 4 | 15,50 | 0,077 | 0,445 | 12,238 | 12,346 | 0,272 | 13,074 | 7,432 | 0,676 | 49,3 | 31,8 | 0,64 |
| 5 | 16,66 | 0,070 | 0,405 | 12,763 | 12,798 | 0,248 | 12,544 | 8,025 | 0,675 | 45,8 | 31,3 | 0,67 |
| 6 | 16,80 | 0,066 | 0,381 | 12,866 | 12,871 | 0,233 | 12,638 | 8,141 | 0,674 | 44,5 | 29,9 | 0,64 |
| Moyennes. | 15,31 | 0,080 | 0,470 | 12,239 | 12,266 | 0,282 | 11,984 | 7,334 | 0,676 | 51,2 | 32,1 | 0,63 |

Les conditions moyennes des six expériences concordent sensiblement avec celles que nous avons examinées dans l'application théorique présentée plus haut. Le rendement pratique est de 63 p. 100 au lieu de 67, 6 p. 100 indiqué par la théorie. L'écart de 4 à 5 p. 100 représente les pertes accessoires, négligées dans les calculs.

Dans le service courant, les conditions ont été un peu modifiées; la hauteur d'élevation s'est trouvée réduite à 8 mètres bruts environ, soit avec les pertes de charge à 10 et 12 mètres. Dans ces conditions, le rendement pratique a été un peu moins satisfaisant ainsi qu'il résulte des chiffres suivants, dont la première série correspond au résumé du service pratique pour l'année 1872 et la seconde au résumé d'expériences faites à l'automne de 1869.

| Numéros des expériences. | DONNÉES. | | RÉSULTATS CALCULÉS. | | | | | | RÉSULTATS expérimentaux. | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------|
| | Hauteur totale d'élevation H | Débit Q | Vitesse relative W | Vitesse de rotation ω | Vitesse absolue V | Vitesse ascensionnelle V | Différence $V_1 = \sqrt{V^2 - V^2}$ | Hauteur perdue H ₁ | Rendement théorique R | Travail moteur dépendé $\frac{W}{V} \cdot H$ | Travail utile fourni par la pompe $\frac{Q}{V} \cdot U$ | Rendement pratique |
| 1 | 10,79 | 0,077 | 0,445 | 10,297 | 10,307 | 0,272 | 10,035 | 5,133 | 0,678 | 40,40 | 22,16 | 0,55 |
| 2 | 11,60 | 0,070 | 0,405 | 10,674 | 10,681 | 0,248 | 10,483 | 5,548 | 0,676 | 40,40 | 21,60 | 0,51 |

Il semble donc, d'après ce dernier tableau et d'après la dernière colonne du précédent, que malgré la constance théorique du rendement, celui-ci peut être altéré en pratique quand on change les conditions expérimentales du service, qu'en particulier il convient d'observer une certaine relation entre la hauteur d'élévation et le débit, et que la pratique n'est pas satisfaite aussi bien que la théorie lorsqu'on se contente de maintenir le travail à peu près constant, en faisant arbitrairement varier les deux éléments de ce travail, la hauteur ascensionnelle et le débit. Des études ultérieures sur les nouveaux types en cours d'exécution pourront donner des indications plus complètes sur ce point.

Il convient en outre de remarquer que certaines dispositions de détail semblent avoir une influence marquée sur le rendement, sans que les formules théoriques permettent de soupçonner cette influence. C'est ainsi que M. Farcot, après des essais faits avec soin à son usine, compte trouver un avantage marqué dans la réduction à une seule tubulure et à un seul œillard des conduites d'introduction de l'eau dans les pompes. Cette modification existe dans le type représenté aux fig. 7, 8, 9.

Ajoutons enfin que dans le cas spécial des eaux d'égout, le service est influencé par la composition même de ces eaux, plus ou moins chargées de détritits solides, suivant les jours et même suivant les heures d'une même journée. C'est ainsi que nous avons pu voir le même jour le rendement varier de 50 à 58 p. 100 dans l'espace compris entre six heures du matin et quatre heures du soir.

Sous ces réserves, et en faisant marcher les pompes accouplées dans les conditions prévues et étudiées par le constructeur, on voit que le rendement de 60 p. 100 est parfaitement pratique.

Résumé. — En résumé, les pompes centrifuges sont des appareils d'une extrême simplicité, de petit volume, à mar-

che continue, convenables tout spécialement par l'absence de clapets pour l'élévation des eaux chargées de matières solides. Leur rendement peut s'améliorer d'une manière notable en accouplant deux pompes identiques sur un même arbre et réduisant ainsi la vitesse de rotation ; nous l'avons vu atteindre théoriquement 75 p. 100, avec une hauteur d'élévation de 12 mètres. La pratique a donné dans l'usine actuelle de Clichy des rendements de 55 à 63 p. 100 pour des appareils auxquels la théorie assignait un peu moins de 68 p. 100. Les pompes à piston ne dépassent guère pour une élévation de 12 mètres des rendements de 65 à 70 p. 100 et n'atteignent 80 p. 100 que pour les fortes hauteurs, alors que la perte de charge due aux clapets devient proportionnellement faible par rapport à des hauteurs d'élévation de 50 ou 60 mètres. L'écart entre les deux systèmes de pompes tend donc à se rapprocher. C'est un fait digne de l'attention des ingénieurs et des industriels qui peuvent être exposés, comme nous l'avons été nous-même, à renoncer d'une manière absolue par crainte d'engorgement et d'usure aux anciens types, pour s'attacher aux appareils rotatifs à grandes sections et à larges ouvertures.

Paris, le 1^{er} mars 1873.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

CHRONIQUE,

Avril 1875.

N° 23

SUR LES CONDITIONS QU'ON A DÛ CHERCHER A RÉALISER DANS LE CHOIX
DE SOURCES DESTINÉES A L'ALIMENTATION DE LA VILLE DE PARIS.

NOTE

Par M. BELGRAND, inspecteur général des ponts et chaussées (*).

« Avant de proposer à l'administration municipale de Paris un choix de sources pour alimenter la ville, j'ai dû résoudre deux problèmes, dont je vais parler à l'Académie.

« I. — *Dans quelles proportions le bicarbonate de chaux peut-il, à la température ordinaire, rester à l'état de dissolution stable, dans une eau courante, ou dans le réseau des conduites de distribution d'une ville?*

« On sait que les eaux, trop chargées de bicarbonate de chaux, forment des incrustations calcaires dans les conduites.

(*) Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, tome LXXVI, séance du 21 avril 1873.

« Pour faire comprendre l'importance de cette question, je mets sous les yeux de l'Académie, des fragments de tuyaux qui ont servi pendant longtemps à la distribution des eaux de Paris. Les deux premiers proviennent, l'un d'une conduite de 8 pouces de diamètre, posée dans la rue de la Verrerie avant 1790, l'autre, de 3 pouces de diamètre, d'une conduite de la petite distribution, également très-ancienne. Elles étaient toutes deux alimentées en eau de Seine; or ni l'un ni l'autre ne présente trace d'incrustation calcaires; on y remarque simplement un léger dépôt limoneux qui adhère aux parois. J'ai constaté le même fait dans les nombreuses conduites d'eau de Seine que j'ai fait relever. Donc le bicarbonate de chaux est à l'état de dissolution stable dans l'eau de la Seine à Paris.

« Deux autres fragments de tuyaux proviennent de la distribution d'eau d'Arcueil. Le premier appartenait à la conduite maîtresse de 8 pouces, qui part du réservoir de l'Observatoire et qui a été posée en 1845, l'autre à une conduite de 5 pouces de diamètre, qui dessert le Val-de-Grâce. Toutes deux sont revêtues d'une croûte de carbonate de chaux, qui atteint 0^m,01 environ, dans la grosse conduite, et qui obstrue presque complètement la petite.

« Les conduites d'eau d'Ourcq, posées quelques années avant, sont dans le même état. L'épaisseur de l'incrustation est d'environ 0^m,01 dans les conduites maîtresses. Les conduites de la petite distribution sont souvent presque obstruées.

« Donc les eaux d'Ourcq et d'Arcueil sont incrustantes.

« Le développement de la canalisation des eaux de Paris est aujourd'hui, en nombre rond, de 1408 kilomètres, et, dans ce nombre, les petites conduites, de 4 pouces et au-dessous de diamètre, comptent pour 938 kilomètres. L'eau de l'Ourcq, qui est incrustante, circule dans la moitié au moins de ce réseau. On comprend donc combien la situation est grave; si l'on n'y portait remède, la partie la plus populeuse de la ville se trouverait tôt ou tard privée d'eau, par l'obstruction du réseau de la petite canalisation de l'eau de l'Ourcq.

« Ces études ont été commencées en 1854; on ne connaissait pas alors la solution du problème énoncé en tête

de cette note. On peut s'en assurer en consultant deux ouvrages publiés vers cette époque, l'un par M. Dupuit, ancien directeur du service municipal (*), l'autre par M. Ch. Sainte-Claire Deville (**). Je résolus donc de chercher moi-même cette solution.

« Voici la méthode que j'ai suivie : il est évident qu'une rivière, alimentée par des sources incrustantes, doit ramener elle-même au point de stabilité, la dissolution de bicarbonate de chaux que renferment ses eaux. Je choisis deux années très-sèches, 1857 et 1858, et je déterminai le titre hydrotimétrique de 75 échantillons d'eau de la Seine et de ses grands affluents. J'étais certain que tous ces cours d'eau étaient alimentés uniquement par des sources, puisqu'il n'avait pas plu depuis longtemps. Je m'assurai ainsi que, dans les terrains dont les sources sont très-chargées de carbonate de chaux, les rivières abaissent leur titre hydrotimétrique à une limite très-voisine de 19 degrés. Je citerai, comme exemples, les essais faits sur la Seine et sur l'Yonne.

* SEINE. — *Traversée des terrains oolithiques, Bourgogne et Champagne* (titre hydrotimétrique moyen des sources, 25°, 27).

« La Seine était à sec, dans la traversée de la grande oolithe, en amont de Châtillon; elle renaissait dans la grande source de la Douix, en aval de cette ville, et sa portée croissait, à chaque source et à chaque confluent, jusqu'à Bar-sur-Seine. Entre Bar-sur-Seine et Troyes, l'augmentation du débit était insignifiante. Le titre hydrotimétrique s'abaissait, de Châtillon à Bar-sur-Seine, et restait constant de Bar-sur-Seine à Troyes, sur près de 40 kilomètres.

| | Titre hydrotim. |
|---|--------------------|
| Eau de la Douix à Châtillon | 25°, 50 |
| — de la Seine au pont de l'Abbaye, à moins de 1 kilomètre de la Douix (27 août 1858). | 21, 52 |
| — de la Seine à l'aval du moulin de Bar-sur-Seine (15 octobre 1857). | 18, 60 |
| — de la Seine à Troyes (4 octobre 1857). | 18, 60 |

(*) *Traité de la conduite des eaux*, 1854.

(**) *Annuaire des eaux de France*, 1851.

« *Traversée de la craie blanche, Champagne. Seine* (titre hydrotimétrique moyen des sources, 14°,08).

« Ce titre étant moins grand que celui de la Seine à Troyes, la quantité de bicarbonate de chaux, en dissolution dans l'eau du fleuve, doit diminuer dans la traversée de la craie, et c'est ce qui a lieu en effet.

« Titre hydrotimétrique de l'eau de la Seine à Nogent, à l'aval du confluent de l'Aube (15 octobre 1857). 17°,50

« Des résultats analogues ont été obtenus sur l'Aube et sur la Marne.

« Titre hydrotimétrique de l'Aube à Arcis (7 octobre 1857). 17°,80

« Titre hydrotimétrique de la Marne à Épernay, sortie de la Champagne sèche (22 juillet 1858). 16°,32

« *YONNE.* — J'ai constaté qu'à la sortie du Morvan, l'eau de l'Yonne et de son affluent, la Cure, ne renfermait pour ainsi dire pas de sels terreux.

« Titre hydrotimétrique de l'eau de { le 7 octobre 1857, 1°,10
l'Yonne. { le 22 juillet 1858, 1°,50

« Titre hydrotimétrique de l'eau de { le 8 octobre 1857, 1°,50
la Cure au pont des Saints-Pères. . . . { le 23 juillet 1858, 2°,10

« Dans la traversée des terrains oolithiques et de la craie, l'Yonne reçoit des sources énormes et d'assez nombreux affluents; elle se charge donc de sels terreux.

« Titre hydrotimétrique de l'Yonne { le 6 octobre 1857, 14°,81
à Sens, à l'aval de la Vanne. { le 29 juillet 1858, 15°,15

« La portée de l'Yonne étant plus grande, en temps d'étiage, que celle de la Seine, le titre hydrotimétrique de l'eau du fleuve doit s'abaisser à l'aval du confluent des deux rivières, et c'est ce qui a lieu en effet.

« Titre hydrotimétrique de l'eau de { le 15 octobre 1857, 15°,83
la Seine à Port-à-l'Anglais (carbonates { le 29 juillet 1858, 15°,83
terreux seulement). }

« A Paris, le titre correspondant au carbonate de chaux a varié de 16°,13 à 17°,77.

« L'Oise et les autres affluents, jusqu'à Rouen, ne modifient pas sensiblement le titre hydrotimétrique de l'eau du fleuve.

« Ce titre, de Paris à Rouen, s'est trouvé compris entre 16°,50 et 17°,13.

« Il résulte de ces observations que les cours d'eau, alimentés par des sources trop chargées de carbonate de chaux, abaissent naturellement leur titre hydrotimétrique à 18°,60, et que ce titre, ainsi abaissé, reste stable sur des parcours de 30 à 40 kilomètres.

« J'ai fait une très-longue et très-intéressante vérification de cette loi. Pendant treize ans, j'ai relevé, jour par jour, le titre hydrométrique de l'eau du fleuve, depuis le 1^{er} janvier 1855, au pont Royal, et depuis le 1^{er} janvier 1862, à Port-à-l'Anglais. Il est évident que les crues, produites par l'Yonne et les autres affluents du Morvan, doivent amener une plus grande quantité d'eau pure et, par conséquent, abaisser le titre hydrotimétrique du fleuve à Paris. Au contraire, les longues crues de sources des terrains oolithiques doivent augmenter la proportion des sels terreux et, par conséquent, relever le titre hydrotimétrique. Cette double loi se vérifie toujours à Port-à-l'Anglais.

« J'ai rapporté, jour par jour, la courbe hydrotimétrique de l'eau de la Seine à Port-à-l'Anglais, depuis le 1^{er} janvier 1862 jusqu'au 1^{er} août 1869. Lorsqu'une crue de l'Yonne, qui dure à peine trois ou quatre jours, passe à Port-à-l'Anglais, le titre hydrotimétrique s'abaisse vers 16 degrés, et quelquefois au-dessous. Lorsque, après la crue de l'Yonne, arrive cette longue crue des sources des calcaires oolithiques de la Bourgogne, qui durent des mois entiers, le titre se relève et monte jusqu'à 19°,60, et quelquefois plus haut.

« Je citerai, comme exemple, la grande crue d'été de septembre 1866. Vers le 15 juillet, les sources éphémères des terrains oolithiques commencèrent à se gonfler; les rivières débordèrent et les prairies restèrent couvertes d'eau, depuis le 15 juillet jusqu'à la fin d'avril 1867. C'est la plus longue crue de sources constatée depuis quinze ans. L'Yonne et ses affluents éprouvèrent leur plus grande crue connue, du 23 au 27 septembre; dès la fin d'août, la courbe hydrotimétrique s'éleva au titre-limite et s'y soutint jusqu'à la fin de février. Seulement chaque crue de l'Yonne produisit une dépression dans la courbe. La grande crue de septembre commença à se faire sentir à Paris le 24, atteignit son maximum le 29, et redescendit rapidement les jours suivants. Le titre hydrotimétrique, tenu très-haut par la crue des sources, se déprima

rapidement le 24, et tomba au-dessous de 16 degrés les 25, 26, 27 et 28 septembre, puis remonta progressivement jusqu'à 20°, 21, lors la crue torrentielle fut passée. C'est ce qu'on constate dans le tableau suivant :

Titres hydrotimétriques de l'eau de la Seine à Port-à-l'Anglais, en amont de Paris, pendant le passage d'une grande crue. (Les nombres correspondant au passage de la crue sont en chiffres gras.)

| | degré. | | degré. |
|---------------------------------------|--------------|-------------------------|--------|
| 22 septembre 1866. . . . | 18,80 | 3 octobre 1866. | 19,55 |
| 23 — | 18,80 | 4 — | 18,09 |
| 24 — | 16,73 | 5 — | 18,55 |
| 25 — | 15,98 | 6 — | 18,55 |
| 26 — | 15,98 | 7 — | 20,21 |
| 27 — | 15,98 | 8 — | 19,74 |
| 28 — | 15,98 | 9 — | 19,74 |
| 29 — | 16,21 | 10 — | 19,74 |
| 30 — | 16,21 | 11 — | 19,97 |
| 1 ^{er} octobre 1866. | 18,55 | 12 — | 20,21 |
| 2 — | 19,03 | | |

« Je viens de dire que les crues des rivières de la Bourgogne duraient, presque tous les ans, pendant des mois entiers, et qu'alors le titre hydrotimétrique de l'eau de la Seine, correspondant au bicarbonate de chaux, atteignait la limite de 18°,60. Si donc ce titre était trop élevé, l'eau de Seine serait incrustante tous les ans pendant quelques mois, et les conduites, posées depuis longtemps, seraient tapissées de dépôts calcaires; or c'est ce qui n'a pas lieu. Donc on peut distribuer, sans crainte, une eau dont le titre hydrotimétrique ne dépasse pas 18°,60.

« Les choses se passent, dans les conduites de distribution, à peu près comme dans les rivières. Lorsque leur titre hydrotimétrique dépasse 18°,60, les eaux sont incrustantes.

« J'ai déterminé tous les lundis, pendant un an, le titre hydrotimétrique des eaux du canal de l'Ourcq et d'Arcueil, qui sont, non pas très-incrustantes, comme on le croit généralement, mais près de la limite où les eaux cessent de l'être : ce sont des eaux-limites. Ce travail a été détruit par l'incendie de mon cabinet. Si ma mémoire

est bonne, le titre hydrotimétrique, correspondant au bicarbonate de chaux en dissolution dans l'eau de l'Ourcq, puisée à l'aqueduc de ceinture, est environ 24°.

• Pour l'eau d'Arcueil, j'ai conservé les résultats suivants :

| | | Titre hydrotimétrique correspondant aux carbonates terreux. |
|---------------------------------|---|---|
| Puisages du Δ juin 1858. . . | } | A la source de Rungis. 21°,69 |
| | } | A l'aval de la chute du pont- aqueduc. 21°,41 |
| | } | Au réservoir de l'Observatoire. 20°,13 |

Ce dernier nombre concorde d'une manière remarquable avec le titre hydrotimétrique déduit d'une analyse de l'eau d'Arcueil, puisée à la fontaine Saint-Michel. Ce titre est 20°,25. L'analyse est de notre collègue M. H. Sainte-Claire Deville.

« Entre la source et la chute du pont-aqueduc d'Arcueil, sur une longueur de 7168 mètres, il ne se forme, pour ainsi dire, aucun dépôt sur les parois de l'aqueduc. C'est une chute de 60 centimètres, qui se trouve en tête du pont-aqueduc, qui détermine le départ de l'acide carbonique et le dépôt du carbonate de chaux. L'eau devient immédiatement très-incrustante, et les dépôts, sous la chute même, sont considérables. De là jusqu'au regard de l'Observatoire, sur une longueur de 5797 mètres, le pouvoir incrustant de l'eau va en diminuant et devient très-faible à l'extrémité de l'aqueduc. »

« J'ai détruit complètement cette propriété de l'eau d'Arcueil par le moyen suivant : j'ai porté à 1 mètre, la hauteur de la chute du pont-aqueduc. J'ai placé au-dessous de cette chute un récipient hémisphérique en tôle, tout criblé de petits trous. L'eau, débitée par l'aqueduc, passait par ce récipient et tombait en pluie dans le petit bassin construit sous la chute. Des brins de bouleau restèrent immergés pendant quatre mois dans chaque regard. Sous la chute, après ce délai, pour me servir d'une expression vulgaire, ils étaient complètement pétrifiés. Aux regards suivants, l'épaisseur des dépôts décroissait rapidement, et en amont des fortifications, à 4.531 mètres de la chute, les brins de bouleau n'étaient même pas blanchis : l'eau n'était donc plus incrustante.

« Les eaux d'une distribution dont le titre hydrotimétrique atteint ou dépasse 20 degrés sont incrustantes. Ainsi le titre de l'eau de la source du Rosoir, distribuée à Dijon, est 22 degrés. L'eau est incrustante, et, d'après les renseignements qui m'ont été donnés par M. Bazin, en vingt ans, les dépôts, dans les conduites, atteignent une épaisseur de 2 à 3 millimètres. Les dépôts sont beaucoup plus épais aux points où le régime se modifie d'une manière quelconque, par exemple à la rencontre des robinets d'arrêt. Au jet d'eau du parc, l'épaisseur des incrustations, dans la conduite de fuite, s'augmente de 0^m,01 par an.

« Le titre-limite 18°,60, que j'ai obtenu en 1857 et 1858, ne paraît donc ni trop haut ni trop bas. Toute eau, dont le titre dépasse ce nombre, est incrustante; toute eau, dont le titre est égal ou plus petit, n'est pas incrustante et peut être distribuée sans danger.

« Dans les analyses, les dosages sont exprimés en carbonate de chaux ou simplement en chaux. Le titre-limite 18°,60 correspond à 0^{gr},1916 de carbonate de chaux ou au poids de bicarbonate de chaux correspondant à 0^{gr},1060 de chaux par litre d'eau. Telles sont les limites dans lesquelles on doit se renfermer. Il est évident que le sulfate de chaux, le chlorure de calcium et autres sels de chaux solubles, n'augmentent pas le pouvoir incrustant de l'eau.

« Les éléments de ce travail ont été publiés en 1858 dans un mémoire du préfet de la Seine qui a été détruit par l'incendie : on peut donc les considérer aujourd'hui comme inédits.

« Longtemps après, M. Schlœsing a présenté à l'Académie les résultats d'expériences sur les quantités de bicarbonate de chaux dissoutes dans l'eau, pour différentes pressions d'acide carbonique (*Comptes rendus* du 24 juin 1872, p. 1552, et du 8 juillet 1872, p. 70). Ce travail, beaucoup plus complet et ingénieux que le mien, ne conduit cependant pas au but pratique que je voulais atteindre.

M. Lemoine, mon collaborateur, a bien voulu calculer la quantité de bicarbonate de chaux qui, d'après les expériences de M. Schlœsing, se dissoudrait dans l'eau sous la pression de l'acide carbonique répandu dans l'atmosphère.

« Cette quantité correspondrait à 0^m,06 de carbonate de chaux par litre. D'après cela, non-seulement l'eau de Seine, mais encore l'eau des puits artésiens de Grenelle et de Passy seraient inscrustantes, ce qui n'a pas lieu.

« II. — *Pente minimum à donner à un aqueduc.*

« Ce problème n'était pas moins important que le premier. En effet, les sources, parmi lesquelles on peut faire un choix, sont toutes situées au fond des vallées les plus profondes, qui sillonnent les plaines très-peu élevées, qui constituent la plus grande partie du bassin de la Seine; on n'a donc pas de pente à perdre.

« Suivant moi, la pente minimum d'un aqueduc est celle qui donne à l'eau une vitesse suffisante pour qu'il ne se forme aucun dépôt vaseux dans la cunette.

« Cette vitesse est connue. D'après Dubuat, les matières vaseuses ne se déposent pas dans une eau animée d'une vitesse moyenne de 0^m,15. Comme il faut se tenir un peu au-dessus de la limite, j'ai supposé que, dans l'aqueduc, la vitesse moyenne serait de 0^m,25 au moins, ce qui, pour les types admis, correspond à une pente d'environ 0^m,10 par kilomètre.

« Il est à remarquer que cette pente, quoique bien faible, n'a pas augmenté les frais de construction, au moins pour ce qui concerne l'aqueduc de la Dhuis; c'est ce que je vais démontrer.

« A l'époque où j'ai été attaché au service des eaux et des égouts de Paris, on admettait que le vide du plus petit type d'égout ou d'aqueduc praticable devait avoir 1^m,75 de hauteur sous clef, 0^m,70 de largeur aux naissances de la voûte et 0^m,50 de largeur au radier.

La forme adoptée résistait mal à la poussée des terres : on donna donc d'assez grandes épaisseurs aux maçonneries.

Le cube des maçonneries était de 2^m,55
Celui du vide, de 1^m,92

Le cube du plein était donc à peu près deux fois et demie plus grand que celui du vide.

« Quelques années avant, un des ingénieurs du service municipal, M. Mille, obtint l'autorisation de faire l'essai d'un type d'égout ovoïde beaucoup mieux disposé pour résister à la poussée des terres. Cet égout avait 2 mètres de hauteur sous clef et 1^m,30 de largeur aux naissances des voûtes. L'épaisseur des parois était beaucoup plus mince que dans les types admis. La construction fut faite dans la rue Saint-Antoine, sur une longueur de 100 mètres, et le succès fut complet. Les chefs du service résistèrent longtemps à cette innovation, à l'exception du directeur, M. Dupuit, qui acceptait pleinement des types d'égouts dérivés de celui de M. Mille, lorsqu'il quitta le service municipal.

« C'est d'après des types analogues, que l'on a construit 400 kilomètres d'égout depuis mon entrée au service municipal. J'ai été conduit, par les mêmes raisons, à proposer un type ovoïde d'aqueduc, pour dériver les sources de la Dhuis et du Surlémin; seulement l'œuf est posé sur son gros bout. La section transversale est formée d'un demi-cercle de 1^m,40 de diamètre intérieur, surmonté d'une demi-ellipse, dont le petit axe a la même longueur de 1^m,40 et le demi-grand axe 1^m,05. L'épaisseur des maçonneries est uniformément de 0^m,20. La section utile, c'est-à-dire celle du vide, est égale à 1^m,92, presque deux fois plus grande que celle du plein ou des maçonneries, qui ne dépasse pas 1^m,10. En somme, l'aqueduc a 1^m,75 de hauteur sous clef et 1^m,40 de largeur à la naissance des voûtes. C'est, suivant moi, la plus petite section que l'on puisse donner à un aqueduc, d'une très-grande longueur, qui doit traverser de mauvais terrains. L'aqueduc de la Dhuis est construit, sur près du tiers de sa longueur, dans les marnes vertes de Montmartre, c'est-à-dire dans un des plus mauvais terrains connus.

« Avec cette section, les réparations courantes et les visites générales se font très-facilement. Ainsi, après la guerre, on a trouvé l'aqueduc plein de terre sur un grand nombre de points; on y constatait aussi de nombreuses petites avaries intérieures. Le nettoyage général et les réparations ont été exécutées en très-peu de

« On a vu, ce qui n'aurait pas été possible si sa section n'avait pas permis aux ouvriers de parcourir l'aqueduc en se tenant debout.

« Avec la pente minimum de $0^{\text{m}},10$ par kilomètre, l'aqueduc étant entièrement rempli d'eau, on trouve, par la formule de Prony, que la vitesse d'écoulement est de $0^{\text{m}},29$ par seconde. Les limons ne se déposent donc pas dans la cunette. Le débit correspondant est de 557 litres par seconde; or, le volume à débiter n'est que de 465 litres par seconde. L'aqueduc se remplit donc d'autant moins que, l'enduit étant lisse, nous profitons de l'augmentation de vitesse qui, d'après les expériences de Darcy et de Bazin, doit se produire en pareil cas; c'est ce que nous avons constaté en effet. Ainsi, pour le cas spécial de la Dhuis, on n'augmente pas la dépense en adoptant la pente minimum de $0^{\text{m}},10$ par kilomètre, parce que la section minimum d'aqueduc suffit encore pour porter le volume d'eau à dériver.

« Nous franchissons les vallées avec des conduites forcées métalliques, auxquelles on a donné improprement le nom de *siphons*. Pour la dérivation de la Dhuis, ces conduites se composent d'un tuyau de 1 mètre de diamètre ayant $0^{\text{m}},60$ de charge par kilomètre.

« J'ai été conduit par mes études à ce résultat pratique. Un long aqueduc, dans les terrains qui entourent Paris, se compose, pour les $\frac{2}{3}$, de conduite en maçonnerie, à pente régulière de $0^{\text{m}},10$ par kilomètre, et pour $\frac{1}{3}$ de conduites forcées métalliques, ayant $0^{\text{m}},60$ de charge par kilomètre. D'après cela, la pente totale d'un aqueduc de 100 kilomètres de longueur est de 15 mètres.

« On a construit deux aqueducs : l'un, destiné aux quartiers hauts de la rive droite, débouche dans le réservoir de Ménilmontant, à l'altitude de 10 mètres; l'autre, destiné à l'alimentation du reste de la ville, versera ses eaux dans le réservoir de Montrouge, à l'altitude de 80 mètres.

« D'après les données qui précèdent, l'eau des sources choisies devrait contenir, au plus, en dissolution, une quantité de bicarbonate de chaux correspondant à $0^{\text{m}},1060$ de chaux; l'altitude des sources devrait être au moins égale à l'altitude du trop-plein de l'un des deux réservoirs, aug-

mentée des $\frac{18}{100000}$ de la longueur de l'aqueduc. Je ferai connaître dans une prochaine Communication quelles sont les sources choisies, quelles sont celles qui satisfont à cette double condition, et comment, pour celles qui n'y satisfont pas complètement, on est parvenu à atténuer convenablement les inconvénients signalés ci-dessus. »

N° 24

DIMENSIONS DES PRINCIPAUX PAQUEBOTS DE L'OcéAN ATLANTIQUE.

A l'occasion du naufrage de l'*Atlantic*, qui a péri sur la côte de la Nouvelle-Écosse au commencement d'Avril, le *Scientific American* cite les dimensions comparatives des principaux paquebots qui naviguent présentement sur l'Océan Atlantique. Nous empruntons à cet article les renseignements qui suivent :

| NOM des paquebots. | LIGNE à laquelle ils appartiennent. | LONGUEUR. | LARGEUR au mètre-bau. | RAPPORT de la longueur à la largeur. |
|------------------------------|--|-----------|-----------------------------|--|
| | | mètres. | mètres. | |
| Le Baltimore. | Ligne de N. G. Lloyd. . . | 56,42 | 8,85 | 6,38 |
| Le Péruvien. | Ligne Allan. | 82,35 | 11,59 | 7,11 |
| Le Moravien. | Ligne Allan. | 88,45 | 11,90 | 7,44 |
| Le Leipzig. | Ligne de Lloyd. | 88,45 | 11,90 | 7,44 |
| Le Minnesota. | Ligne Williams et Gwin. . . | 101,26 | 12,81 | 7,90 |
| Le Rhin. | Ligne de Lloyd. | 101,26 | 12,20 | 8,30 |
| La Westphalie. | Ligne de Hambourg. | 103,70 | 12,20 | 8,50 |
| La Pensylvanie. | C ^e de l'Amérique du Sud. . . | 104,61 | 13,11 | 7,91 |
| La Russie. | Ligne Cunard. | 109,19 | 14,64 | 8,33 |
| La Queen. | Ligne Nationale. | 109,19 | 12,50 | 8,73 |
| La Ville-du-Havre. | Ligne Française. | 129,01 | 14,95 | 8,63 |
| La Cité-de-Montréal. | Ligne Inman. | 132,06 | 13,42 | 9,84 |
| L'Atlantic. | Ligne de White Star. | 132,67 | 12,50 | 10,61 |

CHEMINS DE FER DE ROUMÉLIE (PONT SUR LA MARITZA).

La *Turquie* publie d'intéressants détails sur les travaux des chemins de fer de Roumélie. Elle parle des travaux nécessités par la traversée du plus grand fleuve de la Turquie d'Europe, de la Maritza.

Au point où la ligne de Constantinople à Andrinople traverse ce fleuve, les eaux sont divisées en deux cours séparés par une île de sable; dans les basses eaux d'été la largeur du grand bras est d'environ 125 mètres et celle du petit bras de 25 à 30 mètres à peine; mais pendant les grandes crues, les eaux, inondant toute la vallée, occupent une largeur d'environ 2 kilomètres, ce qui a conduit à faire sur toute cette étendue des travaux d'art importants, et dont le coût s'élève à 100.000 livres turques environ.

Ces ouvrages se composent de grands remblais revêtus de perrés en maçonnerie, destinés à les protéger contre l'action des eaux pendant les inondations ; d'un grand pont en fer de 400 mètres de longueur, et de deux ponts de décharge en bois, situés de chaque côté du pont et présentant ensemble un débouché de 200 mètres.

Le pont en fer, qui est certainement l'ouvrage le plus important de la ligne, mérite toute l'attention des personnes compétentes, par suite de sa construction toute spéciale.

En effet, le pont est construit sur piles métalliques composées chacune de six pieux en fer enfoncés, suivant la nature du terrain, à des profondeurs variables qui atteignent jusqu'à 16 mètres, et qui sont recepés au niveau de l'étiage. Ces pieux sont rendus solidaires entre eux par des carcasses en fer et tôle qui se trouvent sous le niveau des basses eaux.

Sur ces pieux sont boulonnés de fortes colonnes en fonte réunies entre elles par des croix et entretoises en fers spéciaux qui font de l'ensemble un tout parfaitement rigide.

Chacune de ces piles est défendue par un avant-bec qui la garantit contre le choc des corps flottants abandonnés au courant.

On peut, du reste, parfaitement se rendre compte de la solidité de ces piles, si l'on observe que leur stabilité s'est montrée parfaite, même lorsque, pendant le lanage, le tablier métallique avait 25 mètres de porte-à-faux.

Il y a quinze piles semblables, espacées les unes des autres de 25 mètres.

Le tablier métallique, long de 400 mètres, est formé de quatre tabliers de 100 mètres chaque, et dont les poutres principales ont environ 2 mètres de hauteur.

Sur les brides supérieures des tabliers viennent reposer des traverses en bois sur lesquelles sont fixés les rails, ainsi que le plateau du pont ; un garde-corps en fer limite les côtés du plancher.

LES TRAMWAYS A CONSTANTINOPLÉ.

Le rapport des directeurs de la compagnie des tramways de Constantinople pour l'année 1872 établit qu'à cette époque il y avait un parcours de 16.000 mètres desservi par les tramways et un autre de 5.000 mètres desservi par les omnibus, soit 13 milles en tout. Cette exploitation employait soixante-quatre voitures. Le nombre des voyageurs s'est élevé pour l'année à 5.036.042, qui ont payé 6.545.597 piastres, soit plus d'une piastre pour chacun et pour l'année. Le nombre actuel de voyageurs varie de 125 à 130 000 par semaine, et ce nombre peut s'élever, dans la belle saison, à 180 ou 200.000.

(Journal officiel.)

LE SERVICE DES CHEMINS DE FER DANS L'ARMÉE BAVAROISE.

Depuis le 1^{er} février, il existe en Bavière une *compagnie de chemins de fer* qui servira de noyau aux formations ultérieures, et qui doit pouvoir détruire, réparer, exploiter les lignes existantes, en bâtir, en exploiter de nouvelles, rétablir et assurer les communications télégraphiques, etc. Son effectif pour 1873 a été fixé à un capitaine de 1^{re} classe commandant de compagnie, 2 lieutenants, 1 sous-lieutenants, 1 payeur, 1 sergent-major, 5 sergents, 14 sous-officiers, 12 *gefreite*, 92 soldats, y compris 3 clairons et 3 comptables. La compagnie compte 36 ouvriers de chemins de fer, 10 sergents et constructeurs de machines, 4 forgerons, 20 charpentiers, 8 maçons, 8 mineurs, 2 tailleurs de pierre, 2 puisatiers, 6 quincaillers, 4 ébénistes en bois et charrons. Cette compagnie, comme le bataillon de pionniers, relève de l'inspection des pionniers, de l'inspecteur du génie et des forteresses, et du commandement en chef du 1^{er} corps d'armée. Elle se recrute parmi les ouvriers de professions que nous venons d'indiquer, incorporés dans l'infanterie et les pionniers. Elle ne peut recevoir au plus que 14 volontaires d'un an. L'armement, l'équipement et l'uniforme de la compagnie sont jusqu'ici en tout semblables à ceux des Prussiens. Elle est stationnée à Ingolstadt. Le premier travail qu'on va lui confier sera la construction d'une ligne qui ira de Lechfeld à Schwabmünchen. Depuis longtemps on voulait relier les établissements militaires de

Lechfeld (polygones d'artillerie et d'infanterie, camp baraqué) avec le réseau des voies ferrées bavaroises, et l'on avait voulu d'abord intercaler la nouvelle ligne près de Landsberg. Aujourd'hui on paraît décidé à établir la jonction seulement à Schwabmünchen, au sud d'Augsbourg. La compagnie sera, de plus, chargée, paraît-il, de l'exploitation de la ligne nouvelle. Une commission, composée d'officiers d'état-major et d'artillerie, a fait récemment une série d'expériences d'embarquement et de débarquement de batteries et de voitures du train et autres. On voulait arriver à un système qui permit de gagner du temps et d'économiser des wagons. Ces expériences semblent avoir réussi. On croit que, lors d'une mobilisation, on sera parvenu à diminuer de deux le nombre de trains nécessaires au transport d'une division. Ces expériences vont, du reste, être renouvelées et faites par tous les commandants de batterie de l'armée bavaroise.

(Bulletin de la réunion des officiers.)

LE TUNNEL DU SAINT-GOTHARD.

Le conseil fédéral vient de publier son deuxième rapport trimestriel sur la marche de l'entreprise du Saint-Gothard. On sait que ce rapport est adressé aux gouvernements qui ont participé à la subvention. Nous résumerons les renseignements contenus dans ce document officiel, en nous arrêtant de préférence à ceux qui nous paraîtront de nature à intéresser nos lecteurs.

Un mot d'abord de la question financière. On se rappelle que la date du 20 novembre 1873 avait été fixée pour la prise par le consortium de la deuxième série des obligations 5 pour 100. Or, tous les membres allemands et quelques membres suisses du syndicat ont fait usage du droit qu'ils s'étaient réservé d'anticiper cette prise d'obligations. Ils ont donc versé jusqu'à la fin de mars, sur cette somme totale de 18 millions, 11.117.647¹/₀₇, sous déduction d'un escompte de 20 p. 100.

En conséquence, le total du capital de construction mis par le syndicat international à la disposition de la direction, s'élève aujourd'hui à 36.717.648¹/₀₇, somme qui comprend, outre le versement indiqué ci-dessus, les 13.500.000 francs représentant les 40 pour 100 du capital-actions et 12 millions pour la première série d'obligations.

L'émission de la seconde série a été fixée au 1^{er} janvier 1873.

Pendant ce trimestre, il a été procédé à la division en sections pour les travaux de construction : cinq pour les travaux d'art et de terrassement (Goeschenen, Airolo, Bellinzzone, Locarno et Lugano); deux pour la construction des bâtiments (Bellinzzone et Lugano). En outre, il a été établi pour la durée des études préparatoires une section à Lucerne pour fixer l'emplacement de la gare, et deux autres sections sans siège fixe, l'une pour l'accès nord, l'autre pour l'accès sud du tunnel du Gothard.

Le personnel pour le service technique comprenait 108 individus au 31 mars dernier.

En ce qui concerne le second nivellement de précision, le rapport mentionne le fait que, pour le trajet de Lucerne à Locarno, long de 200 kilomètres environ, et dont les points extrêmes sont séparés par une chaîne de 1 900 mètres d'élévation (au col du Saint-Gothard), on a acquis la possibilité de déterminer exactement l'altitude d'un point quelconque, avec une approximation de 3 centimètres.

Les opérations géodésiques pour le jalonnement du tunnel, par-dessus la montagne, seront reprises dans le courant de l'été.

L'exécution de la galerie de mire, près de Goeschenen, a été remise à M. L. Favre, entrepreneur du tunnel.

A Goeschenen et à Airolo, on a terminé les jalonnements du tracé et les profils transversaux pour l'élaboration des projets définitifs qui se rapportent aux plans des stations et des tronçons voisins du tunnel.

Tous les travaux préliminaux, plans, devis, calculs des déblais et remblais, pour les chemins de fer des vallées tessinoises, sont également terminés et les plans cadastraux déposés dans les communes, pour permettre de procéder prochainement aux expropriations.

Une modification introduite dans le tracé de la ligne Bellinzzone-Giubiasco raccourcira de 330 mètres la ligne allant à Locarno et à Piao sur territoire Italien, sur la rive gauche du lac Majeur.

Le raccordement du chemin du Gothard avec les lignes de la haute Italie se fera à Chiasso, au nord-est de Côme, sur territoire suisse, à une altitude de 239 mètres environ au-dessus de la mer.

Passons maintenant aux travaux du tunnel proprement dit. La galerie de direction du côté nord (Goeschenen) qui avait progressé de 18^m,9 jusqu'à la fin de décembre 1872, a été poussée, jusqu'à la fin de mars, sur une longueur totale de 87^m,2. Elle est élargie sur une longueur de 60 mètres. Il n'a pas été, jusqu'ici, nécessaire de

maçonner la voûte, le travail avançant toujours dans un goëlis granitique très-dur où les sources se réduisent aux infiltrations de quelques rares fissures sans importance.

La galerie de direction du côté sud (Airolo) avait atteint, à la fin de décembre, une longueur de 101^m,7. Elle était, vers la fin de mars, à 165^m,1; l'élargissement, opéré sur 84^m,3, fin décembre, était terminé, fin mars, sur une longueur de 150^m,4. La maçonnerie de voûte exécutée, fin décembre, sur une longueur de 13 mètres, l'a été, fin mars, sur 103^m,2.

Enfin, l'on a commencé en février la maçonnerie des pieds-droits, laquelle a été terminée, pendant ces deux mois, sur une longueur totale de 36 mètres.

Ces travaux de maçonnerie sont rendus nécessaires à Airolo par la nature de la roche, un micaschiste, dont les couches, fortement inclinées, sont constamment humides et exigent un boîsage très-solide de la galerie d'avancement.

Vers la fin de mars, une source très-abondante fit tout à coup irruption dans le tunnel et retarda la marche des travaux. Elle s'écoule actuellement par le tunnel, avec un débit de 75 litres par seconde. Deux fontaines ont tari à Airolo, leurs cours ayant probablement été coupé par les travaux du tunnel. Le tunnel de direction se trouve maintenant entièrement percé du côté d'Airolo.

A Göschenen, on a commencé les travaux pour l'emplacement de la grande conduite d'eau pour les turbines; on a achevé le montage des deux compresseurs provisoires à air avec leur moteur à vapeur; on a monté également quelques perforatrices de MM. Dubois et François, de Seräing, et leur affût; le premier essai du travail mécanique de ces perforatrices a eu lieu le 31 mars.

Enfin l'on a continué pendant tout le mois le transport du matériel du mont Genis.

Le nombre moyen des ouvriers a été, à Göschenen, de 135 pendant le mois de janvier, 168 en février et 307 en mars. Le chiffre maximum de cette section a été de 432 en mars.

A Airolo, le chiffre moyen a varié de 200 en janvier à 235 en février et 310 en mars. Le maximum a été de 561, également en mars.

Ajoutons à ce propos que la direction du Gothard a pris d'intelligentes et philanthropiques décisions, en vue des cas de maladie ou d'accident parmi les ouvriers. Ces décisions serviront de base à l'organisation de caisses de secours et autres dispositions qui pourront être adoptées plus tard dans ce même but.

Nous parlions tout à l'heure des perforatrices de MM. Dubois et

François, qui viennent d'être installées à Geschenen. Une description succincte de ces appareils, avec planches à l'appui, se trouve annexée au rapport du conseil fédéral. Nous en résumerons les traits les plus essentiels.

Disons d'abord que ces appareils n'en sont point à leur début, puisqu'ils sont employés, depuis plus de trois ans, avec plein succès, dans les charbonnages belges.

Le perforateur proprement dit est établi sur le même principe que celui de M. Sommeiller, mais il y a été introduit plusieurs simplifications importantes.

Comme on le sait, le principe de ces perforateurs consiste à frapper à l'aide d'un fleuret ou burin des coups très-rapides et très-violents sur la roche où l'on veut pratiquer des trous de mine; il faut, en même temps, imprimer au fleuret un mouvement de rotation sur lui-même, soit pour augmenter son action, soit pour l'empêcher de s'engager dans le trou qu'il a creusé.

Il faut en outre que le fleuret puisse être facilement réglé et dirigé par l'ouvrier et qu'il soit susceptible de reculer rapidement en cas de besoin.

Toutes ces conditions se trouvent heureusement réalisées dans l'appareil dont il s'agit. Ses dimensions et son poids en rendent le transport et le déplacement faciles, ce qui est un grand avantage et même une condition essentielle pour le genre de travaux auxquels cet engin est destiné. La longueur totale de la machine est de 1^m,30, sa largeur de 25 centimètres, sa hauteur au milieu de 51 centimètres; son poids total de 120 kilogrammes.

Voici du reste le principe de son mécanisme :

Deux pistons alternatifs ouvrent et ferment tour à tour deux soupapes; l'une fait arriver l'air comprimé en arrière du piston horizontal qui porte le fleuret percuteur et le précipite en avant d'un mouvement brusque; l'autre conduit cet air au-dessus de ce même piston, et le ramène en arrière avec la même vivacité. Dans ce mouvement de recul, la tige du percuteur rencontre une pédale mobile qui détermine à son tour le jeu d'une soupape destinée à vider la chambre à air, et l'appareil, momentanément déchargé, recommence aussitôt une nouvelle pulsation.

Le mouvement de rotation du fleuret, dont nous avons signalé l'utilité, est obtenu grâce à un mécanisme très-simple, par l'action alternative de deux pistons à simple effet, mus également au moyen de l'air comprimé et agissant sur la tige par l'intermédiaire d'une roue à rochet.

L'avancement du cylindre percuteur, au fur et à mesure de

l'approfondissement du fourneau de mine, se fait, comme le retrait, au moyen d'une vis opérant sur un écrou fixé à ce cylindre.

Ce mode de translation non automatique, dépendant de la main de l'ouvrier, offre cet avantage qu'il permet de raccourcir ou d'allonger à volonté la course du piston, suivant les besoins de l'attaque.

Ce sont là les traits principaux de l'appareil, réduit à ses termes les plus simples, et tel qu'on peut le décrire sans l'aide de planches explicatives.

En maximum, le perforateur Dubois et François peut donner jusqu'à 500 coups par minute, lorsque les coups sont très-courts; la moyenne est de 250 à 300 coups. Un autre avantage de cet appareil, très-appreciable surtout lorsqu'on n'a pas à sa disposition une chute d'eau et qu'il faut recourir à l'emploi plus coûteux de la vapeur, se trouve dans la pression relativement faible qui lui est nécessaire pour agir, 2 à 2 1/2 atmosphères seulement, alors qu'au mont Genis les perforateurs Sommeiller exigeaient une pression supérieure à 5 atmosphères; 3 à 5 chevaux-vapeur peuvent suffire pour un perforateur au système Dubois et François.

La vitesse du percement des trous est de 4 centimètres par minute dans les grès, de 15 à 25 centimètres dans les schistes; dans les roches calcaires, elle est évaluée à vingt fois celle que l'on obtiendrait à la main.

En galerie, les perforateurs sont supportés par des affûts ou chariots roulants sur l'une des voies établies pour le déblai. Leur construction est très-simple, peu coûteuse, et combinée de manière à tenir le moins de place possible. On peut installer quatre perforateurs pour une section de 2^m,30 de haut, sur 2^m,20 de large.

La profondeur des fourneaux varie de 1^m,25 dans les grès très-durs, à 2 mètres dans les roches faciles. Leur nombre est d'environ 25 à 30 sur chaque front d'attaque, et l'on pratique ordinairement, au milieu de ce front, soit un grand trou de déchaussement, soit un certain nombre de trous de demi-longueur, pour faciliter le jeu des premières mines. Le tir commence en général par les courts fourneaux du centre, pour continuer de proche en proche jusqu'aux plus excentriques, en procédant par volées de trois ou quatre mines à la fois.

L'emploi de la dynamite, sur laquelle on place une charge de poudre, en bourrant fortement, produit des effets très-considérables.

L'organisation du travail se compose de trois opérations: le forage des trous des mines, le tir et le déblai; ces trois opérations

n'en constituent que deux à proprement parler, le tir et le déblai ayant lieu presque simultanément. Ce sont les mêmes ouvriers qui doivent procéder à ces trois opérations; ils sont au nombre de quatre par poste, y compris un chef, et se relèvent de huit en huit heures.

La position des fourneaux étant indiquée par le chef, deux ouvriers se mettent aux perforateurs et le chef reste à front avec le quatrième. Les premiers font le service de l'affût, donnent aux trous la direction demandée, ouvrent les robinets et manœuvrent les perforateurs; les deux autres soignent l'injection d'eau et changent les fleurets.

Lorsque la perforation est terminée, l'affût est rapidement conduit en arrière à une distance suffisante pour éviter l'atteinte des éclats de mine, puis la brigade est de nouveau partagée. Le chef et un ouvrier font le service des mines; les deux autres ouvriers s'occupent à préparer le plancher ou pavé en tôle sur lequel la roche vient s'abattre. Après l'explosion et pendant qu'on charge une nouvelle série de trous, les deux ouvriers relèvent la roche abattue et la conduisent sur des voies de garage, en dehors du chantier et derrière l'affût.

L'aérage doit être très-actif et l'air comprimé ne doit être employé, à cet effet, que dans les cas d'extrême nécessité.

Au Saint-Gothard, on se sert actuellement d'un affût portant six perforateurs dont le nombre, probablement, ne tardera pas à être porté à huit.

En attendant que le prochain rapport trimestriel du conseil fédéral nous apporte, sur l'emploi de ces appareils et sur les résultats obtenus au tunnel du Gothard, des données plus précises, nous avons pensé que les renseignements qui précèdent auraient leur intérêt. Nos lecteurs, dit en terminant le *Journal de Genève*, n'auront pas été fâchés peut-être d'avoir fait connaissance, dès aujourd'hui, avec l'audacieuse machine qui, malgré sa faiblesse apparente, se dispose à engager avec le géant des Alpes une lutte dont elle ne sortira qu'après l'avoir transpercé d'outre en outre. La lutte sera longue et laborieuse, sans doute, mais le génie humain est persévérant et le triomphe final est assuré.

(*Journal de Genève.*)

STATISTIQUE DES ACCIDENTS SUR LES CHEMINS DE FER DE L'INDE.

Les compagnies des chemins de fer indiens viennent de publier leur rapport annuel sur les accidents. Le nombre total des accidents de chemins de fer dans l'Inde, pour l'année 1872, a été de 1,153; la ligne la plus longue, celle de l'East-Indian, figure dans ce chiffre pour plus de la moitié, 691; le Great-Indian-Peninsula pour 150, et le Punjad-and-Delhi pour 112.

Pendant l'année, 9 voyageurs ont été tués et 52 blessés; 108 personnes attachées au service du chemin de fer ont été tuées et 153 blessées. Environ 300 animaux ont été écrasés, et récemment un fait non moins curieux que celui de l'éléphant qui s'est précipité contre un train s'est produit: un alligator, sur l'embranchement de Rajmahal, a littéralement arrêté un train. La locomotive n'était pas très-puissante, et le train marchait à petite vitesse. L'alligator, atteint par la machine, s'est enroulé aux rayons d'une des roues et en a arrêté le mouvement.

(Journal officiel.)

BIBLIOGRAPHIE.

Phares et balises. État de l'éclairage et du balisage des côtes de France au 1^{er} janvier 1873. Ministère des travaux publics. Ponts et chaussées. Gr. in-8°, 183 pages et carte. Paris, imprimerie nationale. (17 mars.)

BELGRAND. — La Seine. Études hydrauliques. Régime de la pluie, des sources, des eaux courantes. Applications à l'agriculture. 1 fort vol. gr. in-8° Jésus, avec tableaux et vignettes, et un atlas de 73 pl. dont une grande carte en couleur. Paris, imprimerie Simon Raçon et C^{ie}. Lib. Dunod. 40 fr.

GAUDARD. — Théorie et détails de construction des arches de ponts en métal et en bois; par Jules Gaudard, ingénieur civil, professeur à l'Académie de Lausanne. In-8°, 95 p. et 3 pl. Paris, imp. et lib. E. Lacroix. 4 fr. (12 février.)

NIOX. — De l'emploi des chemins de fer pour les mouvements stratégiques; par M. Niox, capitaine d'état-major. In-8°, 32 p. et 1 carte en trois couleurs. Paris, imp. et lib. J. Dumaine. 1 fr. 50 c. (28 février.)

MARTNER. — Des nouveaux chemins de fer de l'Alsace-Lorraine; par M. Martner, capitaine d'état-major. In-12, 11 p. Paris, imp. Carion; lib. Tanera. 25 c. (6 janvier.)

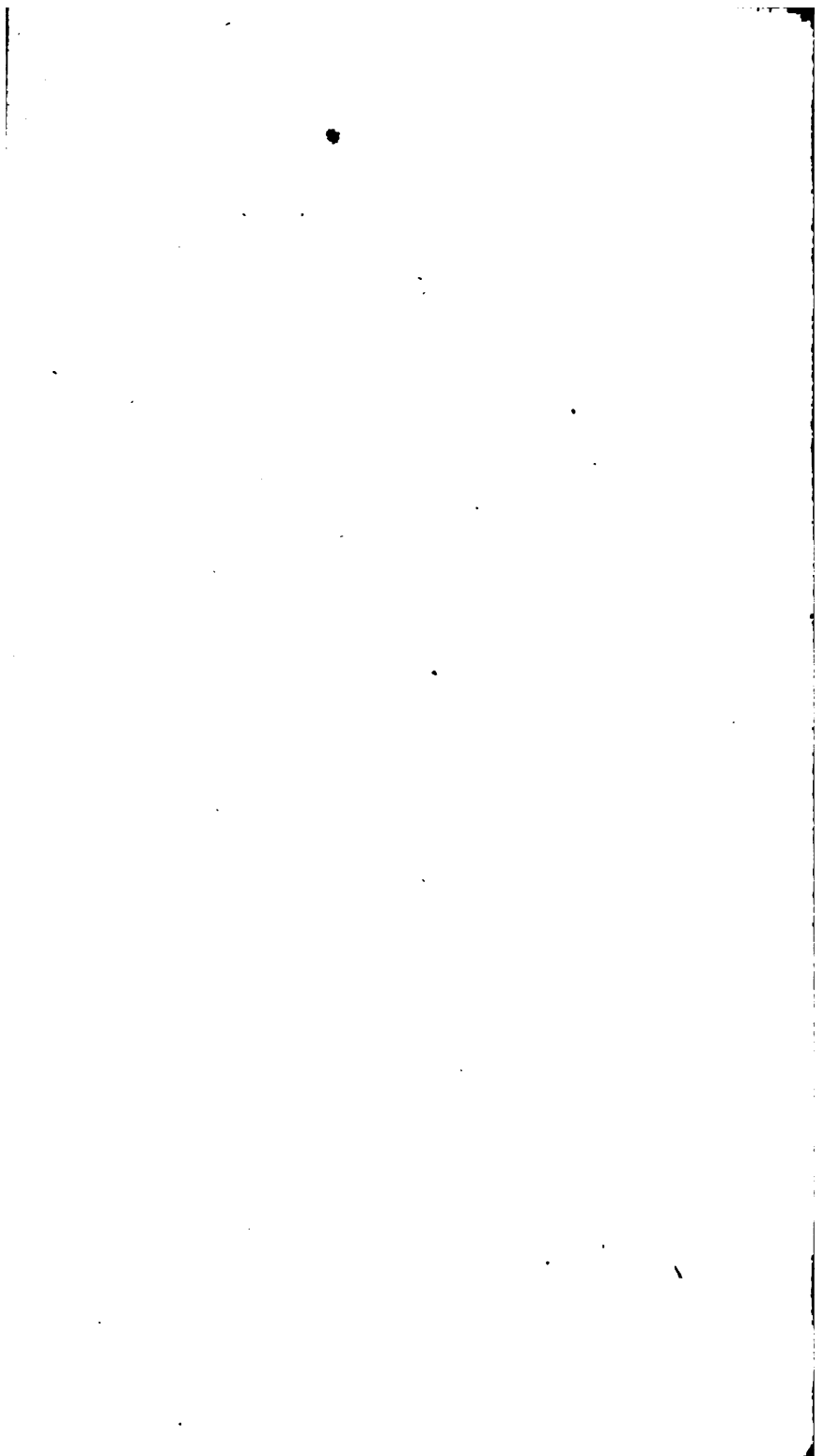
ÉVRARD. — Les moyens de transport appliqués dans les mines, les usines et le travaux publics. Organisation et matériel; par Alfred Évrard, ingénieur de la compagnie des forges de Châtillon et Commentry. Tome I^{er}. In-8°, 484 p. Lagny, imp. Aureau. Paris, lib. Baudry.

Chemin de fer. Wagon-boudoir, système Mann. In-4°, 10 p. et 4 pl. Paris, imprimerie Malteste et C^{ie}. (6 mars.)

L'Aéronaute : bulletin mensuel international de la navigation aérienne (6^e année).

La Nature : revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie, journal hebdomadaire illustré (1^{re} année).

Agenda Oppermann, à l'usage des ingénieurs, architectes, agents voyers, conducteurs de travaux, mécaniciens, industriels, entrepreneurs. 1873. In-18, 197 p. Paris, imp. Cusset et C^{ie}; lib. Dunod. (13 décembre.)



N° 25

SUR L'EMPLOI DE LA DYNAMITE.

NOTE

Par M. SÉGURAN, conducteur des ponts et chaussées.

La dynamite n'est qu'une forme nouvelle de la nitroglycérine, matière explosive d'une énergie prodigieuse, mais redoutable dans son emploi. La nitroglycérine s'obtient en soumettant la glycérine à l'action d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique concentré. Ce produit, découvert par Sobrero dès 1847, ne fut appliqué utilement qu'en 1864 par Nobel, ingénieur suédois, qui fit ses premières expériences en saturant de nitroglycérine des grains de poudre à canon, et remarqua qu'ainsi préparée, la poudre acquiert une force explosive six fois plus forte que lorsqu'elle est dans son état naturel. Quant à la nitroglycérine liquide, qui ne pouvait être employée comme la poudre de mine, parce que la mèche seule ne l'enflamme pas, l'habile expérimentateur résolut le problème en attachant une petite charge de poudre à canon à l'extrémité de la mèche qui pénétrait dans le trou de mine, au-dessus de la nitroglycérine. Dans cette disposition, c'est l'ébranlement produit par cette charge de poudre qui détermine l'explosion de la nitroglycérine, dont la puissance explosive est beaucoup plus considérable que celle de la poudre à canon (*).

(*) Le travail théorique maximum de la nitroglycérine équivaudrait, d'après des expériences faites par des officiers prussiens, à

Malheureusement, si la force explosive de ce corps est extraordinaire, son transport et son emploi offrent des dangers réels. Le moindre choc peut déterminer une explosion qui souvent même a lieu alors que l'on a pris toutes les précautions voulues. L'instant du plus grand danger est surtout celui de son introduction dans le trou de mine, parce que cette opération donne lieu, en versant le liquide dans le trou, à un *froissement* qui détermine quelquefois l'explosion. Une substance si dangereuse, quels que soient d'ailleurs ses avantages, doit donc être rigoureusement proscrite de tous les travaux, et aussi son emploi a-t-il été prohibé.

Frappé de ces inconvénients et douloureusement impressionné par des accidents lamentables, l'ingénieur Nobel, qui attribuait tous les dangers de la nitroglycérine à son *état liquide*, chercha avec ardeur les moyens de faire disparaître ces dangers tout en conservant à cette matière ses propriétés et ses services utiles. Après une longue suite d'essais, il réussit au delà de ses espérances, et la même substance, sous une nouvelle forme à l'état *solide*, peut aujourd'hui être employée presque sans dangers sous le nom de *dynamite*.

La dynamite s'obtient en *épaississant* la nitroglycérine par un absorbant, en quantité suffisante pour que le mélange prenne la consistance de la cassonnade grossière, et, pour obtenir ce résultat, il faut mélanger, en poids, $\frac{1}{3}$ de nitroglycérine avec $\frac{2}{3}$ de la matière employée comme absorbant. Les principaux absorbants sont la silice poreuse d'Oberlohe (*), le sucre, la poudre de charbon, le tripoli, le sable fin et l'argile.

six fois celui de la poudre. Cette différence ne peut être admise, dans la pratique, d'une manière absolue : suivant nous, ce rapport varie de 1 à 10.

(*) Cette silice, qu'on extrait à Oberlohe, près d'Unterlass (Hannovre), est blanche et se réduit facilement en poussière. Elle est

La qualité de la dynamite dépend : 1° de la bonté de la nitroglycérine employée; 2° de l'absorbant qui peut avoir plus ou moins de capacité pour l'absorption de la nitroglycérine. Ainsi :

| | |
|---|----------------|
| La dynamite fabriquée avec la silice d'Oberlohe con- | de nitrogly- |
| tient | cérine. |
| Celle fabriquée avec le charbon de liège et de sureau . . | 75 p. 100 |
| Celle fabriquée avec le tripoli | 70 p. 100 |
| Tandis que celle fabriquée avec les argiles ou les sables | 66 p. 100 |
| ne contient que | 55 à 40 p. 100 |

La dynamite ainsi obtenue possède tous les avantages et surtout presque toute la puissance de la nitroglycérine, sans en avoir les inconvénients; elle offre dans son emploi une sécurité complète, au point qu'on peut la soumettre sans dangers à des chocs même très-violents et la jeter sur un brasier ardent sans la moindre explosion. Pour déterminer son explosion, il faut la simultanéité du choc et de la chaleur, c'est-à-dire un mode d'action particulier qu'on obtient au moyen d'une capsule spéciale formée d'un fulminate énergique (*).

QUALITÉS DE LA DYNAMITE.

Voici les principales qualités de la dynamite :

1° Si l'on enflamme à l'air libre une certaine quantité de dynamite renfermée dans une cartouche en papier ou même dans un étui en fer-blanc ouvert à une de ses extrémités, elle brûle tranquillement sans faire explosion, en produisant des gaz nitreux. Par contre, si la dynamite est renfermée dans un tube en fer-blanc fermé à ses deux extré-

composée d'un grand nombre de petites cellules très-solides qui lui donnent un pouvoir absorbant énorme. C'est à cause de ces propriétés que Nobel a choisi cette variété de silice.

(*) On détermine également l'explosion de la dynamite en faisant détoner dans sa masse une petite quantité de poudre ordinaire renfermée dans une cartouche à parois résistantes.

mités par un bouchon à vis ou par une soudure, on obtient une forte explosion en jetant ce tube dans un brasier ardent ou en l'élevant à une température de 180° centigrades au moins. D'où l'on peut conclure que la dynamite à l'état libre, ou confinée dans une enveloppe présentant une faible résistance, ne peut faire explosion sous l'action du feu ; qu'au contraire, dans les mêmes circonstances, elle produit une forte explosion lorsqu'elle est renfermée dans une enveloppe offrant une certaine résistance.

2° Si la plupart du temps il suffit d'un choc pour amener l'explosion de la nitroglycérine, il n'en est pas de même de la dynamite, car il résulte de diverses expériences qu'on peut faire tomber d'une grande hauteur des caisses remplies de dynamite sans qu'il y ait explosion. Il en est de même du plus grand poids tombant sur un baril de dynamite qui ne fait que l'écraser sans produire d'explosion.

Cependant un choc peut amener, dans certains cas, la détonation de la dynamite à l'état libre. Ainsi, si l'on place sur une enclume ou sur une plaque métallique une petite quantité de dynamite et qu'on la frappe vigoureusement avec un marteau, on produit une explosion. Si la dynamite est placée sur la pierre, le choc du marteau ne peut produire le même résultat que rarement, et encore faut-il que le coup de marteau soit très-violent ; mais si la dynamite est placée sur un madrier en bois, il est impossible d'obtenir une explosion (*).

3° Les gaz d'explosion de la dynamite sont moins gênants que ceux de la poudre à canon, sa déflagration ne produi-

(*) Le choc ne pouvant causer l'explosion de la dynamite qu'autant qu'il est produit par deux corps métalliques, il s'ensuit qu'il n'y a aucun danger à transporter, par chemin de fer ou par charrettes, des caisses contenant cette matière. Toutefois, il faut avoir soin d'isoler la dynamite des capsules ; car celles-ci, chargées au fulminate de mercure, pourraient détouer facilement et provoquer l'explosion de la dynamite elle-même.

sant aucune fumée, mais seulement des gaz qui occasionnent aux ouvriers des maux de tête violents qui disparaissent au bout de quelques heures.

4° La nitroglycérine étant un poison, la dynamite présente les mêmes inconvénients ; cependant ses propriétés pernicieuses ne doivent pas la faire proscrire de nos travaux, car par suite de son état solide elle se prête moins que la nitroglycérine à une absorption par imprudence. D'ailleurs n'emploie-t-on pas dans l'industrie des poisons bien plus dangereux, tels que le cyanure de potassium, le phosphore, l'acide sulfurique, le sublimé corrosif, etc.? Il suffira donc de prendre pour la dynamite quelques mesures de prudence dans son emploi.

5° L'humidité n'a que peu d'influence sur elle ; par suite la dynamite est d'un grand secours dans les travaux des mines sous-marines et rend possible l'exploitation des mines abandonnées aujourd'hui par suite de la trop grande abondance des eaux.

6° Par sa grande instantanéité d'explosion, la dynamite se prête parfaitement à l'attaque des terrains crevassés et au minage des rochers à bancs très-minces sur lesquels la poudre de mine produit très-peu d'effet. Dans les roches tendres ses avantages sur la poudre ordinaire sont presque nuls ; mais il n'en est pas de même pour les roches dures.

7° La nitroglycérine se décompose spontanément sous l'influence de la chaleur et même à la température ordinaire, ainsi que cela résulte de nombreuses expériences ; il n'en est pas de même de la dynamite, dont la stabilité est naturellement plus grande (*). Les explosions spontanées à la température ordinaire ne sont donc pas à craindre.

(*) Il résulte de nos propres expériences que la dynamite s'altère sous l'influence de la chaleur. Une caisse de dynamite ayant séjourné pendant les mois de juillet et d'août dans un magasin peu aéré, les cartouches ont durci et leur explosion est devenue très-difficile au moyen des capsules. L'explosion est également

MODE D'EMPLOI DE LA DYNAMITE.

La dynamite est ordinairement livrée en cartouches cylindriques de 25 à 30 millimètres de diamètre et de 10 à 12 centimètres de longueur. Ces cartouches sont formées d'une enveloppe en papier fort ou en parchemin, et chacune d'elles pèse environ 200 grammes. Pour obtenir l'effet de la dynamite, on emploie des capsules très-fortes au fulminate de mercure ; ces capsules ont environ 5 millimètres de diamètre et 30 millimètres de longueur.

La charge d'un trou de mine nécessite les manipulations suivantes :

1° Dans une capsule on fait pénétrer jusqu'au fond, c'est-à-dire jusqu'au fulminate, l'extrémité d'une mèche ordinaire (*) dont on a eu soin de rafraîchir le bout, de façon à avoir une coupure bien nette. Ensuite, avec une petite pince, on comprime fortement (**) et soigneusement le haut de la capsule autour de la mèche, non-seulement pour assurer cette dernière dans sa position, mais encore pour déterminer une plus forte explosion du fulminate (***) .

2° On ouvre d'un bout une cartouche, en relevant le papier ou le parchemin, et l'on enfonce dans la dynamite

très-difficile à obtenir lorsque la dynamite est congelée, ce qui a lieu à 4° centigrades au-dessus de zéro. Il faut, dans ce cas, la dégeler au bain-marie en prenant quelques précautions.

(*) Lorsqu'il s'agit d'une mine sous-marine, la mèche ordinaire doit être remplacée par une mèche Bickford, recouverte d'une enveloppe en gutta-percha.

(**) Il faut cependant avoir la précaution de ne pas serrer avec la pince la partie de la capsule renfermant le fulminate, ce qui pourrait déterminer une explosion.

(***) Pour les mines sous-marines, il faut avoir soin que l'eau ne puisse mouiller le fulminate de la capsule. Pour cela, on garnit soigneusement de poix, de cire ou de sulf le joint de cette dernière et de la mèche. Cette opération est très-importante pour éviter les ratés; aussi doit-on la surveiller avec le plus grand soin.

toute la longueur de la capsule préparée comme ci-dessus, en ayant soin que la capsule seule soit noyée dans la dynamite. On rabat ensuite le papier ou le parchemin autour de la mèche et l'on assure la solidité du système par une ligature au moyen d'un bout de ficelle. On obtient de cette manière ce qu'on appelle la *cartouche-amorce*.

3° On introduit dans le trou de mine, sans les ouvrir, une ou plusieurs cartouches, suivant la hauteur de charge voulue (*), et l'on a soin de tasser, avec un *bourroir en bois*, chaque cartouche afin que la dynamite, qui est pâteuse, remplisse exactement le trou de mine et qu'il n'y ait pas de vide soit entre les cartouches ainsi introduites, soit entre les parois du trou et les paquets de dynamite.

4° On introduit ensuite la *cartouche-amorce* en ayant soin de la faire arriver jusqu'à la charge déjà placée, sans cependant la comprimer, afin de ne pas déranger la position de la capsule et de la mèche.

5° Enfin on bourre le trou de mine soit avec du sable ou de la terre, soit avec de l'eau, et l'on met le feu à la mèche.

TRAVAUX EXÉCUTÉS AU MOYEN DE LA DYNAMITE.

1° *Dégagement de la passe du port de Cassis.*

La première application de la dynamite, dans les travaux maritimes du département des Bouches-du-Rhône, remonte au mois de septembre 1871.

(*) Il est impossible de généraliser et de fixer des règles pour les dimensions des trous et les hauteurs des charges qui varient naturellement suivant la nature du rocher, l'épaisseur des bancs, le travail qu'on veut obtenir, etc. Dans les déroctements que nous avons exécutés dans le port de la Clotat, en 1872, et dans les expériences que nous avons faites dans les carrières de pierre de taille de Cassis, nous avons recueilli, à ce sujet, un grand nombre d'observations que nous nous proposons de contrôler par de nouvelles expériences; habituellement nous faisons occuper à la charge une hauteur égale au quart ou au tiers de la hauteur totale du trou de mine.

Chargé à cette époque de procéder au dégagement de la passe du port de Cassis, obstruée par des blocs artificiels et naturels, nous fûmes autorisé, par M. l'ingénieur en chef Pascal, à employer la dynamite pour la continuation de ces travaux que nous avions commencés au moyen de la poudre ordinaire.

Ces travaux consistaient à diviser par des mines les gros blocs, dont quelques-uns mesuraient jusqu'à 20 mètres cubes, puis à enlever les fragments de ces blocs au moyen d'un plongeur et d'un ponton.

Après quelques essais préalables faits dans les carrières des environs, afin de nous familiariser avec cet explosif et de nous rendre compte de ses effets, nous fîmes dans la passe les expériences suivantes :

Expérience n° 1. — Sur une face d'un bloc en béton de 20 mètres cubes, qui se trouvait dans la passe à 1^m,50 au-dessous du niveau de la mer, il fut placé, *sans faire de trou de mine*, 11 kilogrammes de dynamite, c'est-à-dire 55 cartouches réunies en un seul paquet, au milieu desquelles se trouvait la cartouche-amorce, munie d'une mèche en gutta-percha de 10 mètres de longueur. L'explosion fut très-violente et souleva une colonne d'eau de 40 à 50 mètres de hauteur et d'un mètre environ de diamètre. Le bloc fut coupé en deux parties à peu près égales et séparées l'une de l'autre de 0^m,54 ; sur chacune de ces parties on remarquait des fissures dans tous les sens.

Sur chaque partie du bloc ainsi divisé il fut foré un trou de mine de 0^m,70 environ de profondeur dans lequel on plaça 800 grammes de dynamite, et chacune des deux parties du bloc fut subdivisée ainsi en petits morceaux qu'on put enlever sans difficultés.

La division de ce bloc en petits fragments nécessita la dépense ci-après :

EMPLOI DE LA DYNAMITE.

547

| | |
|--|------------------|
| 11 kilogrammes de dynamite à 4',50 pour diviser le bloc en deux parties. | francs. 49,50 |
| 1 ^m ,600 de dynamite à 4',50 pour subdiviser chacune de ces deux parties. | 7,20 |
| Le forage de deux trous de 0 ^m ,70 de profondeur nécessita neuf heures de travail de tout l'équipage du ponton et du scaphandre, soit, à raison de 60 francs par journée de dix heures, une somme de. | 54.00 |
| Total. | 110,70 |

La division d'un premier bloc en béton de 20 mètres cubes, effectuée quelques jours auparavant au moyen de la poudre ordinaire, avait occasionné la dépense ci-après :

| | |
|--|------------------|
| Forage d'un trou de 1 ^m ,60 de profondeur sur le milieu du bloc : onze heures de travail de tout l'équipage du ponton et du scaphandre, soit, à raison de 60 francs par journée de dix heures, une somme de. | francs. 66;00 |
| 4 kilogrammes de poudre ordinaire à 2',25, qui ont eu pour effet de diviser le bloc en deux parties. | 9,00 |
| Une gargousse en fer-blanc de 0 ^m ,80 de longueur | 3,50 |
| Forage de deux trous de 0 ^m ,90 de profondeur dans chacune des deux parties du bloc : douze heures de travail de tout l'équipage du ponton et du scaphandre, soit, à raison de 60 francs par journée de dix heures, une somme de. | 72,00 |
| 2 kilogrammes de poudre ordinaire à 2',25. | 4,50 |
| 2 petites gargousses en fer-blanc. | 3,00 |
| Total. | 158,00 |

En comparant ces deux résultats, on trouve une économie de 47',30 en faveur de l'emploi de la dynamite (*).

(*) Il faut remarquer que cette économie serait de 85 francs si, au lieu de placer 11 kilogrammes de dynamite sur le bloc artificiel (expérience n° 1), nous avions commencé par forer au centre du bloc un trou de 1^m,60 de profondeur. Dans ce cas, 2 kilogrammes de dynamite nous auraient certainement suffi pour diviser le bloc en plusieurs fragments assez petits pour être enlevés, sans avoir

Expérience n° 2. — Sur la face d'un bloc naturel d'environ 3 mètres cubes, qui se trouvait dans la passe à 0^m,80 au-dessous du niveau de l'eau, il fut placé, sans faire de trou de mine, 4 kilogrammes de dynamite ; après l'explosion, le bloc se trouva divisé en deux parties, écartées l'une de l'autre d'environ 7 centimètres, et chacune de ces parties, pesant plus de 4.000 kilogrammes, put être enlevée sans nouvelle subdivision ; mais pour embraguer et enlever ces deux parties du bloc, il fallut travailler encore environ cinq heures, de sorte que la division et l'enlèvement de ce bloc coûtèrent :

| | |
|---|------------------|
| 4 kilogrammes de dynamite à 4 ^f ,50. | francs. 18,00 |
| Enlèvement : cinq heures de travail de tout l'équipage du ponton et du scaphandre, soit, à raison de 60 francs par journée de dix heures, une somme de. | 50,00 |
| Total, | 68,00 |

Expérience n° 3. — Sur un bloc naturel calcaire de 3^m,20 (1^m,00 × 2^m,00 × 1^m,60) se trouvant dans la passe à 1 mètre au-dessous du niveau de la mer, nous fîmes un trou de mine de 0^m,60 de profondeur dans lequel il fut mis 800 grammes de dynamite. Après l'explosion le bloc disparut. En effet, ses fragments étaient très-petits et le plongeur les trouva projetés à 5 ou 6 mètres de distance. L'enlèvement s'effectua sans peine au moyen d'une benne et après une heure de travail.

besoin de faire de nouvelles mines, et la dépense n'aurait été que de 75 francs, d'après le détail ci-après :

| | |
|--|------------------|
| Forage d'un trou de 1 ^m ,60 de profondeur sur le milieu du bloc : onze heures de travail de l'équipage du ponton et du scaphandre, soit, à raison de 60 francs par journée de dix heures, une somme de. | francs. 66,00 |
| 2 kilogrammes de dynamite à 4 ^f ,50. | 9,00 |
| Total. | 75,00 |

Donc, 158 francs — 75 francs = 83 francs.

La division et l'enlèvement de ce bloc donnèrent lieu à la dépense ci-après :

| | |
|--|------------------|
| Forage d'un trou de 0 ^m ,60 de profondeur : quatre heures de travail de tout l'équipage du ponton et du scaphandre soit, à raison de 60 francs par journée de dix heures, une somme de. | francs. 24,00 |
| 800 grammes de dynamite à 4 ^r ,50. | 3,60 |
| Enlèvement : une heure de travail de tout l'équipage du ponton et du scaphandre, soit, à raison de 60 francs par journée de dix heures, une somme de. | 6,00 |
| Total. | <u>33,60</u> |

En comparant ces deux dernières expériences, qui ont été faites sur deux blocs naturels d'un volume à peu près égal et dans des conditions identiques, on voit qu'il y a économie à faire un trou de mine. La dépense que nécessite le forage est largement compensée par la petite quantité de dynamite à employer et par l'économie qu'on réalise pour l'enlèvement.

Nous croyons inutile de mentionner un plus grand nombre d'expériences toutes analogues. Quant à nous, elles nous parurent assez concluantes pour que nous n'ayons pas hésité à achever, au moyen de la dynamite, les travaux de dégagement de la passe du port de Cassis.

2^e Construction d'un chenal dans le port de la Ciotat.

Au commencement de l'exercice 1872, la compagnie des Messageries Maritimes ayant été forcée de construire, en avant de la cale de halage de la Ciotat, un chenal de 42 mètres de longueur pour le lancement du paquebot *le Labourdonnais*, résolut d'employer la dynamite pour l'exécution de ce travail que nous fûmes chargé de diriger. Voici en quoi consistait ce travail :

A environ 95 mètres de l'extrémité de la cale de halage, le fond n'étant en moyenne que de 5^m,30 au-dessous du niveau des basses mers, il fallait, pour permettre le lancement,

obtenir, sur une longueur de 42 mètres en allant au large, un fond moyen de 6^m,10 sur une largeur de 2 mètres seulement, pour permettre le passage de la quille du paquebot à lancer, c'est-à-dire construire un chenal de 42 mètres de longueur sur 2 mètres de largeur et d'une profondeur moyenne de 0^m,80, ce qui nécessitait l'enlèvement de 67 mètres cubes de rocher de grès très-dur. Pour l'exécution de ce travail nous fîmes d'abord forer, au moyen d'un radeau de minage, un premier trou A de 0^m,07 de diamètre sur l'axe du chenal et à 1 mètre en arrière de l'origine dudit chenal. Après avoir chargé et mis le feu à ce trou de mine, le radeau fut déplacé et deux autres trous B et C furent forés simultanément à 1 mètre en arrière du point A et à 0^m,50 de l'axe. Après l'explosion des deux trous B et C, le radeau fut placé en D, sur l'axe, à 1 mètre en arrière des points B et C; puis en deux points situés à 0^m,50 de l'axe, et à 1 mètre en arrière du point D; et ainsi de suite jusqu'à ce que tout l'emplacement que devait occuper le chenal fût miné. Ce travail fait, les débris du minage furent enlevés au moyen d'un ponton à roues.

Quant à l'exécution du minage, chaque trou a été chargé avec une cartouche de dynamite d'environ 700 grammes (*): cette cartouche était introduite dans le trou de mine au moyen d'un entonnoir en fer-blanc de 7 mètres de longueur, puis fortement tassée dans le trou avec un bouchon en bois; l'explosion était produite par une cartouche-amorce de 25 grammes préparée de la manière que nous avons précédemment indiquée, c'est-à-dire munie d'une capsule dans laquelle pénétrait une mèche Bickford. Cette dernière cartouche était également descendue, au moyen de l'entonnoir, dans le trou où on la fixait au-dessus de la pre-

(*) Nous avons fait confectionner à l'usine de Paullille des cartouches spéciales de 700 grammes, d'un diamètre égal au taillant des barres à mines, taillant qui était de 0^m,08.

mière cartouche avec quelques poignées de gravier que l'on laissait tomber dans le trou au moyen du même entonnoir.

Après le travail du ponton à roues, il resta quelques pointes de rocher qui auraient gêné le lancement du navire et que nous fîmes sauter, vu leur peu d'importance, au moyen de la poudre ordinaire renfermée dans des gougesses étanches en fer-blanc.

Le montant total des dépenses s'est élevé, pour l'enlèvement des 67 mètres cubes de rocher, à la somme de 5.391,65, en sorte que le mètre cube de rocher enlevé est revenu à 80^f,24.

Précédemment la compagnie des Messageries Maritimes ayant eu à exécuter, au moyen de la poudre ordinaire, des travaux analogues pour l'approfondissement ou le prolongement d'autres cales de lancement, le prix du mètre cube de rocher était revenu à environ 140 francs.

L'emploi de la dynamite a donc procuré à la compagnie des Messageries Maritimes, pour l'exécution du chenal, une économie de 4.020 francs (*).

3° Déroctements près du môle de la Consigne, dans le port de la Ciotat.

Il existe dans le port de la Ciotat, près du môle de la Consigne, côté sud, un banc de rochers qui non-seulement rend inaccessible une partie du quai de la Consigne, mais qui en outre gêne les mouvements des navires qui veulent accoster la partie dudit quai située au delà du banc.

(*) Si l'on considère que c'était pour la première fois que nous appliquions la dynamite à un travail de ce genre, et qu'au début il nous a fallu nécessairement essayer divers systèmes avant d'arriver à trouver le meilleur moyen pour tirer parti de cet explosif, nous sommes d'avis qu'il y a lieu de se féliciter du résultat obtenu. Nous avons la conviction cependant que cette économie pourrait encore être plus grande si nous avions de nouveau à exécuter un travail analogue.

Plusieurs fois l'Administration s'est préoccupée de faire disparaître ce banc, et en 1870 un avant-projet, présenté pour l'exécution de ce travail, évaluait la dépense à 130.000 francs pour l'approfondissement jusqu'à 4 mètres au-dessous des basses mers. Les événements survenus depuis la présentation de ce projet n'ont pas permis d'y donner suite.

En 1872, M. l'ingénieur en chef ayant décidé de faire des essais de dynamite pour les déroctements sous-marins, c'est sur ce banc que les expériences ont été faites.

Le rocher qu'il s'agissait d'enlever est formé de bancs de grès très-minces de 0^m,25 à 0^m,55 d'épaisseur, avec une couche de sable de 0^m,10 à 0^m,15 interposée entre les-dits bancs, et, par suite de ces circonstances, l'enlèvement de ce rocher au moyen de la poudre ordinaire présentait des difficultés presque insurmontables. En effet, on ne pouvait forer des trous de mine que de 0^m,15 à 0^m,25 de profondeur, crainte de percer entièrement le banc, et dans des trous de si faible profondeur la poudre de mine ne produisait que peu ou point d'effet. D'un autre côté, toutes les fois qu'en faisant un trou de mine on perçait entièrement le banc, on rencontrait la couche de sable et ce trou devait être abandonné, parce que dans des conditions pareilles la poudre aurait été sans effet. Aussi les anciens habitants de la localité nous ont-ils raconté avoir vu commencer plusieurs fois, pour l'enlèvement de ce banc, des travaux de déroctements que l'on abandonnait au bout de quelques jours.

La dynamite seule pouvait vaincre ces difficultés; aussi après l'explosion des premières mines avons-nous été certain du résultat.

Avec le petit crédit de 3.000 francs destiné à ce travail, nous ne pouvions songer qu'à enlever une minime partie du banc; or, en attaquant le rocher à son extrémité vers le large, ainsi que cela semble tout naturel au premier abord,

les déroctements auraient été effectués sur la partie du banc où il existe le plus grand fond et n'auraient pas eu une utilité immédiate. Nous avons donc proposé d'ouvrir un chenal de 10 mètres de largeur coupant le banc en deux parties, de sorte qu'après l'achèvement du travail les navires pourront franchir le banc sans difficultés et accoster le quai de l'Escalet.

Pour l'exécution de ce travail nous avons commencé par creuser sur le bord du banc, et suivant une ligne droite perpendiculaire à l'axe du chenal, six trous de mine espacés de 2 en 2 mètres, ce qui permettait le travail simultané de trois barres à mine. Le forage d'un trou n'était arrêté que lorsque nous rencontrions une couche de sable suffisante pour empêcher la barre à mine d'avancer; ce trou était alors considéré comme terminé et chargé immédiatement. Après l'explosion de ces six premiers trous, le radeau a été déplacé et six autres trous ont été forés sur une seconde ligne parallèle à la première et à une distance de 1^m,50, et ainsi de suite jusqu'à l'extrémité du chenal.

Le rocher devait être dérocté pour obtenir un fond de 4 mètres sur une épaisseur moyenne de 2 mètres, et par suite les trous de mine auraient dû avoir une profondeur de 1^m,50 au moins; mais nous n'avons jamais pu donner cette profondeur à aucun trou, à cause de la couche de sable interposée entre les bancs et qui nous arrêtait complètement. La profondeur des trous a varié entre 0^m,25 et 1^m,15, mais la hauteur de charge a toujours été de 0^m,25 à 0^m,40, afin de briser le banc situé au-dessous de la couche de sable.

La dynamite employée pour l'exécution de ce déroctement était de mauvaise qualité et ne s'enflammait que difficilement au moyen de la capsule au fulminate de mercure. Les ratés étaient si nombreux que nous avons dû, au bout de quelques jours, abandonner ce mode d'explosion au moyen de la capsule, et nous avons essayé le système qui consiste à produire l'explosion de la dynamite en faisant détoner

dans sa masse une charge de poudre ordinaire. Ce mode nous a parfaitement réussi (*).

En conséquence, après avoir introduit dans chaque trou de mine la quantité de dynamite reconnue nécessaire et après l'avoir tassée, nous introduisons, au lieu de la cartouche-amorce, une gargousse étanche en fer-blanc, munie de son tube et remplie de poudre ordinaire, à laquelle on mettait le feu de la manière usitée jusqu'à ce jour pour les déroctements exécutés au moyen de la poudre ordinaire.

Avec une somme de 2.830 francs nous sommes parvenu à miner toute la surface du chenal qui occupe une superficie d'environ 200 mètres carrés. Il reste aujourd'hui à procéder à l'enlèvement des débris du minage, et nous pensons qu'on procédera à ce travail dans le courant de l'année 1875. Ce ne sera qu'après l'achèvement de ce dernier travail que nous connaîtrons le prix de revient du mètre cube de rocher qui probablement ne dépassera pas 25 francs, malgré les difficultés que nous avons rencontrées dans ce travail par suite de la disposition des bancs et de la mauvaise qualité de la dynamite employée. Jusqu'à présent les déroctements effectués dans le port de la Ciotat ont été payés à raison de 35 francs le mètre cube.

(*) Dans les travaux sous-marins, ce mode d'explosion est préférable à celui de la capsule au fulminate, et réussit toujours; tandis qu'avec la capsule les ratés sont nombreux, tantôt parce que le fulminate est mouillé, tantôt parce que la mèche s'éteint, etc.

Marseille, le 22 février 1873.

N° 26

Irrigations de l'Inde. — Canal du Ganges.

TROISIÈME MÉMOIRE

Par M. LAMAIRESSE, ingénieur en chef des ponts et chaussées (*).

CHAPITRE VII.

. CANAL DU GANGES.

TITRE I^{er}. — *Exposé général* (**).

N° 1. *Du Ganges et son K'hadir.* — A partir de la vallée torrentielle ou ravin des Sewalicks qui forme la tête de l'affluent le plus occidental de la rivière de Solani, il y a un brusque relèvement du sol en forme de berge ou d'escarpe qui court vers le sud-est et dont la hauteur augmente avec son éloignement des montagnes; sur le bord de cette berge s'élèvent les villes de Bhugwanpoor, Roorkee, etc.; et, en des points où le Ganges vient en baigner le pied, celles de Bhokurheri et de Sookurtal qui dominent de plus de 25 mètres un K'hadir étendu et très-profondément encaissé.

Dans cette partie, le Doab incline vers l'ouest et verse

(*) Ce mémoire fait suite à ceux qui ont été insérés dans les *Annales*, 1869, 2^e semestre, et 1871, 2^e semestre.

(**) Voir pour la description générale la carte, Pl. 17. *Annales*, 1871.

ses eaux à la Jumna immédiatement à partir de l'arête de l'escarpement, laquelle constitue ainsi la ligne de faite entre les bassins du Ganges et de la Jumna.

A la tête de prise d'eau du canal du Ganges à l'amont de Hurdwar, le lit du fleuve a une largeur de $1 \frac{1}{2}$ à $2 \frac{1}{2}$ kilomètres (1 mille à 1 mille $\frac{1}{2}$). Les galets cessent d'en former le fond près du village de Nogal; à l'aval de Bhoypoor, le K'hadir s'élargit considérablement des deux côtés embrassant les marécages d'Assofnugur.

En face des bouches du Solani, la largeur du K'hadir se réduit à $2 \frac{1}{2}$ ou 3 kilomètres ($1 \frac{1}{2}$ ou 2 milles); le fleuve lui-même coule sur de très-larges lits de sable limités à la haute berge que domine le fort de Sookurtal. Immédiatement après, le K'hadir augmente considérablement de largeur. De là jusqu'à Futtigurh, il varie beaucoup; quelquefois il s'étend jusqu'à 20 kilomètres (13 milles), parsemé de nombreux villages, mais coupé de bas marécages et d'un réseau de mortes. A l'aval de Futtiguh jusqu'à Cawnpoor, le lit sablonneux de la rivière augmente d'étendue; le K'hadir prend un grand développement aux confluent des rivières de la Nuddeekalli orientale, d'Esun et de Noon sur la gauche du Ganges, à l'amont de Cawnpoor. Le bras principal du Ganges augmente beaucoup entre Cawnpoor et Allahabad, et les bandes sablonneuses du lit occupent une plus grande proportion de l'aire superficielle du K'hadir.

Les principaux ouvrages d'art du canal du Ganges se trouvent dans la portion triangulaire de son K'hadir ou vallée basse comprise entre les monts Sewalicks, la haute berge qui vient d'être décrite et le Ganges. Cette partie basse est accidentée et renferme des mamelons isolés dont l'un a une étendue et une hauteur considérables. Ses eaux se partagent entre trois bassins secondaires.

Le premier est celui de Puttri qui se divise en deux dans sa partie supérieure : le bassin de la Puttri proprement dit à l'ouest et celui de la rivière de Ranipoor.

Le second bassin, au centre, s'égoutte dans la rivière de Butmoo qui, à l'amont, reçoit les eaux de montagnes s'étendant sur une longueur de 17.702^m,41 et tombe dans le Solani au-dessus de Jourassi.

Le dernier bassin, à l'ouest des deux premiers, est celui de la rivière de Solani qui coule au pied de la haute berge et rejoint le Ganges près de Bhokurcheri.

Les rivières de Solani et de Ruttmoo ont, à Bhugwampoor et à Roorkee, tous les caractères des torrents de montagnes (*Raos* en langue du pays). Ils ont des lits de sable très-larges, complètement à sec à la surface pendant la saison chaude, mais gardant toujours, même lors des plus grandes sécheresses, sous le sable de la surface, une nappe d'eau pérenne.

Les rivières de Puttri et de Ranipoor présentent les mêmes caractères jusqu'à une certaine distance des montagnes, mais elles les perdent en s'en éloignant; lorsqu'elles sont descendues à des niveaux bas, leur lit s'efface et n'est bien marqué que sur un petit nombre de points. Toutefois, lorsqu'elles prennent leur direction vers l'est, elles se concentrent peu à peu dans un seul chenal se continuant jusqu'au labyrinthe de rivières qui découpe le K'hadir du Ganges à son extrémité sud-est.

N° 2. *Projet du canal du Ganges.* — Les études démontrèrent que l'on pouvait adopter pour le canal, à partir de Hurdwar, deux tracés : le premier au niveau du sol et se développant dans son ensemble suivant une grande courbe tangente aux villes de Kheri et Nanka; le second, plus direct, traversant par un aqueduc la vallée du Solani et atteignant le plateau du Doab immédiatement à Roorkee.

On reprochait au premier tracé les nombreux ouvrages d'art et peut-être les déviations de cours d'eau qui seraient nécessaires pour rétablir les nombreux écoulements qu'il intercepterait sur tout son parcours, et l'on se décida pour le second tracé.

Une troisième solution a été indiquée postérieurement par sir Arthur Cotton ; elle consiste à dériver par un barrage le Ganges en face de Sookurtal, à l'aval du confluent du Solani, et à suivre, à partir de là, un tracé qui rejoint, dès que la pente le permet, celui qui a été exécuté ; on aurait ainsi évité les grands ouvrages que l'on a exécutés dans le K'hadir du Ganges jusqu'à Roorkee. Le même ingénieur a aussi remarqué qu'on aurait pu construire, en outre, un barrage et un canal de dérivation aboutissant un peu à l'amont de la bifurcation des deux lignes terminales, au moyen duquel on aurait alimenté la partie inférieure du canal.

La possibilité de cette solution est démontrée d'ailleurs par les nivellements publiés. Voici comment sir Proby Cautley se justifie de ne l'avoir pas adoptée :

« Les ingénieurs anciens et modernes, dit-il, ont emprunté les eaux de la Jumna et du Ganges à un niveau élevé, où leurs lits sont formés de galets et cailloux et ont des pentes rapides, bien qu'ils eussent à vaincre de grandes difficultés à la rencontre des canaux de déviation avec les torrents des montagnès. Dans le sud-est de l'Inde on a établi les déviations beaucoup plus bas en relevant le plan d'eau par des barrages. Les ingénieurs du Bengale sont partis de la tête et ceux de Madras du pied des rapides. Le second système, qui appartient à sir Arthur Cotton, a été discuté et rejeté lorsqu'il s'est agi de l'exécution du canal du Ganges, parce qu'on a redouté :

« 1° Des difficultés d'art et des dépenses excessives pour construire et entretenir des barrages permanents à travers les lits sablonneux et les K'hadirs de la Jumna et du Ganges ;

« 2° Les effets, sur les villages et les terrains cultivés, des remous et des inondations causés par les barrages ;

« 3° De grands inconvénients sanitaires liés à ces effets et à la création de beaucoup de jacs, de marais et de solitudes couvertes de jungles.

« Au point nouveau désigné pour le barrage, le Ganges est à 20^m,64 (67' 8", 1) en contre-bas de la ligne de faite du Doab. Le barrage aurait, je suppose, sa crête déversante à 3^m,05 (10') au-dessus du plafond de la tête du canal de dérivation; dans ces conditions, avec une pente de 0,000043 (3" par mille) et une profondeur de 1^m,53 (5'), il faut, pour avoir une vitesse de 2414 mètres (1 mille 1/2) à l'heure, donner au canal 274 à 305 mètres (9.000' à 1.000') de largeur; la tranchée initiale aurait plusieurs kilomètres de longueur. Pour satisfaire aux conditions de pente voulues, la longueur du canal devrait être de 80 kil. 1/2 (60 milles); le plafond du canal serait sur le sable à partir du point où il sort du K'hadir. Sir Cotton fait observer que l'on pourrait éviter une tranchée initiale trop profonde en se tenant à flanc de coteau jusqu'à ce que l'on rencontrât un abaissement de la crête du plateau; cela est vrai, mais il ne serait pas facile d'établir et de conserver le canal sur l'escarpe qui forme la limite du K'hadir. Le barrage à travers le Ganges ne pourrait, selon toute probabilité, avoir moins de 1.609^m,31 à 2.413 (1 ou 1 mille 1/2); il serait au moins à 4^m,57 (15') au-dessus de l'étiage. Il devrait être flanqué de digues latérales protégées par des murs en pierre sèche ou en maçonnerie surélevés de 1^m,53 (5'), et se couronnant à 6^m,10 (20') au-dessus de l'étiage. Ces ouvrages avaient à résister à la tendance bien connue qu'ont les rivières des provinces du nord-ouest, principalement dans les crues, à affouiller les barrages à l'amont; cette action est surtout remarquable sur les flancs des ouvrages. Je ne pense pas qu'aucun ouvrage de maçonnerie puisse résister à l'action des courants que j'ai vus s'établir dans ces cas. Durant les crues, les rivières charrient des arbres déracinés et des radeaux d'énormes dimensions qui seraient arrêtés par le barrage et seraient une nouvelle cause de destruction. »

Sir Arthur Cotton évalue à 1.875.000 francs (73.000 liv. st.) la dépense de cette dérivation. Je pense qu'elle surpas-

serait celles des travaux exécutés depuis Hurdwar jusqu'à Newarri. Il en résulterait immédiatement à l'amont du barrage une tenue d'eau constante de 4^m,57 (14') au-dessus de l'étiage s'élevant au maximum de 5^m,49 (18') pendant les crues.

L'inondation couvrirait 207^h,110480 (80 milles carrés) de terres basses qui seraient sacrifiées. Resserrer par un endiguement le champ de l'inondation serait fort coûteux et exposerait les terrains submersibles à beaucoup d'accidents.

On ne saurait prévoir l'étendue des champs détruits et des villages atteints par l'inondation, mais il est certain qu'il en résulterait beaucoup de marécages, foyers de malaria et repaires des bêtes féroces.

Quant à la tête de prise d'eau dans le Ganges proposée à l'aval de Futtigurh, ou bien près de Fultipoor, à 160 kilomètres à l'amont d'Allahabad, elle rejoindrait rapidement le canal actuel.

Mais plus on descend sur le cours d'une rivière, plus les difficultés et les inconvénients signalés pour la construction d'un barrage et d'une dérivation augmentent. La pente de surface du pays est plus faible, ainsi que celle de la rivière; le remous s'étend plus loin, en raison de la grande hauteur de la digue et de la plus faible pente de la rivière. Le K'hadir est plus peuplé et plus bas.

Une grande partie du pays bas dans le K'hadir est très-riche et couverte de villages; un relèvement du Ganges de 6^m,10 (20') ou même de 4^m,57 (15') conduirait à la destruction d'un grand nombre qui seraient inondés. Il y a des points sur la Jumna où le dommage serait plus grand encore que sur le Ganges. D'après l'expérience acquise, il serait fort dangereux pour la salubrité de créer, comme sir Cotton propose de le faire, des lacs sur le Ganges et la Jumna.

A ces objections, sir Cotton a répondu que l'on peut

toujours placer sur le Ganges les barrages de la dérivation proposés à un point situé aussi haut que l'on veut à l'amont de celui qu'on a en vue d'atteindre par les dérivations, en maintenant le canal de dérivation dans le K'hadir ou sur son bord sur la longueur que nécessite la pente à racheter et la hauteur du terrain à franchir, qu'on est ainsi maître de donner aux barrages de dérivation, surtout en ayant des hausses mobiles, telle hauteur que l'on veut, et par conséquent tel remous que l'on veut pour la retenue ordinaire; quant aux crues, on peut toujours, en allongeant les barrages suffisamment et en abaissant les hausses, faire en sorte que le remous s'efface sur le barrage; on n'a plus alors à se préoccuper que de l'influence de la retenue en temps ordinaire. Selon lui, les difficultés de terrain et de régime sont absolument les mêmes que celles qu'il a surmontées ailleurs, et ses estimations sont élevées par comparaison avec les dépenses qu'ont occasionnées des ouvrages analogues ou plus difficiles qu'il cite. Il ajoute qu'il ne voit pas grand inconvénient à ce que le lit des dérivations destinées dans son système à rejoindre le canal actuel soit ouvert dans le sable pur; un des canaux principaux du Godavery, jusqu'à une certaine distance du barrage de dérivation, emprunte une petite branche de cette rivière dont le lit est du sable le plus ténu. Selon lui, on n'a pas à se préoccuper de cette résistance tant que la vitesse de l'eau ne dépasse pas 0^m,76 par seconde; avec cette vitesse ou une moindre, le canal rend lui-même son fond imperméable et devient parfaitement étanche.

N° 3. *Question de salubrité.* — Le gouvernement anglais nomma en 1843 une commission de gens de l'art chargée d'examiner l'influence que pouvaient avoir sur la salubrité les irrigations dans les provinces du nord-ouest, les canaux déjà exécutés comme ceux de la Jumna, et ceux en cours d'exécution ou en projet comme celui du Ganges.

Voici quel fut l'avis de cette commission :

Une épidémie très-étendue a ravagé ces dernières années une grande partie des provinces du nord-ouest, surtout pendant et après la saison des pluies de 1843. On doit y rapporter en partie les maladies qui ont régné dans les districts irrigués; dans ceux-ci, l'épidémie a généralement, mais non universellement, sévi plus que dans les pays non irrigués. Presque partout les fièvres ont été plus intenses que de coutume; dans certains lieux, tout à fait en dehors de l'influence du canal, elles ont fait plus de ravages que dans les villages irrigués qui ont été les plus maltraités. Le mal n'est point la conséquence de l'irrigation, mais seulement de l'irrigation avec absence d'écoulement des eaux courantes et des colatures sur un terrain retentif et argileux ou naturellement humide.

Il convient et il suffit d'interdire la culture par irrigation dans un cercle de 2.827 à 8.046 mètres (5 à 5 milles) des cantonnements militaires, attendu que l'influence des irrigations sur la salubrité est purement locale. Il conviendrait aussi de tenir les irrigations à une certaine distance des villages, et de prendre des mesures pour éloigner de ceux-ci les eaux stagnantes.

Le canal de la Jumna fournit des exemples à la fois des meilleurs et des pires effets de l'irrigation. Dans le centre, où l'écoulement naturel des eaux est intercepté et où le sol est argileux, il y a beaucoup de maladies; c'est tout l'opposé dans les divisions du nord et du sud, où l'écoulement des eaux est bien aménagé et où le sol est léger et perméable.

La même commission a fait pour l'exécution du canal du Ganges les recommandations suivantes :

1° Maintenir la cuvette autant que possible en déblai, en sorte que le niveau de la tenue ordinaire des eaux soit en contre-bas de celui du pays environnant.

2° Ne jamais faire les emprunts sur les terrains contigus

au canal, excepté dans les cas où l'on peut donner un écoulement aux eaux des chambres d'emprunt.

3° Suivre pour le tracé du canal, autant que possible, la ligne de faite et rétablir complètement tous les écoulements d'eau interceptés.

4° Construire des aqueducs ou autres ouvrages de décharge pour les eaux pluviales et courantes sous les Rajbuhas et les rampes aux abords des ponts partout où elles interceptent l'écoulement naturel.

5° N'accorder aux particuliers aucune prise d'eau directe dans le canal, avoir soin que toutes les irrigations partent des Rajbuhas et des canaux d'amenée principaux.

6° Interdire l'irrigation dans un rayon de 8.046^m,55 (5 milles) des stations militaires, et de 3.218^m,62 (2 milles) des grandes villes.

7° Brûler les produits végétaux des curages pour les empêcher de reprendre racine.

8° Interdire l'irrigation dans les pays naturellement malsains (*).

TITRE II. — *Définition motivée des alignements et ouvrages du canal du Ganges.*

N° I. — DIVISION DU CANAL. — 1^{re} SECTION JUSQU'À ROORKEE.

§ 1. — Divisions naturelles du canal.

Si l'on considère la nature des terrains traversés et les difficultés qu'on a rencontrées, le cours du canal du Ganges se divise en trois grandes sections.

(*) On connaît diverses causes naturelles d'insalubrité : certaines configurations orographiques, certaines natures de sol, comme les tourbes, et de sous-sol, comme les lehms et les schistes argilo-marneux, des difficultés de situation et de relief pour le prompt écoulement des eaux.

La première, d'une longueur de 30 kil. $1/2$ (19 milles), dans le K'hadir du Ganges, s'étend depuis la prise d'eau jusqu'au plateau élevé du Doab à Roorkee.

La deuxième, d'une longueur de 259 kilom. (161 milles), de Roorkee à Nanoon, traverse un pays dont la pente totale est considérable et dont le sol se compose de sable pour la plus grande partie.

La troisième section, qui comprend des canaux d'une longueur totale de 555 kilomètres et $1/4$ (345 milles), depuis Nanoon jusqu'au Ganges, se distingue par la faiblesse de la pente superficielle et par les nombreux cours d'eau qui la traversent, comme le Pandoo et les autres rivières qui écoulent les eaux des districts du centre.

§ 2. — Tête de prise d'eau du canal.

Le bras principal du Ganges, dont le débit à l'étiage est estimé à 227^m,200 (8.000^m), après avoir traversé la vallée de Deyra, pénètre dans les plaines de l'Inde par une gorge bien définie, sorte de brèche naturelle dans la chaîne des monts Sewalik ou subhimalayens. Là se trouvent étagés, touchant la rive droite au pied des monts sur le rocher, la ville et les nombreuses pagodes de Hurdwar, le pèlerinage le plus célèbre et le plus fréquenté de l'Inde; à sa gauche est le haut mamelon de Chadni, couronné d'une pagode. On peut dire que le lit du Gange occupe toute la largeur de la gorge, qui est d'environ 1.609 mètres (1 mille) dans sa partie la plus rétrécie.

Comme toutes les rivières himmalayennes à leur sortie des montagnes, il roule sur un lit de galets avec une forte pente, et son large lit est découpé par un réseau de petits chenaux séparés par des îles bien boisées dont plusieurs sont insubmersibles et en partie cultivées. Depuis très-longtemps, une branche importante, formée par une ou plusieurs de ces îles, passait directement sous la ville d'Hurdwar et s'avancant avec une section à peu près uni-

forme rejoignait la mère rivière à l'aval de Kunkhul, qui est à 2 kilomètres $17\frac{1}{2}$ (1 $1\frac{1}{2}$ mille) au-dessous d'Hurdwar.

Le gros de la rivière coule à gauche le long d'une berge abrupte. A 4.023^m, 27 (1 $\frac{1}{2}$ mille) à l'amont d'Hurdwar (Pl. 11, fig. 1), il s'en détache sur la droite un bras qui est le tiers en volume de la rivière et qui rejoint la branche ci-dessus mentionnée. Les habitants de Hurdwar et de Kunkhul avaient emprunté à cette branche par un petit canal toute l'eau nécessaire pour les usages domestiques ou sacrés et pour l'industrie. C'était, à première vue, un point obligé pour le canal du Gange, à l'alimentation duquel le bras devait évidemment suffire. On avait d'ailleurs intérêt à placer la tête de prise d'eau à l'aval des confluent des deux torrents de montagne qui tombent dans le bras secondaire. Ces conditions firent choisir un point nommé Gun-Ghat où la branche avait une section bien définie entre deux berges escarpées dont l'une, celle de gauche, était formée par une île insubmersible. On dut se résigner à recevoir les matières charriées par le Luhta-Rao, torrent qui tombe dans le bras secondaire, immédiatement à l'aval d'Hurdwar; ce fut sans inconvénient.

La branche avait pour décharge trois chenaux naturels rejoignant la même rivière; les deux premiers situés, l'un à l'amont d'Hurdwar, l'autre en face, vers le grand Ghat, étaient fort larges. Le système auquel on s'arrêta pour effectuer la prise d'eau consista à barrer par des digues temporaires ces trois chenaux de décharge et à construire au point de séparation du bras secondaire un épi s'avancant dans la mère rivière, de manière à en détourner la quantité d'eau dont on avait besoin.

En 1852, on régularisa la branche alimentaire en l'isolant par des digues des nombreux chenaux qui s'y déchargeaient pendant les crues, et l'on fit en sorte d'en reporter le thalweg du côté opposé à la ville de Hurdwar, afin d'a-

voir aux Gaths, pour les bains des pèlerins, une profondeur d'eau graduée et modérée.

En tête du canal de déviation, on établit un pont de douze arches, de 6^m,10 d'ouverture chacune et fermées par des vannes se reliant à un barrage-déversoir construit à travers la branche alimentaire, avec un vannage formant déversoir de fond au centre. Le tout est, sur une plus grande échelle, la reproduction du plan qui a été exécuté sur la Jumna. Le principe est d'amener les eaux de la rivière à une sorte de réservoir réglé par un déversoir, et de régler l'introduction de l'eau dans le canal au moyen d'un pont à vannes (Pl. 12, fig. 1, 2 et 3).

Dans le mur de revêtement en prolongement de l'aile d'amont et de droite du pont régulateur, on a ménagé un passage voûté pour la Bochnanulla, un des torrents ci-dessus mentionnés.

La profondeur en déblai jusqu'au plafond à l'entrée du canal, soit à l'emplacement du pont régulateur, fut de 6^m,96 dont les 5^m,18 premiers étaient de l'argile solide et le reste des cailloux.

Depuis le pont régulateur, sur une longueur de 3.219 mètres (2 milles) où le canal est ouvert dans les cailloux et galets, on lui a donné une pente de 0,373 par kilomètre (24" par mille); au delà, comme le sol était moins solide, on a adopté celle de 0^m,28 par kilomètre (18" par mille) que, dans le projet primitif, on gardait jusqu'à Roorkee. La section du canal fut calculée d'après cette dernière pente.

§ 3. — Écoulement entre la tête de prise d'eau et Jowalapoor inclus.

Depuis le pont régulateur jusqu'à la vallée de Ranipoor sur une longueur de 8.851 mètres (5 1/2 milles), le canal qui passe à gauche de Kunkhul et au sud de Jowalapoor, le touchant, intercepte l'écoulement des trois petits bassins de Lounda Leniwala, de Kunkhul et de Jowalapoor, qui lui sont perpendiculaires.

Le dernier ne présentait point un thalweg bien déterminé, et son existence ne fut révélée que par les avaries que ses eaux causèrent aux ouvrages du canal.

On était incertain sur le parti à prendre au sujet des eaux de ces bassins; on observa leur effet pendant plusieurs années que dura la construction de cette partie du canal. On remarqua que, pendant cette période, les eaux introduites dans le canal n'eurent d'autre décharge qu'une ouverture laissée dans la digue du canal près de Kunkhul, par laquelle ne s'écoulèrent jamais que des volumes d'eau fort modérés. On en conclut qu'un seul déversoir suffirait dans cette partie; on l'établit immédiatement à l'aval de Kunkhul, où il sert en même temps de tête de prise d'eau pour des irrigations et des usines.

En même temps, on construisit trois ouvrages spéciaux pour l'admission dans le canal des eaux pluviales des trois petits bassins.

Sur la digue gauche, on fit une large voûte.

§ 4. — Bassins de Ranipoor, de Puttri et de Rutmoo.

Le pays que traverse ensuite le canal sur une longueur de 12.874 mètres (8 milles) à l'aval de Jowalapoor, a des traits tout particuliers. Le terrain sur lequel on s'est tenu incline de l'est à l'ouest, de même que le versant de la Jumna incline de l'ouest à l'est. Les torrents venus des montagnes ont une pente extraordinaire et un régime tout spécial; quelquefois leurs lits s'effacent entièrement; le sol de formation alluviale est, dans une partie, complètement saturé et, dans une autre, complètement privé de source.

Le canal croise les torrents de Ranipoor, de Puttri et de Rutmoo respectivement à des distances de 4.425 mètres (2 3/4 milles), 8.861 mètres (5 1/2 milles) et 25.749 mètres (16 milles) de leur sortie des montagnes. Dans le projet primitif, la traversée devait se faire au moyen d'ouvrages pareils à ceux exécutés pour cet objet sur le canal de la

rive gauche de la Jumna ; l'excès de la pente du terrain naturel sur celle du canal devait être racheté par des murs de chute et des écluses.

Le bassin du torrent de Ranipoor a, à l'amont du canal, une étendue d'environ $116^{\text{ha}},5$ (45 milles carrés) ; on n'y trouve l'eau qu'à $18^{\text{m}},30$ (60) de profondeur. Sa pente depuis les montagnes est de $0^{\text{m}},325$ par kilomètre ($18,54$ par mille). Le sol est du sable avec quelques bancs intermittents de cailloux à une certaine profondeur.

Au moment où les travaux atteignirent ce bassin, le torrent venait de quitter, dans la partie où arrivait le canal, son ancien lit dont la largeur était moyennement de $30^{\text{m}},5$ (101'), et s'étant jeté à l'ouest par un brusque détour, il suivait sur une certaine longueur précisément la direction de la ligne projetée pour le canal. La pente du torrent au croisement du canal, sur une longueur prise pour un tiers à l'amont et pour deux tiers à l'aval, était de $2^{\text{m}},94$ par kilomètre ($15' 1/2$ par mille). Le radier de l'ouvrage, dans le projet, était placé au niveau du fond du canal à $3^{\text{m}},88$ ($12',725$) en contre-bas de la surface du lit du torrent. Pour racheter cette hauteur, on creusait le lit du torrent suivant une pente uniforme et sur une largeur de $12^{\text{m}},20$ (40') jusqu'à 1.609 mètres (1 mille) à l'amont où l'on se raccordait avec le fond naturel ; pour la sortie des eaux, on avait un déversoir de 10 vannes, chacune de $3^{\text{m}},05$ (10') de large, et à la suite, un canal de décharge de $15^{\text{m}},25$ (50') de large, d'une pente de $0^{\text{m}},435$ par kilomètre ($24''$ par mille) et d'une longueur de 2.440 mètres, aboutissant à une contrée basse qui verse au Ganges.

À la suite de ce bassin le canal croise d'abord un petit bassin sans cours d'eau, qui ne s'étend point jusqu'aux montagnes et qui verse au torrent de Puttri, puis le bassin proprement dit de ce dernier. Le cours de ce torrent vers des montagnes n'était marqué à son intersection avec la ligne du canal que par des bancs de sable plutôt en contre-

haut qu'en contre-bas du terrain environnant; le torrent semblait se terminer en éventail à environ 1.600 mètres (1 mille) à l'amont. L'étendue de son bassin jusqu'au canal est de 207 kilomètres carrés (80 milles carrés) et sa pente depuis le pied des montagnes de 27',725 par mille ou de 5 mètres par kilomètre; elle est un peu plus faible à l'aval du canal jusqu'à une distance de 5.507^m,50 (11.500') où le lit du torrent recommence à se montrer avec de faibles dimensions. Au passage sur le canal, la pente définie comme elle l'a été au torrent précédent était de 4^m,82 par kilomètre (25',41 par mille).

Le seuil ou radier de l'ouvrage projeté pour ce passage était placé au niveau du fond du canal à 2^m,92 (9',57) en contre-bas de la surface du lit du torrent.

Après avoir traversé un affluent insignifiant du torrent de Ratmoo, on arrive au bassin de ce torrent qui, jusqu'à la ligne du canal, a une étendue superficielle d'environ 326^m,214 (126 milles carrés) dont 93 kilomètres carrés (36 milles carrés) dans les montagnes. La pente du torrent depuis les montagnes jusqu'au canal est de 7^m,42 par kilomètre; elle est moindre à l'aval; au passage elle était de 1^m,60 par kilomètre (8',23 par mille).

Le seuil ou radier de l'ouvrage était projeté au niveau du lit du torrent qui se trouvait être le même que celui du lit du canal.

§ 5. — Passages des torrents de Ranipoor, Puttri et Ratmoo.

On avait reconnu l'insuffisance et les inconvénients du plan incliné projeté en 1849 pour l'arrivée du torrent de Ranipoor dans le canal; on lui substitua un mur de chute précédé d'un rapide rachetant une chute de 3^m,13 (10',33) sur une longueur de 427 mètres (1.400'), soit d'une pente de 7^m,38 par kilomètre, tandis que, à partir de l'arrière-radier du mur de chute, la pente de la décharge était de

0^m,9 par kilomètre (4',75 par mille) sur une longueur de 2.704 mètres (6.800'), soit en total 1^m,87.

Avant les crues de 1849 tous les ouvrages projetés sur ce point étaient terminés, à l'exception de la partie centrale de la décharge. A la fin de la saison des crues, à part les culées des deux côtés du mur de chute, ils étaient complètement ensevelis sous les sables, et le torrent s'était fait une pente naturelle tout à fait indépendante des ouvrages destinés à la modifier.

Ce résultat et un autre semblable qui s'était déjà produit sur la rivière de Nogong au canal de la Jumna (voir les *Annales des ponts et chaussées*, novembre et décembre 1871, chap.V, titre III, p.143) firent admettre la théorie suivante:

Le lit sablonneux d'un torrent venu des montagnes se compose, à partir de la surface, d'une couche qui, jusqu'à une certaine profondeur, est plus ou moins sujette à être mue ou remplacée sous l'action des eaux du torrent et des matières qu'il charrie.

Si l'on établit un obstacle permanent A dans la partie mobile du sous-sol, le courant tend à s'élever au-dessus, ce qui produit à l'aval de l'obstacle un rapide qui augmente l'action du courant sur le lit dans la partie d'aval, et par suite le va-et-vient ou mouvement alternatif des approfondissements et des ensablés, et qui trouble profondément le régime du torrent. Lorsque le sommet de l'obstacle est au-dessous de la limite de l'action du torrent sur son lit, il n'a aucun effet nuisible.

On tira de cette théorie la conclusion que, avec des torrents venant de montagnes continuellement à l'état d'éboulement comme le sont les monts Sewalik, et charriant une quantité énorme de débris minéraux, on ne réussirait jamais à maintenir les ouvrages projetés pour la traversée du canal dans le système où on les avait conçus et dans lequel la cuvette du canal est tranchée dans le lit du torrent, et qu'il fallait exécuter des passages par-dessus.

Les *fig. 15 bis, 19 bis et 20 ter* (Pl. 10) montrent cette dernière combinaison comparée aux précédentes *fig. 19, 20 et 20 bis*.

Immédiatement à l'amont du passage par-dessus du torrent de Ranipoor, on a dans le canal un mur de chute de $43^m,61$ ($143'$) de longueur au pied duquel le canal est au même niveau que dans le projet primitif; il a une pente de $0^m,2$ par kilomètre ($1',052$ par mille) sur une longueur de $2.971^m,31$ ($9.742'$), chute totale $0^m,59$, jusqu'à la crête du mur de chute de Bahodoorabad n° 2; au pied de cette chute il prend une largeur de $51^m,32$ ($170'$) et une pente de $0^m,25$ par kilomètre ($1',3$ par mille) jusqu'à la crête du mur de chute de Rahadoorabad n° 3. Il a ensuite jusqu'au pont de Duowri une largeur de $48^m,80$ ($160'$) et une pente de $0^m,23$ par kilomètre ($1',2$ par mille) avec une interruption aux chutes n° 4, soit de Puttri ($11.963'$) $364^m,71$ à l'aval de la chute précédente; pente totale $0^m,84$ ($33'',08$).

On effectua le passage par-dessus le torrent de Ranipoor en jetant six arches de $7^m,62$ ($25'$) de large chacune sur le radier au pied du mur de chute du canal, et on donna à la cuvette de l'aqueduc un débouché linéaire de 61 mètres ($200'$). On réalisa les mêmes dispositions pour le passage du torrent de Puttri, en donnant à l'aqueduc un débouché linéaire de $91^m,50$ ($300'$).

Le passage de Rutmoo s'effectue dans le système du projet primitif. Le déversoir pour la décharge a un vannage de 183 mètres ($600'$) de débouché linéaire; les eaux, lorsqu'elles en atteignent le sommet, déversent sur une longueur de 244 mètres ($800'$).

§ 6. — Autres ouvrages jusqu'à Roorkee.

Le même système a été appliqué sur d'autres points de cette partie du canal. Voici le tableau de tous les ouvrages de cette sorte depuis la tête à Myapoor jusqu'au torrent de Rutmoo.

| DÉSIGNATION des bassins partiels d'écoulement des eaux pluviales. | DÉBOUCHÉ DES OUVRAGES | | OBSERVATIONS. |
|--|-------------------------|----------------|---|
| | à l'entrée des eaux. | à leur sortie. | |
| | mètres. | mètres. | |
| Lounda-ieni-wala. . . | 15,25 (50') | 0 | |
| Kunkhul. | 13,25 (50') | 6,10 (20') | Passage à niveau (1). |
| Jowalapeor. | 30,50 (100') | 0 | |
| Ranipoor. | 61,00 (200') | 61,00 (200') | Passage par-dessus le canal de 61 mètres de débouché linéaire. |
| Selinpoor. | 45,75 (150') | 0 | |
| Putri. | 91,50 (300') | 91,50 (300') | Passage par-dessus le canal de 91,50 de débouché linéaire. |
| Gorb. | 0 | 0 | |
| Radshahpoor. | 15,25 (50') | 0 | |
| Rutmoor. | 244,00 (800') | 244 00 (800') | Passage à niveau. |
| Totaux. | 518,50 (1700') | 402,60 (1320') | |

(1) Par cette expression on n'entend point que le lit du torrent et celui du canal sont au même niveau, mais seulement que leurs eaux se confondent au passage.

Le débouché de décharge est bien inférieur à celui des ouvrages d'admission; on doit remarquer à ce sujet que l'on a donné à ceux-ci une ouverture supérieure à celle qui eût été rigoureusement nécessaire, et cela dans le but de diminuer autant que possible l'action des eaux affluentes sur le fond du canal à la traversée.

Un canal de dérivation ayant pour objet exclusif la navigation, se détache de la gauche du grand canal immédiatement à l'amont du pont de Jowalapeor, qui fait lui-même partie des ouvrages de dérivation. Le canal dérivé passe sous le pont-aqueduc de Ranipoor à son extrémité gauche; il a trois écluses, une sous cet ouvrage, les deux autres à la correspondance des chutes du grand canal. Il rentre dans ce dernier immédiatement à l'aval du pont-aqueduc du Putri, sous lequel il passe de la même manière que sous l'aqueduc de Ranipoor.

On construisit tous ces grands ouvrages avant de creuser le canal lui-même. Jusqu'à leur achèvement, on se contenta d'une simple rigole d'une largeur de 3^m,5 (10') ouverte dans l'emplacement futur du canal. Elle fut très-utile surtout pour le transport des matériaux, qui venaient tous

d'amont. A l'aval du régulateur de Rutmoo, le canal reste dans la vallée basse ou K'hadir de ce cours d'eau, sur une longueur de 1.523 mètres (5.000'), puis il se tient sur un terrain élevé jusqu'à une distance de 2.663^m,50 (10.700'). Près du village de Bajookeri, il rencontre une dépression avec thalweg d'ordre inférieur dont on a détourné les eaux sur la droite en leur donnant pour décharge à l'ouest du village de Maherwar un couple de déversoirs situés des deux côtés du canal et faisant partie du système d'ouvrages exécutés pour le passage de la vallée du Solani. Ce passage s'effectue par un chenal de 45^m,75 (150') de large, porté en partie sur des levées d'une longueur totale de 4.500^m,27 (14.755'), et en partie sur un pont-aqueduc d'une longueur de 284^m,26 (932'), comprenant quinze arches chacune de 15^m,25 (50') d'ouverture et s'élevant de 7^m,32 (24') au-dessus du lit du Solani.

Le canal se continue ensuite sur une longueur de 6.466^m,61 (21.202') jusqu'aux chutes de Assoffnuggur. On a réduit la pente dans cette partie afin de diminuer dans le canal, au passage du Solani, à l'amont, la vitesse du courant et son action sur le fonds.

§ 7. — Répartition de la pente.

Le tableau ci-après résume les pentes de fonds et les chutes de cette partie du canal.

| DÉSIGNATION des parties du canal. | LONGUEURS intermédiaires. | PENTE TOTALE correspondante. | PENTE par mètre. | CHUTES. |
|---|------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------|
| | kilom. | mètres. | mètres. | mètres. |
| Depuis le Ganges jusqu'au seuil du pont régulateur de Myapoor. | 3,218 | 1,278 | 0,000397 | 7,92 |
| De ce point au radier du pont de Kunkhul. | 1,609 | 1,32 | 0,000824 | 1,315 |
| De ce point de radier du pont de Jowalapoor. | 1,609 | 1,287 | 0,000787 | 1,835 |
| De ce point à la crête des chutes de Ranipoor. | 1,609 | 0,826 | 0,000513 | 0,79 |
| Du pied des chutes de Ranipoor à la crête des chutes n° 2. | 1,609 | 1,364 | 0,000845 | 0,587 |
| Du pied des chutes n° 2 à la crête des chutes n° 3. | 1,609 | 0,822 | 0,000510 | " |
| Du pied des chutes n° 3 à la crête des chutes n° 4. | 3,218 | 0,428 | 0,000133 | 0,827 |
| Du pied des chutes n° 4 au radier du pont régulateur de Duhnowri. | 4,828 | 0,076 | 0,0000157 | 1,123 |
| Du radier de ce pont à celui du pont régulateur de Rutmo. | 4,828 | 0,336 | 0,0000903 | 0,137 |
| Du radier de ce pont à celui du pont de Peerankullur. | 1,609 | 0,425 | 0,000264 | 0,378 |
| De ce radier à celui du pont de Mahewur. | 1,609 | 1,021 | 0,0006345 | 0,705 |
| De ce radier à celui de la cuvette de l'aqueduc de Solani. | 3,218 | 0,187 | 0,0000581 | 1,058 |
| Du radier de cette cuvette à celui du pont de Rorkee. | 3,218 | 1,038 | 0,0003225 | 0,056 |
| De ce radier à l'arête des chutes d'Assoinnuggur. | 6,437 | 0,250 | 0,0000387 | 1,348 |
| Totaux. | 40,232 | 12,16 | 0,0054328 | 16,25 |

Cette section fournit comparativement peu d'eau aux irrigations. Il ne s'y trouve que deux prises d'eau.

N° 2. — DEUXIÈME SECTION DU CANAL COMPRISE ENTRE ROORKEE ET NANOO.

§ 1. — Dispositions générales.

La fig. 21 de la Pl. 10 montre la répartition que l'on a entendu faire des eaux du canal du Ganges, en supposant qu'à Roorkee on dispose d'un maximum de 191^m 700.

Dans cette section, le canal a au plafond une pente uniforme de 0^m,23 par kilomètre (15" par mille) avec des murs de chute aux points suivants :

| DÉSIGNATION DES CHUTES. | Leurs DISTANCES à la tête du canal. | | CHUTES. | DÉBOUCHÉS linéaire. |
|-------------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------------------|
| | kilom. mèt. | mètres. | mètres. | mètres. |
| Assoffnuggur. | 34.219,19 | 2,44 | 61,00 | |
| Muhmoedpoor. | 50.069,65 | 2,44 | 61,00 | |
| Belra. | 68.455,51 | 2,44 | 61,00 | |
| Jaeti. | 77.768,99 | 2,44 | 61,00 | |
| Chitowra. | 99.028,68 | 2,44 | 61,00 | |
| Sulawar. | 108.540,03 | 2,44 | 45,75 | |
| Bhola. | 125.639,53 | 2,44 | 45,75 | |
| Danna. | 169.926,06 | 2,44 | 45,75 | |
| Paira. | 239.354,67 | 1,52 | 39,50 | |
| Simra. | 262.822,05 | 1,52 | 39,50 | |
| Total. | " | 22,57 | " | |

On a augmenté à la fois le débouché et la profondeur des fondations aux points où les murs de chute sont construits dans le sable. Pour ne pas réduire le débouché des ponts, on a fait passer le chemin de halage sur une voie en charpente à jour sous l'arche extrême de gauche, ou bien sous une voûte ouverte dans le mur en aile, au lieu d'y consacrer une partie de l'ouverture de l'arche extrême. Partout où l'on a rencontré le sable, on a construit à la suite des radiers des ponts et des chutes des arrière-radiers en blocs de Kunkhur ou en maçonnerie de briques, protégés par des lignes de pieux; on a défendu de la même manière les culées des ponts.

§ 2. — Du 32^e au 96^e kilomètres (20^e au 60^e mille).

De Roorkee à Belra, sur 32 kilomètres (2 milles) de longueur, le pays a une pente longitudinale de 0,44 par kilomètre (2',3 par mille), et le canal une direction intermédiaire entre la haute berge du K'hadir du Ganges et le thalweg de la Seela-Nulla, dont le bassin étroit verse à la Kallee-Nuddee occidentale. Il traverse un pays sablonneux où l'on ne trouve de l'eau qu'à une grande profondeur, mais cependant assez bien cultivé.

Les principaux ouvrages que l'on rencontre jusqu'à Belra sont: les chutes d'Assoffnuggur, avec une dérivation naviga-

ble sur la gauche de 2.287^m,50 (7.500') de longueur, dont 1.067^m,50 (3.500') à l'amont et 1.220 mètres (4.000') à l'aval des chutes, le tout disposé comme il est indiqué à la *fig. 2* de la Pl. 2. La tête de dérivation est défendue par des murs qui se retournent à l'amont et à l'aval le long de la berge du canal. Un rajbua (canal d'irrigation) se détache de la droite du canal en face de la tête de la dérivation; un autre prend naissance immédiatement à l'amont de la chute et de l'écluse en dérivation dont la décharge fait tourner des moulins.

On trouve la même série d'ouvrages et les mêmes dispositions à chacune des chutes mentionnées au tableau précédent, et l'on se dispensera de les citer à l'avenir lorsqu'on parlera de chutes.

Au delà de Belra, du 64^e au 96^e kilom. (40^e au 60^e mille) le canal tourne d'abord la tête de la Kallee-Nuddee orientale, qui coule d'abord à une distance de 15 kilomètres de la Kallee-Nuddee occidentale; puis il s'avance entre les deux rivières. La pente longitudinale du pays est de 1 mètre par kilomètre (5',4" par mille). A 80 kilomètres et demi de l'origine du canal, une branche dite de Futtigurh s'en détache sur la gauche pour irriguer le pays compris entre le Ganges et la Kallee-Nuddee orientale.

Cette rivière commence au village d'Entwarra, à peu près en face du milieu du 97^e kilomètre (60^e mille) du canal par de vastes étangs ou réservoirs qui sont à sec l'été; elle devient un cours d'eau bien défini et pérenne à Bolundshuhur, et tombe dans le Ganges dans le district de Furruckabad. Elle est le plus souvent parallèle au canal du Ganges et lui sert en grande partie de décharge.

Les ouvrages de la tête de la branche de Futtigurh, consistent en un pont de neuf arches chacune d'une portée de 6^m,10 (27'), sur le canal principal, et un autre pont de quatre arches de même portée, sur l'embranchement; ces deux ponts sont reliés entre eux par des murs de revête-

ment établis de chaque côté des digues du canal et de l'embranchement (fig. 3 de la Pl. 11).

Jusqu'à Sirdhunna, le canal se trouve placé entre la Kallee-Nuddee orientale et la Kallee-Nuddee occidentale, qui se termine dans l'Hindun en face de cette ville. Là il se détourne au sud pour éviter des collines de sable situées au nord de Sirdhunna, puis continue entre la Kallee-Nudde orientale et l'Hindun, deux rivières qui, dans cette partie de leur cours, sont très-considérables et ont des vallées basses ou k'hadirs fort étendues.

§ 3. — Du 96° au 160° kilomètres (60° au 100° mille).

Au 100° kilomètre du canal se trouve la décharge n° 1, dite de Khutowli, dans la Kallee-Nuddee occidentale : elle a 18^m,30 de débouché linéaire, ainsi que le canal de décharge dont la longueur est de 5.431 mètres (3 $\frac{2}{3}$ milles); le plafond du canal du Ganges est à 8^m,91 (29',21) en contre-haut du fond de la rivière.

Le Rajbaha principal, à l'ouest du canal, traverse le canal de décharge à 1.837^m,32 (6.024') de son origine, sur un pont-aqueduc sous lequel ce canal a une chute verticale de 2^m,44 (8') destinée à racheter l'excès de pente totale.

Pour élargir et approfondir le canal de décharge, on s'est servi autant que possible de l'action des eaux, en ajournant, autant qu'il le fallait pour cela, la construction des ouvrages en maçonnerie qui devaient y être établis. La pente est répartie comme il suit :

| | | |
|---|--------------------|---------|
| Longueur L du canal de décharge. | mètres. | 6.100 |
| Différence D de niveau entre le lit du canal, et celui de la rivière de décharge. | | 8,91 |
| Pente de fonds P du canal de décharge à raison de | | } 2,055 |
| 0 ^m ,28 par kilomètre (1 1/2' par mille). | 1 ^m ,75 | |
| Chute K au bas du déversoir de décharge. | 0,305 | |
| <i>Différence.</i> | | 6,875 |

| | |
|---|------------------|
| Reste à répartir entre plusieurs murs de chute de hau- teurs variables entre 1 ^m ,83 (6') et 2 ^m ,44 (8'). | metres. 6,875 |
| Chute sous le pont-canal du Rajbuha. | 2,44 |
| Deux autres chutes de 2',287 (7' 1/2 chaque) entre le Raj- buha et la rivière. | 4,575 |
| Total. | 7,015 |

Une répartition semblable a été faite pour tous les autres canaux de décharge dont il sera fait mention. L et D sont données par le profil en long du terrain, K est une constante ainsi que P, et le nombre des murs de chute se déduit des quantités L et D.

Au 111^e kilomètre (69^e mille), le canal coupe l'ancien canal de Mahomed A boo Khan, qu'emprunte plus loin le canal d'écoulement de la deuxième décharge du grand canal dans la Kallee-Nuddee occidentale; celle-ci, pour les débouchés, est tout à fait semblable à la première. Entre ces décharges n° 1 et n° 2 se trouvent les chutes et ouvrages de Sulawur, semblables aussi à ceux d'Assoffnuggur, mais d'un débouché de 43^m,075 (150') seulement. A partir de Jullahabad, le canal se maintient, au prix de quelques sinuosités, sur la ligne de faite entre les deux rivières qui, à Jullahabad, sont séparées par une distance de 42 kilomètres (26 milles). Cette ligne se rapproche beaucoup de l'Hindun, parce qu'entre elle et la Kallee-Nuddee occidentale s'interposent successivement deux affluents dont le dernier, la Choiya-Nulla, a un parcours de 48 kilomètres (30 milles); elle présente les mêmes caractères que la Kallee-Nuddee orientale.

La pente longitudinale du pays est de 0,33 par kilomètre (1',75 par mille), et il est bien cultivé. Le canal est ouvert dans un terrain solide par-dessous lequel on trouve le sable.

Au village de Janni-Khoord, le grand canal a encore une décharge (décharge n° 3) dans l'Hindun; le canal de dé-

charge a une longueur de 8.046^m,55 (5 milles); les ouvrages sont semblables à ceux du n° 2.

§ 4. — Du 151° au 225° kilomètres (100° au 140° mille).

Au 177° kilomètre (110° mille) la branche de Bolundshuhur se détache de la droite du canal pour l'irrigation des Purgunnas (terrains bas et marécageux) situés sur le bord du K'hadir de la Jumna. Les ouvrages qui forment la tête de cette branche, sauf une réduction dans les débouchés, sont semblables à ceux de la tête de la branche de Futtigurh. Elle traverse les terrains bas où la Putwain-Nulla prend naissance, et ensuite elle s'avance entre ce cours d'eau et la rivière de Kuroon, qui commence au village de Papuh, situé sur la gauche du canal principal.

Du 193° au 225° kilomètre (120° au 140° mille), le canal s'avance entre la Kallee-Nuddee orientale et la rivière de Kurroon qui présente les mêmes caractères que la Choïya et qui tombe dans la Jumna un peu plus à l'aval d'Agra. Dans cette partie la pente longitudinale de terrain est de 0,27 par kilomètre (1',42 par mille).

§ 5. — Du 225° kilomètre (140° mille) à Naron; 289^h,778 (180^{milles},8).

Du 225° 1/2 au 257° 1/2 kilomètre à (140° au 160° mille), le canal continue à suivre la ligne de faite, tout près de la Kallee-Nuddee orientale.

Au 230° kilomètre (143° mille), au village de Moonda-Khera, se trouve la décharge n° 4 renfermant 10 vannes de fonds de 1^m,8 (316') de large chacune, se reliant au mur de revêtement à l'amont du pont de Moonda-Khera.

Le canal de décharge a une largeur de 15 mètres (50'), une longueur de 2.897 mètres (9.500') et une pente totale de 5^m,10 jusqu'au lit de la Kallee-Nuddee orientale. L'ouvrage de décharge est aussi le point de départ d'un Rajbuha.

A 4.826 mètres (3 milles) à l'aval, la branche de Koël se

détache de la droite du canal. Les ouvrages de prise d'eau sont les mêmes que ceux de la branche de Bolundshuhur. On a placé la tête de la branche en ce point afin qu'elle puisse tourner les têtes des bassins des rivières de Rinde et de Seyngoor qui sont alimentées par une vaste étendue de terrains bas ou plats où se ramassent les eaux pluviales. (Voir *Ann.* 1871, 2^e semestre, Pl. 17, fig. 1).

Elle irrigue le pays compris entre les rivières de Kurroon et de Seyngoor. La dernière présente les mêmes caractères que la première et que la Choiya; elle tombe dans la Jumna, dans le district de Cawnpoor, après un parcours de de 503.766 mètres (190 milles); elle est très-considérable et très-encaissée dans la dernière partie de son cours.

Du 225^e au 290^e kilomètre (160^e au 181^e mille) la pente longitudinale du pays est de 0,25 par kilomètre (1',54 par mille). Le pays est généralement bien cultivé et arrosé au moyen de puits dont la profondeur varie de 4^m,82 (163 à 14^m,4 (940'). Pour l'emprunt des remblais, on a fait deux excavations assez étendues pour qu'elles puissent servir de réservoirs pour l'irrigation.

A 4.827^m,93 (3 milles) à l'aval se trouve la décharge de Kasimpoor (n^o 5) qui s'écoule dans la Kallee-Nuddee orientale. C'est la reproduction de celle de Moondakhera. Le canal de décharge a une longueur de 6.276^m,90 (20.575') et une pente totale de 6^m,51 (21',55). L'excès de cette pente a été racheté de la même manière que pour le canal de Moondakhera.

A Nanoon, les ponts régulateurs ont un débouché linéaire de 33^m,80 (100') chacun divisé entre cinq ouvertures. Ils effectuent le partage des eaux entre les deux lignes dites d'Etawah et de Cawnpoor dans lesquelles se divise le canal principal à une distance de 289 kilomètres 676 mètres (280^m,8) de son origine.

Depuis Boorkee jusqu'à la branche de Futtigarh la section minimum du canal présente 42^m,70 au plafond et 3^m,25 de

hauteur de cuvette (les talus de la cuvette sont sur tout le canal à $1/2$ de base pour 1 de hauteur). On a porté le débouché linéaire des chutes et des ponts à $61^m.00$ (200'). — A partir de la branche de Futtigurh, la largeur au plafond est réduite à $39^m,65$ jusqu'à Khutowli où elle devient $38^m,60$ (130 à 120'). Du 169° au 177° kilomètre, c'est-à-dire à la tête de la branche Bolundshuhur, elle est réduite à $33^m,55$ (110'). La hauteur de la levée au-dessus du fond du canal n'est nulle part moindre que $3^m,35$ (11').

§ 6. — Débouchés et débits entre Roorkee et Nanoon.

Entre Roorkee et la branche de Futtigurh, les têtes des prises d'eau pour l'irrigation sont toutes immédiatement à l'amont des chutes et commandent parfaitement le terrain à irriguer. Il y en a huit sur la droite et huit sur la gauche du canal; elles sont alimentées à raison de $0^m,141$ par kilomètre de longueur du canal, déduction faite des 44,4 premiers kilomètres (27 $1/2$ milles) à l'aval du Myapoor, lesquels ne sont pas comptés dans les districts irrigués. Chacune des têtes de prise d'eau reçoit ainsi $1^m,178$ (41 $1/2$ pieds cubes).

Le débouché linéaire des ponts est celui qui a été indiqué plus haut jusqu'à Sirdhunna; à l'aval il se réduit à $45^m,75$ (150') répartis entre trois arches; au-dessous des chutes de Dashna, il n'est plus que de $41^m,17$ (135'). Le débouché des chutes à Julawur est réduit à $45^m,75$ (150').

Du 177° au 232° kilomètre (110° au 144° mille), la cuvette a $33^m,55$ au plafond et $3^m,05$ de hauteur qu'elle conserve jusqu'à Nanoon et qui comprend $0^m,161$ au-dessus de la ligne de plus grande tenue d'eau.

A partir du pont de Suhenda, du 232° au 289° $1/2$ kilomètre (148° au 180° mille) où finit le tronç principal, on a réduit graduellement la largeur à $24^m,40$ (80') soit, en moyenne, de $0^m,256$ par kilomètre (10" par mille). A la branche de Koël la cuvette n'a plus que $29^m,28$ de largeur

au plafond et elle n'en a plus que 24,40 à Naneon à l'extrémité du tronc où la section est représentée *fig. 3*, Pl. 10.

Dans cette dernière partie on a donné aux ponts un débouché linéaire d'abord de 41^m,17 (135') et ensuite 36^m,60 (120') répartis entre trois arches.

A partir de la tête de prise d'eau de Bolundshubur, à chaque pont, ceux Dunkoura et d'Uchuhja exceptés, sont attachées deux têtes de Rajbuhas, un de chaque côté; ils ont tous un débouché linéaire de 3^m,05 (10'). Le seuil de chaque prise d'eau est à 0^m,61 (2') en contre-haut du plafond du grand canal, soit du radier du pont contigu, afin que celui-ci transmette toujours au moins 0^m,60 (2') de hauteur d'eau pour desservir les irrigations d'aval.

La proximité de la Kallee-Nuddee orientale n'est point un obstacle au développement des irrigations de ce côté; les canaux d'amenée principaux pour l'irrigation traversent cette rivière et la vallée.

Lorsque l'eau a son maximum de hauteur dans les différentes parties de tracés ci-dessus, on a les débits suivants :

| DÉSIGNATION DES PARTIES. | AIRE de la section en mètres quarrés. | VITESSE. | DÉBITS | |
|------------------------------|--|----------|------------|-----------|
| | | | théorique. | récombré. |
| | m. q. | mét. | m. c. | m. c. |
| 1. Du kilom. 1 au kilom. 22. | 139,50 | 1,22 | 171,000 | 151,700 |
| 2. — 32 — 96. | 116,34 | 1,17 | 136,150 | 141,112 |
| 3. — 96 — 161. | 87,79 | 1,10 | 96,560 | 122,572 |
| 4. — 161 — 225. | 77,38 | 1,09 | 84,405 | 109,352 |
| 5. — 225 à Naneon. . . | 65,47 | 1,08 | 70,516 | 91,300 |

On s'est débarrassé du déblai en excès en augmentant la largeur des cavaliers. Sur quelques points ils occupent toute la largeur comprise entre les deux fossés-limites du terrain appartenant au canal. La *fig. 2*, Pl. 10 peut représenter une section sur un de ces points. C'est entre ces mêmes limites qu'on dépose les produits des curages annuels, etc.

N° 3. — LIGNE TERMINALE, DEPUIS NANOON JUSQU'AU GANGES A CAWNPOOR.

§ 1. — Généralités.

La pente du terrain naturel est très-faible dans la section du canal qui comprend les lignes terminales de Cawnpoor et d'Etawah ; celles-ci se tiennent dans les bassins du Rinde, du Seyngoor, du Pandoo et d'autres rivières qui égouttent les pays plats des districts du centre. (*Ann.* 1871, 2^e série, Pl. 17, fig. 1.)

Le point commun de départ a été placé à Nagoon, parce que c'est de ce point que les deux branches peuvent le plus facilement tourner les têtes des bassins du Rinde, du Seyngoor et de l'Eesun, de manière à intercepter et modifier le moins possible l'écoulement naturel des eaux du pays. On a conservé sur les deux lignes la pente de 0,23 par kilomètre (15" par mille), aussi loin que l'a permis la pente naturelle du terrain ; plus loin, on a adopté celle de 0^m,186 par kilomètre (1' par mille).

La ligne de Cawnpoor, sur presque toute sa longueur, qui est de 273^{km},102 (169 milles), suit le faite séparatif des bassins de l'Eesou, qui coule à gauche du Rinde.

A partir du village de Dingri, au 158^e kilomètre, le Rinde s'écarte à droite, et est remplacé dans le prolongement de sa direction parallèle à l'Eesun par la rivière de Pandoo. Le canal tourne les têtes de cette rivière et s'avance entre elle et l'Eesun, jusqu'au 224^e kilomètre. A ce point commence le bassin de la Noon, qui comprend les terrains bas situés entre Cawnpoor et Baitool ; le canal laisse ces terrains sur sa gauche et se maintient parallèle à la rivière de Pandoo jusqu'au 257^e 1/2 kilomètre (160^e mille) ; ensuite il forme un long coude au nord-est pour passer entre la ville et les cantonnements militaires de Cawnpoor, puis il entre dans le Ganges par une série d'écluses et de chutes.

§ 2. — Des 48 premiers kilomètres de la ligne de Cawnpoor.

On a construit sur le côté droit du canal, un peu à l'amont du Ginnowli, une décharge qui se rend à la Kallee-Naddee orientale, et l'on a conduit dans le canal de décharge par une tranchée parallèle au canal et sur la gauche, les eaux des trois creux ou marécages qui forment les têtes du Rinde dont le thalweg croise le canal et se continue sur la droite; on n'a donné d'abord au canal de décharge qu'une largeur de 3^m,05, laissant au courant le soin de l'agrandir. Il tombe dans un ravin au village de Chokra.

Au 38^e 1/2 kilomètre (24^e mille), la ligne traverse le marais de Jinvar qui occupe une dépression du terrain en forme de fer à cheval d'une étendue de 2 kilom. carrés, 95^b,89^e (1 mille carré) et d'une profondeur maximum de 1^m,85 (6'), dans laquelle sourcent constamment des eaux pérannes. Il a dans l'Eesun un écoulement naturel que le canal supprime pour la partie qu'il laisse sur sa droite. On a procuré à cette partie un écoulement dans le Rinde à l'aide d'une tranchée.

La section du canal est représentée par la fig. 5, Pl. 10. La largeur du rectangle qui, au régulateur de Nancoon, est de 24^m,40 (80') a été réduite de 3^m,35 (11') graduellement, soit de 0^m,064 par kilomètre (4" par mille).

La profondeur d'eau est au maximum de 1^m,85 (6') dans les deux branches; le bord du canal est à 0,61 (2') au-dessus de la surface de l'eau.

Le canal est en déblai moyennement de 1^m,93 (6' 1/3) dans un sol généralement solide. Sur ces 48 premiers kilomètres (30 premiers milles), il y a huit ponts à trois arches, chacune de 10^m,06 à 9^m,15 (33' à 30') d'ouverture. A chaque pont se trouve un chemin de halage passant sous une voûte; des têtes de Rajbuhas au joignant du pont, et des ouvrages pour l'écoulement des eaux ambiantes dans le canal. Il en est de même, en général, des autres ponts qui seront énumérés sur le reste de la ligne.

§ 3. — Du 48° au 104° 1/2 kilomètre (30° au 65° mille).

Dans les 56¹/₂, 315 (35 milles) suivants, la ligne continue à se tenir à égale distance du Rinde et de l'Eesun, jusque près de Mynpoori, où elle approche très-près du Rinde.

La fig. 5, Pl. 11, représente les dispositions réalisées à l'intersection du Rinde par la ligne du canal.

Entré le 66° et le 71° kilomètre (41° et 44° mille), on a réalisé pour l'écoulement des eaux des dispositions analogues aux précédentes.

Au 79° kilomètre (49° mille), immédiatement à l'amont du pont de Nugurree, le canal a une décharge dans l'Eesun de 9^m, 15 (30') de débouché linéaire. Le canal de décharge a la même largeur et une longueur de 274^m, 5 (900').

Vers le 82° kilomètre (51° mille), une tranchée de 1.609 mètres (1 mille) de largeur rejette dans le Rinde les eaux de quelques dépressions qui versaient à l'Eesun.

Entre le 101° et le 103° kilomètre (63° et 64° mille), on a fait, au moyen d'une tranchée, un détournement semblable.

Comme l'Eesun sert de décharge au canal, on a augmenté le débouché de ses ponts qui dans cette partie était seulement de 18^m, 30 (60').

Au 104° 1/2 kilomètre (65° mille), la section du canal, dont la largeur a été diminuée de 0,39 (1'28) tous les 4.827 mètres (3 milles) est réduite à 17^m, 95.

§ 4. — Du 104° 1/2 au 161° kilomètre (65° au 100° mille).

Au 125° 1/2 kilomètre (78° mille), la ligne du canal intercepte l'écoulement dans le Rinde de plusieurs dépressions. Au 152° kilomètre (82° mille), elle coupe deux mortes ou émissaires liés à des dépressions qui servent de réservoirs. On s'est débarrassé des eaux au moyen d'une tranchée de 4^m, 57 (15') de large et d'une pente de 0,35 par kilomètre (2' par mille).

Au 140° kilomètre (87° mille), se trouve à l'amont et au

joignant du pont Tirreea une décharge de 9^m,15 (30') de débouché avec un canal à la suite d'une longueur de 2.440 mètres (8.600') et d'une pente totale de 6^m,39 (20,94) aboutissant à l'Eesun. Cet ouvrage se compose essentiellement d'un pont à plusieurs arches jeté sur la ligne du canal, pour y conserver la circulation et dont le radier est au niveau du plafond de celui-ci. Les piles des autres ont du côté du canal des rainures dans lesquelles se manœuvre la fermeture en bois de la décharge.

La pente longitudinale du pays est de 0^m,21 par kilomètre (1',11 par mille) en moyenne. Le canal se tient, autant que possible, sur la ligne de faite des bassins du Rinde et de l'Eesun.

La cunette du canal au 161^e kilomètre (100^e mille) n'a plus que 12^m,20 de largeur au plafond et 2^m,44 de hauteur, avec des cavaliers de 0^m,6 de hauteur; la largeur a été réduite à chaque mille (1.609 mètres) de 4' (1^m,22).

§ 5. — Du 161^e au 217^e kilomètres (100^e au 135^e mille).

En face du 164^e kilomètre (102^e mille) se trouve, sur la gauche de la ligne, une dépression triangulaire d'une étendue de 6^{ha},47 (2 1/2 milles carrés), qui fait naturellement partie du bassin de l'Eesun. Les cultivateurs, dans l'intérêt des irrigations, avaient creusé un fossé pour amener les eaux de cette dépression dans le bassin du Rinde. On a régularisé et prolongé ce fossé pour jeter dans le Rinde toutes les eaux du territoire situé sur la droite du canal. Une dépression semblable, appelée le marais de Sooki, se trouve vers le 185^e kilomètre (114^e mille); les cultivateurs, à l'aide de deux tranchées, en ont amené les eaux artificiellement au Pandoo, bien qu'elle fasse partie du bassin de l'Eesun.

On a traité de la même manière des dépressions et marais semblables qui se trouvent vers le 204^e, 343^e kilomètre (127^e mille). Sur ces 56^{ha},314 (35 milles), le canal passe

entre la rivière de Pandoo et l'Eesun en suivant la ligne de falte. Il laisse sur sa gauche presque en entier le bassin d'Ourun, qui verse à la rivière de Noon, affluent du Ganges. Le pays qu'il traverse présente un trait caractéristique. De son sein s'élèvent un grand nombre d'éminences artificielles, quelques-unes très-étendues dont l'origine remonte au delà des temps historiques. Ce n'étaient sans doute d'abord que des masses de terres réunies pour construire dessus des forts dominants. Plus tard, elles se sont accrues successivement de ce que chaque génération y a apporté et des ruines des forts et des villes qu'ils protégeaient. Des dépressions étendues que l'on trouve partout à leur pied prouvent qu'on a travaillé pendant des siècles à leur donner leurs dimensions définitives. Ces excavations sont devenues des marais ou des étangs.

Ce ne sont pas seulement des buttes coniques ; souvent une éminence présente une série de crêtes rayonnant d'un centre commun et d'une élévation qui ne dépasse pas 36^m,60 (120'). Le ravinement des eaux pluviales a mis à nu des fondations très-étendues en blocs de Kukhur, et quelquefois des morceaux de sculpture hindoue et des restes de temples dont l'architecture diffère considérablement de celle des temples qui nous restent.

Au 217^e kilomètre (135^e mille), on trouve à l'amont et joignant du pont de Kukwan une décharge de 6^m,15 (30') de débouché linéaire. Le canal de décharge à la suite a une longueur de 1.692^m,75 (5.550') jusqu'au Pandoo et une pente de 2^m,16 par kilomètre (11',4 par mille).

Du 161^e au 217^e kilomètre (100^e au 135^e mille), la pente longitudinale du pays est de 0^m,18 par kilomètre (1',005 par mille), comme celle du canal.

Au 217^e kilomètre (135^e mille), la largeur du canal au plafond n'est plus que de 8^m,34, ayant été réduite graduellement de 3^m,35 (11') dans le cours des derniers 56^e,315 (35 milles).

§ 6. — Du 217^e kilomètre (135^e mille) au Ganges.

Au 264^e kilomètre (160^e mille), près de Dubowli, la ligne croise un petit bassin qui verse à la rivière de Pandoo et en laisse sur sa gauche une partie d'une étendue de 2^m,589 (1 mille carré).

On a fait sous le canal à la rencontre avec le thalweg de ce petit bassin un pont-aqueduc à trois arches, chacune de 1^m,83 (6') d'ouverture dont le radier est à 1^m,98 (6' 1/2) en contre-bas du plafond du canal, et a une pente totale de 0^m,61 (2') sur 32^m,63 (107') de longueur pour précipiter l'écoulement : ce même radier est à 6^m,68 (21' 9/10) en contre-haut du lit de Pandoo, au confluent du ruisseau de décharge, dont la longueur depuis le canal est de 2.745 mètres (9.000'). On a porté à 5^m,575 (18') la largeur de ce ruisseau. Avec cette pente et cette largeur, il suffit parfaitement pour écouler toute la décharge du canal. Celui-ci a deux déversoirs de décharge dans le ruisseau, un de chaque côté dans le bajoyer de la cuvette de l'aqueduc, chacun à trois vannes ou ouvertures de 1^m,83 (6') l'une.

A l'aval et tout près, un pont auquel est adapté un vannage régulateur a été construit sur le canal, à l'aval et au joignant de la tête d'un Rajbaha qui, au besoin, peut fonctionner comme canal de décharge. Avec le vannage, on peut intercepter l'écoulement de l'eau du canal du côté de Cawnpoor, sans interrompre l'alimentation du Rajbaha ; pendant les crues, l'ingénieur peut ainsi tenir à sec la dernière partie du canal en cas de besoin.

L'ensemble de ces deux ouvrages forme le commencement du système d'ouvrages qui termine la ligne de Cawnpoor. En approchant de la vallée basse ou K'hadir du Ganges, le terrain du plateau se relève, en sorte que la profondeur en déblai croît de 2^m,44 à 4^m,82 (8' à 16'). La

même particularité se présente sur l'une au moins des rives de chacune des rivières de quelque importance que nous avons citées.

Cette profondeur du déblai et sa nature sableuse à partir presque de la surface du sol ont obligé de construire des ouvrages propres à maintenir les terres ; on avait d'ailleurs besoin d'égouts, de quais et de ghats dans la traversée d'une grande ville comme Cawnpoor. On a cru aussi devoir apporter dans les ouvrages d'art une certaine ornementation en harmonie avec l'architecture locale. La *fig. 9*, Pl. 11, représente la section du canal et d'un des ouvrages d'art dans la traversée de Cawnpoor.

De chaque côté du canal, il y a une avenue de 30^m,5 (100') de large dont 15^m,25 (50') au centre pour les voitures. La pente transversale va du côté opposé au canal ; les eaux s'écoulent dans des puisards ou bombas dans lesquels un homme peut descendre, et dont le fond est mis en communication avec le canal par des aqueducs sous l'avenue. On a aussi, du côté opposé de l'avenue, des puits semblables le long des murs du canal.

Comme ces puits et égouts introduisent beaucoup d'eau dans le canal, on a établi entre la décharge de Dubowli et les écluses à l'extrémité de la ligne un déversoir de fond de deux vannes de 1^m,83 (6') de largeur chacune, se déchargeant dans un ravin qui verse définitivement au Ganges sur la gauche du canal et qu'on a régularisé.

La pente longitudinale du pays depuis Kuckwan jusqu'au point où commence la pente rapide vers le Ganges est de 0^m,158 par kilomètre (0',78 par mille) ; entre ce dernier point et le Ganges, qui en est éloigné de 3^k,218 (2 milles), la différence de niveau est de 17^m,26 (56'58).

La section du canal à sa rencontre avec la grande route, près de Duknapoor est représentée par la *fig. 6*, Pl. 10 ; la hauteur de la berge a été augmentée de 1^m,83 à 2^m,44 (6' à 8') à l'aval des ouvrages de Dubowli.

Outre les ouvrages dont nous avons parlé, il y a dans ces 56^k,315 (35 milles) trois ponts de deux arches de 7^m,62 (25') d'ouverture, six ponts à une arche de 9^m,15 (30') d'ouverture, deux ponts de 7^m,62 (27') d'ouverture.

A Duknapoor, la grande route traverse le canal sur un pont de 6^m,10 (20') de portée; à Cawnpoor, il y a sept ponts semblables à celui de Duknapoor et conformes au type *fig. 9*, Pl. 11. D'un pont à l'autre se trouvent des murs de revêtement, des gaths, des quais, etc., enfin tous les ouvrages figurés à ce diagramme.

Puis viennent deux séries contiguës et identiques, l'une pour l'ascension, l'autre pour la descente de cinq écluses rachetant chacune 2^m,74 (9') de chute avec des moulins et des décharges, enfin les ouvrages de rentrée en rivière.

Les écluses correspondantes des deux séries sont réunies par couples. Entre les écluses de chaque couple, il y a un canal de décharge de 1^m,83 (6') de large pourvu en tête d'un appareil régulateur. Les sas déchargent les eaux dans ce canal par leurs tambours et elles s'écoulent par le déversoir situé à l'extrémité du mur de séparation des deux séries d'écluses.

Au pied de la chute de chaque écluse il y a un réservoir ou puisard de 1^m,22 (4') de profondeur; à 2^m,13 (7') à l'aval de la chute il y a un radier en charpente entre la chute et le reste du sas. Celui-ci a 34^m,16 (112') de long y compris l'emplacement des portes d'aval et 4^m,38 (16') de large. Pour le reste, ces écluses sont conformes au type adopté sur la ligne.

Ces dispositions ont pour objet d'assurer en tout temps la navigation dans cette partie du canal, alors même que l'on manquerait d'eau ailleurs pour la navigation.

Les écluses des ponts n° 8 et n° 9 sont accolées; elles se suivent sans intervalle.

La différence entre les niveaux extrêmes des eaux du

Ganges est de 4^m,62 (15',16). Pendant les grandes crues, les écluses n° 4 et n° 5 sont hors d'usage.

Les ouvrages de rentrée en rivière sont fondés sur puits et protégés en avant par un radier précédé d'une ligne de pieux et de forts enrochements.

La ligne de Cawnpoor reçoit à sa tête 44^m,724 (1.610') par seconde qui sont répartis comme il suit : 0^m,141 par kilomètre, soit 8' par chaque mille de longueur, soit pour 273^t,526 (170 miles). 38^m,624 (1.360' cubes)

| | | | |
|---|---|------------------------------------|-----------|
| Supplément pour l'irrigation du territoire compris entre l'Eesun et la Kallee-Nuddee orientale. . . | } | 11 ^m ,20 | (50' —) |
| Réservés pour les besoins de la navigation | | 3 ^m ,68 | (200' —) |
| | | 45 ^m ,54 (1.610' cubes) | |

Nous avons donné les sections du canal en différents points ; voici les débits correspondants :

| SECTION AU | AIRE de la section en mètres quarrés. | VITESSE. | DÉBITS | |
|--|--|----------|------------|-------------|
| | | | théorique. | nécessaire. |
| mètres. | m. q. | mét. | m. c. | m. c. |
| 1 ^{er} mille (16.000) | 47,99 | 0,95 | 45,619 | 45,724 |
| 30 ^e — (48.279) | 41,85 | 0,94 | 39,465 | 38,903 |
| 65 ^e — (104.805) | 33,48 | 0,93 | 31,061 | 30,956 |
| 100 ^e — (160.931) | 25,67 | 0,80 | 20,482 | 23,004 |
| 135 ^e — (217.257) | 19,53 | 0,75 | 14,600 | 15,052 |
| Dahnipoor | 14,51 | 0,75 | 10,843 | 7,488 |

Le dessin des ponts est le même que dans le bas du canal principal.

Dans les culées sont des passages voûtés formant le prolongement du chemin de halage. A peu d'exceptions près, il y a à chaque pont des ouvrages servant à la fois de décharge et de têtes de Rajbuha (prises d'eau pour l'irrigation). Ces têtes, placées à l'amont et au joignant des ponts, sont défendues par des murs de revêtement inclinés et avec

gradins, sur une longueur qui dépend des circonstances locales. Pour les ponts ordinaires de village, cette longueur est de 18^m,3 (60'); dans d'autres cas, elle est beaucoup plus grande, sans dépasser jamais 107 mètres.

On a établi un déversoir de fond pour décharge à peu près à tous les 64^k,360 (40 milles).

Sur les premiers 48 kilomètres (30 milles) de la ligne on a maintenu le seuil des prises d'eau pour irrigation, soit des têtes des Rajbuhars, à 0^m,60 (24") au-dessus du lit du canal; du 48^e au 145^e kilomètre (du 3^e au 9^e mille), entre les ponts de Guddunpoor et de Juttipoor, cette hauteur en saillie est seulement de 0^m,40 (16").

Du 145^e au 241^e kilomètre (du 60^e au 150^e mille), c'est-à-dire jusqu'au pont de Runjectpoor, elle est seulement de 0^m,20 (80"); au delà, tous les seuils de prise d'eau sont au niveau du fond du canal.

Sur cette ligne, comme sur le tronç principal, on a établi près des ouvrages les plus importants des postes de police de première classe à tous les 19^k,308 (12 milles) environ et des postes de deuxième classe à tous les ponts intermédiaires.

N^o 4. — LIGNE TERMINALE D'ETAWAH.

Sur toute sa longueur, qui est de 281^k,525 (175 milles), cette ligne se tient à peu près à égale distance entre les rivières du Rinde et du Seyngoos, en suivant la ligne de faite. Elle se détourne seulement deux fois sur la droite, la première fois pour éviter les têtes de l'Ahneea et du Phoor, la seconde fois pour ne point couper les têtes de la rivière de Noon qui coule presque parallèlement au Rinde. Elle passe à droite de cette rivière et atteint la Jumna à Fulliabod, à 12^k,872 (8 milles) à l'est de la ville de Moosonuggur.

Aux 16^e et 19^e kilomètres (10^e et 12^e milles), entre le 27^e et le 37^e kilomètre (17^e et le 23^e mille) et du 46^e et 49^e kilomètre (29^e au 31^e mille), le canal coupe des dépressions qui font partie du bassin du Seyngoos. On a dirigé dans le

Rinde l'écoulement des eaux de ces terrains à l'aide de tranchées de faibles longueurs de 1 kilomètre $1/2$ à 3 kilomètres (1 à 2 milles) chacune.

Au 48^e kilomètre, la largeur au plafond du canal qui était de 24^m,40 (80') au point de départ, est réduite à 20^m,74 (68'), la section n'éprouvant aucune autre modification.

La pente du canal est uniformément de 0^m,23 par kilomètre (15" par mille).

Le chemin de halage est partout au moins à 2^m,44 (8') et le sommet du cavalier à 3^m,05 (15') au-dessus du fond du canal.

La profondeur en déblai varie de 1^m,92 à 2^m,75 (6',50 à 8',97). Le sol est solide, quelquefois mêlé de kunkur, généralement rétentif.

L'eau dans les puits est à une profondeur qui varie sur la gauche du canal de 4^m,75 à 10 mètres (15' à 29') et sur la droite de 4^m,57 à 22^m,87 (15' à 73').

Il y a sur le canal, dans ces premiers 48 kilomètres (30 milles), douze ponts de trois arches. Les arches ont chacune 10^m,06 (33') d'ouverture aux trois premiers ponts, 9^m,15 (30') d'ouverture aux huit ponts à la suite et 7^m,93 (26') au dernier pont. A chaque pont sont annexés des gaths, des têtes de rajbuhars et des ouvrages pour l'admission de l'eau dans le canal. Il en est de même en général à tous les ponts.

Sur les 55 milles (56^t,315) suivants, jusqu'au village de Gimsi, la ligne d'Etawah continue à être parallèle à celle de Cawnpoor et à une faible distance de cette ligne variable entre 6 et 9 kilomètres (4 et 5 $1/2$ milles). Elle s'en écarte à partir de Gimsi. Le Rinde coule à peu près à égale distance entre les deux lignes.

Entre le 87^e et le 95^e kilomètre (55^e et 59^e mille) le canal intercepte plusieurs écoulements; on les a détournés dans le Rinde au moyen d'une tranchée d'une largeur de

4^m,57 (15') et d'une pente de 0^m,0248 par kilomètre (1",6 par mille) et d'une autre coupure.

Au pont de Ghiror est attachée une décharge qui verse à la rivière de Seyngoor. Elle a un débouché de 9^m,15 (30') divisé entre six ouvertures. Le canal de décharge a une longueur de 7.240 mètres (4 milles 1/2). La chute moyenne est de 0^m,5 par kilomètre (2',90 par mille).

Entre le pont de Ghiror et le 104^e 1/2 kilomètre (65^e mille) se détache du canal, sur sa gauche, une branche qui se divise en deux rameaux; l'un irrigue le pays compris entre les rivières du Rinde et du Phoora, l'autre le territoire moins étendu situé entre le Phoora et l'Ahneea.

La pente longitudinale du terrain jusqu'au 193^e kilomètre est en moyenne de 0^m,18 par kilomètre; au 79^e kilomètre deux brusques descentes de 1^m,22 et 0^m,91 semblables à celles qu'on avait déjà rencontrées près d'Alligurh, aux chutes de Pulra et au pont de Keylunpoor. C'est là un trait caractéristique de ce plateau qui se reproduit chaque fois qu'on approche d'un nouveau bassin assez étendu. Pris dans son ensemble, le plateau entre le Ganges et la Jumna présente une surface de pente variable, mais qui diminue à mesure que l'on approche du confluent des deux rivières à Allahabod; cette surface se divise en plusieurs plans inclinés séparés par des gradins qui marquent bien la séparation des bassins secondaires.

A partir du 79^e kilomètre (49^e mille) la pente du canal a été réduite de 0^m,37 à 0^m,30 par kilomètre (15" à 12" par mille).

Au 103^e kilomètre (65^e mille) la largeur au plafond du canal est réduite à 15^m,25.

Dans cette partie du canal il y a neuf ponts à trois arches de 7^m,93 (26') d'ouverture chacune et à la suite trois ponts à deux arches de 1^m,16 (33') d'ouverture.

Du 104^e au 193^e kilomètre (65^e au 120^e mille) le canal s'avance entre les rivières d'Ahneea et de Seyngoor. Dans cette

section les rajbhas ou canaux d'amenée pour l'irrigation retombent au canal d'Etawah après avoir traversé sur des aqueducs les cours d'eau qu'ils rencontrent.

Pour détourner du canal les eaux courantes entre les 127° et 143° kilomètres (78° et 89° mille), on a creusé sur la gauche du canal une tranchée et l'on a donné au chenal d'écoulement une largeur minimum de 4^m,57 (15'). On a opéré d'une manière analogue sur la droite.

Au 193° kilomètre (120° mille), la largeur au plafond est réduite à 1^m,03 et la hauteur de la cuvette à 1^m,83; les banquettes ont toujours une hauteur de 0^m,60.

Dans cette partie, il y a sur le canal vingt ponts à deux arches chacun avec les mêmes ouvrages que les ponts précédents. Les arches ont chacune 10^m,16 (33') d'ouverture aux six premiers ponts, 9^m,15 (30') aux cinq ponts suivants et 7^m,93 (26') aux neuf ponts suivants. Au pont de Mulhosi est annexée une décharge identique à celle de Ghiror.

Entre le 196° et le 204° kilomètre (122° et 127° mille), la ligne intercepte quelques écoulements que l'on a détournés de leur cours naturel au moyen de coupures.

Entre le 227° et le 228° kilomètre (141° et 142° mille), la ligne coupe la Sithmurra-Nulla; rivière dont le lit, fort large au point d'intersection, est encaissé de 2^m,44 (8') et se trouve à 0^m,94 (3') en contre-bas de celui du canal.

A ce point, on a établi un pont précédé d'une décharge de fond de 5^m,49 (18') de débouché; le canal de décharge à une largeur de 0^m,915 (30') avec une chute totale de 7^m,62 (25') sur une longueur de 7.240 mètres (4 1/2 milles). La coupure a pour objet d'éviter le détour brusque et compromettant pour les ouvrages que feraient les eaux de la rivière pour entrer dans le canal de décharge. Les deux marais A et B sont à peu près de niveau. On a donné à la coupure AB une largeur de 4^m,57 (15') et la pente nécessaire en prolongeant l'approfondissement au delà du point B.

Dans la partie du canal située au delà du 233° kilomètre

(145° mille), on s'est écarté de la ligne de partage entre le Rinde et la rivière de Noon, pour avoir un tracé plus court de 52^t, 180 (20 milles) et qui présente moins de difficultés pour l'entrée dans la Jumna, bordée de ravins sur sa rive gauche.

Comme la ligne se tient sur le plateau à un niveau élevé jusqu'au delà du 265° kilomètre (165° mille), on a pu détacher pour l'irrigation de tout le terrain compris entre le Rinde et la rivière de Noon :

1° Un rajbaha principal adoptant le tracé que le canal lui-même devait suivre dans le projet primitif, et se partageant par plusieurs rameaux entre les divers affluents de la Noon ;

2° Des rajbahas ordinaires partant de chacun des ponts, entre Sithmurra et Ravoon, et dont les deux premières rejoignent à une certaine distance la précédente ; les autres se réunissent pour passer la Noon sur un aqueduc au delà duquel elles irriguent le territoire à droite ;

3° Les rajbahas dont les têtes sont à l'aval du pont d'Ukburpoor et qui sont destinés à l'irrigation du territoire compris entre la Noon et la haute berge du k'hadir de la Jumna.

Du 262° au 273° 1/2 kilomètre (163° et 170° mille), on a pu, les lieux s'y prêtant, établir facilement un double déversoir de fond versant de chaque côté du canal ; puis on a rejoint la Jumna par une série d'écluses.

La pente de surface longitudinale du plateau, depuis le 293° kilomètre (120° mille) jusqu'à l'arête qui borde la vallée de la Jumna au 276° 1/2 kilomètre (172° mille), est en moyenne de 0^m, 18 par kilomètre (0', 97 par mille).

Du 276° 1/2 kilomètre (172° mille) à la surface des eaux moyennes de la Jumna, sur une longueur de 4.827 mètres (3 milles), la chute est de 29^m, 91 (98').

La section du canal du 227° au 241° kilomètre (141° au 150° mille), partie où est située la décharge de Sithmurra,

est représentée à 5^m,49 de largeur au plafond et 1^m,80 de hauteur, avec banquettes de 0^m,60 de haut et 2^m,44 en couronnement, espacées entre elles de 17^m,60 à l'intérieur.

La profondeur moyenne en déblai va toujours en augmentant de 1^m,83 (6') à 3^m,66.

Sur cette ligne on rencontre successivement : deux ponts à deux arches de 7^m,93 (26') d'ouverture chacune; cinq ponts à une arche de 11^m,06 (33') d'ouverture et quatre de 9^m,15 (30') d'ouverture (entre les deux derniers se trouvent les chutes de Nubbipoor, semblables à celles du canal principal, sauf qu'il n'y a qu'une chambre de 9^m,15 (30') de large), quatre ponts de 7^m,82 (26') d'ouverture, un déchargeoir de fond avec un aqueduc par-dessous le canal, et un pont régulateur à l'aval de 6^m,50 (21'10) d'ouverture, le tout disposé comme à Dubwoli; enfin des écluses et des ouvrages pour entrer dans la Jumna, qui est navigable jusqu'en ce point.

A chacun des ponts se trouvent annexés les mêmes ouvrages que dans les ponts cités auparavant. L'alimentation de la branche d'Etawah est pareille à celle de la branche de Gawnpoor, bien que, sous le rapport de la navigation, celle-ci soit considérée comme bien plus importante que la première.

Le tableau ci-après donne les débits en différents points :

| SECTION AU | AIRE de la section en mètres quarrés. | VITESSE. | DÉBITS | |
|---|--|----------|------------|-------------|
| | | | théorique. | nécessaire. |
| mètres. | m. q. | mét. | m. c. | m. c. |
| 1 ^{re} mille (1.009)..... | 47,99 | 0,95 | 45,559 | 46,578 |
| 3 ^e — (48.279)..... | 41,85 | 0,94 | 39,396 | 39,760 |
| 30 ^e — (90.121)..... | 83,48 | 0,82 | 27,360 | 31,808 |
| 400 ^e — (860.831)..... | 25,67 | 0,80 | 20,505 | 23,856 |
| 141 ^e au 150 ^e m. (226.913 ^m à 241.396 ^m). | 13,39 | 0,73 | 9,682 | 14,541 |

Il y a à peu près à chaque pont des têtes des rajubas (prises d'eau pour l'irrigation). Depuis Nannoon jusqu'au pont de Guhrana, au 48^e kilomètre (30^e mille), elles ont

3^m,05 (10') de débouché et leur seuil est en saillie de 0^m,160 (24') au-dessus du plafond du canal.

Du 48^e au 145^e kilomètre (30^e au 90^e mille), cette saillie est seulement de 0^m,40 (16"), et le débouché est seulement de 1^m,83 (6'), et il reste le même jusqu'à la fin de la ligne. Du 145^e au 241^e kilomètre (60^e au 150^e mille), la saillie du seuil des prises d'eau n'est que 0^m,20 (8"); elle est nulle au delà du 241^e 1/3 kilomètre (150^e mille).

Les décharges sont espacées assez régulièrement de 64.360 mètres (40 milles).

On a exécuté d'abord la ligne principale jusqu'à Sithmurra, au 227^e 2/3 kilomètre (141 1/2 mille), sans entremer la fin ni les embranchements qu'on n'a exécutés qu'à près 1854, afin d'être mieux éclairé par l'expérience sur les débouchés et les dispositions à donner aux ouvrages.

TITRE III. — Description détaillée des ouvrages du canal.

Nous commencerons par décrire, en suivant l'ordre d'amont à l'aval, les grands ouvrages construits pour assurer l'écoulement des eaux courantes interceptées par le canal dans la vallée basse ou k'hadir du Ganges; nous donnerons ensuite les autres ouvrages exécutés dans ce but sur le reste du canal, puis ceux qui ont pour objet la navigation, et enfin le système de division et de distribution des eaux.

N^o 1. *Têtes de prise d'eau à Myapoor.* — La tête de prise d'eau de Myapoor est représentée dans son ensemble par la fig. 1, Pl. 11, et dans ses détails aux fig. 1, 2 et 3, Pl. 12.

Le barrage jeté en travers de la branche du Ganges à 1.174^m,25 (3.250') à l'aval d'Hurdwar est relié à droite par un mur de revêtement en partie courbe au pont régulateur qui forme l'entrée du canal. Dans le mur de revêtement en face, à l'amont du pont, la Bochnanulla débouche sous une arche de 6^m,10 (20') d'ouverture par un déversoir dont la chute est de 4^m,15 (10' 1/2).

Les radiers du barrage et du pont régulateur sont de

niveau. L'arête d'amont du radier du pont a été prise pour le zéro auquel on a rapporté toutes les cotes du canal.

Le barrage, d'une longueur de $159^m,68$ ($715'$) entre culées, a au centre quinze ouvertures de $3^m,05$ ($10'$) de large chacune. Les seuils de ces ouvertures s'élèvent à $0^m,76$ ($2' 1/2$) au-dessus du zéro; mais ils sont construits de façon à pouvoir être abaissés au zéro sans difficulté. Les piliers entre les ouvertures ont $2^m,44$ ($8'$) de hauteur, en sorte qu'il reste pour les ouvertures une hauteur de $1^m,68$ ($5' 1/2$) de débouché libre. Dans ces piliers sont pratiquées des rainures pour recevoir des poutrelles ou planches horizontales.

Entre les ouvertures centrales et les culées, la crête du barrage présente de chaque côté, sur sa longueur, trois paliers s'élevant par gradins chacun de $0^m,30$ ($1'$); le palier, au joignant de la culée, a $3^m,05$ ($10'$) de hauteur au-dessus du zéro, et la culée elle-même a $5^m,64$ ($18' 1/2$), sans compter la corniche ni le parapet, qui s'élèvent encore à $1^m,52$ au-dessus.

La crête du barrage est arasée horizontalement, sur une épaisseur de $2^m,13$ à $3^m,05$ ($7'$ à $10'$). Les piliers sont également arasés dans un même plan horizontal; on passe de l'un à l'autre, dans la saison sèche, sur des planches jetées au-dessus des ouvertures intermédiaires. Pendant les crues, ces planches sont dans deux petites remises placées aux deux extrémités du barrage.

Le barrage occupe une largeur totale de $15^m,42$ ($44'$), y compris $6^m,37$ ($20' 11''$) pour l'arrière-radier, qui se relie au lit naturel de la rivière, composé de gros galets et de cailloux.

Le pont régulateur a dix arches de $6^m,10$ ($20'$) de large chacune. La largeur du radier sur lequel reposent les piles est de $14^m,64$ ($48'$).

Comme à tous les ponts régulateurs sur le canal du Ganges, il y a des rainures à l'aplomb des têtes d'amont et d'aval,

afin de pouvoir fermer les arches de l'un ou l'autre côté. On se sert de celles d'aval quand, par suite d'un accident, on ne peut fermer à l'amont. Cette précaution, dont on s'est dispensé sur les canaux de la Jumna, a paru nécessaire sur celui du Ganges où l'eau monte jusqu'à 4^m,57 (15') au-dessus du zéro. On a aussi, pour fermer les ouvertures, un système différent de celui employé sur la Jumna ; il est représenté à la *fig.* 17, Pl. 10.

Chaque ouverture est divisée en trois parties avec seuils indépendants et étagés à 1^m,83 (6') l'un au-dessus de l'autre en reculant vers la face du pont. La vanne n° 1 est manœuvrée par un cabestan sur le support n° 1, la vanne n° 2 par un cabestan sur le support n° 2. La partie supérieure n° 3 se ferme avec des poutrelles. La manœuvre peut être simultanée pour les trois parties. On peut également ne fermer qu'une ou deux parties et faire ainsi varier la quantité d'eau qui entre dans le canal. On est obligé de laisser une arche ouverte pour la navigation, mais comme celle-ci est interrompue pendant les crues, cela est sans inconvénient. Les engins pour la manœuvre sont très-simples. Les deux cabestans sont à dé clic, et leurs supports en bois sont noyés dans la maçonnerie du pont. On agit sur les cabestans avec des barres. Les chaînes sont composées de chaînons rectangulaires avec rivets. Chaque vanne est formée de planches réunies par des tiges de fer qui se terminent en anneaux sur le bord supérieur de la vanne.

Les fondations, qui se composent d'un mur d'enceinte continu avec contre-forts, descendent à 1^m,83 (6') de profondeur et sont en entier en maçonnerie de galets et de ciment. La maçonnerie intérieure est faite pour la plus grande partie de galets et briques ; tous les parements et toutes les parties délicates de la construction sont en briques. Les escaliers et les chaînes de pierres pour rainures sont en grès choisi avec beaucoup de soin parmi les grès généralement défectueux des monts Sewalik.

Tous ces ouvrages sont recouverts d'un enduit composé en volume d'une partie de chaux non éteinte pour une partie de ciment de briques.

Le mortier est composé en volume : pour la maçonnerie de galets, de 1 de chaux, 1 de soorkee et 1 sable ; pour la maçonnerie de briques, de 1 de chaux et 1 de ciment de briques.

N° 2. *Passages par-dessus Ranipoor et Putri.* — Ces ouvrages ont été construits dans des vallées basses ou K'hahirs, dont le sol est une accumulation des débris détachés par les pluies et les torrents des flancs des monts Sewalik, qui sont constamment à l'état de dégradation ; il s'y trouve nécessairement beaucoup de sable.

Les passages par-dessus Ranipoor et Putri ne présentent entre eux que des différences insignifiantes ; il suffit donc de décrire le dernier dont l'exécution a présenté le plus de difficultés.

Le torrent passe dans une cuvette dont le plafond a 90^m,28 (296') de largeur et les côtés 3^m,05 (10') de hauteur ; les murs latéraux se prolongent de 30^m,50 (100') environ à l'amont et à l'aval de l'ouvrage et s'enracinent dans le sol naturel en s'épanouissant pour former l'entrée et la sortie des eaux. On leur a donné une hauteur suffisante pour que le torrent puisse faire lui-même par des dépôts son lit dans la cuvette, suivant la pente de fond qui est la conséquence naturelle de son régime. Cela a permis d'avoir toutes les lignes apparentes de la construction horizontale.

La cuvette est supportée par neuf arches surbaissées de 7^m,62 (25') de portée reposant sur des piliers de 1^m,37 (4 1/2) d'épaisseur. L'arche extrême de gauche sert pour la navigation de la manière décrite au titre n° 3 du présent chapitre, *Ouvrages pour la navigation.* Les huit autres forment le débouché du canal du Gange. L'épaisseur, depuis la clef de l'intrados de chaque voûte jusqu'au plafond de la cuvette, est de 0^m,915 (3') voir fig. 12 et 13, Pl. 13).

Les piliers des huit arches se prolongent à l'amont en forme de bajoyers arasés à la hauteur du plafond de la cuvette. En tête de chaque intervalle entre deux piliers se trouve une chute de 2^m,74 (9'), dont le profil est une courbe à double courbure qui commence à 3^m,66 (12') à l'amont de la tête des arches et qui se raccorde tangentiellement, d'un côté avec le plafond du bief à l'amont, et de l'autre avec le radier du pont formant le commencement du bief d'aval.

A la base des avant-becs qui les terminent à l'amont, les bajoyers sont pourvus de rainures verticales qui permettent de fermer chaque ouverture avec des poutrelles ou madriers superposés horizontalement. Les fondations des radiers et seuils des biefs d'amont et d'aval sont défendues par des lignes de pieux jointifs; à l'amont, la ligne de pieux est à 3^m,35 (11') en avant des avant-becs; à l'aval, elle est à une distance de 21^m,35 (70') de la tête d'aval du pont. Là, les murs latéraux, entre lesquels le canal est contenu à l'aval du pont, se terminent en arcs de cercle s'épanouissant vers l'extérieur et défendus également par des lignes de pieux jointifs. On a réalisé aussi une disposition semblable à l'amont.

L'intervalle entre les lignes de pieux et les radiers a été recouvert de grillages et d'encoffrements en charpente remplis de galets.

Ces ouvrages, aussi bien que ceux représentés à la fig. 4, Pl. 11, qui ont servi à redresser le lit du torrent, sont imités de ceux de la Lombardie et du Piémont, à cause de la grande analogie que les cours d'eau subhimalayens ont dans leur partie supérieure avec ceux de l'Italie septentrionale.

On a construit de chaque côté de l'axe du passage et perpendiculairement à sa direction une série d'épis en terre; les deux séries laissent entre elles un espace libre pour les eaux, mais qui va en se resserrant à mesure que l'on ap-

proche de la ligne du canal. Les têtes de ces épis sont disposées et défendues de la manière qui sera décrite au passage à niveau de Dunowri, au n° 3 suivant. (Voir fig. 12 et 13, Pl. 10.)

Le lit ainsi régularisé amène les eaux à une série d'ouvrages qui se relient aux murs en aile du pont et qui ont pour objet d'en faciliter l'entrée et de modérer l'action du courant. Ils consistent en défenses latérales et en épis formés de galets et autres matériaux lourds solidement reliés et retenus par une charpente. A leur pied sont des radiers formés de la même manière que ces ouvrages eux-mêmes et terminés en avant par des files de pieux jointifs.

L'entrée du passage par-dessus lui-même est couverte d'un grillage en charpente de 30^m,50 (100) de largeur, au-dessus duquel se trouve encore un radier en maçonnerie ordinaire : ce grillage présente une pente de 1^m,52 (5') et se termine vers l'amont par un arc de cercle rentrant, de telle sorte qu'il enveloppe les ouvrages de défense. On a eu soin d'établir ceux-ci aussi bas que possible et de les garantir par des lignes de pieux, afin qu'ils ne soient pas ruinés par les remous et les tourbillons pendant les crues.

A la sortie du passage par-dessus on a des ouvrages analogues, mais beaucoup plus simples ; les défenses latérales sont de simples ouvrages en bois ou charpente reliés entre eux, faisant suite aux murs en aile et s'étendant assez loin pour que les eaux puissent déborder sans nuire aux ouvrages.

Depuis la construction du canal, on remplace successivement et à mesure que faire se peut, par des perrés, les défenses en charpente mentionnées ci-dessus et celles qui le seront plus loin.

Les radiers du pont de Puttri sont établis à une profondeur au-dessous du sol variable de 6^m,95 (22',80) à 11^m,53 (37',8), tandis qu'on trouvait l'eau de source à 2^m,21 (7',25) au-dessous de la surface.

Avant la saison des pluies de 1850, on avait commencé par élever des digues pour protéger les ouvrages, et l'on avait ouvert un chenal de 91^m,50 (300') de large, dans lequel on voulait maintenir le torrent qui, ainsi qu'on la vu, n'avait pas de lit déterminé aux abords du passage.

Les crues se divisèrent en un point situé assez loin à l'amont; une partie des eaux prit une direction à l'est qui coupe le canal au point où est maintenant le déversoir d'admission de Selinpoor, en bouleversant la cuvette en déblai. Toutefois, la masse passa par la coupure de 91^m,50 (300') de large qu'on lui avait ménagée, tout en causant quelques avaries aux ouvrages. En 1851, 1852 et 1853, les crues se divisèrent encore, ce qui fut utile pour les travaux; plus tard, le passage qu'elles s'étaient frayé à l'est se combla naturellement.

Pour la construction du pont, l'ingénieur Login, sur la proposition et sous la direction duquel l'ouvrage fut construit, profita de la pente rapide que le terrain naturel présente transversalement au canal pour faire une coupure aboutissant à un cours d'eau, et à l'aide de laquelle il abaissa jusqu'à 3^m,05 (10') au-dessous du sol le niveau des sources. Depuis lors, il ne fut presque plus gêné par l'eau; quelques épuisements seulement furent nécessaires pour l'exécution des parties les plus basses de l'ouvrage.

La construction est tout entière en briques et galets; ceux-ci forment les massifs, celles-là les parements sur 0^m,45 (18") d'épaisseur. Le passage par-dessus Putri donne un débit de 882^m°,53 (1.976' cubes) quand la hauteur d'eau est de 1^m,83 (6'), et de 1.880 mètres cubés (66.189' cubes) quand elle est de 3^m,05 (10'); on suppose que la pente de surface de l'eau est parallèle à la ligne qui joint les points non attaqués du lit à l'amont et à l'aval.

La *fig. 15 bis*, Pl. 10, donne le profil en long du canal au passage du torrent de Ranipoor; la *fig. 15*, le lit du torrent.

Une brigade de dix hommes avec un chef est attachée à

chacun des passages par-dessus pour l'entretien et les soins à leur donner et pour la manœuvre de l'écluse attenante à chacun d'eux.

N° 3. *Passage à niveau du Rutmoo à Dunowri* (*). — Le Rutmoo peut être considéré comme perenne, bien que son débit d'été soit très-faible, et même qu'il soit nul pendant un temps très-court avant les pluies annuelles. Dans les plus grandes sécheresses, on trouve l'eau de source immédiatement au-dessous de la surface de son lit.

La vallée basse ou K'hadir dans lequel se déplace le torrent a une largeur de 1.609 mètres (1 mille).

La *fig. 18*, Pl. 10, représente l'ensemble des travaux.

Le redressement de la rivière a été effectué au moyen d'éperons comme celui du torrent de Puttri.

Voici comment on a opéré le redressement de la rivière suivant l'axe des deux déversoirs d'entrée et de sortie :

Avant les pluies de 1852 on a fait, dans la direction de cet axe, trois tranchées parallèles formant corde du dernier coude du torrent entre les points C et E de la *fig. 10*, Pl. 10. En y faisant passer les eaux, on exécuta cette première partie du redressement. Avant les crues de 1853, on le prolongea de la même manière par une coupure à la suite jusqu'au canal.

Pour vaincre la tendance de la rivière à reprendre son ancien cours, on construisit les épis AB, CD, EF (*fig. 10*, Pl. 10). Les points B, C, D appartiennent à un terrain élevé situé au milieu de la rivière ; au point le plus élevé D, l'ingénieur Login a construit l'épi représenté par la *fig. 11*, Pl. 10. Le sommet triangulaire est fait d'enrochements maintenus par des chevrons de 4^m,57 (15') de long ; il en est de même du sommet des puits et des défenses. A l'extrémité saillante *x* (*fig. 11*, pl. 10), on laissa une simple charpente ouverte pour que l'eau se brisât dessus.

(*) Ici l'expression de *passage à niveau* est rigoureuse ; le lit du canal et celui de la rivière se croisent sensiblement à niveau.

Les deux obstacles semblables B et D forcèrent les eaux à se jeter dans la nouvelle direction. L'entraînement d'un épi au point x de la *fig.* 10, Pl. 10, fit recourir à un autre moyen pour fermer l'ancien lit.

On enfonça deux pieux en fer à vis de 3^m,72 (12') de long de manière que les anneaux au sommet s'élevaient au-dessus du lit de la rivière et l'on réunit ces anneaux par une chaîne à laquelle on attachait autant que l'on put d'arbustes et de grandes branches. Une petite crue étant survenue, il se forma en une nuit un atterrissement de 15^m,25 (50') de large sur 91^m,50 (300') de long dans lequel les bois avaient disparu. Ce succès déterminait l'ingénieur à continuer le même système à travers tout le lit de la rivière en inclinant les pieux à vis et les reliant par des cordes de la manière indiquée en coupe à la *fig.* 13, Pl. 10, et en plan à la *fig.* 12, Pl. 10.

Par cette disposition l'atterrissement s'étendit et s'éleva par degrés jusqu'à la hauteur des berges.

A l'aval du pont régulateur jusqu'à l'escarpement de Peeran-Kulleur, au bord du plateau, le canal a la section indiquée au titre II, n° 1, § 5, avec les variantes suivantes :

A mesure que le canal se rapproche de l'escarpement dont la direction est perpendiculaire à la sienne, les digues du canal vont en s'écartant de manière à fermer le passage au Rhugulea-Nulla, ruisseau artificiel qui paraît avoir été creusé pour arroser les rizières qui le bordent ; il se trouve ainsi rejeté dans le Rutmoo à l'amont du canal.

On a aussi relevé et renforcé la digue du canal située du côté d'amont de la rivière du Rutmoo.

On a trouvé l'eau de source de 2^m,13 à 2^m,74 (7' à 9') au-dessous de la surface ; on l'a fait baisser de 1^m,97 (6',25) au-dessous de son niveau naturel en ouvrant une tranchée de 6^m,10 (20') de largeur de 0^m,28 de pente par kilomètre (1',50 par mille) et d'une longueur de 1.830 mètres (6.000') entre les travaux et le point de raccordement avec le fond

de la rivière à l'aval. Cette coupure a permis non-seulement d'arrêter beaucoup plus bas le sommet des fondations, mais encore de se débarrasser, au moyen de drains ou émissaires souterrains aboutissant dans la tranchée, des eaux venant de l'amont des ouvrages, qui auraient pu s'accumuler de ce côté et causer des avaries, comme aussi des eaux de source qui auraient pu miner les murs de revêtement à droite du canal. L'émissaire B¹, B², B³, B⁴ remplit le premier objet et l'émissaire A¹, A², A³, A⁴ le second (fig. 18, Pl. 10).

Fondations sur blocs. — Tous les ouvrages, sauf une partie de celui qui sert pour l'admission des eaux, sont fondés sur des blocs; on appelle ainsi des puits ayant le plus souvent la forme de coins tronqués reposant horizontalement sur leurs têtes et dont la longueur est parallèle à la ligne des fondations.

On les a enfoncés jusqu'au banc d'argile qu'on rencontre à une profondeur variable entre 3^m,06 et 6 mètres (12' et 20') au-dessous du plafond du canal.

Chaque bloc repose à sa base sur une forme solide en charpente à l'aide de laquelle on le montait sur place en laissant se durcir la maçonnerie de briques avant de commencer l'enfoncement. Cette opération terminée, on remplissait le vide intérieur des blocs ou puits avec de l'argile et mieux avec du sable quand on pouvait s'en procurer. On les laissait dans cet état aussi longtemps que possible, afin qu'ils fussent bien assis. Puis on les voûtait au sommet et l'on pouvait dès lors commencer les murs au-dessus des fondations.

Entre deux blocs consécutifs, on laissait, pour faciliter l'enfoncement, un intervalle de 0^m,46 à 0^m,76 (1'1/2 à 2'1/2) que l'on voûtait aussi; à l'amont et à l'aval de cet intervalle on enfonçait, s'appuyant aux deux blocs, une file de pieux jointifs jusqu'à une profondeur de 6^m,10 (20'); on réalisait ainsi pour les fondations soit une enceinte, soit une

barre continue interceptant toute communication entre l'amont et l'aval, et capable de résister d'un côté à la pression de l'eau et de l'autre à la poussée des terres.

La méthode de fonder sur puits, telle qu'elle est décrite avec les travaux de notre établissement de Pondichéry (*), est fort répandue dans l'Inde et a été employée en grand sur le canal occidental de la Junna, où le colonel Colvin a substitué aux puits cylindriques des puits rectangulaires évidés de 4^m,57 (15') de long sur 1^m,22 (4') de large et 3^m,05 (10') de hauteur; le sous-sol était de cailloux fins dans la plus grande partie de la profondeur. Le succès de cet essai a conduit à adopter pour l'aqueduc de Solani des cubes de 6^m,10 (20') de côté et à Dunowri, comme nous venons de le dire, des blocs oblongs ou quarrés de 9^m,15 (30') de longueur enfoncés à 6^m,10 (20') de profondeur.

Voici comment s'opérait l'enfoncement :

On établissait, dans l'emplacement même du bloc à enfoncer, une forme en bois sur laquelle on construisait le bloc soit sur la totalité, soit seulement sur une partie de sa hauteur; on divisait le bloc verticalement par deux murs transversaux en quatre compartiments. Un treuil ordinaire placé au-dessus de chacun de ceux-ci servait à retirer de l'intérieur la terre au moyen d'une jham, sorte d'écope en fer qu'on manœuvre à la main quand la profondeur est modérée et quand on est au-dessous du niveau de l'eau de la manière qui va être décrite : à la douille de cette écope était fixée une tige en fer se projetant en avant, à l'extrémité de laquelle était attachée la corde qui s'enroulait sur le treuil. Cette même douille recevait un manche très-long au moyen duquel on agissait sur l'écope depuis le haut des puits (fig. 3, 7, 8 et 9 de la Pl. 15). Pour que le

(*) *Annales des ponts et chaussées*, juillet et août 1871. 20 : Mémoire sur les procédés de construction spéciaux à Pondichéry et à la province de Madras.

bloc s'enfonçât verticalement, il fallait avoir grand soin que l'excavation fût toujours au même degré d'enfoncement dans les quatre compartiments. Un fil à plomb indiquait toute déviation de la verticale et l'on s'efforçait immédiatement de la corriger. Lorsque cette déviation était déjà forte, on avait recours à l'appareil représenté à la *fig. 7* de la Pl. 13, qui permettait de charger de poids très-lourds tel côté du puits que l'on voulait. Cet appareil a été fort utile dans l'enfoncement des petits blocs exclusivement.

Au pont-aqueduc de Solani l'opération a parfaitement réussi pour tous les blocs de grandes dimensions placés sous le corps du pont-canal ; elle a manqué en grande partie pour les blocs étroits et longs de l'enceinte générale. Leurs déviations de la verticale leur donnaient l'aspect d'une troupe d'hommes ivres. Sur la proposition de l'habile ingénieur M. Login, on en changea la forme ; on leur conserva les mêmes dimensions au sommet, mais on augmenta leurs dimensions transversales graduellement du sommet à la base, ce qui leur donna la forme de coins tronqués reposant sur leurs têtes. Cette modification eut un succès complet (*).

Passons maintenant au détail des ouvrages du passage à niveau de Rutmoo en suivant l'ordre d'amont à l'aval sur le canal (*fig. 18*, Pl. 10).

On a d'abord un pont de communication précédé et suivi de murs de revêtement distants entre eux de 48^m,80 (160') à l'amont du pont et de 54^m,59 (179') à l'aval et d'une hauteur de 3^m,81 (12' 1/2) à l'aval du pont ; ils présentent du côté du canal un parement concave ; du côté opposé ils sont consolidés par des contre-forts. Pour aider les bateaux,

(*) J'ai remarqué également aux grands ponts de la Saône et de la Jumna (à Allahabad), sur le chemin de fer, que l'enfoncement des puits de grande dimension réussissait infiniment mieux que celui des puits étroits, lequel prenait quelquefois plusieurs mois ; l'ensemble présentait en effet l'aspect d'une troupe de géants ivres.

des anneaux sont fixés dans ces murs à des distances de $18^m,30$ (60') et à une hauteur de $3^m,28$ ($10' \frac{3}{4}$) au-dessus du fond du canal. Du côté gauche, où il était utile de consolider contre la pression des terres le mur concave à l'extérieur, les barres de fer qui maintiennent ces anneaux ont une longueur de $6^m,10$ à $7^m,62$ (20' à 25') et sont ancrées et retenues dans le terre-plein par des pieux verticaux en fer et en bois. Le pont a trois arches, chacune de $16^m,77$ (55') d'ouverture avec radier et une hauteur sous clef de $6^m,10$ (20').

Les blocs sous le pont ont à la base de $6^m,40$ à $7^m,62$ (21' à 25') de longueur sur $5^m,18$ à $6^m,86$ ($17'$ à $22' \frac{1}{2}$) de largeur; sous les murs de revêtement ils ont $6^m,10$ (20') de longueur sur $3^m,66$ (12') de largeur. Les fondations des murs et du pont sont défendues par deux lignes de pieux battus à $3^m,05$ (10') en avant du pied de la maçonnerie; l'intervalle est rempli de galets, et le tout est recouvert de traverses dont une partie se prolonge en T jusque derrière les blocs par lesquels elles sont ainsi retenues aussi bien que les pieux.

L'émissaire souterrain A_1, A_2, A_3, A_4 , à la base du mur de revêtement de droite a des dimensions suffisantes pour pouvoir être curé; tous les $18^m,30$ (60'), il est pourvu d'un regard ou trou d'homme qui remonte jusqu'au-dessus de la pile ou du mur superposé, et qui sert à la fois pour le curage et pour la ventilation.

La *fig. 9*, Pl. 10, montre une partie de ce drain en plan et en coupe; *xxx* sont des fentes de $0^m,006$ à $0^m,012$ ($\frac{1}{4}''$ à $\frac{1}{2}''$) de largeur ménagées dans le mur jusqu'au drain au travers desquelles l'eau de source peut entrer sans que la vase puisse pénétrer étant arrêtée par les fragments de briques ou les graviers qui enveloppent les fentes.

L'ouvrage pour l'admission des eaux de la rivière dans le canal n'a de blocs pour fondations, sauf trois dont on a reconnu l'inutilité, que sous les murs en aile où ils ont de

5^m,18 à 7^m,01 (17' à 23') de long sur 5^m,6665 (12') de large.

Le corps du barrage est fondé sur deux murs continus de 0^m,91 (3') d'épaisseur chacun, parallèles à une distance de 3^m,96 (13') et descendant jusqu'à la profondeur de 3^m,05 (10') à laquelle on a pu abaisser le niveau des eaux. Ils sont reliés tous les 7^m,01 (23') par des murs transversaux de 0^m,91 (3') d'épaisseur et reposent partout sur l'argile.

Dans le mur en aile d'amont et de droite, sont les têtes de deux canaux-drains, chacune de 2^m,13 (7') de largeur sur 1^m,52 (5') de hauteur sous clef, chacune munie d'un vannage. Ces deux canaux sont liés à ceux A₁A₂A₃A₄, B₁B₂B₃B₄, dont il a été parlé et ont pour objet d'empêcher l'inondation à l'amont quand le vannage d'admission du Ratmoo dans le canal est fermé; leur radier est au niveau du radier du déversoir d'admission lui-même.

Celui-ci comprend :

Au centre vingt-neuf ouvertures chacune de 5^m,05 (10') de large dont les seuils sont à 0^m,61 (2') au-dessus du plafond du canal; de chaque côté en faisant suite aux précédentes, quatorze ouvertures de même largeur, mais dont le seuil est à 1^m,83 (6') au-dessus du fond du canal. (Voir la coupe *fig.* 14, Pl. 13.)

De chaque côté de ces ouvertures une plate-forme arasée au même niveau que les sommets des piliers des vannages, à 3^m,05 (10') au-dessus du plafond du canal et se reliant par un plan incliné au couronnement des murs en aile et des murs de revêtement. Les piliers ont une épaisseur de 1^m,07 (3' 1/2); ils ont des rainures verticales pour recevoir des poutrelles horizontales, des supports (*bits heads*) et tous les appareils nécessaires pour mouvoir les portes. Au sommet et le long des bords des piliers on a de chaque côté une retraite de section rectangulaire dans laquelle se logent les bouts d'une série de madriers ou

poutrelles établissant une communication entre les piliers par-dessus les ouvertures qui les séparent.

Les ouvertures centrales ont des portes qui pivotent autour d'un axe horizontal inférieur se rabattant du côté du canal, c'est-à-dire à l'aval des ouvertures.

La pression de l'eau coulant dans le canal maintient ces portes fermées lorsqu'elles sont un peu retenues par le haut. Lorsque l'eau atteint dans la rivière un niveau supérieur à la tenue d'eau du canal, les portes se rabattent en vertu de la différence de pression.

Les vingt-huit ouvertures latérales se ferment simplement avec des madriers ou poutrelles horizontales comme toutes les ouvertures sur les barrages de la Jumna (*). Elles se lèvent avec des crochets que l'on introduit sous la partie supérieure d'un étrier qui embrasse le madrier à chaque extrémité. (Voir le croquis *fig. 11*, Pl. 13.)

On ne fait usage de ces madriers que quand la hauteur d'eau dans le canal dépasse 1^m,83 (6').

La distance entre l'axe du vannage d'admission qui vient d'être décrit et celui de la décharge est de 92^m,89 (304⁵/₅). Comme le lit de la rivière a une pente de 1^m,50 par kilomètre (8',23 par mille), le seuil du premier vannage devrait être seulement à 0^m,14 (15",69) en contre-haut du second. On a trouvé avantage à relever ce seuil pour diminuer la hauteur du vannage.

Tous les ouvrages ci-dessus décrits qui font partie du vannage d'admission sont défendus par des radiers. On a battu des lignes de pieux jointifs à de certaines distances du pied des murs de revêtement et aussi à l'amont et à l'aval du déversoir lui-même; on a rempli l'espace intermédiaire avec un grillage en charpente et avec des galets, et l'on a recouvert le tout d'un plancher bien relié aux lignes de

(*) Généralement 4 planches de 0^m,30 (1') de hauteur chacune, terminées à chaque extrémité par des boucles en fer.

pieux. Les murs en aile d'amont sont défendus à leur extrémité par des lignes de pieux moisées et reliées entre elles par des traverses.

Le déversoir de décharge sert à la fois à faire écouler dans son lit la rivière de Rutmoo et à régler la tenue d'eau dans le canal avec l'aide du pont régulateur.

Il est fondé sur des blocs de 9^m,15 (30') de long sur 9^m,15 (31') de large à la base ; sous les murs en aile, les blocs ont, avec quelques légères variations, 5^m,79 (19') de long sur 3^m,66 (12') de large. Sous les déversoirs, on a augmenté par des encorbellements et des saillies en projection à l'amont et à l'aval la largeur que présente au sommet la série des blocs de fondation.

Les culées et murs en aile font suite aux murs de revêtement à 4^m,57 (15') au-dessus du radier du déversoir, non compris les parapets.

Le déchargeoir renferme quarante-sept ouvertures de 3^m,05 (10') de largeur chacune, dont le seuil est de niveau avec le plafond du canal. De chaque côté, à la suite, il y a cinq autres ouvertures de même largeur, mais dont les seuils sont plus élevés de 1^m,83 (6'). Les piliers intermédiaires ont 1^m,09 (3' 1/2) d'épaisseur.

A la suite, de chaque côté, le déversoir est plein et arasé à la hauteur des piliers, soit à 3^m,05 (10') au-dessus du radier sur 5^m,18 (17') de longueur ; vient ensuite un plan incliné qui relie le couronnement du déversoir à celui du mur de revêtement.

Les dix ouvertures aux extrémités se ferment au moyen de poutrelles horizontales ou madriers. Pour celles du centre, on a imaginé le système suivant représenté aux fig. 10 et 10 bis de la Pl. 13.

Une porte de 1^m,52 (5') de haut, qui pivote autour d'un axe horizontal inférieur, est placée à l'arrière de l'ouverture entre deux piliers ; elle se rabat en avant, c'est-à-dire du côté du canal, et, une fois sur le radier, elle y est retenue

par un verrou qu'on manœuvre du haut de la pile. Lorsqu'on tire le verrou, la porte se relève d'elle-même ou, au besoin, en la tirant un peu d'en haut ; le canal peut avoir une tenne d'eau de 1^m,52 (5'). Du côté d'amont de la même ouverture est placée une autre porte de même hauteur que les piliers, qui pivote également sur un axe horizontal inférieur et se rabat à l'aval.

Lorsque le canal est plein, la porte d'arrière est rabattue et la porte d'avant est maintenue dans une position verticale pour retenir l'eau du canal dans son lit. On la laisse tomber quand arrive une crue, et alors l'ouverture entière livre passage aux eaux.

Lorsque la crue a passé, on ramène la petite porte d'arrière à sa position verticale ; l'eau monte alors de 1^m,52 (5') dans le canal ; on relève alors facilement la porte d'avant et le canal achève de se remplir. Ensuite on rabat la porte d'arrière.

Il fallait un appareil au moyen duquel le passage pût être ouvert presque instantanément, parce que la rivière charrie, non-seulement des matériaux de toute sorte, mais même de grands arbres avec leurs branches,

Le système que l'on emploie remplit parfaitement cette condition ; en voici la description. (Voir la *fig. 10 ter*, Pl. 15.)

ao et *a'o'b'* sont deux branches semblables à celles d'une cisaille dont la partie antérieure, au lieu d'un tranchant, présenterait un anneau demi-cylindrique, et qui embrassent chacune le pivot par un vide circulaire central ou surface annulaire. Les deux parties annulaires superposées se touchent et glissent longitudinalement l'une sur l'autre autour du pivot, en sorte que les deux parties antérieures des deux branches de la cisaille peuvent se recouvrir ; le pivot est attaché invariablement à deux chaînes *ox*, *oy* fixées à la porte de chaque côté. Lorsqu'on a relevé la porte en tirant les chaînes *oxy*, on écarte les branches *ao* et *a'o'b'* en introduisant entre elles par le bas, dans la partie d'avant

aaa' , un coin; z et u sont deux chaînes à écrou fixées par une de leurs extrémités aux piliers en avant de la porte; on en passe les anneaux ou chaînons extrêmes dans les branches ob' et ob de la cisaille par leurs extrémités b' et b (voir la *fig. 10 ter*, Pl. 13).

On tend ces chaînes en serrant sur leurs vis; la porte est ainsi retenue dans une position verticale, et cette position est encore maintenue par une traverse en bois reposant par derrière la porte dans une rainure des bajoyers.

Quand on veut ouvrir la porte rapidement, on enlève la traverse, puis, avec un fort marteau en fer à long manche en bois, on frappe sur le coin; celui-ci tombe et reste suspendu par une chaînette qui s'attache à l'une des chaînes ex , oy ; les branches aob , $a'o'b'$ se ferment par devant et s'ouvrent par derrière et laissent échapper les anneaux ou chaînons extrêmes des chaînes z et u , qui tombent et laissent tomber la porte. Cela se fait pour ainsi dire instantanément. Pour relever la porte, on ferme au préalable à l'aval l'ouverture entre les bajoyers, non plus comme on le faisait à l'origine avec la petite porte décrite plus haut, mais avec des madriers ou poutrelles que l'on fait glisser dans des rainures ménagées dans les piliers ou bajoyers à l'aval de la retombée de la grande porte. Ce sont ensuite les mêmes madriers qui, reposant par leurs extrémités dans des vides rectangulaires ménagés sur le bord des bajoyers pour les recevoir, établissent la communication d'un pilier à l'autre.

Tous les ouvrages formant la décharge ou sortie du torrent sont défendus par des radiers et des lignes de pieux comme ceux du barrage à vannes d'admission.

Pont régulateur. — Le pont est fondé sur blocs de $9^m,76$ ($32'$) de long sur $4^m,57$ à $6^m,71$ ($15'$ à $22'$) de large; les murs en aile et de revêtement à l'amont et à l'aval sur douze blocs de $5^m,49$ ($18'$) de long sur $3^m,66$ ($12'$) à $3^m,96$ ($13'6''$) de large.

En ce qui concerne les débouchés et les appareils pour la manœuvre, ce pont est la reproduction du pont régulateur de Myapoor; il n'y a de différence que dans la largeur de la voie et les raccordements des murs en aile.

L'émissaire B₁B₂B₃B₄ dont on a décrit les deux têtes se compose de deux passages voûtés séparés par un pilier de 1^m,22 (4') de large et perpendiculaires au mur de revêtement à leur origine. Ils ont une pente au plafond de 2^m,74 (9') sur une longueur de 36^m,86 (120',86) jusqu'à l'aplomb de la culée, point où leur radier se trouve à 2^m,13 (7) en contre-bas du plafond du canal. Ils passent ensuite horizontalement par-dessous le radier du pont régulateur et se continuent sans pente jusqu'à ce qu'ils débouchent dans un canal à ciel ouvert de 26^m,10 (20') de large et d'une pente de 0^m,65 par kilomètre (3',44 par mille).

Des escaliers dans les murs de revêtement conduisent à l'entrée et à la sortie de ces canaux. Deux trous d'homme ou regards cylindriques ménagés au-dessus de la voûte à travers chaque pile et chaque culée du pont, conjointement avec des ouvertures latérales dans les piles et culées, servent à la ventilation. Il y a aussi des regards pareils dans les murs de revêtements.

Pendant les crues, les têtes de ces canaux sont complètement fermées au moyen de vannes. La brigade d'hommes attachée au régulateur pour sa manœuvre est chargée de tous les soins utiles pour la conservation et l'entretien de cet émissaire qui forme pendant l'été la continuation du cours du torrent.

Tous ces ouvrages sont en briques de deux échantillons :

Le premier de 0,30 (12") sur 0,15 (6"), sur 0,06 (2" 1/2);

Le second de 0^m,22 (9") sur 0^m,10 (4"), sur 0^m,07 (3").

Tous les parements vus sont recouverts d'un enduit.

N° 4. *Passage par-dessous le Solani ou pont-canal sur le Solani.* — La configuration des lieux ne permettant point de détourner une partie de la rivière du Solani dans une

autre vallée, il a fallu un pont aqueduc sous lequel elle pût s'écouler tout entière.

On a relevé la section de la rivière pendant les crues de 1844 et 1845; on en a déduit les débits par seconde de $1.141^{\text{m}},40$ (40.170^{c}) pour la première crue et de $808^{\text{m}},69$ (28.475^{c}) par seconde pour la seconde crue.

A l'emplacement du pont-canal, le cours de la rivière était tortueux, son lit composé de sable était à $1^{\text{m}},22$ (4') en contre-bas de la surface de la vallée qui est assez bien cultivée.

Comme cela a lieu généralement dans les k'hadirs ou vallées basses de cette sorte, il y a dans cette vallée plusieurs ruisseaux ou mortes dont le cours est à peu près parallèle à celui de la rivière. On en trouve près de Roorkee et sous les villages de Muhewur et Bajooheri, qui croisent le canal. La largeur de la vallée entre les points où le canal coupe les bords escarpés des plateaux à droite et à gauche est de $4.045^{\text{m}},82$ ($13.263'$). Sa plus grande profondeur est de $7^{\text{m}},32$ (24') au-dessous du lit du canal, et de $12^{\text{m}},50$ (41') au-dessous de la surface des plateaux contigus.

Entre le pont-canal qui a quinze arches, chacune de $15^{\text{m}},25$ (50') de portée et les extrémités de la vallée, le canal est formé d'un remblai avec murs de revêtement construits de chaque côté de la cuvette en forme de ghaïs ou d'escaliers; les digues qui s'y appuient ont $9^{\text{m}},15$ (30') de largeur au couronnement et des pentes extérieures de $1\frac{1}{2}$ pour 1.

La fig. 7, Pl. 11, montre le profil en long de la traversée de la vallée.

Nous allons décrire successivement : 1° les deux portions du canal en remblai dans la traversée de la vallée; 2° le pont-canal; 3° les ouvrages qui en forment les abords sur la rivière du Solani.

1°. Portions du canal en remblai dans la vallée du Solani.

Elles furent commencées pendant la saison fraîche de

1845 à 1846 sur le côté gauche de la rivière. On creusait à droite et à gauche de la ligne du canal des tranchées de 57^m,54 (188') de largeur et de 1^m,68 (5' 1/2) de profondeur, et l'on rejetait la terre au milieu pour en former le noyau du remblai entre les murs de revêtement projetés, ainsi qu'il est indiqué à la *fig. 8*, Pl. 11.

On exécutait en même temps le remblai du côté de Roorkee, en empruntant les terres à la tranchée du canal faisant suite à l'aval.

Les terrassements furent continués avec des wagons roulant sur des rails. Un ensemble de chemins de fer établi suivant l'axe de la *fig. 6*, Pl. 11, servait non-seulement à exécuter les remblais, mais encore à transporter les terres pour la fabrication des briques.

Le premier ouvrage que l'on rencontre à l'amont, en tête de la traversée de la vallée, est un couple de déversoirs de décharge situés en face l'un de l'autre au point d'intersection de la ligne du canal avec le ruisseau ou émissaire (nulla) de Burenpoor. On a détourné sur la droite les crues de ce ruisseau. Les déversoirs ont chacun une longueur de 30^m,50 (100') à leur crête qui est arasée à 0,30 (12') en contre-bas du plafond du canal. On les a recouverts de terre, de manière à les faire disparaître sous les digues; ils ont pour objet de pouvoir, en cas d'accident, vider la partie du canal comprise entre le pont régulateur de Dunowri, qui peut arrêter toute l'eau venant d'amont et le passage par-dessus le Solani (Voir *fig. 6*, Pl. 11.)

Au joignant de ces déversoirs se trouvent les *termini* du passage par-dessus; ils consistent chacun en une sorte de mur de quai ou bastion en demi-cercle de 9^m,15 (30') de diamètre, d'une hauteur de 3^m,66 (12') dont le couronnement de niveau avec le chemin de halage, est surmonté d'un piédestal portant un lion d'Afrique regardant du côté opposé au pont-canal.

A la suite et au joignant de chaque bastion se trouve

une ligne de ghats ou de marches de $22^m,87$ ($75'$) de longueur jusqu'aux ghats pour le bétail. Ces derniers se composent de deux plans de $14^m,25$ ($50'$) de longueur inclinés, l'un vers le canal, l'autre vers l'extérieur sur lesquels le bétail peut monter d'abord jusqu'au couronnement, puis descendre jusqu'à l'eau du canal, en passant par-dessous un pont à cinq arches jeté sur la ligne d'intersection des deux plans inclinés pour former par-dessus le passage du chemin de halage. Chaque ghat est flanqué, à chacune de ses extrémités, d'une tour octogonale contenant et abritant un lieu de repos (construction commune dans le pays).

Les mêmes ouvrages, moins les déchargeoirs, se reproduisent dans un ordre inverse de l'autre côté du pont-canal à l'autre extrémité de la vallée. La longueur du canal en remblai avec murs de revêtement, comprise entre ces ouvrages et le pont-canal, est de $3.267^m,46$ ($10.713'$) du côté d'amont et de $830^m,5$ ($2.723'$) du côté d'aval. Cette partie est représentée en coupe par la *fig. 11*, Pl. 11.

Les revêtements ont été construits presque entièrement en briques. Les murs de fondation descendent à $0^m,30$ ($12''$) au-dessous du terrain naturel de la vallée. On a rempli de terre les vides intérieurs pour ajouter à la résistance et à l'imperméabilité des revêtements. Il n'est résulté aucun accident du gonflement des terres à l'intérieur des revêtements, sans doute parce qu'il ne gèle point dans ces latitudes. Outre les marches qui se trouvent du côté du canal, on a du côté opposé construit tous les 305 mètres ($1.000'$) sur le talus extérieur des escaliers de $1^m,22$ ($4'$) de large pour faciliter l'accès du canal. (V. *fig. 12*, n^{os} 1, 2 et 3, Pl. 11) (*).

(*) Le n^o 1 représente le projet original où la stabilité est assurée par le mur seul indépendamment des terres; n^o 2 les murs d'amont et d'aval étaient reliés tous les $4^m,50$ par des contre-forts; malgré cela il a fallu y renoncer pour insuffisance de stabilité et adopter définitivement le n^o 3 où le mur d'arrière supporte une poussée moindre.

La *fig. 4*, Pl. 3, représente les terrassements en cours d'exécution.

La partie foncée au centre est le noyau exécuté dès le commencement pour y placer le chemin de fer. A mesure que celui-ci était installé, on exécutait les terrassements à droite et à gauche jusqu'au niveau BB. On mit cinq ans à faire ce travail afin de laisser le massif se consolider d'année en année par l'action des pluies. Dans ce but on avait pris de plus les dispositions figurées sur la *fig. 4*, Pl. 12.

AA, AA sont les deux murs de revêtement, *aaa* sont des chemins transversaux établis de 61 mètres (200') en 61 mètres (200') à la hauteur du chemin de fer pour pouvoir effectuer les terrassements des digues; entre ces chemins sont des vides indiqués par des hachures qu'on a laissés à dessein pour emmagasiner les eaux de pluies et entretenir dans toute la masse des remblais une humidité favorable à leur consolidation. Comme ils étaient fort avancés au commencement de 1852, on combla les vides ou réservoirs et l'on entreprit les terrassements au-dessus du niveau BB. On n'eut que des accidents faibles et en très-petit nombre et qui tous provinrent de l'inégalité de la répartition et de la pression des terres autour des murs de revêtement.

On voit (*fig. 11*, Pl. 11) que le fond du canal a été recouvert d'une couche de galets de 0^m,61 (2') d'épaisseur qui ont été extraits du Ganges parmi le plus gros possible pour mieux résister à l'action du courant et qui ont été amenés en place par une flottille de bateaux en fer. On a commencé à empierrier les parties les plus rapprochées du pont-canal. Celles-ci terminées, on a étendu une bande de 12^m,20 (40') de large de chaque côté du canal touchant les murs de revêtement et l'on a fini par la bande orientale.

La plupart des transports ont été exécutés au wagon.

2° *Pont-canal*. — Le pont-canal est dessiné en plan et coupe horizontale à la *fig. 1*, Pl. 13. En élévation il présente quinze arches de 1^m,22 (4') d'épaisseur à la clef, de

15^m,25 (50') d'ouverture chacune et surbaissées en arcs de cercle chacun du sixième de la circonférence. Des murs en aile à parements rustiques portent à leurs extrémités sur des piédestaux des lions semblables à ceux érigés aux extrémités de la vallée et n'en différant que par les dimensions qui sont plus grandes et parce qu'ils sont tournés du côté de la rivière. L'aspect architectural de ce détail, comme de tout l'ensemble, est d'un très-bel effet plein de simplicité et de grandeur.

Jusqu'à la profondeur de 11^m,28 (37') les sondages faits à l'emplacement du pont-canal ne donnèrent que du sable mêlé occasionnellement d'argile, mais en très-faible proportion. On peut considérer l'ouvrage comme fondé dans du sable entouré d'une enceinte continue.

Au commencement de 1848, on avait enfoncé une grande partie des blocs qui, par leur réunion, devaient non-seulement soutenir leurs culées et les piles, mais encore former une enceinte de défense autour de l'ensemble de l'ouvrage.

En 1853, les blocs sous la culée gauche et les piles avoisinantes étaient enfoncés depuis déjà plus de cinq ans ; on commença les maçonneries au-dessus. En même temps on arrêta l'exécution conformément à la fig. 4, Pl. 13 des demi-voûtes A qui parurent former, à l'amont et à l'aval, la transition la plus convenable du pont-canal avec les parties en remblai du canal qui le comprennent. On conçoit que le pied droit de la demi-voûte d'aval ait reçu une plus grande élévation pour résister à l'action du courant sur le fond du canal tendant à l'affouiller à l'aval.

Le pont-canal a été divisé parallèlement à sa longueur en deux parties égales qui peuvent être remplies ou vidées séparément. Cette disposition qui facilite les réparations a diminué les difficultés d'exécution ; en outre, elle a réduit la hauteur des vagues soulevées dans la cuvette par les vents régnants du nord-ouest qui soufflent normalement au pont et qui auraient pu, en agissant sur une nappe d'eau

plus large, dégrader les parties latérales de la cuvette. Les piles ont donc été divisées en deux parties de 28^m,29 (96) de longueur chacune qui, tout en se touchant, sont construites tout à fait séparément et sans liaison aucune entre elles. Les ouvertures à l'entrée et à la sortie des deux compartiments longitudinaux du canal sont divisées chacune en plusieurs parties par des piliers munis de rainures destinées à recevoir des poutrelles ou madriers (*).

Afin de pouvoir mettre à sec les deux compartiments du pont-canal, on a placé dans la maçonnerie de chaque mur en aile au joignant du pont une série de tubes verticaux versant par le bas dans la rivière du Solani ; un petit canal de 0^m,61 (2') de large sur 0^m,91 (3') de haut, partant des bords extérieurs du pont-canal à ses extrémités conduit l'eau à ces tuyaux avec une pente de 0^m,22 (9") ; sa tête est placée justement dans l'élargissement à l'entrée du canal et fermée simplement par une pierre munie d'un anneau qu'on peut mouvoir à la main comme un tampon ou, en cas de besoin, avec une chèvre volante. On ferme le compartiment du pont-canal en plaçant les madriers dans leurs rainures aux deux extrémités ; on écarte les pierres ou tampon et le compartiment se vide ainsi à ses deux extrémités. Pour rendre l'assèchement complet, on a réservé dans le radier du pont-canal une petite cuvette ou dépression dont la pente converge de chaque côté vers une de ces décharges.

Chaque tympan est rempli par une série de petits murs construits dans le sens de la longueur du pont (fig. 2 Pl. 13), séparés l'un de l'autre par un intervalle de 0^m,91 (3') voûté au sommet et percés à leur centre par de petites arches égales et parallèles formant, dans le sens de la largeur du pont, une communication non interrompue qui se termine

(*) Le débouché linéaire de chaque compartiment est de 25 mètres (82') à la ligne d'eau. (Voir la partie supérieure de la coupe fig. 2, Pl. 13.)

aux deux têtes du pont par une ouverture circulaire placée au-dessus de chaque pile.

Entre l'intrados de la clef des arches et le plafond du canal, il y a une épaisseur de 1^m,52 (5') dont 1^m,22 (4') appartiennent à la voûte et dont une hauteur de 0^m,30 (1') est maçonnerie avec des briques à plat. Ce plafond est de niveau avec celui de Roorkee dont il sera question plus loin.

Des balustrades en fer règnent de chaque côté des banquettes qui ont 3^m,05 (10') de largeur. On avait posé sur celles-ci, pendant les travaux, une ligne de chemin de fer reliant entre elles celles établies sur les digues du canal des deux côtés du pont-canal.

Pour effectuer l'approche des matériaux, un premier chemin de fer fut jeté sur les avant-becs du pont et sur un nombre égal de piliers intermédiaires construits provisoirement dans ce but. Ce chemin de fer se reliait des deux côtés du pont à ceux établis pour amener les matériaux.

La *fig. 6*, Pl. 13, montre l'avancement des travaux avant les crues de 1850. On avait monté jusqu'au-dessus du niveau des crues la culée gauche sous la protection de l'épi BB et la culée droite avec les six piles voisines à l'aide d'un batardeau. On fit une ouverture dans ce batardeau et les crues balayèrent à la fois le batardeau, l'épi BB et tous les amas de sable dans l'emplacement du pont. Une lézarde se déclara dans le mur en aile de la culée gauche, mais cet accident qui ne s'étendait point à la culée fut facilement réparé.

Les arches furent commencées le 1^{er} décembre 1851 et terminées le 4 juillet 1853.

On en divisa la construction que l'on exécuta séparément et successivement de manière à laisser toujours libres neuf arches donnant un débouché suffisant aux crues. Pour cela, de quatre en quatre arches on relia les deux piles d'une arche par des murs transversaux temporaires dont on rem-

plit les intervalles avec du sable. On forma ainsi des culées provisoires auxquelles s'appuyait chaque série de trois arches. (Voir fig. 5, Pl. 13.)

Cette disposition permit aussi de ne construire de cintres que pour trois arches. L'expérience avait fait reconnaître que pour des portées dépassant 10 à 15 mètres on ne doit plus se servir des cintres en terres employés habituellement par les natifs et que l'usage en est d'autant plus fâcheux que les voûtes à supporter sont plus lourdes.

Malgré toutes les précautions et tous les essais, on ne put éviter qu'une fente presque imperceptible et que l'on remplit très-facilement se montrât suivant une arête de l'extrados de chaque arche, à une distance de 0^m,30 (1') des naissances au moment où l'on avait fait une longueur de voûte de 1^m,50 (5') à partir de la culée.

Lorsque pour terminer une arche il ne restait plus que les clefs et les cours de voussoirs correspondants, on serrait la maçonnerie des deux côtés autant que possible en appliquant des planches sur chaque côté du vide restant et en forçant des coins entre ces planches; cette opération faite, on plaçait la clef sur toute la longueur de l'arche et l'on décintrait immédiatement après. Sept ou huit jours plus tard on notait l'abaissement; les résultats trouvés se résument comme il suit :

| ABAISSEMENTS. | MAXIMUM. | MINIMUM. | MOYEN. |
|--------------------|----------|----------|--------|
| AUX reins. | 0,0845 | 0,0681 | 0,0765 |
| A la clef. | 0,0970 | 0,0523 | 0,0583 |

On restait six mois après le décintrément sans faire aucune maçonnerie au-dessus des arches, puis on commençait la construction des tympans dont l'exécution suivait parallèlement à six mois d'intervalle celle des voûtes. Aussitôt que le plafond du canal fut terminé d'un côté, on posa dessus des voies ferrées reliant celles venant de Purau-

Kalleur à celles venant de Roorkee pour l'exécution des terrassements de la partie du canal en remblai.

Il n'y eut aucun mouvement ni aucune lézarde dans la maçonnerie au-dessus des arches du pont-canal, mais seulement une lézarde dans l'aile marquée n° 1 à la *fig. 5*, Pl. 13, et qui commença dans la voûte d'un canal de décharge qui traverse cette aile. Quelques travaux de consolidation furent exécutés et suffirent.

Les tympans et le radier du pont-canal furent terminés en mars 1854; le reste s'acheva ensuite sans difficulté.

Après l'exécution du pont-canal et même de la partie du canal en remblai aux abords, on a conservé les chemins de fer qui avaient servi à transporter les terres pour remblais depuis les deux bords de la vallée et dans toutes les parties où on l'a cru nécessaire, on a fortifié les digues en continuant à transporter des terres toujours prises en dehors de la vallée de manière à obtenir la demi-section représentée à la *fig. 1*, Pl. 13, avec quelques mètres de moins au plafond.

La vitesse de surface sur le pont-canal, dont les lignes de construction sont horizontales, est due à l'ensemble des pentes à l'amont et à l'aval.

On trouve par le calcul, en tenant compte de l'ensemble des pentes, que le pont-canal, si on le considère isolément, donne un débit supérieur à celui des parties du canal à l'amont et à l'aval.

M. Login a fait une série de jeaugages très-exacts avec des flotteurs cylindriques chargés de manière à être maintenus à peu près verticaux, tout en descendant jusqu'à 2 ou 4 centimètres du plafond du pont-canal; il a trouvé ainsi que pour une hauteur d'eau de 2^m,33 (7',978) dans le pont canal, hauteur qui est rarement dépassée, la pente de surface par seconde étant de 0^m,189 par kilomètre (1'004 par mille), la vitesse de surface par seconde était de 1^m,37 (4',88), la vitesse moyenne de 1^m,28 (4',052), ce

qui donne un débit de $156^{\text{m}},43$ ($5.508'$) par seconde. D'après les calculs de sir Proby-Cautley, le débit maximum du pont-canal serait de $250^{\text{m}},49$ ($8.116'$).

Avant d'introduire l'eau dans l'aqueduc, on éleva sur le plafond du pont de Roorkee un barrage provisoire en briques de $0^{\text{m}},75$ ($30''$) de hauteur, afin de soustraire le plafond du canal à l'amont à l'action de tout courant jusqu'à ce qu'il eût acquis toute la solidité possible.

3° *Épis et digues sur la rivière du Solani.* — On a vu que les radiers sous le pont-canal ont été construits entre deux lignes de blocs, et que, à l'amont et à l'aval, on a encore établi des avant et arrière-radiers avec des coffres en charpente remplis de lourds matériaux et protégés en avant par des lignes de pieux. Des moyens semblables ont été employés pour protéger les flancs du pont-canal.

On a pris pour rectifier la rivière aux abords du pont-canal des dispositions analogues à celles adoptées pour fixer le lit du Rutmoo aux abords des ouvrages de Donowri.

L'alignement suivant l'axe du pont se raccorde avec une courbe de la rivière à 2.867 mètres ($9.400'$) à l'amont. Parallèlement à cet alignement, on a ouvert une série de tranchées de $15^{\text{m}},25$ ($50'$) de large chacune, en laissant à la rivière le travail d'emporter le terrain intermédiaire.

Des épis disposés comme on l'a fait pour fixer le torrent de Puttri aux abords du passage par-dessus sont dirigées normalement à ces tranchées et à la direction définitive du courant; ils sont formés intérieurement de sable recouvert de terre, et défendus extérieurement comme les épis déjà décrits.

Dans la première crue, en 1851, la rivière se jeta dans ces petits canaux en abandonnant son ancien lit, sans causer d'avaries aux épis.

Dans quelques-unes des crues suivantes, on ferma plusieurs de ces canaux afin d'activer l'élargissement des

autres qu'on laissait ouverts. Après plusieurs péripéties, après quelques avaries et quelques modifications aux épis, le lit a fini par se rectifier en plan et par prendre une pente uniforme sur une certaine distance en amont et en aval des ouvrages ; auparavant il y avait trois lignes de fond, les deux extrêmes parallèles entre elles et à la pente de 0,963 par kilomètre, et une intermédiaire à la pente de 0^m,277 par kilomètre.

On a calculé que, quand le débit sous le pont-aqueduc sera égal au débit maximum des crues observées, l'eau atteindra sous les piles une hauteur d'eau de 3^m,51 (11 1/2) au-dessus du plafond ; si une crue atteignait la naissance des arches, le débit serait de 2.181^{m³},15 (76.801^l) par seconde.

N° 5. *Ouvrages pour l'admission des eaux courantes dans le canal ou déversoirs d'entrée.* — On a déjà donné la liste et le débouché de ces sortes d'ouvrages jusqu'au pont de Solani.

A l'exception de celui de Kunkul, tous ces ouvrages sont exécutés d'après un type commun. Chacun d'eux est un déversoir de superficie dont la chute, au lieu d'être verticale, est formée par une série de marches constituant un ghat compris entre deux culées insubmersibles, et au pied duquel le plafond du canal est défendu par une sorte de radier sur pieux reliés par un encoffrement en charpente qui est garni de blocs, de manière à recevoir sans avarie la lame déversante. Le gradin le plus élevé ou la crête du déversoir est toujours au niveau ou au-dessus de la ligne des plus hautes eaux dans le canal. A Kunkul, à cause du niveau très-bas du pays, on a laissé au centre du déversoir de superficie une ouverture fermée par un barrage à poutrelles. (Voir le déversoir de Selimpoor, *fig.* 13, Pl. 12.)

La maçonnerie intérieure de ces ouvrages est faite avec des galets du Gange, les parements sont en briques et recouverts d'un enduit à l'amont, et au pied ces ouvrages

sont défendus par des lignes de pieux et des ouvrages de charpente.

N° 6. *Ouvrages pour décharger le canal des eaux courantes introduites, ou déversoirs de sortie.* — Il y a un déversoir de sortie à Kunkul, en face du déversoir d'entrée. Il comprend deux ouvertures voûtées chacune d'un débouché linéaire de 3^m,05 (10'), dont le seuil est de niveau avec le lit du canal et dont la hauteur sous clef est de 3^m,46 (11',34). En avant de ces ouvrages sont des rainures qui reçoivent des mardriers ou poutrelles horizontales. L'ouvrage sert aussi de tête de prise d'eau pour l'irrigation.

En face du déversoir d'entrée de Selimpoor, on a laissé, dans la digue du canal, des ouvertures formant, sur 91^m,50 (300') de longueur, déversoir de superficie au-dessus de la ligne de plus grande tenue d'eau du canal. C'est une précaution utile contre les crues extraordinaires.

Le type le plus complet de déversoir de sortie est celui de Khutowli (Pl. 12, fig. 11 et 12).

N° 7. *Ouvrages pour égoutter dans le canal les eaux sans issue aux abords des ponts et des têtes de rajbaha.* — Nous avons vu qu'après qu'on a atteint le plateau à l'aval de Roorkee, toutes les eaux courantes du pays sont détournées du canal au lieu d'y être introduites. A partir de Roorkee, il n'entre plus d'eau dans le canal que par de petits canaux couverts, généralement de 0^m,915 (3') de largeur, faisant partie des ponts ou des têtes des canaux de navigation qui font le tour des chutes. Tous ces conduits versent au canal par une ouverture dans un mur de revêtement ou un bajoyer ou un ghat, sans que leur bouche forme saillie dans le canal. Ils sont généralement précédés d'un puisard dans lequel aboutissent les eaux des terrains dont l'égouttement naturel a été supprimé par la construction des ouvrages.

La fig. 16, Pl. 10, est un type de ces dispositions.

Le sommet du puisard *x* est, autant que possible, au-dessus du niveau des hautes eaux du canal ; lorsque le terrain

à égoutter est plus bas, on pratique une ouverture avec vanne dans le côté du puisard opposé à celui vers lequel les eaux arrivent, et on la lève quand l'eau baisse dans le canal. Le conduit en maçonnerie qui fait suite au puisard débouche normalement sous la voûte qui forme tête de rajbuha. On peut, avec des poutrelles jetées dans ces rainures, fermer à volonté ce passage voûté, soit en *aa* du côté du canal, soit en *bb* du côté du rajbuha, et faire ainsi écouler les eaux du puisard, soit dans le rajbuha, soit dans le canal.

Le puisard *x* reçoit les eaux du fossé formant limite du canal, en même temps que les eaux pluviales du terrain compris dans l'angle *x*, terrain sur lequel se trouve généralement bâti le poste de police. Quand cette route arrive au pont sans remblai, on écoule les eaux pluviales par des trous ou conduits verticaux qui débouchent dans les voûtes des arches.

N° 8. *Chutes pour racheter la pente en excès.* — A partir des ouvrages de Ranipoor, les pentes de fond du canal n'excèdent nulle part 0^m,257 par kilomètre (1',25 par mille). Tous les 4^t,827 (3 milles) et souvent à des intervalles plus rapprochés, il y a sur le canal un pont dont le radier a été considéré comme une limite au-dessous de laquelle ne pourraient descendre les affouillements à l'amont ; cela admis, l'affouillement maximum qui peut se produire entre deux ponts ne saurait dépasser 1^m,144 (3',75), profondeur moindre que celle à laquelle descendent les ouvrages de défense à l'aval de chaque pont.

On a adopté uniformément pour profil de la chute la courbe à double courbure représentée par la *fig. 7*, Pl. 12, et dont voici la construction. On prend : $A_1 = \frac{AB}{3}$, $bB = \frac{5AB}{2}$.

Sur le milieu de A_1 on élève une perpendiculaire qui coupe en *C* la verticale du point *A* ; on tire C_1 et on la prolonge jusqu'à sa rencontre en *D* avec la verticale du point *B* ; *C* et *D*

sont les centres des arcs A1 et 1B à décrire. Ce profil est celui que l'expérience avait fait reconnaître comme le meilleur sur les canaux de la Jumna.

Les quatre premières chutes sur le canal sont de 2^m,765 (9'), les huit chutes suivantes de 2^m,445 (8') et les trois dernières de 1.525 (5') ; sauf celles de Belra, elles sont toutes, quelle que soit leur hauteur, construites d'après un type commun; elles ne diffèrent entre elles que par le débouché.

Nous donnerons la description de l'une d'elles, celle de Bahadoorabad. (Voir la *fig.* 10, Pl. 12.) L'ouvrage consiste en un pont de huit arches de 7^m,625 (25') de portée jeté sur le canal à l'extrémité du bief supérieur et au radier duquel la descente fait suite. Les piles dont les avant-becs sont munis de rainures pour recevoir un appareil régulateur se prolongent de deux en deux à un niveau inférieur sous forme de bajoyers jusqu'à une distance de 25^m,62 (84') de la tête d'aval du pont. Le radier au bas de la chute s'étend encore plus loin; il est suivi d'un arrière-radier formé de coffres remplis de matériaux lourds et couverts d'un plancher (*). A partir des culées, il y a à l'aval deux murs de revêtement qui vont d'abord en s'évasant, puis se terminent en rentrant suivant une courbe brusque par deux jetées massives présentant chacune à son extrémité un musoir tangent dans un sens au prolongement de l'axe de la pile la plus rapprochée de la culée et dans le sens perpendiculaire à une ligne de pieux jointifs qui terminera l'arrière-radier. Ces deux jetées sont encore défendues à leurs extrémités par d'autres lignes de pieux. Le radier supérieur est aussi protégé à l'amont par un avant-radier très-court construit de la même manière que l'arrière-radier et par une ligne de pieux jointifs. Les murs de fondation en avant et en arrière des radiers, ainsi que les fondations des

(*) Les radiers en charpente ont été partout remplacés par des radiers en pierres avec murs de garde.

murs de soutènement et des musoirs, ont tous une profondeur de $6^m,10$ ($20'$).

Dans la même figure les points représentent les dispositions réalisées à la chute de Belra, dispositions empruntées aux canaux de la Jumna, sauf qu'à Belra on a remplacé par des murs les lignes de pieux qui existent aux chutes de la Jumna suivant les lignes courbes BB, BB.

Les déblais très-considérables qu'a nécessités à Belra l'application du type de la *fig.* 10, Pl. 12, en points, ont conduit à l'abandon de ce type et à l'adoption de celui de la *fig.* 10, Pl. 12 (traits pleins).

Les deux dernières chutes n'ont que $30^m,50$ ($100'$) de débouché linéaire, les trois précédentes $45^m,75$ ($150'$) et les autres 61 mètres ($200'$). La hauteur de la lame déversante est uniformément de $1^m,525$ ($5'$). Par le calcul, on trouve qu'elle correspond à un débit un peu supérieur à celui assigné au canal vers chaque chute.

TITRE IV. — *Ouvrages concernant la navigation et la distribution des eaux.*

N° 1^{er}. *Têtes des branches.* — La *fig.* 3, Pl. 11, donne une esquisse de ces ouvrages; ils consistent en deux ponts à vannes établis, l'un sur le canal, l'autre sur la branche immédiatement après la séparation, dont les murs en aile d'amont forment en se réunissant un mur de soutènement de la hauteur des digues, concave du côté des terres, et précédé du côté des deux canaux d'un angle ou redan dont chaque côté a un escalier ou ghat sur l'un d'eux. Sur la bissectrice de cet angle, on a construit un poste de police de première classe.

Sous chaque pont se trouve un radier légèrement concave en forme de voûte s'appuyant à ses extrémités sur deux profonds murs de garde et protégé en outre par des lignes de pieux ou des murs profonds jetés en arrière et en

avant à une certaine distance dont l'intervalle a été rempli par de lourds matériaux. Ces ponts sont défendus de la même manière sur leurs flancs.

L'appareil pour ouvrir et fermer les arches consiste en une porte de 1^m,85 (6') de haut, suspendue par des chaînes qui s'enroulent sur un treuil. Lorsque cette porte est descendue, on achève de fermer l'ouverture au moyen de madriers ou poutres horizontales. Il faut trente-trois minutes pour ouvrir et fermer une des arches.

N^o 2. *Système de distribution.* — On a vu, dans la description du canal oriental de la Jumna, qu'en raison de l'étendue de la surface à irriguer, on avait dû avoir, entre le grand canal et les prises d'eau pour les villages, un réseau de canaux d'amenée intermédiaires appelés rajbuhas, composés essentiellement :

De deux lignes latérales ou rajbuhas principales placées à une distance assez grande du grand canal pour pouvoir alimenter directement les prises d'eau des villages situés du côté de chacune de ces lignes qui est opposé au grand canal ;

Et de canaux transversaux ou rajbuhas alimentaires reliant le grand canal aux lignes latérales et servant à l'irrigation du territoire intermédiaire en même temps qu'à l'alimentation de ces lignes.

Ce système a l'avantage de se prêter à des additions successives, ce qui est important dans les cas très-fréquents où l'on ne connaît point l'étendue qui sera définitivement arrosée.

Il est représenté au diag. 2, feuille 11.

On voit que chaque tête de rajbuha part du mur en aile d'amont d'un pont du côté du mur de soutènement construit dans son prolongement.

Sur toute la longueur du grand canal jusqu'à 43 kilomètres en amont de sa bifurcation, chaque tête de rajbuha a un débouché linéaire de 5^m,05 (10') et son seuil à 0^m,60 (24")

en contre-haut du plafond du canal. Au delà le débouché linéaire de chaque tête est de $1^{\text{m}},83$ (6') et la hauteur des seuils va en diminuant graduellement et est nulle dans les dernières parties des branches terminales. Toutes ces têtes de rajbuba consistent simplement en deux bajoyers munis de rainures à l'amont et à l'aval pour recevoir des vannes ou des planches.

Les rajbubas principaux ont des décharges assez nombreuses, telles que *xx* (*fig. 5*, Pl. 12), dans les rivières voisines, en sorte que tout le système du canal principal et des rajbubas peut facilement écouler dans les rivières latérales les eaux qu'ils reçoivent en excédant.

Il n'y a que deux têtes de rajbubas dans le k'hadir du Ganges en amont de Roorkee; l'un est à Kunkul, l'autre à Rahadoorabad. Depuis Roorkee sur presque toute la longueur du tronc jusqu'à Nanoon, en raison de la forte pente du terrain, on n'a placé de tête de rajbubas qu'aux têtes des chutes.

Sur les deux lignes terminales, il y en a généralement à chaque pont.

Les voies et moyens pour la construction et l'entretien des rajbubas sont les mêmes que sur le canal oriental de la Jumna.

La *fig. 5* de la Pl. 12 est le plan des rajbubas entre le Ganges et la Kallee-Nuddee orientale. Les rajbubas principaux ou latéraux ont au plafond une pente égale au plus à celle du canal; les rajbubas alimentaires, une pente de 0.237 par kilomètre (1', par mille) au plus. A la jonction des rajbubas alimentaires avec les principaux, il y a un mur de chute d'une hauteur de $0^{\text{m}},305$ à $0^{\text{m}},915$ (1 à 3').

Dans les profils des *fig. 7* et 8, Pl. 10, on a porté les dimensions minimum (*).

(*) La *fig. 7* est une coupe en tête des rajbubas principaux et alimentaires; la *fig. 8* est celle d'une ligne principale à l'aval de la

La profondeur en déblai qui a paru la plus convenable est de 0^m.915 (3').

Le cavalier à l'est sert de route.

La cuvette, le sentier de chaque côté et le cavalier qui sert de route sont tenus constamment nets et débarrassés de toute végétation.

Les chutes en maçonnerie sont exécutées de la même manière que dans le grand canal. (Voir la *fig. 7* de la Pl. 12.) La *fig. 6* représente la position que l'on donne de préférence à un pont quand un chemin croise un rajbaha vers une chute.

On place autant que possible les décharges à l'aval de la jonction d'un rajbaha alimentaire avec le rajbaha principal. Le débouché linéaire de la décharge est de 1^m.83 (6').

Chaque décharge a un arrière-radier solidement établi, ainsi qu'on le voit à la *fig. 9*, Pl. 12.

Il arrive souvent que l'on est conduit, par l'étendue du pays à irriguer, à prolonger des rajbahas par-dessus les thalwegs et les cours d'eau. D'après l'expérience acquise, cette circonstance n'est point considérée comme une difficulté ni comme une raison pour s'écarter dans le plan du réseau des rajbahas des divisions qui paraissent bien convenir pour la répartition des eaux sur le terrain embrassé. (Voir la *fig. 8* de la Pl. 12.)

N° 3. *Ouvrages pour la navigation.*—Le canal du Ganges est essentiellement un canal d'irrigation; mais ses biels successifs, quoique non horizontaux, peuvent servir partout à la navigation, à la condition de réaliser des dispositions spéciales pour descendre les chutes.

Comme les écluses construites sur les chutes du canal oriental de la Jumna n'avaient pas servi à cause de la

première chute en maçonnerie; la section d'un rajbaha alimentaire à son débouché dans un principal est intermédiaire pour les dimensions.

crainte que ces chutes inspiraient aux mariniers, on se déterminà à adopter sur le canal du Gange des canaux de dérivation à petite section qui contournent chacun une chute et dans lesquels les différences de niveau sont rachetées par des écluses. On s'est attaché pour chacun d'eux :

1° A suivre une ligne assez éloignée du canal principal pour que ni l'un ni l'autre ne soient gênés par un trop grand rapprochement ;

2° A placer le point de départ assez loin de la chute pour qu'il soit tout à fait en dehors de son influence ;

3° A protéger la tête du canal de dérivation et à la disposer de manière à donner toute sécurité aux bateaux pour l'entrée ;

4° A utiliser pour des moulins à blé la décharge des écluses ;

5° A réunir et à rattacher aux écluses tous les ouvrages utiles, soit pour recevoir les eaux privées d'écoulement, soit pour former des prises d'eau pour l'irrigation.

La largeur des canaux de dérivation et les dimensions de leurs écluses ont été réglées en raison des dimensions des radeaux ordinaires qui descendent le Gange pour le transport des bois.

Les projets de ces canaux ont été rédigés dans la supposition que, immédiatement à l'aval de la tête de chaque dérivation, il serait établi dans le canal principal un pont de bateaux qui en barrerait le passage aux trains et embarcations en même temps qu'il donnerait une communication entre ces rives ; ces ponts de bateaux n'ont pas été exécutés.

Il suffit de décrire le canal de dérivation situé dans la vallée basse ou k'hadir du Gange à l'amont de Roorkee et un de ceux qui sont situés à l'aval de cette ville sur le plateau, car ces derniers sont tous semblables entre eux. Le premier canal qui est représenté *fig. 19 bis*, Pl. 10, a pour objet de racheter une chute de 10^m,68 (36') qui existe depuis le passage par-dessus de Ranipoor jusqu'à celui de Puttri.

La tête de la dérivation est placée dans le mur en aile d'amont et de gauche du pont de Jowallapoor. Elle consiste en un passage voûté de 6^m,10 (20') de largeur dont 1^m,525 (5') sont consacrés au chemin de balage et 4^m,575 (15') au canal. L'entrée peut recevoir des vannes qui permettent de laisser la dérivation sans eau en cas de besoin; elle est, en outre, flanquée de murs de revêtement et défendue par des lignes de pieux jointifs. (Voir la *fig.* 10, Pl. 11.)

Le canal qui fait suite à la section représentée *fig.* 9, Pl. 10, s'éloigne par une courbe du canal principal et il lui est ensuite parallèle à une distance de 183 mètres (600') d'axe en axe. Il rejoint ensuite le passage par-dessus Ranipoor par une partie courbe maçonnée de 18^m,575 (615') de longueur commençant par un pont et se terminant sous le pont de Ranipoor par deux chambres parallèles et contiguës; celle de gauche qui alimente des moulins est plus étroite et a un niveau plus élevé que l'autre destinée à la navigation et qui a une largeur libre de 5^m,80 (19').

Le sas de cette écluse et le reste du passage de la dérivation sous le pont sont séparés du grand canal par un mur de 4^m,83 (15' 1/2) de hauteur. Afin de pouvoir introduire sur ce point dans le canal de dérivation la quantité d'eau qui peut y être utile, trois ouvertures avec vannes de 1^m,83 (6') de large ont été ménagées dans le mur de séparation dont il vient d'être parlé immédiatement à l'amont de l'entrée du sas.

Les écluses sont imitées de celles de Lombardie, reproduites dans l'ouvrage de M. Nadault de Buffon (*). Les portes d'amont, comparativement petites et d'une hauteur de 1^m,98 (6' 1/2) seulement, sont soutenues dans leur position

(*) Le gouvernement anglais avait chargé le colonel du génie Baird Smith de faire, en vue des travaux à exécuter dans l'Inde, une étude des canaux de la haute Italie. Son rapport, qui a été publié pour servir d'instruction aux ingénieurs anglais, est une traduction presque textuelle de l'ouvrage de M. Nadault de Buffon.

verticale par de simples pièces de bois noyées de presque toute leur longueur et retenues dans la maçonnerie des bajoyers. Le montant de la porte contiguë au bajoyer, au lieu de tourner dans des colliers, se termine en haut par un pivot qui tourne dans un vide correspondant ménagé dans le bout d'une de ces pièces de bois que l'on fait saillir au dehors. Les portes d'aval, plus difficiles à manœuvrer, ont leurs pivots supérieurs engagés dans une traverse dont les deux extrémités sont retenues dans des rainures horizontales ménagées pour leur réception dans le couronnement des bajoyers. Les pivots inférieurs de toutes ces portes sont reçus dans des blocs de pierre empruntés aux ruines de Delhi. Des blocs semblables servent d'arrêts au point où les portes se rejoignent en se fermant ; ils remplacent les lignes continues de pierre de taille généralement adoptées, et cela dans le but d'éviter à l'amont de l'arrêt des portes des dépôts de sable qui auraient nui à leur manœuvre.

Les sas se remplissent et se vident, comme au canal de Pavie, avec des bondes de grandes dimensions ; ce sont des cylindres en bois percés d'une ouverture dans le sens d'un diamètre et qui ouvrent ou ferment le passage à l'eau suivant qu'on les tourne du côté de l'ouverture ou du côté plein. Chaque bonde a 0^m,76 (2' 1/2) de diamètre et 1.065 (3' 1/2) de hauteur et est mue par un axe vertical terminé à son sommet par un bras à angle droit. Son pivot inférieur repose aussi dans un bloc de pierre. Les bondes sont placées très-bas, en sorte que leur débit est très-fort en raison de la pression de l'eau.

Le sas a 4^m,88 (16') de large et 30^m,5 (100') de long ; la chute est de 2.745 mètres (9'), et il y a au pied un réservoir pour amortir son effet. Ces dimensions sont en raison de celles des radeaux. Le radier en charpente, emprunté également aux écluses de l'Italie septentrionale, a pour but de garantir les bateaux contre la chute et de briser celle-ci quand le volume d'eau est considérable.

433

Tous ces ouvrages sont en briques, sauf les massifs des culées et des fondations qui sont en maçonnerie de galets.
A la sortie du passage par-dessus, le canal auxiliaire est continué en maçonnerie d'abord, puis en terre suivant une courbe à double courbure; il s'avance ensuite parallèlement au grand canal à une distance de 162 mètres (531'). Sur cet alignement se trouvent deux écluses dont les ponts ont leurs axes dans le prolongement des axes des ponts des chutes du grand canal. Ces écluses sont en tout semblables à celles que nous venons de décrire. Sur la droite du sas se trouve une chambre parallèle de 3^m.355 (11') de large séparée du sas par un mur de 2.745 (9') de largeur au couronnement; cette chambre, qui sert de canal de décharge, est pourvue des appareils régulateurs nécessaires pour cet objet. Le canal de dérivation rejoint ensuite le passage par-dessus Puttri; toutes les dispositions et les ouvrages sont les mêmes à ce passage qu'à celui de Ranipoor. Ils servent en outre à rentrer dans le grand canal après que la chute de 10^m.68 (36') a été rachetée par quatre écluses.

Les dix canaux de dérivation situés à l'aval de Roorkee rachètent chacun une chute de 2^m.44 (8'), sauf les deux derniers où la chute n'est que de 1.525 (5').

La fig. 2 de la Pl. 11 représente les dispositions communes à tous.

Le canal de dérivation commence à 1.067^m.5 (3.500') à l'amont et finit à 1.220 mètres (4.000') à l'aval de la chute qu'il contourne.

La chute dans le canal principal et l'écluse dans le canal de dérivation sont situées sur une même perpendiculaire à la direction des deux canaux, qui alors sont parallèles à une distance de 305^m.5 (1.100').

La tête du canal de dérivation est un passage en maçonnerie à ciel ouvert de 4^m.88 (16') de largeur. Le mur de revêtement de gauche porte une rangée de marches formant

un ghat; celui de droite se lie à un mur de revêtement semblable sur le canal principal par une partie qui forme musoir à la séparation des deux canaux. En face du mur de revêtement du grand canal, se trouve sur la droite un mur de revêtement semblable au joignant et à l'amont, duquel est la tête d'un rajbuha. A l'entrée du canal auxiliaire sont un couple de rainures avec l'appareil nécessaire pour fermer le canal et régler son alimentation. Ce sont des poutrelles que l'on fait glisser dans les rainures; lorsqu'elles ne sont point ainsi employées, on les place par-dessus le canal et elles réalisent une communication entre ses bords.

Le bajoyer de gauche de l'écluse et celui de droite de la chambre de décharge contiguë sont prolongés à l'amont comme murs de revêtement: le premier, pour former à son extrémité d'amont la tête d'un rajbuha, le second pour comprendre dans son parement les têtes d'une série de chenaux faisant aller des moulins à blé. Ces têtes sont au niveau du bief supérieur du canal de dérivation. L'eau, arrivée par chaque chenal, a une vanne régulatrice, et après sa chute, rejoint le bief inférieur par un chenal de décharge. Ce dernier reçoit aussi les eaux pluviales qui tombent sur l'île par l'intermédiaire d'un puisard qui y aboutit. Dans les cas où toutes les eaux pluviales ne pouvaient s'écouler par ce point, on a fait un deuxième ouvrage vers le point S de la *fig. 2*, Pl. 11.

Tout le long du canal principal et des canaux de dérivation se trouve un chemin de halage non interrompu. Aux ponts, il passe ou sous l'arche extrême ou sous un passage voûté exécuté dans les levées du pont, suivant le prolongement même du chemin de halage.

Ce système de navigation sert à transporter dans les vallées les produits des montagnes, comme le bois de charpente, le charbon, etc. En outre, il établit une communication entre les centres de population de l'intérieur.

TITRE V. — *Résultats obtenus.*

Critique du canal du Ganges par sir Arthur Cotton.—Le canal du Ganges a coûté 2.500.000 livres sterling (62 millions $1/2$ de francs), et en 1865 il n'arrosait que 121.500 à 162.000 hectares (300 à 400.000 acres) dont l'irrigation était incertaine. En outre, beaucoup d'ouvrages étaient dans un état de dégradation fort regrettable et nécessitaient des réparations continuelles.

On lui reprochait de rapporter moins de 3 p. 100 du capital dépensé, tandis que les travaux exécutés dans la présidence de Madras pour l'irrigation et la navigation rapportent généralement 100 p. 100.

La différence entre ces résultats provient surtout, il faut le reconnaître, de ce que l'on s'est trouvé dans des circonstances infiniment moins favorables au Bengale que dans la présidence de Madras.

Tout le sud de l'Inde est couvert d'étangs ou de réservoirs qui forment depuis un temps immémorial un système d'irrigation complet en toutes choses, excepté en ce qui concerne l'alimentation de ces réservoirs. On n'a eu qu'à augmenter et à régulariser cette alimentation pour régulariser et développer des irrigations existant en grande partie déjà depuis longtemps.

Au Bengale au contraire on a eu infiniment plus à faire; il a fallu créer, non-seulement tous les ouvrages mais encore les irrigations elles-mêmes, ce qui est essentiellement l'œuvre du temps. On ne peut juger de la valeur du canal du Ganges ni de son utilité définitive par ce qu'il a produit pendant le nombre d'années écoulé depuis qu'il est ouvert (1854), nombre qui est certainement petit relativement à la nature de l'œuvre. Il importe toutefois de rapporter et de discuter la critique qui en a été faite.

Dans l'hiver de 1862 à 1863, la compagnie des irriga-

tions de l'Inde, ambitionnant le monopole de tous les grands projets d'irrigation aussi bien au Bengale que dans la présidence de Madras, chargea sir Arthur Cotton d'examiner toute la vallée du Ganges et de faire un rapport sur les facilités que ses différentes parties pouvaient présenter, soit pour l'irrigation, soit pour la navigation.

En accomplissement de cette mission, sir Arthur Cotton envoya en Angleterre en 1863 plusieurs rapports confidentiels, entre autres celui qui provoqua la discussion actuellement pendante sur le canal du Ganges. S'appuyant sur ce rapport dont elle joignit copie manuscrite à ses propositions, la compagnie des irrigations offrit au gouvernement de l'Inde d'acheter le canal du Ganges. Sir Proby Cautley fit une réponse au *Rapport sur le canal du Ganges* de sir Arthur Cotton. Celui-ci répliqua par des *Observations* sur la réponse de sir Proby Cautley. Ce dernier continuant la discussion, publia un mémoire intitulé : *Recherches sur les étés des canaux du Ganges et de la Jumna*, et sir Arthur Cotton fit une réponse aux *Recherches*.

En résumé, sir Arthur Cotton signale *dix-neuf fautes* dans la construction du canal du Ganges.

La première, celle qui frappe le plus, est de n'avoir pas établi de barrage permanent dans le Ganges pour servir de prise d'eau en tête du canal et de s'être contenté d'ouvrages temporaires sujets à être balayés à chaque mousson et qui ont été et sont emportés le plus souvent lorsqu'on en a plus besoin. Dans l'année de la famine 1860-1861, on évalue à 1 million de livres sterling (25 millions de francs) la perte de récoltes due à cette cause.

Sir Proby Cautley reconnaît la nécessité d'un barrage permanent et explique que le système des épis opposés, qui a été adopté pour relever le plan d'eau dans le Ganges, de manière à introduire les eaux dans le canal, est la reproduction de celui employé de tout temps sur les cours d'eau des provinces du N.-O., notamment pour les canaux

de la Jumna ; que ce système avait pour lui la sanction de l'expérience et ne présentait point les difficultés d'exécution d'un barrage complet de la rivière.

J'ai visité très-attentivement tous les ouvrages de la tête du canal du Ganges en 1863 ; à cette époque on avait déjà presque réalisé l'idée d'un barrage permanent ; on avait jeté à travers le bras principal du Ganges et les chenaux secondaires qui déchargent les eaux de ce bras avant qu'elles arrivent au canal, des digues en pierres perdues, mais sans maçonnerie, qui laissaient passer une partie de ces eaux ; on reprenait ensuite ces eaux et on les ramenait en partie vers la tête du canal par des digues ou barrages placés au-dessous des premières. Le système, quoique incomplet et d'une solidité douteuse, assurait l'alimentation beaucoup mieux qu'elle ne l'avait jamais été. Il faut le dire toutefois, en raison de la grande largeur du lit du Ganges où se trouvent même quelques flots et de sa grande pente dans cet endroit, il était facile et même naturel d'établir un barrage complet permanent et étanche en lui donnant une inclinaison très-oblique par rapport au courant, de manière à obtenir telle longueur que l'on pouvait désirer afin de placer la crête du barrage aussi bas qu'il pouvait être nécessaire, non pour diminuer le remous qui ne s'étendait qu'à une faible distance, mais pour éviter des dépenses trop grandes de consolidation et d'entretien du barrage. Son établissement présentait toutes les facilités que l'on rencontre dans les pays de montagnes pour opérer des dérivations au moyen de barrages permanents jetés sur les rivières torrentielles. On peut du reste s'en rendre compte par la carte de la tête du canal du Ganges (*fig. 1, Pl. 11*).

On comprend d'ailleurs que sir Proby Cautley, dont toute la carrière d'ingénieur s'est passée dans les provinces du Nord-Ouest, se soit attaché aux errements anciennement suivis sur les rivières qu'il avait à traiter. C'est toujours une grande prudence d'en agir ainsi, et c'est souvent le

enl moyen de réussir en fait de barrages et autres travaux
la rivière.

La seconde faute qu'on lui reproche est d'avoir tenu le
fond du canal trop bas par rapport à la surface du ter-
rain naturel, ce qui a augmenté inutilement les déblais et
a placé la ligne d'eau du canal trop bas pour les besoins
de la navigation.

Sir Proby Cautley se justifie par des raisons d'hygiène
et de salubrité publiques : l'eau élevée entre des digues
dominantes donne lieu à des filtrations, et les trous faits
par les insectes et autres animaux peuvent occasionner des
ruptures dans ces digues; il n'a fait que suivre les pres-
criptions de la commission de salubrité.

Sir Arthur Cotton réplique que le sous-sol était en gé-
néral imperméable sur quelques pieds de profondeur et
perméable au-dessous, en sorte que l'approfondissement
qui a eu lieu a justement produit les filtrations qu'il était
destiné à prévenir et a couvert d'eau stagnante tout le pays
contigu. Il pense que, si le canal avait été maintenu à une
certaine hauteur entre des digues convenablement faites,
il n'aurait point donné lieu à des filtrations. Et quant au
reproche que sir Proby fait aux ingénieurs de Madras de
négliger les précautions sanitaires, il répond que ceux-ci
préviennent toute stagnation d'eau au moyen d'un système
complet de canaux et d'émissaires d'écoulement pour les
eaux de toute provenance, en sorte qu'il n'y a point de
fièvres dans la présidence de Madras, tandis qu'elles règnent
dans les provinces du Nord-Ouest.

La troisième faute est d'avoir construit les ouvrages d'art
en entier en maçonnerie de briques, tandis qu'on pouvait
tirer de la bonne pierre des monts subhimalayens; ce qui
a occasionné de continuelles réparations et, par suite, de
continuelles interruptions dans le service du canal et des
irrigations.

Sir Proby répond qu'il a employé autant que possible,

pour la construction des radiers et arrière-radiers, les matériaux solides qu'il a pu extraire du lit des torrents et des rivières, comme les galets et blocs de fortes dimensions, mais que les monts Sevalik ne pouvaient pas fournir de bonne pierre de taille, et qu'il aurait fallu en faire venir de Delhi à des prix excessifs.

La quatrième faute est que la totalité de l'eau est prise à la tête du canal, en sorte qu'une partie fait un trajet de 563 kilomètres (330 milles), tandis que les niveaux permettaient de réduire ce trajet à 80 kilomètres $1/2$ (50 milles). Sir Cotton propose :

1° D'établir à l'aval du confluent du Solani, avec un barrage permanent, une nouvelle tête de prise d'eau qui deviendrait la principale, et de ne plus se servir de la tête actuelle que pour alimenter la navigation à l'amont de la nouvelle tête ;

2° De créer des prises d'eau additionnelles à la fois dans le Ganges et la Jumna, à 320 ou 480 kilomètres (200 ou 300 milles) à l'aval du confluent du Solani pour alimenter la partie inférieure du canal. Jusqu'ici on n'a introduit dans le canal que 19.880 mètres cubes (700.000 pieds anglais cubes) par heure ; avec les nouveaux barrages on pourrait avoir jusqu'à 127.800 mètres cubes (4 millions $1/2$ de pieds anglais cubes) ; on pourrait ainsi, au lieu de 121.500 hectares (300.000 acres), irriguer 3.035.000 hectares (7 millions $1/4$ d'acres) en profitant des deux moussons ; la surface totale du Doab est de 4.050.000 hectares (10 millions d'acres) dont 60.750 hectares (150.000 acres) sont déjà arrosés par le canal oriental de la Jumna.

Sir Proby reconnaît que les niveaux le permettent ; mais il conteste la possibilité d'exécuter les barrages et les dérivations dans les terrains indiqués sans dépenses immenses et sans porter une atteinte mortelle à la richesse et à la salubrité du pays. Les difficultés à vaincre telles qu'il les expose ne paraissent point insurmontables, mais il faut

aurait un projet et peut-être un commencement d'exécution pour décider la question.

Sir Cotton indique encore que l'on devrait étudier le pays au pied des Himalayas pour y établir des étangs, afin de pouvoir, pendant la saison fraîche, emmagasiner une réserve d'eau pour les irrigations.

Sir Cotton estime qu'un acre peut être arrosé pour une récolte au moyen de 1.500 yards cubes (soit un hectare par 1.831^m,5), que la taxe de l'eau pour une récolte peut être de 1 roupie par acre (6^f,17 par hectare); il en résulte que l'eau emmagasinée au moyen d'une dépense de 0^f,0108 par mètre cube (1 roupie pour 300 yards cubes) rendrait 100 p. 100, car il n'y a à ajouter à la dépense des réservoirs que de très-faibles sommes pour les ouvrages de distribution. Dans cette hypothèse, la dépense serait de 10.800 fr. par million de mètres cubes (3.300 roupies par million de yards cubes).

Dans des situations favorables, la dépense pour établissement des services peut être égale ou inférieure à 1.635 fr. pour un million de mètres cubes (510 roupies pour un million de yards cubes).

Cette idée n'appartient pas exclusivement à sir Cotton; l'ingénieur Login a déjà préparé dans ce sens de vastes projets dont l'avantage est démontré, et qui paraissent devoir être exécutés.

La cinquième faute est d'avoir donné à tous les déversoirs une longueur égale à la largeur entière du canal, tandis que le tiers aurait suffi; cela, non-seulement a occasionné une dépense double pour leur construction, mais encore est la cause de leur rapide destruction en ce moment. Ou bien le courant par-dessus le déversoir est si excessif qu'il coupe et entraîne les berges sur une étendue qui les compromet; ou bien, quand on a recours aux remèdes extrêmes, d'opposer à la nappe d'eau de la chute un obstacle continu et vertical en charpente qui brise la force

du courant, la maçonnerie de briques ne peut résister à tous ces chocs. Sir Proby Cautley reconnaît ces effets, mais il les attribue à la pente excessive du canal.

J'ai vu, en cours de reconstruction et de consolidation, un de ces déversoirs en partie entraîné par une crue. Les moyens que l'on avait pris pour fortifier les radiers et arrière-radiers à l'aval de la chute paraissaient de nature à procurer une grande solidité. Des galets de fortes dimensions, serrés entre eux et réunis par un mortier très-hydraulique, retenus en outre par une charpente très-solide; des blocs reliés entre eux par des tiges de fer; des fondations en maçonnerie ou en béton, tout était employé pour assurer une très-grande résistance jusqu'à une assez grande distance à l'aval de la chute. On avait de plus construit au pied de la chute une barre en planches et charpente destinée à en amortir le choc, et qui ne paraissait atteindre son but que bien incomplètement.

En voyant tout ce déploiement de moyens, je ne pouvais m'empêcher de regretter qu'au lieu de la courbe à double courbure adoptée pour le profil de la chute, et qui donne une action moindre au pied de la chute, il est vrai, mais une vitesse beaucoup plus grande jusqu'à une grande distance à l'aval, on ne se soit pas résigné à une chute verticale, divisée au besoin en deux cascades, au pied de laquelle on aurait fait, sur une longueur relativement faible, un radier d'une solidité suffisante pour résister à l'action de la nappe déversante et la briser. Ce système, contre les dépenses duquel on semble avoir reculé, eût été probablement moins coûteux en fin de compte, et certainement plus sûr que le système de consolidation complémentaire auquel on est conduit aujourd'hui pour fortifier les ouvrages primitifs. Évidemment, on avait trop compté sur la résistance des ouvrages en briques, et l'on ne s'était point assez préoccupé de l'énorme vitesse que le profil courbe adopté pour la chute devait imprimer à la nappe d'eau déversante, sans

aucun moyen de la diminuer ni d'amortir l'action de l'eau à l'aval.

La sixième faute est d'avoir donné à tout le canal une pente de fond trop forte, d'où résulte une vitesse de 4 kilomètres (2 milles $1/2$) à l'heure qui, aux chutes, atteint jusqu'à 6 $1/2$ à 8 kilomètres (4 à 5 milles) à l'heure. Cette vitesse est trop grande, eu égard à la résistance du fond et des berges du canal et aussi pour la navigation. Sir Cotton propose de construire de nouveaux barrages-déversoirs, de manière à réduire la pente de surface à $0^m,093$ ou $0^m,046$ par kilomètre ($\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{4}$ par mille) et de maintenir l'eau dans les biefs aussi haute que les digues actuelles peuvent le permettre, afin d'éviter d'avoir à faire de nouveaux déblais pour établir les nouveaux biefs.

Sir Proby convient qu'il a donné au canal une pente de fond trop grande, qui a été la cause de toutes les avaries éprouvées.

On a constaté que les radiers faisant suite aux chutes ont été attaqués toutes les fois qu'ils n'ont pas été recouverts d'un matelas d'eau retenu soit par une barre établie près d'eux à l'aval, soit par l'influence du remous de la lame déversant à la chute suivante; généralement les avaries ont eu lieu quand il y avait peu d'eau dans le canal.

On n'a pu empêcher cet effet même en reconstruisant les radiers et en les recouvrant de pierres de taille de grandes dimensions; par contre, des radiers et des chutes simplement en briques ont résisté quand ils ont été protégés par un matelas d'eau.

On a essayé d'obtenir ce matelas de deux manières: en relevant le plan d'eau sur le déversoir de la chute immédiatement à l'aval au moyen d'un vannage établi à l'amont et très-près de sa crête;

En construisant à 20 mètres à l'aval du pied de la chute une sorte de barre de $1^m,05$ de hauteur composée d'un encoffrement en charpente rempli de gros galets.

Les deux moyens ont été employés avec succès.

Dans l'application du premier moyen, on a remarqué que la distance jusqu'à laquelle se continuait le courant érosif à l'aval d'une chute était en raison inverse du relèvement du plan d'eau effectué par un vannage à la chute suivante. Ce courant entraînait les pierres de recouvrement des radiers, et à la suite le lit du canal était creusé par les eaux d'été; souvent les creux étaient remplis par les dépôts des eaux d'hiver surchargées de vase.

On a objecté contre l'établissement des vannages sur la crête des déversoirs de chute, que ces vannages active-raient beaucoup l'ensablement et l'envasement des biefs.

Il importe donc d'atténuer la force du courant à la suite de chaque chute et, en même temps, afin de n'avoir que le moins possible d'envasements, de ne diminuer la vitesse dans le reste du bief qu'autant qu'il le faut pour empêcher le fond du lit d'être attaqué.

Pour satisfaire à cette double condition, on a proposé :

1° De remplacer le mur de chute incliné à double courbure par un mur de chute vertical au pied duquel serait un radier formé d'un grillage en charpente rempli de galets;

2° De construire des chutes intermédiaires entre celles qui existent et au besoin d'élargir le canal et les débouchés des ponts et des déversoirs aux chutes; cela suppose que d'autres dispositions seraient prises en outre pour combattre l'envasement des biefs en faisant déposer les vases dans des bassins ou creux *ad hoc* établis en avant des biefs.

La septième faute est d'avoir placé les déversoirs suivant la ligne droite du canal et d'avoir établi sur l'un des côtés du canal principal des dérivations pour la navigation avec écluses, en sorte que les bateaux sont obligés de sortir du courant qui se dirige vers les déversoirs de superficie du grand canal et de tourner pour entrer dans chaque dérivation. Cette manœuvre présente des dangers. Des bateaux

ont été ainsi entraînés par-dessus les barrages, et des hommes ont perdu la vie dans ces accidents.

Sir A. Cotton ajoute qu'il faut construire de nouveaux déversoirs en raison de la situation dangereuse des déversoirs actuels, et qu'il faut les placer en dehors de la ligne principale pour ne pas interrompre le service du canal pendant leur construction. En d'autres termes, sir A. Cotton pense qu'il aurait fallu, à l'inverse de ce que l'on a fait, placer les écluses de navigation dans le canal principal, ou du moins dans la direction des biefs d'amont et d'aval de ce canal, et les déversoirs qui servent à transmettre d'un bief à l'autre l'eau pour les irrigations et la navigation dans les dérivations contournantes où l'on établit les écluses, ou, en d'autres termes, dans les inflexions que l'on aurait fait suivre au canal principal suivant les courbes qui ont été adoptées pour les dérivations ou canaux auxiliaires consacrés à la navigation.

L'état actuel est représenté par la *fig. 2*, Pl. 11. L'état proposé par sir Cotton est celui donné dans la description des ouvrages de Nudamole et Kunkipoud, § 4 du titre 3 du chapitre III (*), ou bien celui représenté au plan d'ensemble du Barrage de Rajahmundry (*fig. 5*, Pl. 14), à l'extrémité droite de ce barrage. (*Annales des ponts et chaussées*, 1871, 2^e semestre).

Sir Proby Cautley objecte que si l'on avait exécuté les ponts de bateaux qu'il avait proposés, aucune embarcation n'aurait été entraînée par-dessus les chutes, et qu'il a dû diriger la masse des eaux en ligne droite, parce que s'il en avait infléchi la direction, elle aurait exercé une action très-forte sur la cuvette du canal. On a répliqué que cela est vrai avec les vitesses actuelles dans le canal, mais que cela ne le serait pas si l'on avait des pentes plus modérées.

La huitième faute est de n'avoir pris aucune disposition

(*) Ouvrage de Kunkipoud, *fig. 7*, Pl. 16.

pour se débarrasser des vases, qui, comme sir Proby en convient, se sont déposées dans le lit du canal, ce qui a relevé le plan des hautes eaux. Sir Cotton propose d'établir près des têtes du canal un vaste bassin ou réservoir où la vitesse serait inférieure à 1.609 mètres (1 mille) à l'heure et où se déposeraient toutes les matières lourdes ; on pourrait les enlever par des dragues qui fonctionneraient constamment et sans gêne, soit pour la navigation, soit pour l'irrigation.

La neuvième faute, celle que sir Arthur Cotton considère comme la plus importante, est d'avoir pris les eaux du Ganges dans une partie trop élevée de son cours, ce qui a nécessité jusqu'à Roorkee des ouvrages très-difficiles et très-coûteux que l'on aurait pu éviter. Cette question a été discutée au titre 1^{er} du présent chapitre.

La dixième faute est la dépense excessive de l'aqueduc du Solani ; il a une largeur égale à celle du canal à l'amont et à l'aval, et une longueur égale à la largeur du lit majeur du Solani. On aurait pu, en augmentant la pente du pont-canal, réduire sa largeur au tiers, et diminuer sa longueur de moitié en se résignant à relever les crues du Solani.

Onzième faute. Les talus de la cuvette du canal sont trop roides.

Douzième faute. Les ponts sont trop bas pour permettre aux bateaux de passer dessous complètement chargés.

Treizième faute. Les chemins de halage ne continuent pas sous les arches des ponts, ce qui arrête les convois à chaque pont, c'est-à-dire tous les 5 kilomètres (3 milles).

Quatorzième faute. Les canaux et sas des écluses ont des courbes trop roides, en sorte que les bateaux qui ont la longueur des écluses ne peuvent pas passer. On peut y remédier en allongeant les sas.

Quinzième faute. Il n'y a point de lignes de navigation intermédiaires reliant entre elles les lignes principales, en sorte que les bateaux ont toujours à remonter jusqu'à l'ori-

gine des embranchements pour passer d'un point d'une ligne à un point d'une autre ligne.

Seizième faute. La pente en long du canal se continue jusqu'à son extrémité à Cawnpoor, en sorte que, pour maintenir la navigation, il faut toujours que le canal débite beaucoup d'eau qui va se perdre dans la rivière.

Dix-septième faute. Le canal est beaucoup trop étroit dans sa partie inférieure pour suffire à un trafic considérable comme celui qui aurait lieu s'il fonctionnait réellement comme canal de navigation.

Dix-huitième faute. A Cawnpoor, on ne peut passer du canal dans la rivière, et réciproquement. Il y a bien des écluses doubles pour effectuer le passage, mais l'écluse inférieure était hors de service.

Dix-neuvième faute. Le canal s'arrête à Cawnpoor; on aurait dû le continuer sur 120 milles (193 kilom.) plus loin, jusqu'à Allahabad, au confluent du Ganges et de la Jumna, où la navigation commence à avoir lieu toute l'année. (Il y a maintenant un chemin de fer de Cawnpoor à Allahabad.)

Ces derniers reproches ont trait à des entraves et obstacles que diverses dispositions des ouvrages mettent à la navigation, obstacles dont quelques-uns peuvent même l'empêcher complètement. Sir Proby répond :

Dans les provinces du Nord-Ouest, la navigation est un objet tout à fait secondaire. Mon projet avait essentiellement pour but l'irrigation du Doab, et n'a pas été conçu au point de vue de la navigation qui n'a été qu'accessoire : si l'on insiste pour avoir complètement la navigation, on ne l'obtiendra qu'au prix du sacrifice de l'irrigation.

Sir Cotton prouve, d'après des données empruntées au rapport de sir Baird Smith sur la famine au Bengale, que la navigation serait très-utile pour réduire les prix des transports pour les subsistances; ils auraient pu être réduits de plus de moitié si l'on s'était servi du canal dans les années de disette.

Quant à l'impossibilité d'avoir à la fois la navigation et l'irrigation, c'est évidemment un calcul comparatif à faire de quantités d'eau disponibles et de celles réclamées par l'irrigation et la navigation. Sir Proby pense que ce calcul doit conduire à renoncer à la navigation.

De toute cette discussion il paraît résulter que l'on aurait pu probablement, sans dépenses exagérées, exécuter le canal du Ganges dans le système indiqué par sir Arthur Cotton, en le rendant tout à fait propre à la navigation et en assurant une alimentation constante et régulière des irrigations. Mais il est juste de reconnaître : que les auteurs du canal se sont laissé guider par les précédents, comme il était naturel de le faire ; que les grands ouvrages élevés par eux dans le k'hadir du Ganges sont très-remarquables, tant sous le rapport des dispositions prises que sous celui des difficultés vaincues ; qu'ils témoignent de beaucoup de talent et même de beaucoup de goût, et que l'on doit continuer à s'en servir en établissant dans le Ganges, au point de dérivation, un barrage permanent.

On pourra, ainsi que le propose sir Cotton, au moyen de barrages inférieurs établis dans la mère rivière, augmenter l'alimentation du canal, de manière à pourvoir à la fois à tous les besoins des irrigations et de la navigation.

Ainsi complété, le canal du Ganges restera l'œuvre la plus grandiose qui ait été réalisée pour l'utilité publique, et si toute la gloire n'en revient pas définitivement à sir Proby Cautley seul, s'il doit un jour la partager avec l'éminent ingénieur qui s'est illustré par une hardiesse et une puissance d'initiative des plus remarquables dans la présidence de Madras, il lui restera encore assez de titres à la célébrité comme auteur principal des canaux de la Jumna et du Ganges, et comme un des géologues les plus distingués de l'époque.

Note rectificative du 2^e Mémoire sur les Irrigations de l'Inde.

(*Annales*, 1871, 2^e semestre.)

- Page 67, ligne 15, 6^e mot, au lieu de : *d.* lisez *de*.
- Page 68, ligne 14, au lieu de : *parties*, lisez *pertuis*.
- Page 69, ligne 51, au lieu de : *partie*, lisez *pierre*.
- Page 71, ligne 26. La virgule doit être avant, et non après le mot *même*.
- Page 76, ligne 27, au lieu de : *débit*, lisez *débit à l'heure*.
- Page 79, ligne 11, au lieu de : *s'étayer*, lisez *s'étager*.
- Page 81, ligne 15, au lieu de : *de*, lisez *du*.
- Page 88, ligne 9, au lieu de : *Bezoorah*, lisez *Besoarah*.
- Page 89, ligne 29, au lieu de : *défense*, lisez *dépense*.
- Dans le Chapitre III, lisez partout *Besoarah*, au lieu de *Besawadah*.
- Page 101, ligne 11, au lieu de : *largeur*, lisez *épaisseur*.
- Page 102, ligne 6, au lieu de : *un*, lisez *au*.
- Page 106, lignes 13 et 14, au lieu de : 61 à 27, lisez 61 à 72.
- Page 116, ligne 30, au lieu de : *ouvrage*, lisez *ouvrages*.
- Page 118, lignes 53 et 54, au lieu de (*Voir pour le passage des Tummalais, les fig. 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14 de la Pl. 16*), lisez (*Voir les fig. 14 et 15 de la Pl. 15*).
- Page 119, ligne 18, au lieu de : *fonte*, lisez *tôle*.
- Page 119, ligne 25, au lieu de : *uk*, lisez *uk*.
- Page 119, ligne 30. Ajoutez : Dans la *fig. 15, Pl. 15*, il faut figure, cette chaîne descendant du cabestan jusqu'au point.
- Page 123, ligne 20, au lieu de : *Meccut*, lisez *Meerut*.
- Page 124, ligne 11, au lieu de : *Cowtley*, lisez *Cautley*
- Page 128, ligne 19, au lieu de : *que*, lisez *qui*.
- Page 138, ligne 15, au lieu de : *barrages d'écluses*, lisez *barrages et écluses*.
- Page 140, ligne 21, au lieu de : *Nogang*, lisez *Nogong*.
- Page 141, ligne 18, au lieu de : *Cowtley*, lisez *Cautley*.
- Page 144, ligne 7, au lieu de : *du lit*, lisez *du lit de la rivière*.
- Page 144, ligne 17, ajoutez *Voir fig. 16*.
- Page 148, ligne 21, au lieu de : *fig. 4, Pl. 17*, lisez *fig. 10 (avec traits ponctués) de la Pl. 12 du 3^e Mémoire (Annales 1875)*.
- Page 149, ligne 28, au lieu de : *en ce point*, lisez *à Kharra*.
- Page 149, avant-dernière ligne, au lieu de : *Pl. 14*, lisez *Pl. 17*.

Planches.

Pl. 15. Fig. 14 et 15, au lieu de : *Tummlais oriental*, lisez *Tummlais occidental*.

Pl. 16. Fig. 1. Les mots : *Canal d'alimentation des irrigations et de la navigation* doivent être reportés vers l'axe du pont à droite de la place qu'ils occupent.

Fig. 14 et 15, au lieu de : *Tummlais occidental*, lisez *Tummlais oriental*.

Pl. 18. Fig. 2. Au bas du profil, au lieu de : *Pente de 37,79*, lisez *Pente de 0,51*.

Au-dessous de la cote de 80,40, ajoutez *Kaudla*.

Fig. 18. Au titre, ajoutez : en 1841 et 1842.

Fig. 19, dernière ligne, au lieu de : *niveau du lit du torrent en 1841*, lisez *niveau du lit du torrent en 1844*.

Ces deux fig. 18 et 19 ont été dessinées en sens inverse des fig. 16 et 17, qui se rapportent au même sujet.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

CHRONIQUE.

Mai 1873.

N° 27

EXPÉRIENCES SUR LES EFFETS DE LA DYNAMITE.

NOTE

De MM. ROUX et SARRAU (*).

* I. — Les essais entrepris au Dépôt central des poudres et salpêtres des Manufactures de l'État, pour apprécier la force relative des différentes matières explosives, nous ont conduits à des résultats qui permettent d'éclaircir quelques points obscurs dans les effets produits par l'explosion de la dynamite.

La dynamite enflammée par une violente percussion, comme celle occasionnée par la détonation d'une forte capsule fulminante, fait explosion, même à l'air libre, et produit, si elle est confinée, un effet tel que 1 de nitroglycérine correspond au moins à 10 de poudre ordinaire. Enflammée par tout autre moyen, sans percussion, elle fuse simplement à l'air libre et, si elle est confinée, elle peut encore faire explosion; mais cette explosion, quelles que soient la température et la pression auxquelles est soumise la matière, est d'une nature entièrement différente. Au lieu d'une ex-

(*) Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des sciences.*

plosion de premier ordre ou détonation, ce n'est plus qu'une explosion de second ordre, dont l'effet est tel que 1 de nitroglycérine correspond à environ 2 de poudre.

« Ces résultats ont été obtenus en recherchant les charges de rupture avec lesquelles on produit l'éclatement de bombes d'épreuve en fonte présentant toujours sensiblement la même résistance. Ces bombes sont fermées par un bouchon taraudé que traverse un fil isolé, au moyen duquel on peut, avec un exposeur, faire partir dans l'intérieur une petite capsule d'Abel.

« La charge de rupture, pour la poudre de chasse fine, est d'environ 16 grammes. Pour la dynamite n° 2 de Vonges, contenant 50 p. 100 de nitroglycérine, quand on la fait détoner au moyen d'une amorce fulminante Gevelot (0^{sr},25 de fulminate), la charge de rupture est comprise entre 3 et 4 grammes, soit 3^{sr},50.

« Au lieu de l'amorce fulminante, nous avons mis 1 gramme de poudre. Dans ce cas, la bombe a été chargée successivement de 4, 6, 10 et 15 grammes de dynamite; ce n'est qu'à 16 grammes que l'éclatement a eu lieu. La dynamite a produit, dans ces cas, le même effet que la poudre, et, comme elle était à 50 p. 100, 1 de nitroglycérine correspond à 2 de poudre.

« Au lieu d'augmenter la charge en dynamite, nous en plaçons, dans la bombe, un poids constant, 4 grammes suffisant pour la faire éclater par détonation, et nous augmentons successivement la charge de poudre. Nous pouvons alors mettre, avec les 4 grammes de dynamite, 5 grammes de poudre, puis 8, 10 grammes; ce n'est qu'à 12 grammes que nous obtenons l'éclatement. La dynamite à 50 p. 100 a produit encore, dans ce cas, un effet sensiblement égal à celui de la poudre.

« On peut s'assurer, après chaque coup, que la dynamite placée dans la bombe est entièrement brûlée. Ayant pris, dans une de ces expériences, le poids des gaz, par une différence de pesée, nous avons pu vérifier que ce poids était bien de 50 p. 100, comme on devait s'y attendre.

« Les effets seraient-ils les mêmes avec une dynamite plus riche en nitroglycérine que celle à 50 p. 100? L'essai suivant ne permet pas d'en douter. Nous nous sommes servis d'une dynamite à 90 p. 100 de nitroglycérine qui, enflammée avec la capsule-amorce, brise la bombe à la charge de 1^{sr},80. Ayant formé la charge de 3 grammes de cette sorte de dynamite et de 3 grammes de poudre, la bombe n'a pas éclaté.

« Nos bombes d'épreuve pouvant supporter une pression d'au moins 100 atmosphères, et la température de la flamme de la pou-

dre étant d'au moins 3.000 degrés, on peut affirmer que, dans les limites de la pratique :

« 1° La dynamite enflammée accidentellement et se trouvant, par exemple, au milieu d'un incendie, ne détonera pas ;

« 2° Elle pourra produire une explosion de second ordre, analogue à celle de la poudre ;

« 3° Le maximum d'intensité de cette explosion, maximum qui se produira quand les parois des récipients offriront une grande résistance, sera tel que 1 de nitroglycérine représentera 2 de poudre.

« II. — On peut vérifier, par l'expérience suivante, que c'est uniquement par une percussion d'une intensité suffisante que l'on peut produire la détonation de la dynamite, c'est-à-dire l'explosion de premier ordre.

« Nous employons pour cela une dynamite à 50 p. 100, préparée avec une cilice très-divisée, de manière à avoir une matière de faible densité.

« La charge étant enflammée avec la capsule-amorce, on obtient la rupture de la bombe avec 4 grammes, mais à la condition de placer cette charge de 4 grammes, maintenue dans un cornet de papier, autour de l'amorce. Si l'on place simplement la dynamite *en vac*, c'est-à-dire répandue dans la bombe, tout en ayant soin de faire reposer exactement l'amorce au milieu de la matière, on peut élever la charge jusqu'à 12 grammes et au delà, sans amener la rupture.

« Il est clair que, dans le premier cas, on a obtenu la détonation ou explosion de premier ordre, et, dans l'autre, l'explosion de second ordre. La capsule-amorce elle-même peut donc, avec la dynamite, produire les deux phénomènes, suivant les circonstances. Dans la première expérience, la matière maintenue par la feuille de papier a subi l'action du choc ; dans la seconde, elle a fui sous le choc et ne s'est enflammée que par le contact des gaz combustibles ; aussi cet essai ne réussit-il qu'avec des dynamites pulvérisées, à faible densité. Avec les dynamites ordinaires, denses et plastiques, l'éclatement a lieu avec la même charge, de quelque manière que cette charge soit placée, pourvu que l'amorce soit entourée par la matière.

« Le fait suivant, bien connu des mineurs qui ont employé la dynamite, prouve bien que l'intensité de la percussion est la cause déterminante de la détonation. Quand les amorces sont insuffisantes et donnent de fréquents ratés, on y remédie en les renforçant, et il suffit pour cela de doubler le métal qui forme le tube. Nous avons nous-mêmes constaté ce phénomène avec des matières explosives diverses, dont une même charge produit ou ne produit

pas la détonation de la dynamite, suivant que cette charge est enfermée dans un tube plus ou moins résistant.

« III. — Le fait de deux ordres d'explosion si différents produits par la dynamite permet de comprendre comment des matières de cette nature, contenant une même proportion de nitroglycérine, peuvent avoir des forces très-inégales pour amener la rupture. Nous avons constaté, par exemple, dans des dynamites à 30 p. 100, une force de rupture variant du simple au double, suivant la matière absorbante employée.

« Une dynamite est d'autant plus forte qu'elle est plus facile à enflammer par le choc. Lorsque l'inflammation est facile, l'effet de percussion produit par l'amorce se transmet immédiatement dans toute la masse : tel est le cas des dynamites préparées avec des sables quartzeux. Quand, au contraire, la substance est difficile à enflammer par le choc, l'action se transmet incomplètement ; une partie seule de la masse détone, le restant agit par explosion simple. On obtient cet effet avec des dynamites préparées avec des matières plastiques, l'ocre par exemple.

« Nous avons mis ces faits complètement en évidence par l'expérience suivante, dans laquelle le double effet se manifeste dans une même charge de dynamite :

« Reprenant la dynamite à 50 p. 100 dont 4 grammes suffisent, quand il y a détonation, pour faire éclater la bombe, nous en plaçons 2 grammes dans le cornet de papier qui entoure l'amorce ; le restant de la charge est répandu dans la bombe.

« Dans ce cas, 4^{gr} (2 + 2) et même 6^{gr} (2 + 4) sont insuffisants ; il faut porter la charge à 8^{gr} (2 + 6) pour produire l'éclatement. Les 2 grammes entourant l'amorce ont agi par détonation ; les 6 grammes en vrac par explosion simple et leur action combinée ont amené la rupture.

« Ainsi la détonation d'une portion de dynamite ne provoque pas nécessairement la détonation d'une masse voisine ; mais cette masse peut être enflammée et produire une explosion de second ordre. La propagation des effets est d'autant plus difficile que les dynamites sont, par leur nature, plus difficiles à enflammer.

« Nous concluons donc que la dynamite peut, suivant les circonstances, produire des explosions d'ordre complètement différent. La percussion seule nous a paru jusqu'ici susceptible de produire l'explosion de premier ordre, ou détonation. La pression et la température auxquelles est soumise la matière ne changent pas les conditions du phénomène. »

N° 28

LE NOUVEAU PORT D'ALEXANDRIE.

Voici, d'après le *Times*, quelques renseignements sur les travaux du nouveau port, à Alexandrie :

« Alexandrie est certainement la ville de ce côté de l'Atlantique qui a fait les plus grands progrès au XIX^e siècle. Cette cité, bourgade de 7.000 âmes il y a soixante ans, compte aujourd'hui 500.000 habitants.

« La baie d'Alexandrie, dans laquelle se trouve le port actuel, a environ 6 milles de long sur 2 milles de large. Elle est protégée de trois côtés, mais ouverte à l'ouest, et les vents d'ouest règnent les deux tiers de l'année. Il s'ensuit que malgré la faiblesse de la marée, dont la hauteur n'est que de 12 pouces, l'eau s'élève d'une manière considérable quand soufflent de grands vents d'ouest, et inonde les bas quartiers; au contraire, par les vents d'est, le niveau baisse et la navigation est interrompue.

« Tel est l'état présent des choses, mais il y sera obvié dans deux ans.

« On construit un brise-lames de 1 mille de longueur dont l'élévation sera de 7 pieds au-dessus de la plus haute marée. Quand cet ouvrage, à moitié construit déjà, sera terminé, il renfermera une étendue d'eau qui n'aura pas moins de 30 pieds de profondeur et une superficie de plus de 1.400 acres.

« Le premier bloc de concrétion pierreuse dont ce brise-lames sera composé a été lancé en présence du khédivé, en mai 1871; vingt mille de ces blocs, du poids chacun de 20 tonnes, seront lancés sur un lit de quelques centaines de milliers de tonnes de gravois, de pierres, etc.

« Le brise-lames terminé, un môle de 1.000 mètres de longueur, mettant à l'abri un espace de 177 acres de mer, ayant 28 pieds d'eau de profondeur, sera immédiatement construit; plus une ligne de quais contre lesquels les plus grands navires pourront aboutir pour livrer ou recevoir leur cargaison. Ces quais aboutiront au railway de la ville et de l'intérieur.

« Enfin un bas-fond de roches, qui oblige tous les navires à se détourner de leur route naturelle, du milieu du grand canal, et qui empêche d'entrer dans le port ou d'en sortir pendant la nuit, sera détruit; on le fait sauter. Une société d'ingénieurs venus de

Londres a entrepris ce travail; elle emploie environ deux mille hommes et quarante machines à vapeur constamment occupées.

« C'est une gigantesque entreprise, qui exige beaucoup de temps et une grande dépense. Mais si tout le commerce de transit d'Occident en Orient se fait par le canal de Suez, tout le commerce de l'Égypte proprement dit se fera toujours par Alexandrie. Il suffira d'ailleurs chaque année des produits de la fertile vallée du Nil pour dédommager amplement le gouvernement égyptien des dépenses. »

Le projet pour l'établissement d'un port militaire à Bône est terminé; il comporte la création d'un avant-port de 50 hectares parfaitement abrité par la jetée de Lion, et d'un port de 70 hectares complètement fermé et à l'abri de tous les vents. On construirait en même temps que le port un bassin de radoub, un chantier de constructions et tous les magasins nécessaires à un établissement maritime.

Un bassin de 11 hectares, entouré de 50 mètres de largeur, serait, en outre, affecté aux navires de commerce. (*Constructeur.*)

CHEMIN DE FER DE LOZOW-SÉVASTOPOL.

Nous trouvons dans une correspondance de la *Voix*, datée du 13 mai, les informations suivantes sur l'état actuel des travaux du chemin de fer de Lozow-Sévastopol :

Les travaux avancent assez activement. Au nord du Sivache les traverses et les rails sont déjà posés et les trains de service circulent sur cette section. La voie passe à 12 verstes du port de Guénitchesk, situé dans le détroit qui réunit Sivache à la mer d'Azow. C'est dans ce port qu'on débarque tous les matériaux de construction arrivant par voie de mer, et dans le nombre les rails et le charbon de terre. Un embranchement provisoire relie Guénitchesk à la station la plus prochaine du chemin de fer, et les habitants de la petite bourgade font des vœux ardents pour que cette voie provisoire soit transformée en section permanente. Il paraît que la compagnie du chemin de fer de Lozow-Sévastopol devra obtempérer à ces vœux, car Guénitchesk est et restera toujours le port le plus commode pour alimenter la voie de toutes les marchandises qui arrivent par mer. Il se peut donc que la modeste bour-

gare de Guénitchesk se transforme sous peu en un port d'une importance très-considérable.

Au midi du Sivache, les travaux sont moins avancés. Les terrassements sont presque achevés, mais on n'a pas encore commencé à poser les traverses et les rails, qui ne sont pas même arrivés à destination. La question de savoir si le Sivache sera traversé par un pont ou par un remblai paraît ne pas être encore résolue définitivement. On affirme cependant que les trains de service commenceront, à partir du mois de septembre prochain, à circuler sur tout le tronçon, entre Simphéropol et Sivache (120 verstes), et que la voie entière, entre Simphéropol et Lozow, sera ouverte à la circulation en janvier 1874. Le tronçon entre Simphéropol et Sévastopol sera livré à la circulation dans un temps plus éloigné, parce que les travaux présentent bien plus de difficultés sur ce point. Il y a plusieurs tunnels à percer. Les travaux de percement sont confiés à des ouvriers italiens choisis parmi ceux qui ont pris part aux travaux de percement du mont Cenis.

(*Journal de Saint-Petersbourg.*)

APPAREIL POUR DÉTERMINER L'ÉCARTEMENT DES RAILS.

La *Gazette de Moscou* parle d'une invention de l'ingénieur russe Sakhovsky consistant en un appareil pour déterminer l'écartement des rails.

C'est une espèce de gabarit différentiel mobile, très-ingénieux et pratique, au dire de cette feuille, dont les essais, faits à la gare de Moscou du chemin de fer de Nijni, ainsi que sur les chemins de Moscou-Riazan, Riazan-Koslow et Moscou-Smolensk, auraient été on ne peut plus satisfaisant.

Voici à peu près la description de cet appareil, telle que nous la trouvons dans la feuille de Moscou. L'appareil consiste en une poutre en bois d'environ 6 pieds de longueur. A l'un des bouts de cette poutre se trouve fixé un levier articulé, dont le petit bras, pourvu d'un galet, s'adapte à la surface intérieure du rail, l'autre bout de la poutre est également pourvu d'un galet s'adaptant à la surface intérieure du rail opposé. L'appareil est mis en mouvement par un ouvrier au moyen d'une sorte de brancard, mais il peut aussi être appliqué à une draine ou bien à un wagonnet.

Pendant la marche de l'appareil sur les rails, les déviations de

la largeur normale de la voie provoquent des déviations semblables du bras long du levier, dont l'importance peut s'évaluer par les indications du cadran.

Actuellement les vérifications de l'écartement des rails se font en appliquant aux rails un gabarit en fer ordinaire, et le chef d'équipe est astreint au travail fort lent et pénible de l'appliquer ainsi jusqu'à quatre cents fois sur chaque verste en évaluant l'écartement à l'œil. Il est clair qu'une telle complication dans un travail fréquent n'est pas de nature à assurer complètement la régularité de la voie et à prévenir des déraillements. L'avantage de la nouvelle invention consiste donc principalement dans la rapidité, l'exactitude et la continuité de la vérification.

La direction du chemin de Nijni aurait fait déjà l'acquisition de cet appareil, dont le prix très-minime (8 roubles) lui assure un grand succès. Les autres chemins cités plus haut auraient aussi manifesté le désir de suivre cet exemple. M. Sakhovsky a demandé, dit-on, un brevet d'invention pour son appareil.

STATISTIQUE DES ACCIDENTS SUR LES CHEMINS DE FER PRUSSIENS.

D'après un relevé qui vient d'être publié, il a péri, en Prusse, sur les chemins de fer du royaume, en 1871, 1.247 individus, dont 402 tués et 845 blessés; 1.108 de ces accidents ont eu lieu dans l'exploitation proprement dite, 139 dans des opérations accessoires (travaux de construction et d'ateliers); les voyageurs y figurent pour un chiffre de 166, dont 50 victimes de leur propre imprudence; 739 sont des employés et ouvriers des chemins de fer, sur lesquels 466 tués ou blessés par leur propre imprudence; 42 ont péri par suicide.

(*Journal officiel.*)

GÉODÉSIE DE LA CORSE.

Les travaux géodésiques de la Corse, qui ont fait l'objet d'une communication de M. le capitaine Perrier à la Société de géographie de Paris, présentent un intérêt tout particulier, en raison même de la situation et de la topographie du pays exploré. Cédée à la France par une convention conclue en juin 1768 avec la répu-

lique de Gênes, la Corse fut déclarée province française en 1769. L'année suivante, un édit royal confia à MM. Testevuide et de Béguis, accompagnés de trente géomètres, l'exécution des travaux géodésiques et le levé des plans cadastraux. Les opérations, immédiatement entreprises, furent terminées en 1791.

L'ingénieur Tranchot, qui depuis 1785 y avait pris la part la plus active, s'était signalé par la liaison trigonométrique de la Corse avec la Sardaigne, puis avec les îles intermédiaires et enfin avec les côtes de la Toscane. Ce fut d'après les données géodésiques et les relevés du cadastre que fut construite la carte topographique publiée par le dépôt de la guerre en 1824.

En 1827, le capitaine Durand, chargé de la triangulation du littoral oriental de la Provence, relia directement la triangulation de la Corse à celle du territoire français; il put contrôler ainsi et confirmer l'exactitude de la liaison obtenue par le littoral de l'Italie.

Les opérations géodésiques accomplies en 1835 par le colonel de la Marmora dans l'île de Sardaigne apportèrent une nouvelle confirmation aux travaux exécutés, car en reliant la chaîne de ses triangles à celle de Tranchot, il ne constata qu'une différence de 0^m,25 sur une longueur de 11.463 mètres.

Cependant la carte dressée en 1824 n'était pas à la hauteur des travaux topographiques exécutés dans le reste de la France; faute de données assez abondantes, on avait dû procéder à un nivellement approximatif; les indications étaient plus artistiques que scientifiques et ne satisfaisaient plus aux exigences multipliées des divers services publics. En 1862, le dépôt de la guerre songea à confectionner une nouvelle carte; malheureusement les signaux de premier ordre de Tranchot avaient disparu, à l'exception de six; les points secondaires étaient mal déterminés. Il fallut procéder à une nouvelle triangulation de l'île. MM. les capitaines Bugnot, Perrier et Proust furent chargés de ce travail en 1863. « L'année suivante, dit M. le capitaine Perrier, les brigades topographiques étaient envoyées en Corse et trois ans après, en 1867, toutes les feuilles de la nouvelle carte étaient levées et pouvaient être mises entre les mains des dessinateurs et des graveurs. Deux feuilles de cette carte ont déjà paru : celles de Calvi et de Luri; les autres ne tarderont pas à paraître. »

Nous passerons rapidement sur les opérations de la première triangulation; nous dirons seulement que le relief accidenté de la Corse força les géomètres à multiplier les bases, et qu'ils couvrirent l'île d'un réseau continu de 91 grands triangles et de 366 trian-

gles secondaires. La liaison trigonométrique de la Corse avec la Sardaigne fut effectuée par Tranchot en 1789-90 au moyen de 28 grands triangles; celle de l'île avec le continent par l'île Capraja et l'île d'Elbe au moyen de 46 triangles, qui s'étendaient sur le littoral italien depuis Livourne jusqu'au cap Argentario, et s'appuyaient sur un des côtés de la triangulation de la Corse. Tranchot détermina en outre une latitude, une longitude et un azimut de la tour de Tollare, point extrême de l'île du côté de la France, et obtint ainsi les éléments nécessaires au calcul des positions géographiques de la Corse.

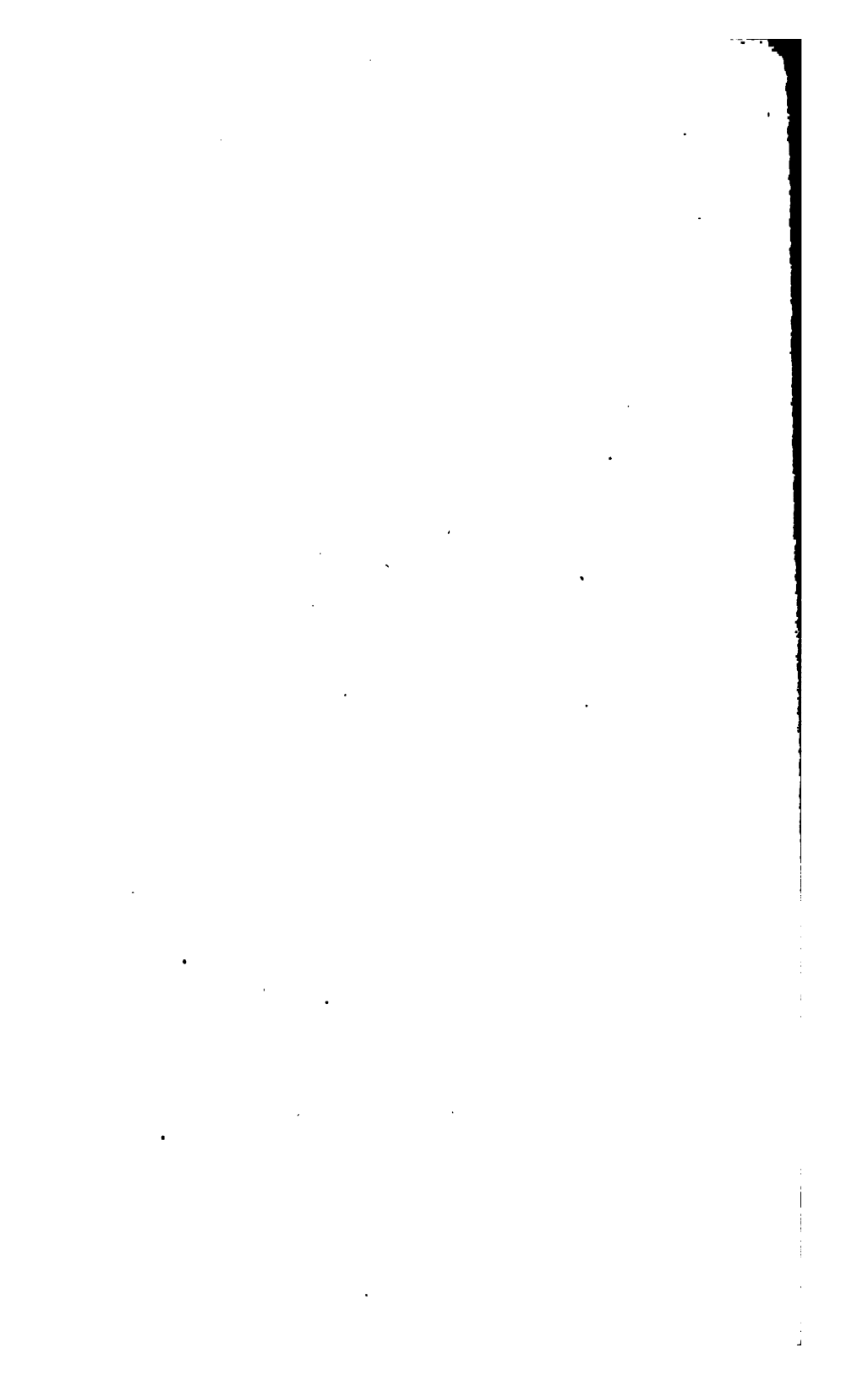
La liaison trigonométrique de la Corse avec la France par le capitaine Durand, en 1827, mérite une attention particulière, car elle constitue le premier essai de triangulation à des distances considérables (de plus de 250 kilomètres en moyenne). Le capitaine Durand opérait sur ce versant subalpin qui constitue, de Fréjus à Nice, un amphithéâtre merveilleux. Il y trouva huit points desquels il put apercevoir nettement et en temps favorable les sommets des monts Cinto et Paglia-Orba dans des conditions telles qu'il lui était possible de les relever et de mesurer leurs distances au zénith. « Le mont Cinto, dit M. Perrier, apparaissait dans le lointain comme un pic très-nettement terminé en pointe; le Paglia-Orba, au contraire, présentait la forme d'une protubérance couronnée par un petit plateau s'abaissant d'un côté en pente douce et bordé de l'autre côté par une paroi verticale. » L'observateur visa de ces huit observatoires la pointe du Cinto et le bord de l'escarpement du Paglia. Il détermina ainsi 22 triangles ayant pour sommets Cinto et Paglia et pour bases les divers côtés qui unissaient deux à deux les huit points d'observation : le fanal de Villefranche, le moulin Pallas, le Chelron, la Chains, la Sauvette, le cap Roux, le Roucas de Lanquier et le Mouré de Chénier : ce dernier point, un des sommets de l'amphithéâtre, était à 266.454 mètres du pic du Cinto. On trouvera prochainement dans le *Mémorial* du dépôt de la guerre les tableaux des calculs effectués. Les calculs s'accordaient, à fort peu de distance près, avec ceux de Tranchot, mais il faut réduire de quelques mètres la moyenne des altitudes obtenue par le capitaine Durand. Ce résultat surprenant permet d'accorder confiance à des opérations de même nature, telles que celles à l'aide desquelles le capitaine Perrier espère prolonger la méridienne de Paris sur le continent africain, par l'extrémité méridionale de l'Espagne.

La triangulation récente de la Corse fut effectuée par les capitaines Bugnot, Proust et Perrier sur trois régions d'égale super-

ficie. La surface de l'île a été couverte d'un réseau continu de 65 grands triangles de premier ordre, et la concordance des opérations a atteint une approximation plus que satisfaisante. Il nous serait difficile de reproduire ici les principaux détails des opérations; nous nous contenterons de signaler quelques résultats qui n'ont point encore été livrés à la publicité. Les positions géographiques des différents points en latitudes et en longitudes ne paraissent pas avoir été modifiées de manière à être signalées dans un résumé comme celui-ci. Il n'en est pas de même des altitudes dans lesquelles on a constaté des différences notables avec les mesures accréditées. Ainsi, ce n'est pas le mont Rotondo qui serait le sommet le plus élevé de la Corse, mais le mont Cinto. Le monte d'Oro, classé en deuxième ligne, ne vient qu'en sixième ligne, ainsi qu'il ressort du tableau suivant :

| | HAUTEUR. |
|--|--------------|
| | — mètres. |
| Monte Cinto. | 2.707,0 |
| Monte Rotondo. | 2.624,8 |
| Monte Paglia-Orba. | 2.525,5 |
| Monte Cardo. | 2.454,4 |
| Monte Padro. | 2.392,5 |
| Monte d'Oro. | 2.390,8 |
| Monte Renoso. | 2.357,1 |
| Monte Artica. | 2.328,8 |
| Monte Traunato. | 2.179,6 |
| Monte l'Icudine. | 2.136,0 |
| Monte della Capella. | 2.044,1 |
| Monte Stello (point culminant du cap). | 1.228,0 |

(Journal officiel.)



N° 29

HYDRAULIQUE. — EXPÉRIENCES SUR LES AFFOUILLEMENTS

ÉTUDE

Par M. ALFRED DURAND-CLAYE, ingénieur des ponts et chaussées.

Objet et origine des expériences. — Les expériences décrites ci-dessous ont pour objet de donner quelques indications sur les affouillements produits par des piles de forme simple, placées dans un courant à fond mobile.

Elles ont eu pour origine l'observation des dépôts sableux qui s'opéraient dans une des rigoles d'irrigation de la plaine de Gennevilliers (Seine). Dans une de ses tournées, M. l'inspecteur général Belgrand examina ces dépôts, et nous engagea à procéder à des expériences plus régulières que celles qui étaient dues à la simple rencontre fortuite d'obstacles quelconques. Ce sont ces expériences que nous présentons, malgré tout ce qu'elles peuvent avoir d'incomplet et d'imparfait.

Observations préliminaires. — La question des affouillements, produits dans un courant par les obstacles interposés et spécialement par les piles ou culées des ponts, est loin d'être parfaitement définie.

La théorie permet de calculer avec une certaine approximation la chute moyenne d'un cours d'eau, lorsqu'il pénètre dans l'espèce d'étranglement qui existe entre deux piles. Mais elle reste muette sur la répartition des vitesses

dans la section transversale, comprise entre ces deux piles, sur les remous produits, soit à l'arrière-bec, soit à l'avant-bec, et ce sont cependant ces vitesses et ces remous qui agissent sur le sol ou sur les fondations, et qui ont seuls un intérêt pratique pour le constructeur. La théorie donne bien aussi quelques indications sur les pressions réciproques du liquide mobile et du solide immobile, formé par la pile ; mais, à ce point de vue comme au précédent, elle donne des résultats moyens, elle néglige les effets de détail, les remous, les entraînements par affouillement qui compromettent si souvent, spécialement en temps de crue, la solidité des ouvrages, tandis que leur renversement par simple entraînement et par pression est la plupart du temps absolument négligeable en présence de leur masse.

Quant à l'expérience, elle n'apporte pas de son côté d'éléments bien précis à la solution du problème. Chacun peut remarquer d'une manière sommaire les formes qu'affectent les cours d'eau à la rencontre des obstacles interposés, la chute qui existe à l'épaulement des piles, les gonflements aux avant-becs, les remous aux arrière-becs. Mais il est bien difficile d'arriver à des résultats nets dans des observations faites du haut d'un parapet, surtout lorsque ces observations s'appliquent à des surfaces qui changent à chaque instant et qui sont formées de tourbillons et de remous en perpétuel mouvement.

Gauthey, dans son excellent *Traité de la construction des ponts*, présente un certain nombre d'expériences relatives aux formes des courants (*). Dans un canal en planches de 0^m,50 de largeur, il faisait couler à grande vitesse (vitesses de 3^m,90 à 4^m,87 par seconde) une lame d'eau d'environ 0^m,04 d'épaisseur ; il interposait dans l'axe du canal un certain nombre de piles en bois de 0^m,15 d'épais-

(*) Gauthey. *Traité de la construction des ponts*, édition Navier, tome I, page 354 et Pl. XIII.

seur et de formes diverses, et examinait les formes de la surface de l'eau ainsi que la direction des courants produits. Les dix figures qu'il a dessinées, et qui correspondent à autant d'expériences, sont certainement des plus intéressantes et peuvent être consultées avec fruit.

Mais ces expériences ne s'appliquent pas aux modifications produites sur le fond des cours d'eau par les remous plus ou moins profonds. Sur le lit des rivières affouillables se trouvent des multitudes de parcelles sableuses en perpétuel mouvement. Le lit de ces rivières est marqué d'une infinité de stries, formant comme autant de plans inclinés successifs, le long desquels montent sans cesse les parcelles de sable, pour s'arrêter de temps en temps, reprendre leur marche et descendre finalement dans le sens du courant avec une vitesse variable. Dès qu'un obstacle se présente, un affouillement et des remous apparaissent. Ici les observations précises sont bien difficiles. Il se produit, il est vrai, des expériences en grand qui devraient être concluantes : ce sont les chutes des ponts dans les crues. Mais on est surpris, en parcourant les auteurs qui parlent de cette matière, de ne pas trouver même en ce cas de conclusions bien nettes ; les ponts tombent-ils par suite d'affouillements à l'amont, par suite d'affouillements à l'aval ? Le regretté M. Minard a publié en 1856 un mémoire fort intéressant où il établit que les ponts tombent toujours par affouillement d'amont ; il cite vingt-trois exemples, dont la plupart semblent des plus démonstratifs. Cette règle paraît cependant avoir été contestée ou ignorée par un certain nombre de constructeurs dont M. Minard cite les noms et les ouvrages. Aujourd'hui encore on entend prescrire des précautions identiques pour les fondations à l'aval comme à l'amont des piles ; l'influence de la forme même de ces piles est prise en médiocre considération, et tous nos ponts présentent une forme ronde pour leurs supports, comme tous les ponts antiques et du moyen âge présentaient des

formes triangulaires avec quelques exemples à section rectangulaire.

On nous permettra d'apporter quelques faits modestes dans une question où l'inconnu et le vague jouent encore un si grand rôle. Sans doute, il y aura loin de nos canaux et de nos piles de quelques décimètres de large aux conditions courantes de la pratique; mais si l'expérience sur une échelle restreinte et la théorie ne peuvent souvent qu'indiquer le sens et la marche générale des phénomènes, il convient cependant de les écouter et de ne pas oublier que les grandes lois de la nature sont les mêmes, qu'elles dirigent le cours des fleuves, ou qu'elles fassent couler le filet d'eau qui s'échappe d'un vase d'expérience.

Disposition et marche des expériences. — Le canal où s'effectuaient les expériences était en briques, réunies par du mortier de ciment. Il présentait une forme rectangulaire avec une largeur de 0^m,745 et une hauteur de 0^m,40. Sa pente était de 0^m,0014 par mètre. Son tracé était parfaitement rectiligne depuis son origine, où l'eau était introduite, jusqu'à l'emplacement des expériences, situé à environ 50 mètres de l'origine.

Les piles étaient établies suivant l'axe du canal; elles étaient construites en débris de meulières et recouvertes d'un enduit de ciment parfaitement lisse. Elles présentaient les dimensions suivantes :

| FORME DES PILES. | LARGEUR | | LONGUEUR | | HAUTEUR. | TALUS des pare- ments. | OBSERVATIONS. |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------------------------|--|
| | à la base. | au sommet. | à la base. | au sommet. | | | |
| Pile rectangulaire. | mét. 0,315 | mét. 0,275 | mét. 0,810 | mét. 0,770 | mét. 0,120 | 1/6 | { Voyez fig. 1, 2, 4, 5, 7 et 8, Pl. 14. |
| Pile ronde. | 0,260 | 0,240 | 0,820 | 0,780 | 0,120 | 1/6 | |
| Pile triangulaire.. | 0,315 | 0,275 | 0,889 | 0,884 | 0,120 | 1/6 | { Saillie des becs. } 0 ^m ,20 { Angle des 2 faces des becs. } 69° |

Le sable employé provenait du sous-sol de la plaine de Gennevilliers. Il appartenait à la couche générale perméable qui assure dans des conditions si favorables l'absorption et l'utilisation des eaux des égouts de Paris.

Les expériences étaient conduites de la manière suivante :

Une couche de sable tamisé était étendue uniformément sur 0^m,04 environ d'épaisseur sur le fond du canal. L'alimentation était faite par une pompe Letestu, mue par une locomobile de 4 chevaux dont on maintenait l'allure aussi régulière que possible. Le débit était constaté au moyen d'une caisse bien étanche, située latéralement au canal, et qu'on remplissait en y dirigeant la totalité du courant dévié de sa route normale à l'aide d'une vanne. Un compteur à secondes indiquait le temps employé à remplir la caisse dont la capacité était connue, le débit s'en déduisait immédiatement. La vitesse moyenne du courant s'obtenait en mesurant la hauteur h de la lame d'eau, lorsque son cours était bien régulièrement établi dans le canal; connaissant le débit Q et la largeur l du canal, on obtenait immédiatement la vitesse moyenne u :

$$u = \frac{Q}{lh}.$$

Les résultats étaient vérifiés simultanément au moyen de jaugeurs, auxquels on appliquait les formules usuelles d'hydraulique.

On laissait le régime d'écoulement s'établir d'une manière permanente. La couche de sable, d'abord bien unie et bien uniforme, se déformait rapidement aux environs des piles, accusait des affouillements parfaitement nets, qui, pénétrant dans toute l'épaisseur de la couche, mettaient à nu le fond en briques du canal et dessinaient des courbes régulières le long desquelles régnaient des talus diversement inclinés. A cet instant, ou bien on entretenait le phénomène à un état sensiblement constant, en versant dans

le canal à l'amont et à une distance suffisante (environ 50 mètres des piles) du sable identique à celui qui avait été mis en expérience ; ou bien on laissait le mouvement général d'entraînement se produire ; alors les affouillements s'étendaient en même temps que l'épaisseur de la couche non affouillée diminuait ; la partie du radier en briques mise à nu allait constamment en s'élargissant, et le sable disparaissait complètement, si l'on poursuivait l'alimentation, sans renouveler la quantité de matière mobile et affouillable.

Pour constater la forme des affouillements à un instant donné, on arrêtait la locomobile à l'amont ; l'alimentation cessait du même coup ; le mouvement de la couche sableuse n'avait plus lieu. On laissait cette couche s'égoutter pendant douze heures ; les affouillements conservaient pendant ce temps et depuis la cessation de l'alimentation une constance remarquable de forme, grâce au caractère un tant soit peu argileux du sable employé. On venait ensuite relever sur place autant de profils que l'on voulait de la couche sableuse et de ses affouillements en introduisant bien verticalement une feuille de carton mince dans cette couche et dessinant les contours avec précaution. (Voyez *fig. 10.*) Les parties du radier mises à nu étaient également relevées avec soin à l'aide de compas et de doubles décimètres. On avait ainsi tous les éléments nécessaires à la représentation des résultats obtenus.

Exposé des résultats obtenus. — Nous exposerons deux séries d'expériences, faites sur les trois piles qui ont été décrites ci-dessus ; chaque série correspond à une épaisseur différente de la couche affouillable.

Dans les deux séries, les conditions d'alimentation ont été les mêmes, savoir :

| | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Débit à la seconde. | 14 ^{lit.} ,050 |
| Hauteur de la lame. | 0 ^m ,069 |
| Vitesse moyenne du courant. . . . | 0 ^m ,272 |

Dès que l'alimentation commençait, l'ensemble des grains de sable se mettait en mouvement suivant le sens du courant ; on voyait les parcelles se soulever, s'avancer en roulant sur les parcelles voisines, s'arrêter et repartir. Le plus léger obstacle, la plus légère dénivellation créait un petit tournoiement et un petit remous et produisait une ride permanente sur la couche sableuse. Au voisinage des piles, ces perturbations s'accusaient avec une extrême netteté ; tandis que la surface de l'eau présentait des intumescences et des dénivellations, variables suivant la forme des piles, la couche sableuse s'affouillait et le fond en briques du canal apparaissait. On apercevait les grains de sable arriver au bord des affouillements, descendre les talus qui existaient entre la surface sableuse et le fond résistant du canal, et filer avec une rapidité extrême dès qu'ils pénétraient dans la région où les courants produits par les piles entretenaient une vitesse anormale. Tant que la couche affouillable subsistait, les formes accusées par les affouillements conservaient une fixité remarquable ; si l'on venait à jeter une pelletée de sable à l'emplacement d'un de ces affouillements, les grains de sable ainsi ajoutés se mettaient aussitôt en mouvement, étaient chassés vers l'aval, et l'affouillement se reproduisait avec sa forme primitive.

Examinons les phénomènes spéciaux produits au droit de chaque pile :

1. *Pile rectangulaire.* — La *fig. 1* montre la forme des affouillements et atterrissements dans le cas d'une épaisseur de couche sableuse de $0^m,03$. — On voit *à l'amont* un affouillement considérable, ayant son maximum suivant l'axe où il atteint $0^m,095$, décrivant une courbe elliptique et venant se terminer aux épaulements à des distances de $0^m,065$ et à $0^m,054$ de la pile, soit de $0^m,060$ en moyenne.

Latéralement, les affouillements affectent une forme pres-

que parallèle aux faces de la pile; en même temps la couche sableuse qui borde ces affouillements a une épaisseur inférieure à celle de la couche d'amont; elle n'est plus que de $0^m,015$ et $0^m,016$ aux épaulements d'amont et descend à $0^m,012$ et $0^m,007$ vers le milieu des piles.

A l'aval, un atterrissement considérable se produit derrière la pile, tandis que les courants latéraux s'élargissent de chaque côté. L'atterrissement présente dans son ensemble une forme rectangulaire avec des contours un peu concaves; immédiatement derrière la pile, on constate un petit affouillement de $0^m,017$ parallèle à la face d'aval; puis se rencontrent deux mamelons, séparés par une dénivellation dont le centre est à $0^m,20$ de cette même face.

Si l'on suit l'effet continu des affouillements en passant à la *fig. 2*, qui correspond au cas où la couche sableuse d'amont n'a plus que $0^m,015$ d'épaisseur, les courants latéraux ont fini par dénuder complètement le canal sur toute sa largeur. A l'aval il subsiste un atterrissement, dont la forme générale est la même que précédemment avec des dimensions plus restreintes; son centre se trouve à $0^m,09$ de la face d'aval de la pile.

Les diverses remarques qui viennent d'être faites permettent de donner un aperçu du mouvement de l'eau au voisinage de la pile. Les molécules liquides, descendant d'amont, viennent buter contre la face de la pile, sont rejetées en arrière par réflexion, tendant à revenir par oscillation frapper de nouveau la maçonnerie; en même temps de nouvelles files de molécules viennent se superposer aux premières, et combinent leur mouvement avec le mouvement de celles-ci; de là contre la face d'amont, les perturbations accusées sur le fond par les affouillements et à la surface par un ou plusieurs bourrelets liquides. L'expérience correspondante de Gauthey que nous reproduisons (*fig. 3*) met clairement en évidence cette intumescence de la surface, qui correspond à une charge et

par suite à une vitesse supplémentaires. Sur les côtés, les molécules liquides, ne rencontrant plus la face solide de la pile, s'échappent en accusant leur vitesse anormale par les affouillements latéraux ; les affouillements ainsi produits ont un épanouissement auquel correspond la diminution d'épaisseur de la couche sableuse ; ils se continuent à l'aval, la forme rectangulaire de la pile contribuant à les tenir éloignés l'un de l'autre, tandis que l'eau comprise entre eux reste à peu près immobile, ainsi que l'accuse l'atterrissement. Mais les deux mamelons et la dépression qui les sépare montrent l'existence de remous à axe à peu près vertical. — Dans l'expérience de Gauthey, les deux courants latéraux et leur épanouissement sont mis en évidence par les dénivellations de la surface. On remarque seulement, immédiatement contre les piles, une sorte de renflement du courant, à l'endroit où l'expérience nous indique encore l'existence de l'affouillement latéral. Cette sorte de contradiction entre les deux expériences doit être attribuée à la différence des vitesses : Gauthey faisait marcher l'eau avec une vitesse torrentielle de 5^m,90, plus de dix fois supérieure à celle de nos expériences qui était de 0^m,27. Les effets, produits par l'interposition des obstacles, devaient donc être exagérés par rapport aux nôtres. Les courants latéraux devaient être notablement plus rejetés vers les rives, et leur axe, au lieu de se trouver immédiatement contre les piles, s'en éloignait d'une certaine quantité. Le sens et la direction du phénomène n'en restent pas moins absolument concordants dans les deux cas, et nous montrons simplement sur un fond affouillable les premiers effets des remous que Gauthey traduit par les déformations de surface dans le cas d'une vitesse supérieure.

II. *Pile ronde.* — En examinant d'abord le cas normal d'une couche suffisamment épaisse de sable, 0^m.045 (*fig. 4*), on voit un affouillement notable produit à l'amont. Cet

affouillement affecte une forme presque parallèle aux parois de la pile avec une largeur de $0^m,065$ sur l'axe, $0^m,066$ et $0^m,056$ à 45° , et $0^m,067$ et $0^m,050$ aux épaulements.

Latéralement, il existe des affouillements d'importance décroissante à mesure que l'on descend vers l'aval; commencés avec une largeur de $0^m,067$ et $0^m,050$ aux épaulements d'amont, soit $0^m,058$ en moyenne, ils n'ont plus que $0^m,055$ et $0^m,040$ au milieu de la pile, soit $0^m,047$ en moyenne, et enfin $0^m,026$ et $0^m,025$ aux épaulements d'aval; ils cessent presque aussitôt en formant une petite concavité. En même temps, des affouillements d'intensité moindre s'étalent à côté des premiers; on voit en effet un talus dont la projection n'est que de $0^m,066$ raccorder d'abord suivant l'axe l'affouillement d'amont avec la surface sableuse; puis cette projection passe à $0^m,079$ et $0^m,070$ à 45° , à $0^m,103$ et $0^m,125$ aux épaulements d'amont pour conserver ensuite une direction à peu près rectiligne jusqu'à l'arrière-bec.

Là, les deux affouillements latéraux ont cessé; il reste simplement deux petites vallées, continuant les affouillements secondaires et comprenant entre elles un faite en pente douce qui part de l'aval de la pile avec une hauteur de $0^m,055$ sur l'axe pour retrouver à $0^m,400$ plus loin la cote $0^m,04$.

Si l'on suit l'effet continu des affouillements sur la *fig. 5*, dans laquelle l'épaisseur du sable d'amont est descendue à $0^m,025$, on voit, comme pour la pile rectangulaire, l'affouillement d'amont subsister avec élargissement dans sa forme et disparition complète du sable sur les faces latérales. A l'aval, l'espèce de dos d'âne signalé dans la figure précédente a pris la forme d'un mamelon elliptique d'une longueur de $0^m,275$ avec une largeur de $0^m,120$, et une hauteur de $0^m,030$. Les deux affouillements latéraux se rejoignent derrière ce mamelon, et au delà se manifeste

encore la faite en pente douce qui va rejoindre la surface normale.

Le mouvement général de l'eau dans le cas d'une pile ronde est clairement indiqué par les affouillements et les atterrissements qui viennent d'être examinés. Les molécules liquides viennent toujours buter contre les parois de la pile, sont réfléchies obliquement, combinent ce mouvement de réflexion avec le mouvement d'entraînement général; de là mouvement composé, oscillations, bourrelets à la surface, charges et vitesses anormales, affouillements du fond allant en s'épanouissant latéralement à la surface et s'amincissant au fond. A l'aval, la continuité de forme de la pile ramène sans brusquerie les courants latéraux vers l'axe et produit des remous réguliers, accusés par des atterrissements à forme courbe et à pente douce.

L'expérience correspondante de Gauthey (*fig. 6*) montre bien le bourrelet d'amont avec sa forme presque parallèle aux parois des piles avec ses courants latéraux principaux et secondaires. Il y aurait lieu de répéter les observations faites pour la pile rectangulaire au sujet du petit relèvement de la surface vers les parois mêmes de la pile; la grande vitesse de l'eau dans les expériences de Gauthey donne l'explication de cette divergence des axes des courants latéraux.

III. *Pile triangulaire.* — La pile triangulaire expérimentée présentait une forme très-voisine de celle qui correspond au triangle équilatéral, 69° au sommet au lieu de 60° . — De légers raccords courbes avaient été ménagés aux épaulements.

Dans la *fig. 7*, où l'épaisseur de sable à l'amont est de $0^m,052$, on constate un affouillement qui a son minimum à l'angle de l'arrière-bec, et qui va en s'élargissant suivant une forme elliptique dont la grande dimension serait perpendiculaire au courant. Sur l'axe la largeur mise à nu est

nulle ; elle atteint 0^m,08 et 0^m,06, soit 0^m,07 en moyenne, aux épaulements d'amont. Les affouillements se continuent latéralement, diminuent progressivement d'une manière régulière, atteignant 0^m,045 vers le milieu de la pile et se terminant un peu avant les épaulements d'aval. Les talus de raccord avec la couche sableuse, dont la projection horizontale est d'abord de 0^m,085, s'étendent un peu jusqu'aux épaulements d'amont où ils atteignent 0^m,110 et 0^m,095, reviennent à 0^m,06 et 0^m,08 vers le milieu des piles et s'éteignent avec les affouillements vers les épaulements d'aval. Le long des arrière-becs les affouillements sont à peine sensibles ; la couche de sable retrouve des hauteurs de 0^m,035 et 0^m,033. En aval de l'arrière-bec un sillon se dessine suivant l'axe, avec deux mamelons latéraux.

En passant au cas de la *fig.* 8, c'est-à-dire à une épaisseur de sable de 0^m,020 seulement pour la couche d'amont, l'abaissement de cette surface et son intersection avec le fond résistant donnent sur la pointe de l'avant-bec un affouillement de 0^m,060 qui atteint 0^m,090 aux épaulements d'amont avec une épaisseur de sable de 0^m,015 et 0^m,017. Puis la couche sableuse s'abaisse et disparaît complètement sur les côtés. A l'aval, le sillon central s'est resserré en une sorte de cratère de 0^m,090 de long sur 0^m,075 de large, avec un sillon dont la partie la plus étroite est à 0^m,25 de la pointe de la pile.

Le mouvement général de l'eau se comprend aussi facilement dans le cas actuel que dans les deux cas précédents.

Les parcelles liquides, divisées par la pointe d'amont de la pile, sont réfléchies par les parois inclinées de l'avant-bec, combinent leur mouvement avec celui des parcelles qui continuent à affluer, se relèvent, sont déviées en même temps à gauche et à droite avec une intensité dont le maximum a lieu vers l'épaulement d'amont, seul point dange-

reux pour les affouillements. Les faces inclinées de l'arrière-bec ramènent les molécules vers l'axe où se produisent des remous et un léger affouillement central, tandis que le long même de ces parois, il n'y a pas d'attaque spéciale de la couche affouillable, au moins au commencement du mouvement.

L'expérience correspondante de Gauthey (*fig. 9*), dans laquelle les becs présentent exactement un angle de 60° , montre bien le bourrelet d'amont, correspondant à l'affouillement, avec une intensité presque nulle suivant l'axe et maxima aux épaulements. Sur les côtés et à l'aval, l'excès de vitesse de l'eau expérimentée exagère la déviation des courants. Le relèvement de la surface entre la pile a la même explication que précédemment.

IV. *Comparaison des trois formes de piles.* — La comparaison des résultats obtenus pour les trois formes de piles donne comme caractères généraux du phénomène :

Un affouillement à l'amont.

Des affouillements latéraux.

Un atterrissement, avec remous, à l'aval.

A. *L'affouillement d'amont* atteint son maximum sur l'axe avec la forme rectangulaire, son minimum avec la forme triangulaire. Dans le premier cas, il affecte une disposition courbe et vient se raccorder aux épaulements avec les affouillements latéraux en ne conservant plus en ce point que les deux tiers environ de sa largeur primitive ($0^m,060$ au lieu de $0^m,093$). Dans le cas de la pile triangulaire, la largeur de l'affouillement va au contraire en augmentant du centre vers les épaulements où elle atteint son maximum, lequel reste un peu inférieur au maximum constaté sur l'axe pour la pile rectangulaire ($0^m,070$ en moyenne au lieu de $0^m,095$). La pile ronde présente un cas intermédiaire entre la pile rectangulaire et la pile triangulaire; son affouillement d'amont, avec sa forme régulière presque

parallèle aux parois, présente une valeur sensiblement égale à celle des affouillements rectangulaires comptés aux épaulements (de $0^m,050$ à $0^m,067$) et inférieure à ces mêmes affouillements comptés sur l'axe; il présente aux épaulements d'amont un léger avantage sur la forme triangulaire ($0^m,058$ au lieu de $0^m,070$), mais ne jouit pas de la propriété d'être à peu près nul sur l'axe comme ce dernier.

On peut par suite conclure que l'affouillement d'amont présente son caractère le plus dangereux sur l'axe avec la forme rectangulaire; le sol tend dans ce cas à être profondément remué sur toute la largeur de la pile et spécialement vers le centre: le danger est au contraire à peu près nul en ce dernier point avec la forme triangulaire. Aux épaulements les trois formes présentent sensiblement les mêmes effets avec une légère aggravation pour la forme triangulaire qui présente là son vrai point critique. La forme circulaire donne une attaque régulière du fond du centre aux épaulements, moins dangereuse sur l'axe que la forme rectangulaire, plus dangereuse que la forme triangulaire, identique à la forme rectangulaire aux épaulements, et un peu plus avantageuse en ce point que la forme triangulaire.

B. *Les affouillements latéraux* conservent leur intensité dans toute la longueur des piles rectangulaires; ils constituent donc un danger constant d'un épaulement à l'autre. Avec la pile triangulaire, au contraire, leur épanouissement et l'influence convergente de l'arrière-bec les annulent avant même d'arriver aux arrière-becs; le long de ces derniers, le mouvement de l'eau a repris une allure presque normale. La pile circulaire présente un phénomène du même genre un peu moins accusé; les affouillements diminuent le long des piles et s'annulent aux épaulements d'aval.

En somme, les affouillements latéraux existent toujours,

mais ne conservent leur caractère dangereux tout le long de la pile que pour la forme rectangulaire, leur intensité allant en diminuant vers l'aval pour les deux autres piles, spécialement pour la pile triangulaire.

C. *Les atterrissements d'aval* se montrent dans tous les cas ; dans tous les cas également des mamelons ou entonnaires sont la résultante des remous à axe vertical dus à l'influence réciproque de l'eau, immobile derrière la pile, et des courants latéraux. La valeur maxima des atterrissements se présente avec la forme rectangulaire, leur valeur minima avec la forme triangulaire. Dans ce dernier cas la convergence produite par l'inclinaison des faces de l'arrière-bec tend même à créer un sillon central ; avec la forme rectangulaire, il existe simplement une petite tendance à l'affouillement immédiatement derrière la pile avec un long banc de sable situé à la suite ; les courants latéraux s'épanouissent à gauche et à droite de ce banc, et ne sont pas sans avoir une tendance encore marquée à entraîner le fond affouillable. La forme ronde produit vers l'axe un atterrissement en dos d'âne et en pente douce, le long duquel s'éteignent doucement les courants latéraux.

La forme rectangulaire avec sa prolongation des courants latéraux, la forme triangulaire avec la convergence de ces mêmes courants, semblent en somme plus sujettes à observations vers l'aval que la forme ronde. Mais, dans aucun des trois cas, il ne se manifeste d'action comparable à celles que nous avons reconnues à l'amont ou même latéralement, et les remous tendent finalement à produire des atterrissements avec de faibles tendances à des affouillements d'importance minime.

Résumé et conclusions. — En résumé, les trois piles expérimentées ont donné lieu à des déformations régulières du fond affouillable.

Dans les trois cas, les affouillements se sont accusés à

l'amont et sur les côtés, les atterrissements à l'aval. La chute des ponts par l'amont trouve ainsi une justification expérimentale ; il convient donc, ainsi que l'indique M. Minard dans le mémoire précité, de veiller spécialement à la solidité des fondations dans le sens de l'amont.

La forme rectangulaire est la forme la moins convenable pour les piles ; elle donne un affouillement considérable à l'amont, des affouillements latéraux continus. La forme triangulaire, fendant le courant, annule à peu près l'affouillement d'amont suivant l'axe, mais le maintient, en l'exagérant, aux épaulements d'amont, où se manifeste ainsi l'inconvénient d'un changement brusque de direction dans la paroi solide de la pile. La pile ronde évite ce maximum par la continuité de sa forme et de son action, mais n'a pas l'avantage d'annuler l'effet d'affouillement sur l'axe ; elle produit à l'amont un affouillement sur tout son pourtour, mais moins large que ne l'est celui de la pile rectangulaire. Il semble qu'on réunirait à l'amont les avantages des deux formes triangulaire et ronde en adoptant pour la pile une section à double courbure (fig. 11) analogue aux intrados des voûtes de l'architecture persane et présentant la double propriété de faire diverger les molécules sur l'axe et de diriger progressivement le courant sous l'arche sans changement brusque de tracé. Si en pratique cette forme semble trop compliquée comme stéréotomie, il convient d'étendre suffisamment à l'amont les fondations des piles rondes ou de veiller à la solidité des épaulements des piles triangulaires ; ces dernières adoptées universellement par les anciens constructeurs, semblent de nature à éviter tout affouillement exagéré à l'amont, et par suite un développement excessif des radiers généraux ou des massifs de fondation. A l'aval, la production constante des atterrissements ôte un intérêt bien majeur au choix d'une forme plutôt que de l'autre. La forme triangulaire présente un certain désavantage à cause de sa tendance à faire con-

verger les courants latéraux vers l'axe avec production d'un sillon, lequel est avantageusement remplacé pour la pile ronde par un dos d'âne à pente douce. La combinaison d'un avant-bec triangulaire et d'un arrière-bec rond, comme au pont Saint-Ange, à Rome, (fig. 12) paraît une solution à la fois pratique et rationnelle.

Nous présentons ces conclusions finales sous la réserve expresse de notre inexpérience, et nous nous féliciterions si nous avons simplement réussi à attirer un instant l'attention de nos camarades sur une question qui intéresse d'une manière immédiate la stabilité pratique des constructions en rivière.

Paris, le 27 décembre 1872.

N° 30

DÉGAGEMENT DE DEUX AQUEDUCS
DÉBOUCHANT A LA MER A BERNIÈRES (CALVADOS).

NOTE

Par M. PARTIOT, ingénieur des ponts et chaussées.

Plusieurs ingénieurs m'ont engagé à faire connaître, par les *Annales*, des expériences que j'ai faites en 1854 et en 1856 sur des solides soumis à l'effet des courants sur les bancs submersibles de l'embouchure de la Seine. Ces expériences ont reçu, dans le Calvados, une application utile qu'il serait possible de renouveler dans bien des cas; elles pourraient être aussi complétées par d'autres ingénieurs et servir de base à de nouvelles études. Ces raisons m'ont paru justifier la demande qui m'a été faite, et je vais, en conséquence, tâcher d'y satisfaire.

Expériences faites sur la Seine. — Lorsqu'une pierre se trouve sur les bancs submersibles de l'embouchure de la Seine, elle donne naissance à un remous, puis à une longue flache que l'on voit s'étendre derrière elle, à mer basse, du côté opposé à l'arrivée du flot. Les dimensions et la profondeur de ces flaches donnent lieu de croire que si l'on mettait plusieurs pierres les unes à côté des autres, suivant une ligne perpendiculaire au courant, les flaches creusées par chacune d'elles se réuniraient latéralement et formeraient, parallèlement à la ligne des pierres, un chenal dont l'action des eaux maintiendrait la profondeur. Sur les côtes submersibles de la mer, les courants littoraux produi-

ent un effet analogue à celui qu'on observe dans la baie de la Seine. On peut donc en conclure qu'une série de pierres ou d'obstacles placés perpendiculairement au rivage amènerait, au milieu des sables, la formation d'un chenal qui s'étendrait vers le large. Si ce chenal était placé à l'embouchure d'une rivière ou à l'entrée d'un port, le mouvement des eaux qui en proviennent favoriserait l'action des vagues et des courants maritimes.

En examinant attentivement plusieurs des flaches dont j'ai parlé tout à l'heure, j'ai remarqué qu'elles varient avec les pierres qui les produisent, qu'elles sont, en général, plus profondes auprès des faces planes et qu'elles ont moins de profondeur vis-à-vis des arêtes et des angles. Souvent les trous les plus creux se trouvent du côté opposé à l'arrivée du courant. Si l'on observe une pierre qui présente au courant le sommet d'un angle dièdre, on voit l'eau frapper l'arête qui lui est opposée, se diviser ensuite en suivant les faces de l'angle, et produire, derrière la pierre, un remous qui creuse le sable. Quand l'eau vient battre une face plane, il paraît se former un courant vertical qui la suit sous l'eau et qui maintient une plus grande profondeur à sa base. La forme des obstacles ayant une grande influence sur les trous qu'ils produisent, j'ai cru devoir rechercher celle qui donnerait les meilleurs résultats.

J'ai fait faire pour cela des cubes, des piles et des pyramides de différentes formes, et je les ai fait placer, à mer basse, sur les bancs de l'embouchure de la Seine, auprès de la pointe de la Roque. Ces solides étaient formés de pierre et de plâtre, et soutenus par des pieux. Les cubes avaient 0^m,50 de côté, les piles se composaient d'un parallépipède rectangulaire précédé d'un avant-bec dont les faces verticales formaient entre elles un angle de 90°. Les pyramides étaient, soit triangulaires, soit quadrangulaires et régulières. Leur hauteur a varié de 1 mètre à 0^m,35. On les a exposées aux courants, isolément et par files. Je ne

donnerai pas le détail de chaque expérience, et je me contenterai de faire connaître les conclusions auxquelles j'étais parvenu. Je dirai toutefois que trois pyramides triangulaires de 0^m,35 de hauteur ont donné, après six marées, un affouillement de 0^m,50 et une flache de plus de 24 mètres de longueur, et que les effets produits par les pyramides ont été généralement assez considérables. Ceux des piles ont été au contraire presque nuls. La *fig. 3* de la Pl. 15 indique ceux d'une pyramide quadrangulaire de 1 mètre de hauteur.

De ces expériences je crois pouvoir conclure que les pyramides quadrangulaires et régulières, dans lesquelles le côté de la base est égal à la hauteur, sont à peu près ce qui donne les résultats les plus avantageux. L'action des pyramides varie avec leurs dimensions, leur espacement, leur position par rapport aux courants et avec la force des courants eux-mêmes. Les flaches se creusent dans les vives eaux et diminuent de profondeur dans les mortes eaux. L'effet augmente avec le volume des pyramides. Il importe enfin de les rapprocher les unes des autres et elles ont produit le plus d'effet quand, à leur base, les vides ont été les $\frac{5}{7}$ des pleins.

J'ai cru pouvoir induire de ces expériences qu'il serait possible de créer à l'embouchure des fleuves ou à l'entrée des ports un chenal fixe et profond jusqu'à la mer, au moyen de jetées interrompues dont les morceaux seraient des troncs de pyramides quadrangulaires.

Si l'on appliquait ces jetées aux ports à marée ou aux embouchures de rivières, les courants qui en proviennent contribueraient, avec ceux du littoral et avec le ressac des vagues, à entretenir la profondeur. On parviendrait peut-être ainsi à créer, dans certains cas, un passage fixe dans les barres qui obstruent souvent l'embouchure des fleuves à une petite distance de la côte. Ce système s'appliquerait encore à la création d'entrées dans plusieurs des étangs

salés qui avoisinent la mer et qui pourraient servir ainsi de rades intérieures. Telles sont les conclusions que j'avais déduites dans un rapport adressé à l'administration le 28 octobre 1856 des expériences qui ont été relatées plus haut; mais, je le répète, les recherches qui amènent à ces conclusions auraient besoin d'être complétées.

Pyramides construites dans le Calvados. — M. l'inspecteur général Olivier, alors ingénieur en chef du Calvados, à qui ces expériences furent communiquées, fit une heureuse application des pyramides sur les bords de la Manche, à Bernières. Il existe, sur ce point, une série de marais qui sont séparés de la mer par un cordon de sable du littoral. Les eaux de ces marais étaient conduites à la mer par des buses en charpente, mais le sable en encombrait continuellement l'ouverture et les marais restaient inondés. M. Olivier mit une pyramide sur le rivage, auprès de l'extrémité de l'une de ces buses, et depuis lors les eaux se sont écoulées assez régulièrement pour que le marais n'ait jamais été longtemps submergé. M. Olivier a bien voulu m'écrire le 1^{er} septembre 1862 qu'il ne projetait plus de dessèchement sur les bords de la mer sans prévoir en même temps l'exécution d'une ou de deux pyramides devant la buse d'écoulement des eaux.

La pyramide qui a été construite en 1862 auprès de la buse du syndicat de Bernières est quadrangulaire et régulière; sa hauteur est de 2 mètres et sa base est un carré de 1^m,72 de côté. Elle se compose d'un coffrage en bois, fermé par des planches et rempli de moellons ou de galets de mer, qui repose sur quatre pieux de 0^m,20 d'équarrissage plantés dans le sable. L'un des côtés de la base est parallèle au rivage. Le coffrage et les pieux ont coûté 207^f,17, mis en place.

Les *fig. 1* et *2* de la Pl. 15- indiquent la flèche qui s'était produite auprès de la pyramide le 8 octobre 1872, ainsi que le profil de la plage les 6 juin 1870, 5 avril et

8 octobre 1872. Le 6 juin 1870, la tête aval de la buse s'était encombrée de 0^m,22 au-dessus du seuil. Le 5 avril et le 8 octobre 1872, elle était entièrement dégagée. On observe qu'elle s'engorge un peu par les vents de l'Est et du Nord et que les vents d'Ouest et de Nord-Ouest la dégagent. L'affouillement que la pyramide tend à produire est assez énergique et assez continu pour que l'aqueduc ne commence à s'engorger qu'après une fort longue période de vents du Nord ou de l'Est. Les vents continus de cette région étant assez rares, la buse reste ordinairement libre et les eaux du marais conservent leur écoulement dans la mer.

Une pyramide analogue a été bâtie, en 1864, à 500 mètres au delà, sur la même plage, en face d'un aqueduc appartenant à M. de Bois Lambert. Elle a 1^m,52 et le carré de sa base a 1^m,75 de côté. Cet ouvrage donne d'excellents résultats, et les intéressés déclarent que leur aqueduc ne s'est jamais obstrué depuis qu'elle a été construite.

Ces deux pyramides rendent donc de véritables services aux propriétaires des marais de Bernières. Elles donnent lieu à des expériences, dont l'une dure depuis onze ans, et qui prouvent que des appareils de ce genre peuvent être utiles dans bien des cas. C'est dans l'espoir qu'ils pourront être employés ailleurs avec quelque avantage que j'ai cru devoir adresser la présente note aux *Annales*.

Blois, 30 avril 1873.

N° 31

REDRESSEMENT DU CHENAL DU PORT D'HONFLEUR.

NOTE

Par M. ARNOUX, ingénieur des ponts et chaussées.

Les lecteurs des *Annales* ont pu prendre connaissance des effets produits par les courants sur le sable des plages, grâce à l'emploi de la *palissade submersible à claire-voie* qui a été appliquée à l'embouchure des Regii-Lagni (compte rendu de M. Baumgarten, année 1853).

Un engin d'une extrême simplicité, destiné à produire des effets analogues, a été mis en œuvre dernièrement sur les bancs de sable de la baie de Seine, dans les conditions suivantes :

Le port d'Honfleur se trouve en ce moment séparé de la passe principale de la baie de Seine par un banc de sable fin qui présente une largeur d'environ 500 mètres, mesurée depuis la côte jusqu'à la laisse des basses mers de vives eaux ; la surface de ce banc s'élève en pente douce du large vers la terre, de façon à atteindre, auprès des jetées du port, le niveau des pleines mers de mortes eaux,

Un chenal de 30 ou 40 mètres de largeur donne accès au port d'Honfleur à travers ce banc. Mais la direction et la profondeur de ce chenal sont loin de présenter la fixité désirable. Il existe dans la baie de Seine des courants de marée intenses ; les courants de flot surtout présentent une vitesse qui atteint jusqu'à 7^{nœuds},5 dans les marées de vives

eaux, et comme les courants d'èbe ont une intensité sensiblement moindre, c'est en définitive dans le sens du flot, de l'ouest vers l'est, que les sables très-fins et très-mobiles du banc ont une tendance marquée à se déplacer. Les vents régnants soufflent également de l'ouest, et il suffit d'un coup de vent d'ouest ou de nord-ouest, coïncidant avec une grande vive eau, pour former une langue de sable large de 200 à 300 mètres, longue de plusieurs centaines de mètres, qui repousse et infléchit complètement le chenal du port du côté de l'est, en allongeant d'autant le parcours des navires.

Un autre inconvénient se produit aussitôt. On n'entretient l'avant-port et le chenal extérieur du port qu'au moyen des chasses que l'on peut faire en vives eaux, en prenant dans les bassins à flot dont la superficie totale ne dépasse pas 4^{hectares},30, une tranche d'eau de 1 mètre à 1^m,80 de hauteur, suivant les marées. Le volume de ces chasses, qui peut suffire pour entretenir un chenal court et à pente rapide, est tout à fait insuffisant quand le chenal devient si long et que sa pente diminue en conséquence.

Un chenal de 600 mètres de longueur, avec une pente totale de 1^m,30, c'est tout au plus ce que les chasses actuelles peuvent entretenir. Si les vents de nord-ouest et le courant de flot viennent à augmenter la longueur du chenal et à diminuer sa pente, ces chasses deviennent impuissantes à enlever les apports de la marée, et l'on voit le fond de la passe et du port s'exhausser rapidement.

Ainsi, à la fin de décembre 1872, les bancs de l'ouest se sont avancés vers l'est de plusieurs centaines de mètres; la longueur du chenal a été portée en quelques jours de 600 à 1.200 mètres. Comme conséquence, le fond du port s'est exhaussé de plus de 1 mètre en six semaines, du 1^{er} janvier au 15 février.

Le seul remède que l'on pût apporter à un état de choses si inquiétant était évidemment de redresser et de raccourcir

le chenal extérieur du port, au moyen d'une coupure pratiquée à travers cette langue de sable, large de 250 mètres, qui barrait l'accès du port, et dont le niveau avait rapidement atteint et dépassé même le niveau des basses mers de mortes eaux.

Pratiquer cette coupure à bras d'hommes ou avec la drague, il n'y fallait point penser ; il était évident qu'avant que la drague ou les hommes pussent achever leur travail, la partie du déblai exécutée en premier lieu serait déjà comblée par les courants de marée.

C'étaient ces courants mêmes qu'il fallait employer à produire les affouillements et la coupure désirés.

Dans cet ordre d'idées, le seul juste à notre avis, on essaya de pratiquer un commencement de rigole à travers le banc par l'emploi d'une palissade à claire-voie, semblable à celle décrite par M. Baumgarten. Cet essai, pratiqué sur une longueur d'environ 50 mètres, donna des résultats remarquables ; on vit les courants de flot et d'ébë produire en une seule marée, autour des petits pieux enfoncés dans le sable du banc, des affouillements de 0^m,80 à 1 mètre de profondeur. Comme les pieux étaient espacés de vides égaux au double seulement de leur diamètre, la succession des trous pratiqués autour de chaque pieu formait une véritable rigole.

Ce premier essai était donc des plus encourageants. L'emploi des pieux offrait néanmoins quelques inconvénients réels. Dans le sable fin et assez pur qui compose le banc, le battage des pieux est long et pénible ; il était donc difficile de donner à ces pieux beaucoup de fiche, et l'affouillement produit autour d'un certain nombre d'entre eux avait été suffisant pour les déchausser ; plusieurs pieux avaient donc été emportés, et tout aussitôt le trou qu'ils avaient produit se comblait. Autre inconvénient : la rigole à tracer présentait plus de 200 mètres de longueur, et le nombre des pieux à employer (pieux de 0^m,15 à 0^m,20 de diamètre)

ne devait pas être moindre de quatre cents. Ces pieux, placés dans des parages fréquentés par les petits bateaux pêcheurs (qui entrent au port en passant sur les bancs dès que la mer couvre ceux-ci et pendant que le courant de flot présente sa plus grande intensité), pouvaient amener de redoutables accidents.

C'est alors qu'on imagina d'employer des paniers en osier pour présenter aux courants de marée un obstacle mobile, susceptible de faire produire par ces courants mêmes les affouillements voulus.

Rien de plus rapide, de plus facile, de moins dangereux pour les navires et de moins dispendieux que l'emploi de ces paniers qui a été fait de la façon suivante : les paniers en osier appelés *mannes*, qui servent à emballer des fruits ou des denrées, présentent une forme cylindrique ou légèrement conique ; leur hauteur est de 0^m,60 et leur diamètre de 0^m,50.

On estrope chaque panier au moyen de deux cordages solidement fixés en croix sur le fond du panier, épissés ensemble devant l'ouverture et reliés à une bosse de 1^m,50 de longueur ; d'autre part, on estrope de la même façon un gros moellon du poids de 60 à 80 kilogrammes auquel on attache la bosse du panier. Ce moellon est enfoui de son épaisseur dans le sable et le panier est ainsi abandonné à marée basse, sur la surface du banc, au bout de son cordage.

Dès que le courant de flot recouvre le banc, le panier, entraîné par l'eau, roidit sa bosse et présente son ouverture au courant ; puis, lorsque la mer a monté de façon à recouvrir à peu près le panier, celui-ci tend à flotter et à s'élever ; son cordage le rappelle au fond ; il se produit donc une série d'élévations et d'abaissements qui rétrécissent le passage du courant entre le panier et la surface du sable. Le courant, pour ainsi dire étranglé, affouille le sable qui est mis en suspension et entraîné au loin ; d'autre part,

le courant s'entonnant dans le panier le fait tourner, et, dans ce mouvement de rotation, le panier changeant de place, l'affouillement s'étend, le trou s'agrandit. Pendant l'ébée, les mêmes effets se produisent dans une direction diamétralement opposée, et une marée suffit (en vives eaux, quand les courants ont toute leur intensité), pour qu'on trouve autour du panier, à la marée basse suivante, un trou de 0^m,80 à 1 mètre de profondeur dont l'orifice présente un diamètre de plus de 3 mètres; le moellon qui sert d'ancre ou de corps mort descend toujours vers le fond du trou au fur et à mesure qu'il se creuse.

Au moyen de quatre-vingts paniers espacés de 2^m,50 d'axe en axe et posés ainsi sur la surface du sable, on a réussi à faire pratiquer par les courants, en moins de deux jours, une rigole de 200 mètres de longueur, profonde de 1^m,30, large de 5 à 6 mètres, qui traversait le banc sur presque toute sa largeur. Cette rigole étant aussi profonde que l'ancien chenal et beaucoup plus courte, l'eau qui y passa dès la première chasse suffit pour l'approfondir et pour approfondir en même temps les chenaux de l'avant-port; à la seconde chasse, déjà le fond de l'ancienne passe abandonnée se voyait à 1 mètre en contre-haut du nouveau chenal, et en quelques jours les fonds de l'avant-port furent creusés de 1^m,30 à 1^m,50; de 1.200 mètres la longueur du chenal d'accès du port avait été réduite à 600 mètres; la dépense n'avait pas dépassé 250 francs.

L'emploi des paniers ne peut réussir évidemment qu'avec des courants d'une certaine intensité (3 ou 4 nœuds au moins); cet emploi ne réussit pas sur du sable vaseux et collant comme celui qui existe dans le voisinage immédiat des jetées d'Honfleur. Quelques tâtonnements, faciles à faire dans chaque application, servent à fixer la longueur de la bosse et l'espacement des paniers.

L'emploi de ce moyen, séduisant par sa simplicité et bien adapté aux circonstances spéciales dans lesquelles il a été

utilisé, nous a été suggéré par une pratique des marins de la Seine. Lorsque ces marins ont jeté l'ancre dans un endroit où se forment rapidement de gros bancs de sable, ou bien lorsque leur navire a stationné longtemps à la même place, dans un mouillage susceptible de s'ensabler, il leur est souvent impossible de lever l'ancre. Dans ce cas, ils virent la chaîne à pic et ils laissent descendre sur la surface du banc un panier lesté avec un caillou et attaché à une corde lâche qui peut glisser le long de la chaîne. Aussitôt que le courant de la marée se produit, ce courant fait tourner le panier, affouille le sable sous cet obstacle mobile, qui descend au fur et à mesure de l'approfondissement du trou, et l'ancre est ainsi dégagée en peu d'instants. Cette même pratique sert à retrouver une ancre, perdue dans les sables, dont on possède l'orin.

Honfleur, le 31 mai 1873.

N° 32

NOTE (*)

SUR L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE DANS UNE FILATURE DE COTON,
A NANTES.

Le 7 juin 1872, vers deux heures de l'après-midi, un générateur à vapeur, établi dans la filature de coton de MM. Duval et Heurtaux, à Nantes, a fait explosion.

Ce générateur, disposé d'après le système Farcot, se compose d'une chaudière cylindrique horizontale, et de deux cylindres réchauffeurs placés latéralement, l'un au-dessus de l'autre. (Voir Pl. 15, fig. 5, 6, 7.)

C'est sur le réchauffeur inférieur que s'est produit l'accident. La plaque annulaire en fonte, qui le termine à l'avant, et contre laquelle s'appuie le bouchon autoclave, s'est rompue; une des portions s'est détachée avec le bouchon sans cependant être projetée au loin; elle est restée soutenue par la tête du robinet d'alimentation. L'eau du réchauffeur, dont la température dépassait 100°, a été projetée en éventail de bas en haut, et s'est vaporisée au contact de l'atmosphère.

Le chauffeur était seul dans la chambre de la machine, dont le plancher est en contre-haut du sol de la chaufferie. Il était en dehors du jet direct de la vapeur, et pouvait

(*) Cette note a été rédigée par ordre de la *Commission centrale des machines à vapeur*, d'après les rapports de MM. Lorieux, ingénieur ordinaire, Gentil, ingénieur en chef, et de M. Hanet-Cléry, secrétaire de la commission.

sans doute échapper au danger, soit en restant à son poste, soit en passant à travers une cloison vitrée qui seule le séparait de la cour. Malheureusement il s'est dirigé vers la porte de la chaufferie, et il a suivi, pour y aller, le côté de la machine le plus exposé à l'action directe du jet de vapeur. Il a été grièvement brûlé, et est mort le surlendemain des suites de ses brûlures.

Les dégâts matériels ont été sans importance ; ils se réduisent à quelques vitrages brisés.

Le niveau de l'eau dans la chaudière avait été vérifié quelques minutes avant l'accident ; le tube indicateur, obstrué par les dépôts des eaux, avait cessé de fonctionner, mais, au moyen des trois robinets de jauge, on avait trouvé le niveau un peu au-dessus du deuxième robinet. Le manomètre marquait $5^{\text{atm}} \cdot \frac{3}{4}$ après l'accident. La machine avait été mise en marche une heure auparavant ; le robinet d'alimentation avait toujours été ouvert en grand, et la pompe alimentaire avait fonctionné d'une manière continue. La chaudière était nettoyée tous les trois mois, et l'avait été pour la dernière fois deux mois et demi avant l'accident ; le tube plongeur qui amène dans la chaudière l'eau provenant du réchauffeur supérieur était curé tous les mois ; le dernier curage remontait à trois semaines environ.

Il est donc certain que la communication était interrompue entre les bouilleurs et la chaudière ; sinon la pression se serait abaissée dans celle-ci. Quand on est venu, en effet, à démonter le tube plongeur dont il vient d'être question, on l'a trouvé obstrué par des dépôts consistants. Ils formaient, à l'extrémité inférieure du tube, un bouchon siliceux de $0^{\text{m}},01$ d'épaisseur, qui laissait vers son centre une petite ouverture de moins de 1^{cm^2} de section. Un mince filet d'eau pouvait encore s'introduire dans la chaudière par une fente de $0^{\text{m}},03$ sur $0^{\text{m}},002$, qui existait au collet du plongeur. Ces deux étroites ouvertures tenaient la place d'un orifice de 41^{cm^2} . Elles étaient manifestement insuffi-

santes pour débiter l'eau introduite dans les réchauffeurs par le fonctionnement continu de la pompe alimentaire. Celle-ci a 0^m,06 de diamètre sur 0^m,28 de course, donne de 40 à 45 coups par minute, et fournit en eau la moitié à peu près du volume engendré par la course de son piston. La pression hydraulique a donc dû s'élever progressivement dans les réchauffeurs jusqu'à ce qu'elle ait déterminé une rupture dans la plaque du bouilleur. L'épaisseur du métal dans la section suivant laquelle cette rupture a eu lieu variait de 0^m,036 à 0^m,032; mais la fonte avait sur toute une portion de 0^m,15 de longueur une structure bulleuse qui affaiblissait la résistance.

La disposition des réchauffeurs écarte l'hypothèse de chambres d'air et de brusque formation de vapeur sur des parois surchauffées. En effet, le réchauffeur supérieur est relevé vers l'arrière, le réchauffeur inférieur vers l'avant; et chacune des tubulures par lesquelles l'eau s'en échappe est à l'extrémité la plus relevée du réchauffeur qu'elle dessert.

La chaudière, timbrée primitivement à 5^{atm.} $\frac{1}{2}$, avait été portée au timbre de 6 atmosphères après une nouvelle épreuve, qui avait eu lieu le 4 juillet 1868.

Quant aux dépôts qui ont causé l'accident, ils proviennent des eaux employées pour l'alimentation. Ce sont celles de la Loire; elles sont d'une nature assez incrustante, puisque régulièrement le tuyau devait être nettoyé tous les mois. Depuis quelques jours surtout elles étaient très-saumâtres et chargées d'un sable limoneux, par suite d'une crue du fleuve; vingt jours à peine s'étaient écoulés depuis le dernier curage, et déjà le tuyau était bouché presque entièrement. Cette obstruction commençait à se manifester par la difficulté croissante d'alimenter la chaudière; on ne réussissait à maintenir le niveau de l'eau qu'en faisant fonctionner sans interruption la pompe alimentaire pendant la marche de la machine.

L'enseignement qui ressort des circonstances de l'accident est, comme le fait remarquer M. l'ingénieur des mines Lorieux, qu'il faudrait à l'avenir : 1° augmenter le diamètre du tube plongeur et l'évaser à sa partie inférieure; 2° le curer plus fréquemment; 3° installer une soupape sur l'extrémité la plus élevée du bouilleur réchauffeur supérieur.

EXPLICATION DES FIGURES.

Pl. 15. *Fig. 5.* Coupe transversale de la chaudière et des bouilleurs réchauffeurs.

Fig. 6. Extrémité du bouilleur réchauffeur inférieur. — Coupe longitudinale.

Fig. 7. Vue de face après la rupture.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSEES.

CHRONIQUE.

Juin 1875.

N° 33

**CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT GÉNÉRAL.—LE NOUVEAU RÉSEAU
DES SIX PRINCIPALES COMPAGNIES FRANÇAISES.**

NOTE

Par M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Les *Annales* ont publié déjà deux séries de documents propres à faire voir combien est faible le revenu de certains chemins de fer d'ordre secondaire (*). Les tableaux que l'on trouvera ci-après se rattachent à cette enquête purement statistique, dont le seul intérêt tient à l'éloquence des chiffres.

Ces tableaux sont consacrés exclusivement au *nouveau réseau* des six grandes compagnies françaises. Avant d'en faire ressortir les résultats principaux, nous croyons utile de rappeler les conventions passées entre les Compagnies

(*) 1872, Cahier d'Avril, p. 320, et 1873, Cahier de Mars, p. 243.

et l'État, le 11 juin 1859, et modifiées quant à certains chiffres, à raison de concessions nouvelles, le 11 juin 1865, puis au mois de juillet 1868.

CONVENTIONS DE 1859.

L'État et les six grandes compagnies constituées dans la période de 1852 à 1857 ont conclu en 1869, afin d'assurer l'établissement du nouveau réseau, une véritable association financière. L'État voulait doter de voies ferrées, dans un délai assez court, les départements les plus pauvres de la France; il voulait, par de hautes considérations de politique et d'équité, maintenir et resserrer l'unité du territoire. Mais il ne pouvait ni exécuter ni exploiter par lui-même ce nouveau réseau. Quant aux Compagnies, elles devaient trouver, dans quelques-unes des lignes nouvelles, des affluents utiles et de nouveaux débouchés; mais beaucoup d'autres lignes, d'un intérêt purement local, ne pouvaient être pour elles pendant longtemps qu'une charge plus ou moins lourde. Il fut convenu, d'une part, que la dépense d'établissement serait partagée entre l'État et les Compagnies; d'autre part, que l'État, par des subventions annuelles, mais éventuelles, et d'ailleurs remboursables, viendrait pendant cinquante ans au secours des Compagnies, empêchant (comme on disait alors) le nouveau réseau de dévorer l'ancien (*).

Le partage de la dépense d'établissement fut réglé à forfait. L'État prenait un peu plus du sixième à sa charge; il livrait à cet effet des travaux *non remboursables* et s'engageait à verser des subventions en argent, le tout montant à une somme de 671 millions (en nombre rond). Tout le surplus restait au compte des compagnies: c'était une

(*) Voir le discours prononcé au Corps législatif le 27 juin 1865 par M. le directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer.

somme de 3 milliards 743 millions, qu'elles durent emprunter.

L'État en garantissait l'intérêt et l'amortissement en cinquante ans, et il devait être remboursé de ses avances avec les intérêts comptés au même taux. Mais ce taux était fixé à 4 p. 100, valeur purement nominale par rapport aux emprunts que les compagnies avaient à réaliser. On n'estimait pas à moins de 5,75 p. 100 le taux moyen auquel elles pourraient emprunter, y compris l'amortissement à opérer pendant la durée de la Concession ; et comme l'État ne garantissait que 4,65 p. 100 (amortissement compris), c'était une différence de 1,10 p. 100 environ que les Compagnies devaient, en tout cas, prendre à leur charge : c'était un premier sacrifice à faire annuellement par l'ancien réseau en faveur du nouveau.

L'ancien réseau avait d'ailleurs, et tout d'abord, à servir l'intérêt des obligations émises pour aider à le construire lui-même. Enfin on voulut, non pas garantir, mais réserver un dividende aux actionnaires, et l'on convint que ce dividende réservé serait inférieur de 20 à 25 p. 100 environ à celui que les Compagnies distribuaient en 1859.

Partant de ces trois éléments, on arrivait, pour la compagnie de l'Est, par exemple, à cette première conclusion :

Pour que la Compagnie puisse payer l'intérêt à 5,75 des 23 millions d'obligations émises pour l'ancien réseau et l'intérêt à 1,10 des 865 millions d'obligations à émettre pour le nouveau réseau, et pour que, toutes ses dettes étant ainsi payées, elle puisse encore distribuer un dividende de 30 francs par action, il faut qu'elle dispose de produits nets montant à 28.357.500 francs, soit à 29.000 francs par kilomètre. Ce sera donc là pour la Compagnie un revenu réservé.

Tous les produits nets excédant ce « déversoir » seront abandonnés par l'ancien réseau : c'est un second sacrifice qu'on lui impose. Ils s'ajoutent à ceux du nouveau réseau ;

et si l'ensemble n'équivaut pas à 4,65 p. 100 de l'emprunt contracté, l'État avance les fonds qui manquent.

On a constitué ainsi une première phase de l'exploitation du nouveau réseau, une phase pendant laquelle les actionnaires sont réduits à un dividende à peu près constant, car il n'est guère influencé, en fait, que par les variations du taux effectif de la négociation des obligations. Quant à l'État, il avance des fonds. Il en avance d'autant moins que les produits nets s'élèvent davantage. C'est le Trésor qui profite ou souffre immédiatement de toutes les chances bonnes ou mauvaises de l'exploitation, lesquelles n'ont d'intérêt pour l'actionnaire qu'en vue d'un avenir éloigné. Les Compagnies sont là comme des régisseurs intéressés des deniers publics.

Mais un jour viendra où l'État n'aura plus rien à avancer. La période du remboursement s'ouvrira tôt ou tard, dans l'hypothèse d'un accroissement constant de bénéfices; et pendant cette deuxième période, le déversoir fonctionnant toujours, le dividende restera toujours limité.

Le remboursement s'achève. Alors les actionnaires vont profiter, et intégralement, de toutes les augmentations de produits nets. Mais cette troisième phase de l'exploitation ne sera encore que transitoire : elle sera close quand les produits nets atteindront certaines limites fixées, pour chacun des deux réseaux, par les conventions; et alors s'établira, pour durer jusqu'à l'expiration des Concessions, un régime normal sous lequel tous les nouveaux suppléments de bénéfices seront partagés par moitié entre les Compagnies et l'État.

Pour la compagnie d'Orléans, par exemple, le déversoir a été fixé à 27.400 francs par kilomètre; et le partage des bénéfices commencera quand l'ensemble des produits nets, tant de l'ancien que du nouveau réseau, excédera la somme nécessaire pour représenter, tout à la fois, un produit net moyen de 52.000 francs par kilomètre sur l'ancien réseau

et un intérêt de 6 p. 100 du capital consacré par la Compagnie à l'établissement du nouveau réseau.

Tel est, en résumé, le mécanisme financier des arrangements conclus en 1859.

RÉSULTATS.

L'État a atteint son but essentiel en assurant, sans gaspillage de la fortune publique, la construction et l'exploitation d'un ensemble de lignes nouvelles réclamé par l'intérêt général. Sans cette combinaison, la plupart de ces lignes n'existeraient pas encore : on ne saurait l'oublier sans injustice.

La période des Cinquante ans a commencé; elle a commencé le 1^{er} janvier 1864 pour la compagnie de l'Est et le 1^{er} janvier 1865 pour les autres : voilà donc neuf ans que les déversements d'un réseau à l'autre fonctionnent, concurremment avec la garantie de l'État. Un véritable intérêt s'attache à la constatation numérique des effets qui se sont successivement produits.

Les chemins de fer concédés aux six principales Compagnies françaises à la date du 31 décembre 1872 ont un développement total de 21.000 kilomètres, qui se divise à peu près par moitié entre l'ancien et le nouveau réseau (*).

Le développement des lignes exploitées par les six Compagnies était au 31 décembre 1872, savoir :

| | |
|---------------------------------|-------------------------|
| Pour l'ancien réseau. | 9.148 kilomètres |
| Pour le nouveau réseau. | 7.689 kilomètres |
| Total. | 16.837 kilomètres (**). |

Les capitaux engagés dans la construction des 21.000 kilomètres s'élèvent à près de 10 milliards, savoir :

(*) En ajoutant les lignes concédées à d'autres compagnies, on a, pour la longueur totale des chemins de fer concédés en France jusqu'au 31 décembre 1872 (non compris les chemins d'intérêt local et les chemins industriels), 25.685 kilomètres.

(**) Non compris 145 kilomètres de *réseau spécial* exploités par la compagnie de Lyon.

1 milliard 512 millions au compte de l'État,
 et 8 milliards 206 millions au compte des Compagnies;
 5 milliards 315 millions pour l'ancien réseau,
 et 4 milliards 413 millions pour le nouveau.

La dépense, applicable au nouveau réseau, dont l'État a « garanti l'intérêt » a été estimée à forfait à 3 milliards 973 millions.

Durant les neuf années 1864-1872, l'État a déboursé près de 300 millions à titre de garantie. Si l'on met à part les deux années 1864 et 1870, le versement annuel a oscillé entre 26 et 36 millions.

La somme affectée par les compagnies à couvrir l'écart existant entre le taux réel de leurs emprunts et le taux de la garantie a été en totalité de 140 millions.

Le montant total des produits *déversés* a été de 252 millions.

On remarquera, d'ailleurs, que la distinction de ces deux derniers comptes n'est pas faite par les compagnies du Nord et de Lyon. Cela tient à ce que, sauf pour l'année 1870, les produits nets de leurs anciens réseaux ont été plus que suffisants pour faire face au service des obligations du nouveau réseau, sans que l'État eût à intervenir. Le caractère exceptionnel du déficit de 1870 conduisit l'une et l'autre compagnie à réduire momentanément le dividende réservé à leurs actionnaires, plutôt que d'escompter l'avenir en profitant de la garantie de l'État.

En résumé donc, la création du nouveau réseau a imposé, tant à l'État qu'aux compagnies, — mais finalement à ces dernières, — des sacrifices annuels qui, montés de 24 millions à 97, forment déjà un total de 669 millions. Il ne faut pas oublier que, pour les Compagnies, la perte a été ou sera, dans une certaine mesure, atténuée par l'accroissement de trafic que le nouveau réseau pourra procurer à l'ancien. Mais aucune atténuation de ce genre ne se produirait dans le cas de lignes isolées, telles que seraient

beaucoup de chemins de fer d'intérêt purement local. D'où viendront alors les subventions nécessaires pour suppléer à l'insuffisance des recettes? C'est une question qu'il est prudent et loyal de bien régler avant d'entreprendre les nouvelles lignes.

Paris, 30 juin 1873.

(1) *État général des capitaux engagés pour la construction des chemins de fer des deux réseaux.*

| Région des compagnies. | ANCIEN RÉSEAU. | | NOUVEAU RÉSEAU. | | TOTAUX. | | TOTAL GÉNÉRAL des dépenses faites et à faire. |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|---|
| | Subventions du trésor. | Apport des compagnies. | Subventions du trésor. | Apport des compagnies. | Ancien réseau. | Nouveau réseau. | |
| | francs. | francs. | francs. | francs. | francs. | francs. | |
| 1863... | 6.953.112 | 546.970.000 | 14.500.000 | 200.000.000 | 553.933.112 | 214.500.000 | 768.433-112 |
| 1864... | 120.352.153 | 363.215.887 | 70.300.000 | 872.085.195 | 483.568.040 | 912.385.195 | 1.425.953-235 |
| 1865... | 101.743.929 | 539.000.000 | 182.966.231 | 736.000.000 | 640.743.929 | 918.966.231 | 1.559.710-160 |
| 1866... | 232.613.982 | 589.183.033 | 117.841.151 | 861.579.751 | 821.797.015 | 979.420.902 | 1.801.217-917 |
| 1867... | 338.346.277 | 2.092.804.599 | 117.293.555 | 552.898.346 | 2.431.150.876 | 650.191.901 | 3.081.342-777 |
| 1868... | 51.500.000 | 332.106.741 | 168.016.561 | 540.012.555 | 383.606.741 | 708.029.116 | 1.091.635-857 |
| Totaux. | 851.519.453 | 4.463.280.260 | 670.917.498 | 3.742.575.847 | 5.314.799.713 | 4.413.463.345 | 9.728.298.058 |

(2) *Montant des dépenses garanties par l'État à raison de 4¹/₂ p. 100 pendant cinquante ans.*

| DÉSIGNATION des compagnies. | LONGUEUR DES RÉSEAUX. | | | MONTANT total garanti (a). | DATE de la dernière convention. |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| | Totale. | Ancien réseau. | Nouveau réseau. | | |
| | kilom. | kilom. | kilom. | francs. | |
| Nord. | 1.824 | 1.173 | 651 | 200.000.000 | 22 mai 1869 |
| Est. | 3.159 | 990 | 2.169 | 865.000.000 | 11 juillet 1868 |
| Ouest. | 2.893 | 900 | 1.993 | 843.000.000 | 4 juillet 1868 |
| Orléans. | 4.357 | 2.020 | 2.337 | 854.000.000 | 26 juillet 1868 |
| Lyon. | 6.068 | 4.334 | 1.734 | 637.000.000 | 11 juillet 1868 |
| Midi. | 2.566 | 798 | 1.770 | 574.000.000 | 10 août 1868 |
| Totaux. | 20.867 | 10.213 | 10.654 | 3.973.000.000 | |

francs.

| | | | |
|---------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| (a) Y compris | 5.000.000 | pour les concessions éventuelles | de l'Est. |
| — | 4.300.000 | — | d'Orléans. |
| — | 41.800.000 | — | de Lyon. |
| — | 29.200.000 | — | du Midi. |
| Plus | 114.000.000 | pour les lignes de l'ancien réseau | de l'Ouest. |
| Et | 118.000.000 | pour celles | du Midi. |

(3) *Tableau récapitulatif des sommes payées par compagnie en faveur du nouveau réseau à la fin de 1872.*

| DÉSIGNATION des compagnies. | SOMMES payées par l'État à titre de garantie. | SOMMES déversées par l'ancien réseau | COMPLÈMENT d'intérêt prélevé sur l'ancien réseau. | SOMMES totales payées en faveur du nouveau réseau. |
|-----------------------------|---|--------------------------------------|---|--|
| | francs. | francs. | francs. | francs. |
| Nord. | " | 17.753.471,77 | " | 17.753.471,77 |
| Est. | 143.679.760,69 | 30.513.005,63 | 58.836.337,05 | 203.029.103,37 |
| Ouest. | 62.486.628,95 | 9.353.162,44 | 25.986.075,55 | 97.825.866,94 |
| Orléans. | 109.824.943,58 | 33.050.103,75 | 43.919.423,80 | 177.824.471,13 |
| Lyon. | " | 117.104.486,45 | " | 117.104.486,45 |
| Midi. | 20.070.560,36 | 24.696.088,01 | 10.958.123,79 | 55.724.772,16 |
| Totaux. . . | 297.061.893,58 | 232.480.318,05 | 139.699.960,19 | 669.242.171,82 |

(4) *Même tableau divisé par années pour l'ensemble des compagnies.*

| DÉSIGNATION des années. | SOMMES payées par l'État à titre de garantie. | SOMMES déversées par l'ancien réseau. | COMPLÈMENT d'intérêt prélevé sur l'ancien réseau. | SOMMES totales payées en faveur du nouveau réseau. |
|-------------------------|---|---------------------------------------|---|--|
| | francs. | francs. | francs. | francs. |
| 1864. | 17.043.831,23 | 1.205.487,21 | 6.018.334,14 | 24.268.652,58 |
| 1865. | 35.686.412,79 | 13.441.478,64 | 14.482.735,88 | 63.590.627,31 |
| 1866. | 30.518.166,09 | 26.632.583,82 | 14.680.321,48 | 71.831.071,39 |
| 1867. | 26.318.812,20 | 40.741.770,38 | 15.600.600,36 | 82.661.182,91 |
| 1868. | 32.244.490,54 | 37.468.682,50 | 15.339.264,68 | 85.052.437,72 |
| 1869. | 25.906.862,61 | 26.618.543,71 | 15.592.137,53 | 68.117.543,85 |
| 1870. | 61.183.913,43 | 9.707.340,34 | 19.007.609,28 | 89.898.863,05 |
| 1871. | 31.544.300,68 | 34.815.771,48 | 19.394.223,35 | 85.754.295,51 |
| 1872. | 34.615.104,10 | 42.047.606,97 | 19.604.753,29 | 96.267.464,36 |
| Totaux. . . | 297.061.893,58 | 232.480.318,05 | 139.699.960,19 | 669.242.171,82 |

Tableau des sommes payées par l'État à titre de garantie et des sommes fournies par l'ancien réseau en faveur du nouveau par année et par compagnie.

(5) Compagnie du Nord.

| DÉSIGNATION des années. | SOMMES payées par l'État à titre de garantie. | SOMMES déversées par l'ancien réseau. | | COMPLÈMENT d'intérêt prélevé sur l'ancien réseau. | TOTAL. | |
|-------------------------------|--|--|----|--|---------------|----|
| | | fr. | c. | | fr. | c. |
| 1865. | " | 1.057.647,20 | " | " | 1.057.647,20 | |
| 1866. | " | 790.314,47 | " | " | 790.314,47 | |
| 1867. | " | 935.370,55 | " | " | 935.370,55 | |
| 1868. | " | 3.707.580,58 | " | " | 3.707.580,58 | |
| 1869. | " | 2.871.663,64 | " | " | 2.871.663,64 | |
| 1870. | " | 631.196,69 | " | " | 631.196,69 | |
| 1871. | " | 2.648.349,45 | " | " | 2.648.349,45 | |
| 1872. | " | 5.091.349,39 | " | " | 5.091.349,39 | |
| Totaux. | " | 17.733.471,77 | " | " | 17.733.471,77 | |

(6) Compagnie de l'Est.

| DÉSIGNATION des années. | SOMMES payées par l'État à titre de garantie. | SOMMES déversées par l'ancien réseau. | | COMPLÈMENT d'intérêt prélevé sur l'ancien réseau. | TOTAL. |
|-------------------------------|--|--|---------------|--|--------|
| | | francs. | francs. | | |
| 1864. | 17.043.831,23 | 1.206.487,21 | 6.018.334,14 | 24.268.652,58 | |
| 1865. | 14.699.825,12 | 1.579.543,67 | 6.601.893,04 | 22.881.261,83 | |
| 1866. | 12.758.063,79 | 2.253.376,80 | 6.315.686,19 | 21.327.126,78 | |
| 1867. | 11.734.284,57 | 4.991.397,78 | 7.000.990,33 | 23.730.181,68 | |
| 1868. | 9.779.378,14 | 4.156.434,47 | 6.559.951,21 | 20.495.713,82 | |
| 1869. | 4.517.063,10 | 6.792.983,58 | 6.530.151,16 | 17.840.197,84 | |
| 1870. | 22.330.514,21 | " | 6.500.048,70 | 28.890.562,91 | |
| 1871. | 16.345.271,91 | 389.070,58 | 6.500.633,56 | 23.294.976,35 | |
| 1872. | 4.471.578,62 | 9.140.211,54 | 6.688.639,42 | 20.300.429,58 | |
| Totaux. | 113.679.760,69 | 30.513.005,63 | 58.836.337,05 | 203.029.103,37 | |

(7) *Compagnie de l'Ouest.*

| DÉSIGNATION des années. | SOMMES payées par l'État à titre de garantie. | SOMMES déversées par l'ancien réseau. | COMPLÈMENT d'intérêt prélevé sur l'ancien réseau. | TOTAL. |
|-------------------------------|--|--|--|---------------|
| | fr. c. | fr. c. | fr. c. | fr. c. |
| 1865. | 5 670.199,76 | 1.271.666,94 | 2.276.139,29 | 9.218.005,99 |
| 1866. | 5.766.789,62 | 1.223.396,81 | 2.497.504,59 | 9.487.691,02 |
| 1867. | 5.043.926,49 | 2.377.618,85 | 2.648.378,54 | 10.069.923,88 |
| 1868. | 6.860.985,91 | 558.345,67 | 2.516.086,44 | 9.935.418,02 |
| 1869. | 6.134.302,19 | 991.515,24 | 2.517.105,15 | 9.642.922,58 |
| 1870. | 10.233.147,76 | " | 4.227.892,39 | 14.461.040,15 |
| 1871. | 9.497.970,01 | 1.371.194,12 | 4.606.712,01 | 15.475.876,14 |
| 1872. | 13.279.307,21 | 1.559.424,81 | 4.696.257,14 | 19.534.989,16 |
| Totaux. . . | 62.486.628,95 | 9.353.162,44 | 25.986.075,55 | 97.825.866,94 |

(8) *Compagnie d'Orléans.*

| DÉSIGNATION des années. | SOMMES payées par l'État à titre de garantie. | SOMMES déversées par l'ancien réseau. | COMPLÈMENT d'intérêt prélevé sur l'ancien réseau. | TOTAL. |
|-------------------------------|--|--|--|----------------|
| | fr. c. | fr. c. | fr. c. | fr. c. |
| 1865. | 12.489.727,27 | 1.665.691,67 | 4.887.944,98 | 19.043.363,92 |
| 1866. | 10.555.056,93 | 4.011.935,26 | 5.050.071,70 | 19.617.062,89 |
| 1867. | 9,322.741,34 | 5.063.603,59 | 5.226.111,15 | 19.612.456,08 |
| 1868. | 15.604.176,49 | 502.100,23 | 5.519.788,34 | 21.626.065,06 |
| 1869. | 14.163.429,59 | 5.515.246,28 | 5.838.402,56 | 25.517.078,43 |
| 1870. | 19.262.291,77 | " | 5.722.649,62 | 24.984.941,39 |
| 1871. | 7.063.128,14 | 8.902.180,77 | 5.869.735,96 | 21.835.044,87 |
| 1872. | 12.164.391,05 | 7.419.345,95 | 5.804.719,49 | 25.388.456,49 |
| Totaux. . . | 100.824.943,58 | 33.080.103,75 | 43.919.423,80 | 177.824.471,13 |

(9) *Compagnie de Lyon.*

| DÉSIGNATION des années. | SOMMES payées par l'État à titre de garantie. | SOMMES déversées par l'ancien réseau. | COMPLÈMENT d'intérêt prélevé sur l'ancien réseau. | TOTAL. |
|-------------------------------|--|--|--|----------------|
| | | fr. c. | | fr. c. |
| 1865. | " | 7.289.498,26 | " | 7.289.498,26 |
| 1866. | " | 16.309.095,51 | " | 16.309.095,51 |
| 1867. | " | 24.153.597,67 | " | 24.153.597,67 |
| 1868. | " | 24.988.839,83 | " | 24.988.839,83 |
| 1869. | " | 8.317.818,20 | " | 8.317.818,20 |
| 1870. | " | 8.697.123,10 | " | 8.697.123,10 |
| 1871. | " | 13.291.784,30 | " | 13.291.784,30 |
| 1872. | " | 13,996.729,58 | " | 13.996.729,58 |
| Totaux. . . | " | 117.104.486,45 | " | 117.104.486,45 |

(10) Compagnie du Midi.

| DESIGNATION des années. | SOMMES payées par l'État à titre de garantie. | SOMMES déversées par l'ancien réseau. | COMPLÉMENT d'intérêt prélevé sur l'ancien réseau. | TOTAL. |
|-------------------------------|--|--|--|---------------|
| | fr. c. | fr. c. | fr. c. | fr. c. |
| 1865..... | 2.826.660,54 | 577.430,90 | 696.758,57 | 4.100.850,11 |
| 1866..... | 1.438.255,66 | 1.984.464,97 | 817.059,00 | 4.239.779,63 |
| 1867..... | 17.859,80 | 3.216.681,94 | 725.111,54 | 3.959.653,08 |
| 1868..... | " | 3.555.381,92 | 743.438,69 | 4.298.820,61 |
| 1869..... | 1.092.067,73 | 1.129.316,77 | 706.478,66 | 3.927.863,16 |
| 1870..... | 9.357.958,69 | 379.020,55 | 2.497.018,57 | 12.233.997,81 |
| 1871..... | 637.930,62 | 8.013.195,26 | 2.357.141,72 | 11.008.267,60 |
| 1872..... | 4.689.827,22 | 4.840.595,70 | 2.415.117,24 | 11.955.540,16 |
| Totaux.. | 20.070.560,36 | 24.696.088,01 | 10.958.123,79 | 55.724.772,16 |

N° 34

VOIES FERRÉES DE L'EUROPE A L'EXTRÊME ORIENT.

La Société de géographie vient de donner complète approbation au projet de M. F. de Lesseps, qui consiste à relier les chemins de fer de la Russie européenne à ceux de l'Inde anglaise, d'Orenbourg à Peschawour, par Samarkand, à travers l'Asie centrale. Le président, M. le vice-amiral baron La Roncière Le Noury, a proposé à ses collègues, dans la dernière séance, de manifester publiquement à M. de Lesseps les sympathies et les encouragements de la Société. Cette motion a été accueillie avec un empressement unanime.

Indépendamment de l'immense intérêt qui s'attache à une telle entreprise, pour le développement du commerce de tous les pays du monde, pour l'extension à toute l'Asie de l'influence et de la civilisation européennes, il a été remarqué que notre pays trouverait de grands avantages dans ces communications rapides qui le rapprocheraient de ses colonies de Cochinchine. Les communications par voies ferrées pourraient être prolongées à travers l'Inde, la Chine, par la Birmanie et le Cambodge, jusqu'à Saïgon, et un embranchement pourrait se détacher vers l'embouchure du Tonkin, soit au sud de la frontière de Chine, soit le long du littoral oriental.

M. Malte-Brun a fait observer qu'il existe deux autres projets sérieux de communications par railroads avec l'extrême Orient : l'un prolongé sur toute la longueur de la Sibérie jusqu'à Pékin, l'autre qui relierait Constantinople au golfe Persique, à travers la Turquie d'Asie, en suivant, dans une grande partie de son parcours, la vallée de l'Euphrate. On sait que ce dernier projet a déjà reçu un commencement d'exécution.

Ajoutons que le colonel von Stubendorff, de l'armée russe, a lu récemment à la Société de géographie autrichienne une intéressante communication sur le projet de construction d'un chemin de fer dans l'Asie centrale. Le colonel a présenté à cette occasion à la société la dernière carte du gouvernement russe sur ses possessions asiatiques. Un chemin de fer est déjà construit dans la Transcaucasie, de Poti jusqu'à Tiflis; il gagnera prochainement Baku sur les bords de la mer Caspienne. Le gouvernement russe fait de grands efforts pour traverser d'une voie ferrée ses immenses domaines de l'Asie centrale.

1° LIGNE DE LA RUSSIE A L'INDE.

Economiste français donne sur le projet formé par M. de Lesseps d'établir un chemin de fer de la Russie à l'Inde, les renseignements suivants :

Un immense chemin de fer partirait d'Orenbourg, sur la ligne de séparation entre l'Europe et l'Asie, pour aboutir à Peishawer, aux confins de l'Afghanistan, mettant ainsi en communication interrompue et directe le centre du continent asiatique et le centre du continent européen.

Le premier est à Orenbourg que s'arrête le réseau des chemins de fer russes et à Peishawer que commence du côté de l'Asie centrale le réseau des chemins de fer anglo-indiens.

Entre le fleuve Oural, sur lequel est situé la première de ces lignes, et la passe de Khyber, qui précède la seconde, s'étend sur une longueur de 2.300 milles (*) un espace de terrain non-seulement impropre à tout rail, mais encore à peu près réduit, comme moyens de communications, aux routes fugitives que les caravanes y tracent au prix des plus grandes fatigues et de dangers incessants. Telle est la lacune que notre éminent compatriote se propose de combler au moyen d'une extension du réseau russe et d'une extension du réseau anglo-indien, qui, s'avancant à la rencontre l'un de l'autre, iraient se souder à Samarkand, dans la Grande-Boukharie. M. de Lesseps calcule que la partie anglaise de la nouvelle ligne mesurerait environ 850 milles, tandis que la partie russe atteindrait le même espace de 1.500 milles, et qu'une fois Orenbourg rattaché du côté de l'ouest aux railways européens les plus proches, Calais et Calcutta seraient à 7.500 milles l'un de l'autre, distance susceptible, pour lui, d'être franchie en une semaine.

2° LIGNE DE SIBÉRIE EN CHINE.

La *Gazette de l'Académie*, profitant des travaux de la commission spéciale instituée auprès de la Société d'encouragement du Commerce et de l'Industrie russes, mentionne quelques détails du projet de la voie ferrée de Sibérie en Chine. Cette commission, aidée des concours de plusieurs personnes très au courant des conditions de la Sibérie et de son commerce, est arrivée à des conclusions qui peuvent se résumer en grands traits comme suit :

(*) Le mille anglais, de 1.609 mètres.

Le chemin de fer à travers la Sibérie constitue, tant au point de vue des intérêts de ce pays qu'à celui de l'inauguration d'un transit chinois-européen par la Sibérie et la Russie d'Europe, une entreprise qui mérite les sympathies les plus vives sous le rapport industriel et sous le rapport politique, et qui présente dès aujourd'hui une urgence extrême. Ce chemin de fer devra tôt ou tard, — et il serait à désirer que ce fût le plus tôt possible, eu égard aux intérêts de la Russie, — pénétrer dans le centre de l'empire chinois, à travers la Mantchourie et la Mongolie. Il peut encore acquérir l'importance universelle que possède déjà la *Pacific-Rail-Road* aux États-Unis.

L'énorme étendue de cette ligne ne permettrait certes pas d'attaquer les travaux de sa construction sur tous ses points à la fois, mais il faudrait la diviser en sections, constituant des parties d'une seule et même ligne, sans déviation vers les mêmes points industriels secondaires, que des embranchements pourraient y rattacher plus tard.

La grande ligne devrait prendre naissance à Catherinbourg et se diriger sur les villes de : Chadrinsk, Omsk, Tomsk, Krasnoïarsk, Irkoutsk, Vekhnéoudinsk, et plus loin, suivant les circonstances, soit en Chine, soit dans le pays du sud de l'Oussoury, — dans les deux cas cependant à travers la Mantchourie occidentale, aux environs de Tsitsikar, ou bien, dans le premier cas, le long de la voie de Bouty, c'est-à-dire le long des côtes ouest de Kingan, mais non à travers Kiakhta, Ourga et Kalgane.

La ligne de Tioumène pourrait être reliée favorablement à la ligne principale, tout comme plus tard des embranchements s'y raccorderaient, à savoir : celui de Troïsk venant de Taschkent, celui de Barnaoul venant de l'Altaï, celui de Minousinsk du Yénil-seï supérieur, etc.

Considérant ces conclusions comme très-pratiques, la *Gazette de l'Académie* exprime le vœu de voir au plus tôt procéder aux études, et les résultats de ces dernières publiés en langues étrangères, afin d'attirer l'attention des capitalistes de l'Occident.

(*Journal officiel.*)

TUNNEL DU SAINT-GOTHARD.

Le rapport mensuel du conseil fédéral sur l'état des travaux de la ligne du Saint-Gothard au 31 mai, mentionne que du côté de

eschenen le gneiss granitique a changé sensiblement de composition sur une longueur d'environ 34 mètres ; il est devenu moins dur et plus friable et les fissures ont varié de direction et d'inclinaison. On a trouvé à 156 mètres de l'embouchure une poche de 2 mètres de longueur, 2 mètres de largeur, 0^m,20 de hauteur, renfermant des cristaux de roche d'une limpidité parfaite. A la fin du mois le gneiss granitique dur a reparu. Longueur du tunnel : 200 mètres.

A Airolo, l'avancement s'est opéré dans un micaschiste assez sec sur une longueur d'environ 17 mètres, puis la roche est devenue plus fissurée et l'eau s'est de nouveau présentée en grande abondance. Ces circonstances, qui augmentent les difficultés, cesseront probablement lorsque la neige aura entièrement disparu dans la vallée et que la galerie sera arrivée plus en avant sous le massif de montagne.

A la fin du mois, le débit d'eau du tunnel était de 90 litres par seconde. Longueur du tunnel : 200 mètres.

On a terminé le montage des compresseurs provisoires à air, de la machine motrice à vapeur et de chaudière, et commencé la pose de la conduite à air dans le tunnel. (Journal de Genève.).

PONT SUR LA VISTULE.

On écrit de Varsovie à l'*Invalide russe* qu'on a commencé récemment dans cette ville les travaux de construction d'un nouveau pont en fer sur la Vistule, pour relier, au moyen d'une voie ferrée, les gares de Varsovie-Saint-Pétersbourg et de Varsovie-Breslau d'un côté, et de Varsovie-Vienne et Varsovie-Bromberg de l'autre. Ce pont passera au pied de la citadelle de Varsovie et aura pour têtes, sur la rive droite, le fort détaché de Slivitsky, et sur la rive gauche le fort détaché de Saint-Alexis. Le pont aura six travées et sera à deux étages. Les locomotives passeront en haut et les piétons et les voitures en bas. Les travaux devront être complètement achevés pour l'année 1875. Les parties en fer se fabriquent à l'usine Lilpope, Rau et C^e, de Varsovie. Les piles en maçonnerie et les terrassements seront confiés aux ouvriers de Varsovie, de sorte que tout le pont sera construit sans avoir recours aux ressources de l'étranger. (Journal officiel.)

PONT DU FIRTH OF TAY.

Les côtes d'Écosse sont découpées par des baies profondes, des embouchures de rivières que l'on appelle *Firths*. Dundee, ville manufacturière de 120.000 habitants et port de mer important, est située sur la rive nord du Firth of Tay. Les charbons du comté de Fife ne peuvent y arriver que par un transbordement ou en chemin de fer, par un long détour vers l'ouest. Les communications avec Édimbourg et l'Angleterre sont allongées de 30 à 40 kilomètres par ce bras de mer, au bord duquel les wagons doivent s'arrêter. On y remédie en ce moment par la construction d'un pont de 3.096 mètres de long, qui réunira les deux rives du Firth of Tay à quelques centaines de mètres en amont de Dundee.

Ce pont consistera en 89 travées dont 14 de 60 mètres d'ouverture. Les piles sont des caissons cylindriques en tôle, remplis en maçonnerie de briques. À part les courants et les gros temps qui interrompent souvent le travail, les ingénieurs n'ont pas rencontré de difficultés excessives dans les fondations, car le roc se trouve à une faible profondeur au-dessous du lit de la rivière, et le fond n'est, à l'endroit le plus creux, qu'à 7^m,50 au-dessous des basses mers. Le tablier est formé d'une poutre tubulaire, suivant le modèle bien connu qui a été appliqué tant de fois en France et ailleurs.

Il est en pente de 2 millimètres et demi par mètre d'un côté et de 12 millimètres par mètre de l'autre côté, en sorte que le point le plus élevé est à 26 mètres au-dessus des plus hautes eaux. À l'une des extrémités, sur 600 mètres de long, le pont décrit une courbe de près de 90°, afin de se raccorder au chemin de fer tracé sur le littoral.

Il entrera dans la construction 6.200 tonnes de fer, 2.550 mètres cubes de maçonnerie de briques, 8.000 mètres cubes de charpente. Les entrepreneurs ont pris les travaux à forfait pour la somme de 5.425.000 francs. Ils comptent avoir terminé en 1874.

(La Nature.)

LA RÉPUBLIQUE ARGENTINE. — TRAVAUX PUBLICS.

Parmi les contrées dispersées sur un parcours de près de 5.000 lieues, entre le Pacifique et l'Atlantique, et qui sont si riches en matières premières, alimentaires et industrielles, l'État situé sur la rive gauche de la Plata, la république Argentine est un des plus florissants. Nous extrayons d'un article publié par l'*Économiste français*, sur cet État de l'Amérique du Sud, les renseignements qui suivent :

L'État se compose de quatorze provinces absolument indépendantes dans leur administration intérieure. Les colonies agricoles se régissent elles-mêmes, aussi bien que les municipalités indigènes. Les écoles primaires sont gratuites partout. Il y a deux universités, plusieurs écoles normales et de nombreuses bibliothèques populaires subventionnées par le gouvernement. La seule ville de Buenos-Ayres possède, avec la première université nationale, une école de droit et une de médecine, une école des arts et métiers, une école militaire, plusieurs collèges, 45 écoles municipales gratuites, et une bibliothèque de 25.000 volumes, sans compter 26 imprimeries, 10 lithographies et 44 journaux écrits en toutes langues.

Buenos-Ayres est une belle et agréable ville, bâtie par des architectes italiens dans un style particulier très-approprié au climat, et entièrement européenne de ton, d'activité et de richesse générale, avec 11 théâtres, 8 cercles, 17 maisons de banque, plus de 250 maisons de commerce, de grands hôtels, de magnifiques jardins, un musée d'antiquités, de nombreuses églises, 4 temples protestants, des hospices et des établissements industriels à vapeur et plusieurs lignes de tramways qui la sillonnent dans tous les sens. Rosario, la seconde ville de la république, à 80 lieues plus au nord, sur la rive droite du Parana, n'était, en 1853, qu'un village de cabanes peuplé de 4.000 âmes.

C'est aujourd'hui une véritable cité américaine de 25.000 habitants, largement percée de rues pavées et éclairées au gaz, avec un service de tramways, des hôtels, des banques, des églises, des théâtres, des journaux et un commerce considérable qui a atteint, en 1870, 100 millions de francs; elle est, de plus, la tête de ligne d'un chemin de fer, construit déjà jusqu'à Cordova sur une longueur de 400 kilomètres, qui doit être prolongé jusqu'aux Andes et bientôt jusqu'au Pacifique; car c'est l'ambition très-légitime de chacune des républiques hispano-américaines, de réaliser sur leur

propre territoire la communication interocéanique que les États-Unis ont créée sur le leur, de New-York à San Francisco.

Ce qui a fait tout d'abord la fortune et l'excellente réputation de la république Argentine, c'est, avec la facilité de ses abords, la beauté et la salubrité de son climat, bien vite appréciés par les premiers émigrants. Ce climat est un des plus égaux et des plus sains du monde. Il ressemble à celui de la Nouvelle-Zélande et de cap de Bonne-Espérance, placés à peu près sous le même parallèle. C'est le printemps du midi de la France dans les années normales, avec moins de pluies et avec des brises alternées. Le territoire argentin proprement dit est compris entre le 22° et le 42° de latitude sud. Il appartient donc en entier à la zone tempérée, et sa végétation, quoique luxuriante, ne revêt les formes tropicales que dans les provinces du nord.

Il représente une superficie de 110.000 lieues carrées en prairies, terres labourables et forêts, avec 500 lieues de développement de côtes et la chaîne des Andes pour limite à l'ouest. C'est le plus grand État de l'Amérique du Sud après le Brésil, sa seule partie habitée dépassant en étendue la France, l'Angleterre et l'Espagne réunies. C'est aussi le plus accessible par le nombre et l'importance de ses cours d'eau, tous navigables pour les bateaux à vapeur. Le Parana, le principal de ces artères fluviales, peut être remonté jusqu'à 300 lieues dans l'intérieur par les bâtiments d'outre-mer, et le volume d'eau qu'il débite, ajouté à celui de l'Uruguay, égale, au niveau le plus bas, la moyenne de celui du Mississippi.

Cette vaste région se divise en trois parties principales, dont les destinées sont très-différentes. La première figure une espèce de Mésopotamie comprise entre le Parana et l'Uruguay. C'est l'ancien territoire des Missions, très-fertile, très-arrosé, mais que la colonisation européenne a jusqu'ici presque entièrement délaissé. La seconde est la bordure des Andes qui longe le Chili, avec Mendoza pour capitale, riche de vallées pittoresques et de magnifiques forêts, mais qui ne sera exploitée qu'après l'achèvement des deux lignes de chemins de fer projetés jusqu'à la frontière.

La troisième, située entre les deux premières, immense prairie de 40 lieues carrées, est le foyer de la vie politique et commerciale, et le théâtre préféré de l'émigration. C'est cet ensemble de 14 provinces, dont la population totale s'élevait en 1869, d'après un recensement particulier, à 1.357.000 âmes, sur lesquelles la seule province de Buenos-Ayres compte pour 550.000 âmes. Toutes les villes principales communiquent avec la capitale par des télé-

graphes dont le développement dépasse 6.000 kilomètres. Mais le centre seul est sillonné de chemins de fer, et c'est principalement le long de ces lignes de fer, dans la province de Santa-Fé, au nord de Buenos-Ayres, que sont établies les colonies agricoles dont les terrains sont concédés ou vendus aux émigrants.

La longueur de ces chemins de fer, aujourd'hui en pleine exploitation, est de plus de 1.000 kilomètres. Leur construction fut commencée en 1857. Ils appartiennent à des compagnies anglaises ou argentines et se poursuivent sans interruption sur un plan de réseau très-rationnel. Les deux lignes principales partent de Buenos-Ayres et de Rosario pour traverser toute la pampa jusqu'aux Andes. Une autre doit rejoindre ces deux villes le long du Parana. L'État a presque toujours garanti aux compagnies un intérêt de 7 p. 100. Les frais de construction se sont élevés de 162.000 francs à 250.000 francs par mille anglais. Peu de pays sont aussi propices à l'établissement des grandes lignes, qui ne rencontrent, dans tout le Chaco argentin, d'autres obstacles que la traversée des rivières.

CAUSES DE LA DERNIÈRE CRISE DES CHARBONS EN ANGLETERRE.

M. Boisselier, consul de France à Liverpool, a fait, sur la question des charbons et la cause de la cherté de la houille en Angleterre, d'importants rapports qui nous fournissent les renseignements suivants :

Les cours de la houille anglaise, qui tombent d'ordinaire à l'approche du printemps, se sont au contraire élevés en 1872. Vers le milieu de l'année ils étaient de près de 50 p. 100 supérieurs à la moyenne des années précédentes. Au mois de juillet, les charbons qui se vendent ordinairement à cette époque 19 ou 20 shillings et 22 ou 23 shillings, selon l'espèce, valaient, sur le marché de Londres, 30 et 34 shillings. A Liverpool, le charbon, qui valait 14 shillings au 1^{er} janvier 1872, était coté au commencement du mois d'août à 21 shillings la tonne.

Rendue en France, à Boulogne, la houille anglaise était demandée à 40 francs les 1.000 kilogrammes, tandis que, en 1871, le prix moyen était de 20^f, 19 et, en 1870, de 16^f, 68 seulement.

A Belfast, un grand établissement s'est procuré, vers la fin de 1872, 50 tonnes de houille au prix de 62^f, 50 la tonne, que l'on payait, en 1871, de 17^f, 50 à 20 francs.

Cette hausse sur une matière indispensable à l'industrie et à la marine préoccupe vivement le monde des affaires. Afin d'y remédier, on en recherche les causes. Nous allons les rappeler aussi succinctement que possible.

La première cause de l'élévation des cours est la demande excessive de la houille pendant les neuf mois qui ont précédé la crise. Cette demande avait sa raison d'être dans le développement merveilleux pris par l'industrie sidérurgique en Angleterre, et aussi dans le développement de la marine à vapeur qui tend de plus en plus à se substituer à la marine à voiles.

L'exportation a contribué pour une part très-minime à la hausse des charbons, comme il est facile de le constater, si l'on rapproche les chiffres de la production de ceux de l'exportation.

En 1854, la production totale du Royaume-Uni était de 64.661.401 tonnes et l'exportation de 4.309.255 tonnes; en 1871, la production montait à 110 millions de tonnes et l'exportation s'élevait à 12.816.434. Il y a dix-sept ans, l'exportation était donc de 7 p. 100 de la production; elle est aujourd'hui de 12 p. 100. Cette augmentation, distribuée sur une si longue période, est insuffisante pour expliquer une hausse de 50 p. 100 dans les prix en moins d'une année.

Le mouvement ouvrier pour l'élévation des salaires et la diminution des heures de travail semblent avoir beaucoup plus impressionné les cours.

De 1861 à 1871, par exemple, les gages des abatteurs de houille ont éprouvé une augmentation de 30 p. 100. La journée de travail a été, en outre, réduite de douze à huit heures, ce qui équivaut à une augmentation de salaire d'environ 25 p. 100. A chaque concession faite par les propriétaires de mines succède une élévation proportionnelle des cours, qui amène à son tour de nouvelles exigences de la part des travailleurs. Les mines n'étant plus exploitées que pendant huit heures par jour au lieu de douze, la production de charbon a diminué d'un tiers. Cette diminution dans la production a fait supposer un moment que les mines d'Angleterre étaient épuisées. Il n'en est rien.

La diminution des heures de travail a eu encore d'autres conséquences. Les propriétaires de houillères se sont vus forcés de trouver dans une moindre quantité de houille, extraite à plus de frais, un bénéfice équivalent à la perte que leur fait subir le chômage partiel de leur exploitation et de leur capital.

Si l'on tient compte enfin du développement constant de l'émigration anglaise, qui raréfie encore la main-d'œuvre, on connaîtra

les principales causes de la crise du charbon : augmentation de la demande, hausse de la main-d'œuvre, d'une part ; et, d'autre part, diminution de la production, par suite de la réduction des heures de travail et de la difficulté de se procurer des ouvriers pour l'extraction du charbon. L'équilibre entre l'offre et la demande étant rompu, la houille devait fatalement subir une hausse.

Ces diverses causes ont contribué, on le répète, à l'énorme augmentation qui s'est déclarée, mais elles n'auraient cependant sans doute pas suffi pour amener ce résultat, si le public, en voyant le mouvement de hausse qui se confirmait, ne s'était, pour ainsi dire, rué sur le marché, et n'avait insisté pour avoir de la houille à n'importe quel prix, en achetant même des quantités infimes qu'en temps ordinaire il dédaigne. Cette avidité, en produisant une concurrence désordonnée, créait une demande factice, et l'on ne peut guère s'étonner qu'en présence de plusieurs compétiteurs pour une même tonne de charbon, le propriétaire ait accepté de préférence le plus haut enchérisseur. Aussi la majorité des propriétaires de houillères n'a pu manquer de faire de grands profits, et l'on en voit la preuve dans la facilité avec laquelle ils ont successivement accédé aux demandes réitérées et parfois peu fondées de leurs ouvriers.

Ajoutons que le 1^{er} janvier 1873, on a vu surgir un nouvel élément de renchérissement de la houille : c'est la mise à exécution de la nouvelle loi sur l'exploitation des mines, inaugurée sous le titre de *Mines Regulation Act*. Désormais chaque mesure de charbon devra être pesée et tarée, ce qui entraînera une grande perte de temps et des frais nouveaux. On calcule que l'effet de cette loi sera de faire hausser encore le prix du charbon de 1 à 2 shillings par tonne.

Les propriétaires de mines semblent d'ailleurs croire que la hausse des charbons n'a pas atteint sa dernière limite ; en effet, ils se tiennent dans une réserve de plus en plus grande et refusent de s'engager par contrat.

Comme conséquence de la hausse du charbon, l'industrie a été paralysée dans beaucoup de districts. Souvent les chefs d'établissement ont été obligés de toucher au capital, et les ouvriers se sont vus forcés d'entamer les économies qu'ils avaient pu faire. Il n'est pas possible d'évaluer la gêne et la détresse que le haut prix de ce combustible a jetées dans la partie la plus pauvre de la population. Quant aux chemins de fer, d'après leurs rapports, la hausse du charbon et celle du coke ont augmenté la dépense de 4.5.000 livres sterling, soit 10.525.000 francs pendant une seule moitié de l'année 1872.

(*Journal officiel.*)

APPROVISIONNEMENT DE CHARBON DE L'ANGLETERRE.

L'importance de la question des charbons en Angleterre donne un grand intérêt au calcul suivant que donne le *Builder*, sur l'approvisionnement de charbon en ce pays :

Nous sommes maintenant en position d'indiquer la quantité de houille sur laquelle nous pouvons compter si nous voulons calculer avec quelque prudence : elle est certainement au-dessous des 146.480 millions de tonnes accusés par les commissaires des mines.

Au lieu de calculer le contenu d'une zone de 4.000 pieds de profondeur, nous ne sommes vraiment justifiés qu'en espérant de pénétrer (avec nos connaissances actuelles et en tenant compte de nos présentes dépenses d'extraction) qu'à 2.700 pieds, ce qui donne 52 pieds de plus que le plus profond de nos puits de mines.

A cette profondeur (ou à peu près), la température est égale à la chaleur du sang, et le développement de la chaleur de l'air est tellement rapide que, malgré nos meilleures méthodes de ventilation, il y aurait impossibilité d'y travailler si l'on tient compte de la dépense qu'il y aurait à faire. Aucun ingénieur, avec toute la latitude d'estimation que l'on reproche quelquefois aux membres de ce corps, ne serait justifié, en face de ce qui vient d'être dit, de porter à 100.000 millions de tonnes la quantité à extraire des mines du Royaume-Uni. En conséquence, et d'après le simple bon sens, les cent dix années que le professeur Jevons accorde pour l'extinction totale, doivent être encore diminuées d'une certaine quantité.

N° 35

BIBLIOGRAPHIE.

MÉMOIRES DE M. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL GRAEFF
SUR LE MOUVEMENT DES EAUX DANS LES RÉSERVOIRS
A ALIMENTATION VARIABLE (*).

Le livre de M. Graëff, sur le mouvement des eaux dans les réservoirs à alimentation variable, se compose de deux mémoires admis à l'insertion au *Recueil des savants étrangers* (tome XXI).

Après avoir analysé la question au point de vue théorique, M. Graëff en a fait l'application à cinq réservoirs, dont trois construits, celui de Gondrexange, alimentant le bief de partage des Vosges au canal de la Marne au Rhin ; celui du Gouffre d'Enfer, sur le Furens, destiné à préserver la ville de Saint-Étienne contre les inondations et à compléter en même temps l'alimentation de sa conduite d'eau ; celui de Pinay, sur la Loire, établi dans le siècle de Louis XIV, qui défend la ville de Roanne contre les inondations, et deux réservoirs restés à l'état de projet, l'un sur le Lignon pour le service des inondations, l'autre sur la Coise ayant le double but de défense contre les inondations et d'alimentation d'un canal d'irrigation.

Toute la question théorique du mouvement des eaux dans un réservoir repose sur une relation différentielle évidente *à priori* exprimant que la quantité d'eau qui s'emmagasine dans le réservoir, pendant un temps donné, est

(*) 1 vol. in-4°. — Paris, Dunod, 1873.

la différence entre la quantité que l'affluent fournit et celle qui s'échappe dans le même temps du réservoir par le jeu de ses orifices, de sorte que si l'on désigne par V le volume emmagasiné et par q et φ les débits par seconde des affluents et des orifices d'écoulement on aura :

$$dV = qdt - \varphi dt.$$

Suivant que q est plus grand ou plus petit que φ , dV est positif ou négatif et le réservoir se remplit ou se vide: il reste à niveau constant lorsque $q = \varphi$. C'est le cas du mouvement permanent, le seul que les auteurs des traités d'hydraulique publiés jusqu'ici aient étudié.

Le débit φ peut se calculer en fonction des hauteurs d'eau x , et il en est de même du volume dV qui est, si Z représente l'aire de la surface liquide à la hauteur x , exprimé par Zdx , et Z lui-même peut s'exprimer en x , ce qui donne :

$$Zdx = qdt - \varphi dt \quad (M).$$

φ et Z sont fonction de x , et q est fonction de t dans le cas d'une alimentation variable; l'intégration de l'équation différentielle (M) n'est donc possible que si q est constant, et encore ne l'est-elle alors que dans certains cas particuliers. M. Graëff a donc été conduit à subdiviser la partie théorique de son travail, suivant les deux cas du débit affluent constant et du débit affluent variable.

Dans la partie qui correspond à l'hypothèse du débit affluent constant, M. Graëff a établi, par l'intégration de l'équation différentielle M et pour chaque cas particulier traité, une relation :

$$t = f(x),$$

qui lie le temps à la hauteur d'eau. Ces cas sont les suivants : *Écoulement de fond par un seul pertuis ou de superficie par un seul déversoir; écoulement simultané de deux*

systèmes de vanes placés à des niveaux différents ; écoulement simultané d'une vanne et d'un déversoir placés à des niveaux différents.

De ces cas particuliers, les seuls qui permettent l'intégration de l'équation (M), M. Graëff a déduit, en passant, toutes les formules données dans les traités d'hydraulique sur le mouvement de l'eau dans des vases prismatiques qui se vident, et rectifié les procédés de calcul employés en pratique pour calculer l'abaissement de niveau correspondant à un temps donné, procédés qui peuvent, dans certains cas, conduire aux erreurs les plus grossières.

La forme de la fonction qui donne Z en x permet de calculer avec la plus grande facilité des tables donnant les capacités correspondant à des hauteurs données dans le réservoir. On peut aussi, au moyen d'un profil en long et de profils en travers de la vallée, établir, pour remplacer ces tables, des courbes ayant les hauteurs d'eau à l'échelle du réservoir comme abscisses et les capacités correspondantes pour ordonnées, ce qui permet de faire rapidement tous les calculs que comporte l'étude complète du régime d'un réservoir. La fonction Zdx jouit d'ailleurs d'une propriété remarquable, c'est que de l'expression générale de son intégrale, on peut déduire les volumes connus de tous les solides réguliers de la géométrie élémentaire.

Lorsque le débit affluent q est variable, l'équation (M) n'est plus intégrable, et pour résoudre la question, dans ce cas, il faut avoir recours aux courbes des débits dont les abscisses représentent les temps observés et les ordonnées, les débits par seconde correspondants. Ces courbes elles-mêmes se déduisent des courbes des débits en fonction des hauteurs d'eau, déterminées par le jaugeage de l'affluent pour ces hauteurs. On observe en effet, au poste donné du cours d'eau auquel on a affaire, à des instants déterminés la hauteur d'eau, et comme la courbe des débits en fonction des hauteurs donne immédiatement le débit .

correspondant à cette hauteur, ce débit est celui qui correspond à l'instant où la hauteur a été observée. Rien n'est donc plus simple que d'avoir la courbe des débits en fonction du temps pour un poste donné d'observation sur le cours d'eau qui alimente le réservoir et par conséquent au point même où doit être établi le barrage destiné à former ce réservoir. La courbe des débits du pertuis se calcule d'ailleurs facilement, puisque φ est une fonction de x , déterminée par la forme des orifices, et l'on peut aussi calculer la courbe des hauteurs d'eau du réservoir en fonction du temps; M. Graëff entre à cet égard dans tous les développements nécessaires.

Au moyen de ces trois courbes du débit entrant, du débit sortant et de la hauteur d'eau dans le réservoir, on peut résoudre toutes les questions que présente le régime d'un réservoir à alimentation variable en se servant de procédés géométriques simples et d'une exactitude tout à fait suffisante en pratique.

M. Graëff a d'ailleurs indiqué comment on peut, au moyen de ces procédés d'investigation, arriver à calculer les débouchés à donner aux pertuis d'évacuation des réservoirs, suivant les fonctions que ces réservoirs ont à remplir.

Reste à dire quelques mots des applications faites de la théorie dont on vient d'indiquer les points principaux aux cinq réservoirs indiqués ci-dessus.

Pour le réservoir de Gondremange, des tables ont été dressées, et M. Graëff indique tous les détails nécessaires pour en faire comprendre le mécanisme.

Pour les réservoirs projetés du Lignon et de la Coise, on s'est contenté des courbes des capacités qui donnent, lorsqu'il ne s'agit que de projets, une approximation tout à fait suffisante.

Dans l'application du réservoir du Furens, M. Graëff a indiqué comment la courbe des débits de la plus grande crue connue avait permis de calculer la tranche supérieure

du réservoir à laisser toujours vide, pour parer à une inondation, tout ce qui est en contre-bas de cette tranche pouvant être utilisé à l'alimentation de la conduite d'eau de la ville et des usines, et de déterminer les débouchés des canaux qui forment le système d'alimentation et de vidange spécial à ce réservoir.

Pour les deux réservoirs projetés sur le Lignon et la Coise, M. Graëff a donné tous les calculs numériques destinés à rendre faciles les applications de ses formules et déterminé les ouvertures des pertuis dont le calcul diffère d'un de ces exemples à l'autre, en raison de la destination spéciale du réservoir qui, sur le Lignon, est uniquement destiné à la défense contre les crues, et qui, sur la Coise, doit en même temps alimenter un canal d'irrigation.

L'ensemble de ces applications ne peut laisser aucune difficulté dans l'usage, fort simple du reste, des formules, et conduit à plusieurs simplifications qui rendent cet usage plus pratique encore.

En ce qui concerne la digue de Pinay, M. Graëff a dû entrer à son égard dans des détails circonstanciés qui occupent toute l'étendue de son second mémoire, et il a donné en même temps des détails archéologiques sur le pont Romain sur les culées duquel est fondée cette digue, construite dans le siècle de Louis XIV. Il y a ajouté quelques renseignements sur l'ingénieur Mathieu qui en avait conçu l'idée, tout à fait nouvelle alors. Des notes à l'appui du mémoire indiquent comment cet ingénieur avait été conduit à rétrécir le lit de la rivière pour faire de la grande plaine qui se trouve en amont de Pinay un réservoir destiné à réduire la hauteur des crues de la Loire en aval.

M. Graëff ayant cru devoir proposer à l'administration, pendant qu'il était ingénieur en chef de la Loire, de reconstruire un des diguillons de la digue de Pinay, ruiné par la grande crue de 1790, avait dû étudier d'abord la question de l'utilité de cette digue et de son influence sur la

hauteur des crues à Roanne, et il avait joint au projet, qui a été exécuté en 1869, après avoir été approuvé par l'administration supérieure, un mémoire sur cette question qui a servi de point de départ au travail plus complet qui a ensuite soumis à l'Institut.

Toutes les questions relatives à la digue de Pinay ont été résolues au moyen des courbes des débits, et comme M. Graëff donnait les courbes des débits de la Loire aux ponts de Feurs et de Roanne, il a cru devoir indiquer, dans une note jointe au mémoire, comment ces courbes avaient été dressées et donner ses idées sur la question du jaugeage des eaux courantes. L'usage des courbes des débits l'a conduit, dans cette note, à expliquer la forme générale des formules empiriques que la plupart des ingénieurs emploient aujourd'hui pour jaugeer les grands cours d'eau et à indiquer en même temps un moyen simple de contrôle toute série de jaugeages directs effectués à un poste d'observation donné sur une rivière.

L'ensemble de toutes les questions que nous venons d'indiquer très-sommairement a paru à M. Graëff devoir faciliter aux ingénieurs la solution des problèmes complexes que présente toujours l'étude sérieuse du régime d'un réservoir.

Ce travail résume les études et les observations qui ont été successivement amenés à faire dans une période de plus de vingt ans, pour assurer le service des grands travaux hydrauliques dont il a été chargé.

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS EN 1873.

1^{er} SEMESTRE.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE PAR ORDRE D'INSERTION.

| NUMÉROS des articles. | RAPPEL des cahiers. | INDICATION DES ARTICLES. | NUMÉROS des pages. | NUMÉROS des planches. |
|--------------------------|------------------------|---|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | Prix décernés aux auteurs des meilleurs mémoires publiés dans les <i>Annales</i> en 1870. | 5 | » |
| 2 | 1 | Jacques Maniel: notice biographique par M. Cézanne, ingénieur des ponts et chaussées. | 7 | » |
| 3 | 1 | Frein à air comprimé de G. Westinghouse (de New-York): notice par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées. | 38 | 1, 2, 3 |
| 4 | 1 | Chronique. [Janvier 1873.] Produit par kilomètre des embranchements de chemins de fer rentrant dans la catégorie des chemins d'intérêt local: note par M. J. Michel, ingénieur des ponts et chaussées. | 55 | » |
| 5 | 1 | Bibliographie. 1 ^o Ouvrages français. 2 ^o Ouvrages anglais. 3 ^o Ouvrages italiens. | 60 60 61 | » » » |
| 6 | 2 | Paroles prononcées sur la tombe de M. Chevallier, inspecteur général des ponts et chaussées; par M. Comoy, inspecteur général, vice-président du conseil général des ponts et chaussées. | 63 | » |
| 7 | 2 | Paroles prononcées sur la tombe de M. Chevallier, inspecteur général des ponts et chaussées; par M. Léonce Reynaud, inspecteur général, directeur de l'Ecole des ponts et chaussées. | 65 | » |

| NUMÉROS des articles. | RAPPEL des cahiers. | INDICATION DES ARTICLES. | NUMÉROS des pages. | NUMÉROS des planches. |
|--------------------------|------------------------|--|-----------------------|--------------------------|
| 8 | 2 | Application de l'huile minérale à l'éclairage des phares : note par M. Léonce Reynaud, inspecteur général, directeur de l'École des ponts et chaussées. | 70 | » |
| 9 | 2 | Situation de la question des eaux d'égout et de leur emploi agricole en France et à l'étranger : étude par M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées. | 85 | » |
| 10 | 2 | Note sur les onglets par M. Staëcklin, ingénieur des ponts et chaussées. | 123 | 4, 5 |
| 11 | 2 | Chronique. [Février 1873.] | | |
| 12 | | 1° Locomotive articulée de M. Rarchaert : note par M. Ed. Collignon, ingénieur des ponts et chaussées. | » | 5 |
| | | 2° Des progrès récents de la fabrication du fer et de l'acier en Angleterre : note par M. Georges Lemoine, ingénieur des ponts et chaussées. | » | » |
| 13 | 3 | Pont de Lucerne : notice par M. Jules Gaudard, ingénieur civil, professeur à l'Académie de Lausanne. | 157 | 6, 7, 8 |
| 14 | 3 | Navigation de la Haute-Seine et de l'Yonne : notice par M. Cambuzat, ingénieur en chef des ponts et chaussées. | 177 | » |
| | 3 | Chronique. [Mars 1873.] | | |
| 15 | | 1° Résultats à attendre de l'exploitation d'une partie des nouveaux chemins de fer. | 243 | » |
| 16 | | 2° De la stabilité des cheminées d'usines : note par M. Krafft, ingénieur des ponts et chaussées. | 251 | » |
| 17 | | 3° Des inondations en Italie. | 255 | » |
| 18 | 4 | J. Maniel. — Notice biographique. — Note complémentaire par M. Cézanne, ingénieur des ponts et chaussées. | 259 | » |
| 19 | 4 | Paroles prononcées sur la tombe de M. Poirée, inspecteur général des ponts et chaussées, par M. Comoy, inspecteur général, vice-président du conseil général des ponts et chaussées. | 261 | » |
| 20 | 4 | Notice nécrologique sur M. Poirée, inspecteur général des ponts et chaussées ; par M. Charié-Marsaines, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. | 263 | » |
| 21 | 4 | Sur les grandes crues survenues dans le bassin de la Loire pendant l'hiver 1872-1873 : note par M. Deglaude, ingénieur en chef des ponts et chaussées. | 277 | » |
| 22 | 4 | Les pompes centrifuges simples et accouplées : étude par M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées. | 291 | 9 |
| | | Chronique. [Avril 1873.] | | |
| 23 | 4 | 1° Sur les conditions qu'on a dû chercher à réaliser dans le choix de sources destinées à l'ali- | | |

| NUMÉROS des articles. | RAPPEL des cahiers. | INDICATION DES ARTICLES. | NUMÉROS des pages. | NUMÉROS des planches. |
|--------------------------|------------------------|--|-----------------------|--------------------------|
| | | Chronique. [Avril 1873.] (<i>Suite.</i>) | | |
| 24 | 4 | mentation de la ville de Paris : note par M. Belgrand, inspecteur général des ponts et chaussées. | 315 | " |
| | | 2° Dimensions des principaux paquebots de l'Océan Atlantique. | 327 | " |
| | | Chemins de fer de Roumèlie (pont sur la Maritza). | 327 | " |
| | | Les tramways à Constantinople. | 329 | " |
| | | Le service des chemins de fer dans l'armée bavaroise. | 329 | " |
| | | Le tunnel du Saint-Gothard. | 330 | " |
| | | Statistique des accidents sur les chemins de fer de l'Inde. | 336 | " |
| | | Bibliographie. | 337 | " |
| 25 | 5 | Sur l'emploi de la dynamite : note par M. Ségran, conducteur des ponts et chaussées. | 339 | " |
| 26 | 5 | Irrigations de l'Inde. — Canal du Ganges : troisième mémoire, par M. Lamaisse, ingénieur en chef des ponts et chaussées. | 355 | 10 11 12 13 |
| " | 5 | Note rectificative du deuxième mémoire sur les irrigations de l'Inde. | 453 | " |
| 27 | 5 | Chronique. [Mai 1873.] | | |
| | | 1° Expériences sur les effets de la dynamite : note de MM. Roux et Sarrau. | 455 | " |
| 28 | 5 | 2° Le nouveau port d'Alexandrie. | 459 | " |
| | | 3° Chemin de fer de Lozow-Sévastopol. | 460 | " |
| | | 4° Appareil pour déterminer l'écartement des rails. | 461 | " |
| | | 5° Statistique des accidents sur les chemins de fer prussiens. | 462 | " |
| | | 6° Géodésie de la Corse. | 462 | " |
| 29 | 6 | Hydraulique. — Expériences sur les affouillements ; par M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées. | 467 | 14 |
| 30 | 6 | Dégagement de deux aqueducs débouchant à la mer, à Bernières (Calvados) : note par M. Partiot, ingénieur des ponts et chaussées. | 484 | |
| 31 | 6 | Approfondissement du chenal du port d'Honfleur : note par M. Arnoux, ingénieur des ponts et chaussées. | 489 | 15 |
| 32 | 6 | Note sur l'explosion d'une chaudière dans une filature de coton à Nantes. | 495 | |
| 33 | 6 | Chronique. [Juin 1873.] | | |
| | | Chemins de fer d'intérêt général. — Le nouveau réseau des six principales compagnies françaises : note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées. | 499 | " |
| | | Tableaux statistiques. | 505 | " |

| NUMÉROS des articles. | RAPPEL des cahiers. | INDICATION DES ARTICLES. | NUMÉROS des pages. | ou des planches. |
|--------------------------|------------------------|--|-----------------------|------------------------|
| | | Chronique. [Juin 1873.] (Suite.) | | |
| | | 1 ^o Voies ferrées de l'Europe à l'extrême Orient : | | |
| | | Ligne de la Russie à l'Inde. | 511 | » |
| | | Ligne de Sibérie en Chine. | 511 | » |
| | | 2 ^o Tunnel du Saint-Gothard | 512 | » |
| | | 3 ^o Pont sur la Vistule. | 513 | » |
| 34 | 6 | 4 ^o Pont du Firth of Tay. | 514 | » |
| | | 5 ^o La république Argentine.—Travaux publics. | 515 | » |
| | | 6 ^o Causes de la dernière crise des charbons en Angleterre. | 517 | » |
| | | 7 ^o Approvisionnement de charbon de l'Angle- terre. | 520 | » |
| 35 | 6 | Bibliographie. | | |
| | | Du mouvement des eaux dans les réservoirs à alimentation variable, par M. Graëff, inspecteur général des ponts et chaussées. | 521 | » |

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

A

ACHARD (frein), p. 41.
AYFOUILLEMENTS (expériences sur les).
 Note par M. A. Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées, p. 467 à 483.
 Objet et origine des expériences, p. 467.
 Observations préliminaires, p. 467.
 Disposition et marche des expériences, p. 470.
 Exposé des résultats obtenus, p. 472.
 Résumé et conclusions, p. 481.
ALBART, p. 6. Voir Prix décernés.
ALEXANDRIE (le nouveau port d'), p. 459.
ALLIER (crues de l'), p. 277. Voir Crues de la Loire.
AQUEDUCS débouchant à la mer (dégagement des), p. 484 à 488.
ARNOUX, p. 5. Voir Prix décernés.
ARNOUX (Eug.). Redressement du chenal du port d'Honfleur, p. 489.
ATMARD, p. 6. Voir Prix décernés.

B

BARRAGES mobiles. Voir Navigation continue, p. 177.
BASSOMPIERRE (Sewrin), p. 5. Voir Prix décernés.
BELGRAND. Sources destinées à l'alimentation de Paris, p. 315.
BERNIERES (Calvados). Voir Dégagement des aqueducs débouchant à la mer, p. 100.
BIBLIOGRAPHIE :
 Ouvrages français. — Anglais. — Italiens, p. 60.
 Ouvrages français, p. 337.
BUENOS-AYRES, p. 515.

C

CAMBUZAT. Notice sur les barrages

mobiles de l'Yonne et de la Haute-Seine, p. 177 à 242.
CANAL du Ganges, p. 355. Voir Inde.
CASSIS (dégagement du port de), p. 345. Voir Dynamite.
CÉZANNE. Notice biographique sur M. Jacques Maniel, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 7 à 37, 259.
CHENOINE (barrage du système de M.). Voir Navigation continue, p. 177.
CHARIÉ-MARSAINES. Notice nécrologique sur M. Poirée, p. 263, 276.
CHAUDIÈRE à vapeur. Voir Explosion.
CHEMINS de fer d'intérêt général. Le nouveau réseau des six principales compagnies françaises. Voir Chronique de juin, p. 499.
CHEMINS de fer (service des) dans l'armée bavaroise, p. 329.
CHEMINS de fer de l'Europe à l'extrême Orient.
 1° Ligne de la Russie à l'Inde, p. 511.
 2° Ligne de Sibérie en Chine, p. 511.
CHEMINS de fer de l'Inde. Statistique des accidents, p. 336.
CHEMINS de fer prussiens. Statistique des accidents en 1871, p. 462.
CHEMINS de fer de Lozow-Sébastopol, p. 460.
CHEMINS de fer. Résultats à attendre de l'exploitation des nouvelles lignes, p. 242.
CHEMINS de fer d'intérêt local (produit des embranchements de chemins de fer rentrant dans la catégorie des), p. 54.
CHER (crue du), p. 277. Voir Crues de la Loire.
CHEVALLIER. Inspecteur général des ponts et chaussées. Paroles prononcées sur sa tombe, 63 à 69.

CHRONIQUE :

- (1) Janvier 1873. — Produit par kilomètre des embranchements de chemins de fer rentrant dans la catégorie des chemins d'intérêt local, p. 55. — Bibliographie, p. 60.
- (2) Février 1873. — Locomotive articulée de M. Rarchart, p. 139. — Sur quelques progrès récents de la fabrication du fer et de l'acier en Angleterre, p. 145.
- (3) Mars 1873. — Résultats à attendre de l'exploitation d'une partie des nouveaux chemins de fer, p. 243. — De la stabilité des cheminées d'usines, p. 251. — Les inondations en Italie, p. 255.
- (4) Avril 1873. — Sur les conditions qu'on a dû chercher à réaliser dans le choix des sources destinées à l'alimentation de la ville de Paris. Note par M. Belgrand, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 315.
- Dimensions des principaux paquebots de l'océan Atlantique, p. 327.
- Chemins de fer de Roumélie (Pont sur la Maritza), p. 327.
- Les tramways à Constantinople, p. 329.
- Le service des chemins de fer dans l'armée bavaroise, p. 329.
- Le tunnel du Saint-Gothard, p. 330.
- Statistique des accidents sur les chemins de fer de l'Inde. — Bibliographie, p. 337.
- (5) Mai 1873. — Expériences sur les effets de la dynamite. Note par MM. Roux et Sarrau, p. 455.
- Le nouveau port d'Alexandrie, p. 459.
- Chemin de fer de Lozow-Sévastopol, p. 460.
- Appareil pour déterminer l'écartement des rails, p. 461.
- Statistique des accidents sur les chemins de fer prussiens, p. 462. — Géodésie de la Corse, p. 482.
- (6) Juin 1873. — Chemins de fer d'intérêt général. Le nouveau réseau des six principales compagnies françaises : note par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
- Voies ferrées de l'Europe à l'extrême Orient :
- 1^o Ligne de la Russie à l'Inde, p. 511.
- 2^o Ligne de Sibérie en Chine, p. 511.

- Tunnel du Saint-Gothard, p. 512.
- Pont sur la Vistule, p. 513.
- Pont du Firth of Tay, p. 514.
- La République Argentine, p. 515.
- Causes de la dernière crise des charbons en Angleterre, p. 517.
- Approvisionnement de charbon de l'Angleterre, p. 520.

Bibliographie. Du mouvement des eaux dans les réservoirs à alimentation variable, par M. Graeff, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 521.

COLLIGNON (Ed.). Note sur la locomotive articulée de M. Rarchart, p. 139.

COMOY. Paroles prononcées sur la tombe de M. Chevallier, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 63.

Paroles prononcées sur la tombe de M. Poirée, p. 261.

CONSTANTINOPLE (les tramways à), p. 329.

CORSE (géodésie de la), p. 462.

COTTON (sir Arthur). Voir Inde (irrigations de l'), p. 355 à 452.

CRUES de l'Allier, du Cher, de la Maine, de la Sarthe et de la Vienne. Leur influence sur les crues de la Loire, p. 277.

CRUES (sur les grandes) survenues dans le bassin de la Loire, pendant l'hiver 1872-1873. Note par M. Deglaude, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 277, 290.

— Preamble, p. 277. — Crue du 20 au 28 octobre 1872, p. 280. — Crue du 20 novembre au 22 décembre 1872, p. 283. — Crue de janvier 1873, p. 289.

D

DANKS (puddlage par le procédé), p. 146. Voir Métallurgie du fer et de l'acier.

DÉGAGEMENT de deux aqueducs débouchant à la mer à Bernières (Calvados). Note par M. Partiot, ingénieur des ponts et chaussées. — Expériences faites sur la Seine. — Pyramides construites dans le Calvados, p. 484, 488.

DEGLAUDE. Crues du bassin de la Loire en 1872-1873, p. 277 à 290.

DIDIER (frein), p. 40.

DOTY (lampe à quatre mèches), p. 72. Voir Huile minérale.

DURAND (capitaine). Voir *Corse* (géo-désie de la), p. 462.

DURAND-CLAYE (Alfred). *Etude sur la situation de la question des eaux d'égout et de leur emploi agricole en France et à l'étranger*, p. 85 à 122. — *Etude sur les pompes centrifuges simples et accouplées*, p. 291. — *Expériences sur les affouillements*, p. 467 à 483.

DYNAMITE (sur l'emploi de la). Note par M. Seguran, conducteur des ponts et chaussées, p. 339 à 354. — *Composition de la dynamite*, p. 339. — *Qualité de la dynamite*, p. 341. — *Modes d'emploi de la dynamite*, p. 344. — *Travaux exécutés au moyen de la dynamite*, p. 345.

DYNAMITE (expériences sur les effets de la). Note par MM. Roux et Sarrau, p. 455.

E

Eaux d'égout (situation de la question des) et de leur emploi agricole en France et à l'étranger. *Etude* par M. Alfred Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées, p. 85 à 122.

I. France, p. 88.

II. Angleterre, p. 104.

III. Pays divers, p. 116.

Résumé, p. 120.

ÉCARTEMENT des rails (appareil pour déterminer l'), de M. Sakhovsky, p. 461.

ÉCLAIRAGE des phares, p. 70. Voir *Huile minérale*.

EXPLOITATION (résultats à attendre de l'), d'une partie des nouveaux chemins de fer, p. 243.

EXPLOSION d'une chaudière à vapeur, p. 495.

F

FARCOT. Voir *Pompes centrifuges*, III, p. 291.

FIRTH of Tay (pont du), p. 514.

FREIN à air comprimé de G. Westinghouse, de New-York : Notice par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 34 à 54.

I. Introduction, p. 38. — Le frein Guérin. Freins divers. La contre vapeur.

II. Description, p. 43. — Ensemble des appareils. Alimentation automatique du cylindre à vapeur. Cylindre à air. Assemblage des tuyaux de caoutchouc. Mode d'action de l'air comprimé sur les freins.

III. Résultats constatés en Amérique, p. 49.

IV. Premières applications faites en Angleterre, p. 51.

V. Conclusions, p. 54.

FRESNEL (Augustin), p. 78, 79, 80, 84. Voir *Eclairage des phares*.

G

GANGES (canal du), p. 355 à 452. Voir *Irrigations de l'Inde*.

GAUDARD (Jules). Notice sur un pont construit à Lucerne en 1869-1870, p. 156 à 176.

GAUTHEY. Voir *Affouillement*.

GRAEFF. Voir *Bibliographie*, p. 521.

GUÉRIN (frein de M.), p. 39.

H

HONFLEUR (redressement du chenal du port d'),

HUILE minérale (application de l') à l'éclairage des phares. Note par M. Léonce Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées, p. 70 à 84.

HYDRAULIQUE. Voir *Affouillements*.

I

INDE (irrigations de l'). Canal du Ganges. Troisième mémoire par M. Lamaisse, ingénieur en chef des ponts et chaussées, p. 355 à 452.

Chapitre VII. Canal du Ganges.

— Titre I. Exposé général, p. 355.

Titre II. Définition motivée des alignements et ouvrages du canal du Ganges. N° 1. Division du canal; première section jusqu'à Roorkee, p. 363. — N° 2. Deuxième section du canal comprise entre Roorkee et Nanon, p. 374. — N° 3. Ligne terminale depuis Nanon jusqu'au Ganges à Cawnpoor, p. 383. — N° 4. Ligne terminale d'Etawah, p. 392.

Titre III. Description détaillée des ouvrages du canal. N° 1. Tête de prise d'eau à Myapoor, p. 398. — N° 2. Passage par-dessus de Rani-poor et de Putri, p. 401. — N° 3. Passage à niveau du Rutmoo à Dunowri, p. 405. — N° 4. Pont-canal sur le Solani, p. 416. — N° 5. Ouvrages pour l'admission des eaux courantes dans le canal, p. 427. — N° 6. Ouvrages pour décharger le canal des eaux introduites, p. 428. — N° 7.

STOECKLIN. Note sur les onglets, p. 123 à 138.

VIENNE (crues de la), p. 277. Voir de la Loire.

T

VILLIERS DU TERRAGE (de), p. 6. Prix décernés.

TRAMWAYS à Constantinople, p. 329.
TUNNEL du Saint-Gothard, p. 329.

VISTULE (pont sur la), p. 513.

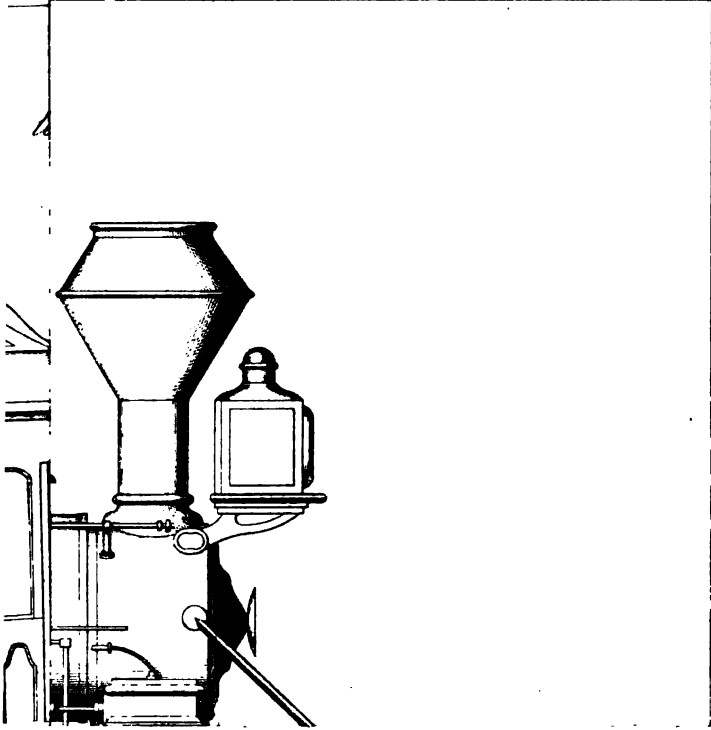
V

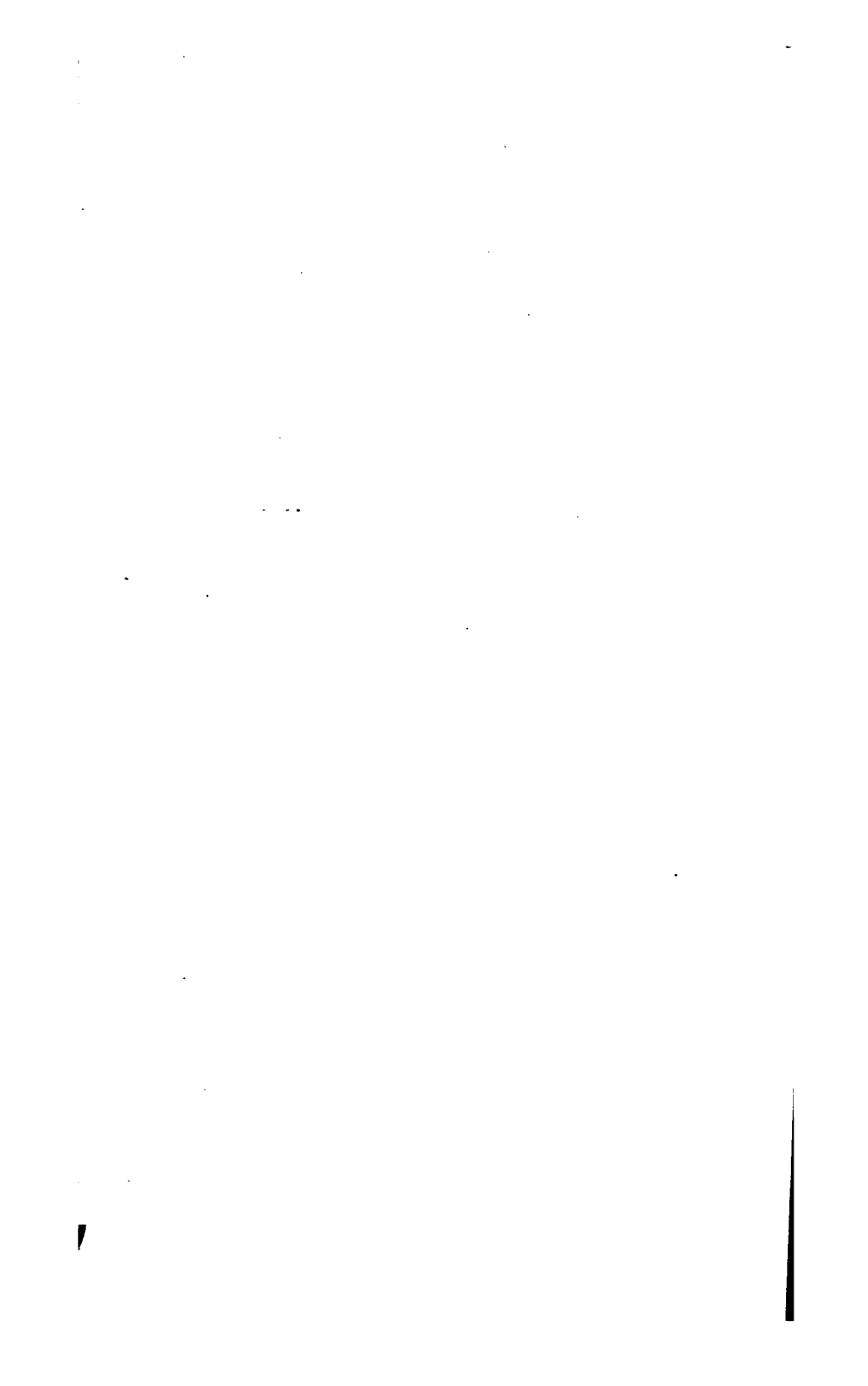
W

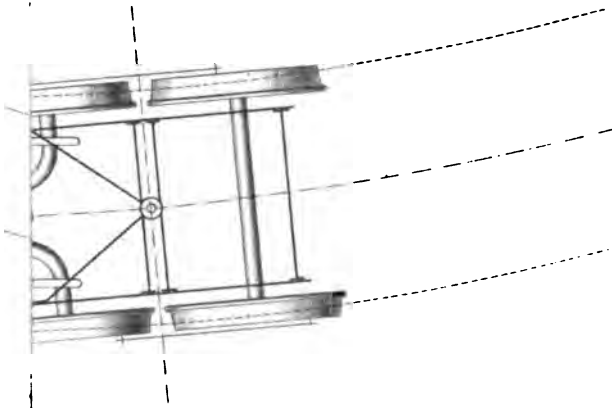
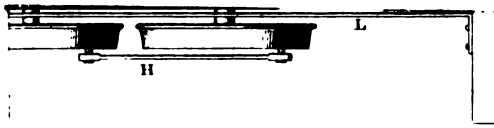
VARSOVIE, p. 1. Voir Pont sur la Vistule, p. 513.

WESTINGHOUSE (frein à air comprimé), p. 38, 54.

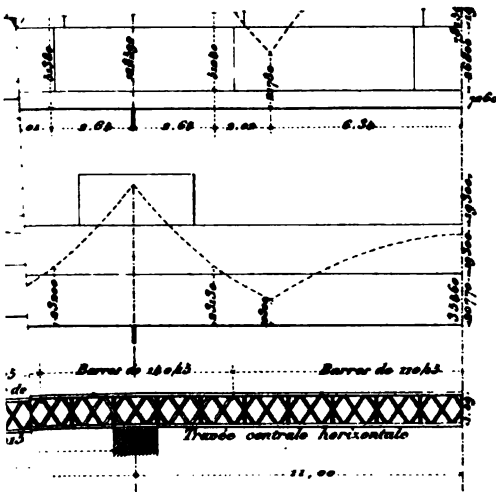
FIN DES TABLES DES MÉMOIRES DU 1^{er} SEMESTRE DE 1873







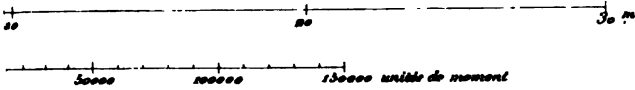
Gravé par E. Pons



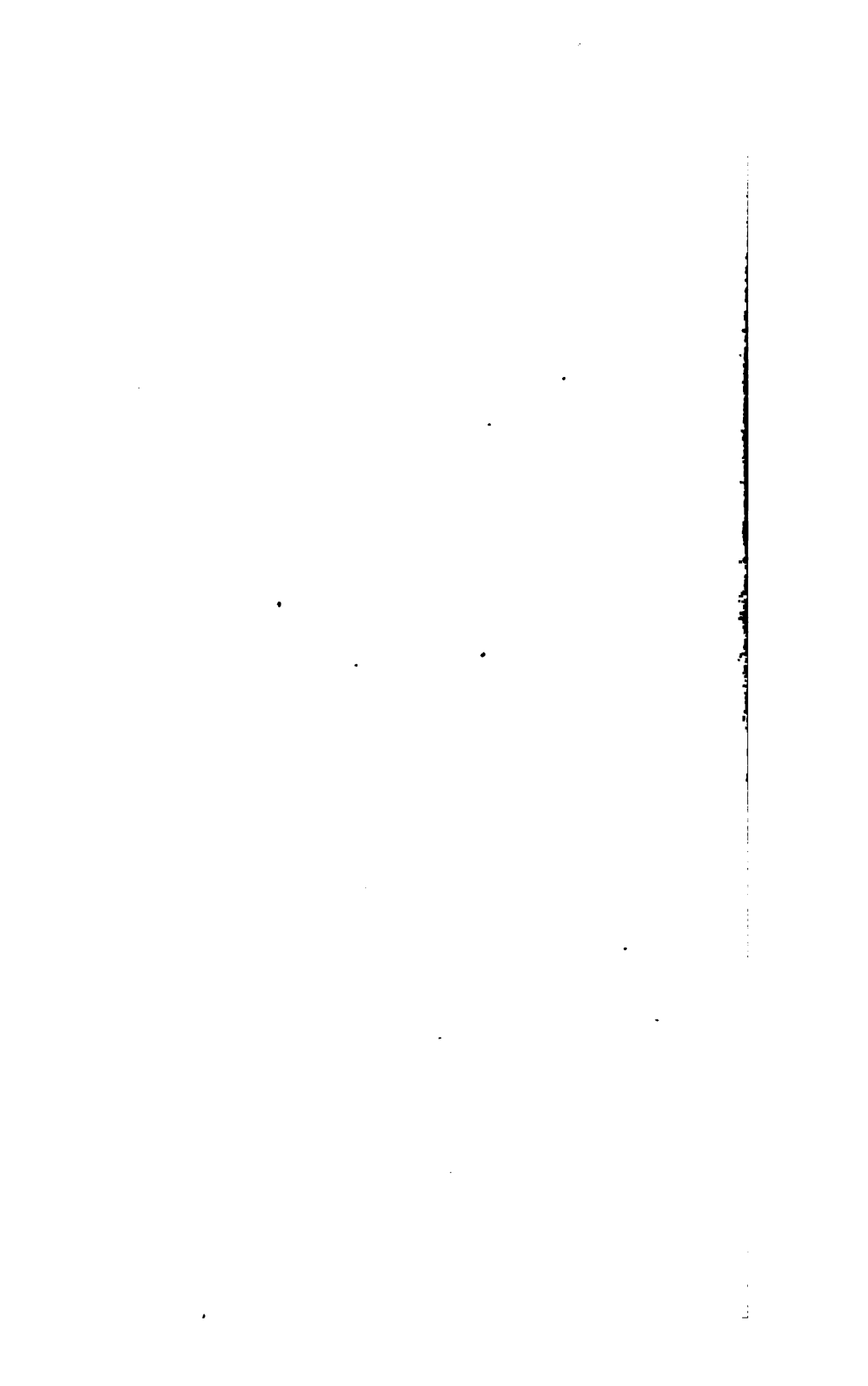
$p = 730 \text{ kg}$
 $p' = 1100 \text{ kg}$

B. Fig. 7.
 Pontre de riv
 à treillis

$p = 730 \text{ kg}$
 $p' = 1100 \text{ kg}$



Gravé par E. Pirot



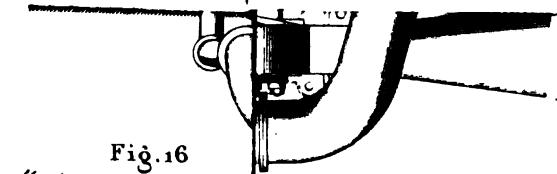
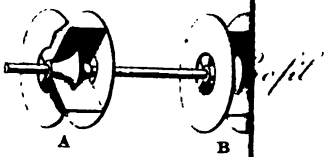


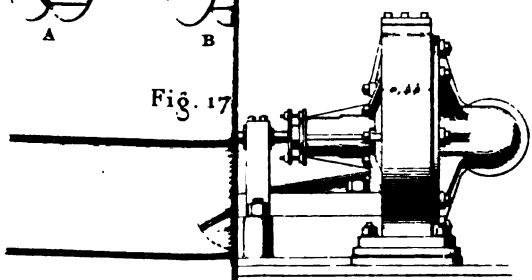
Fig. 16

Vue perspective des ailes



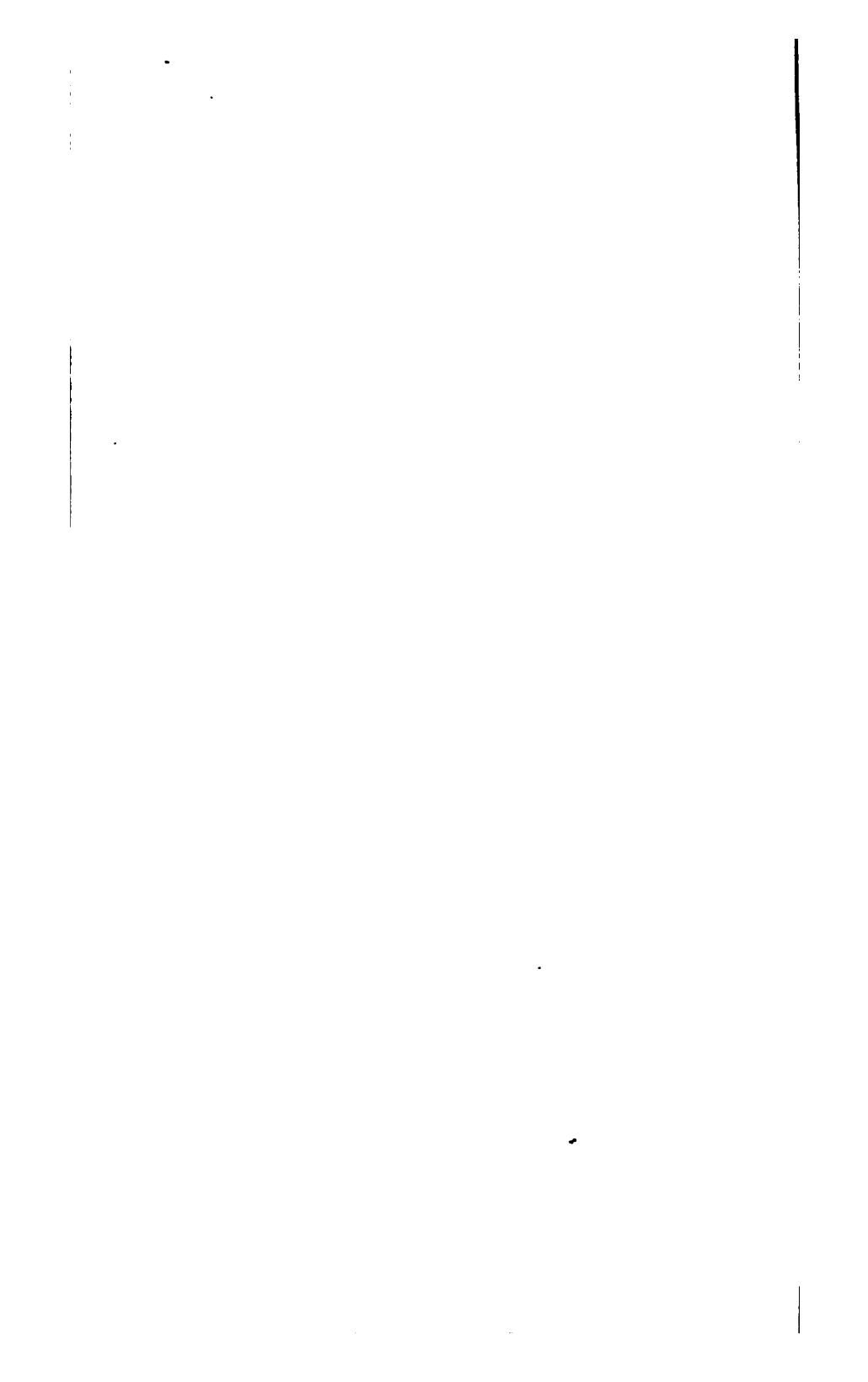
Profil

Fig. 17



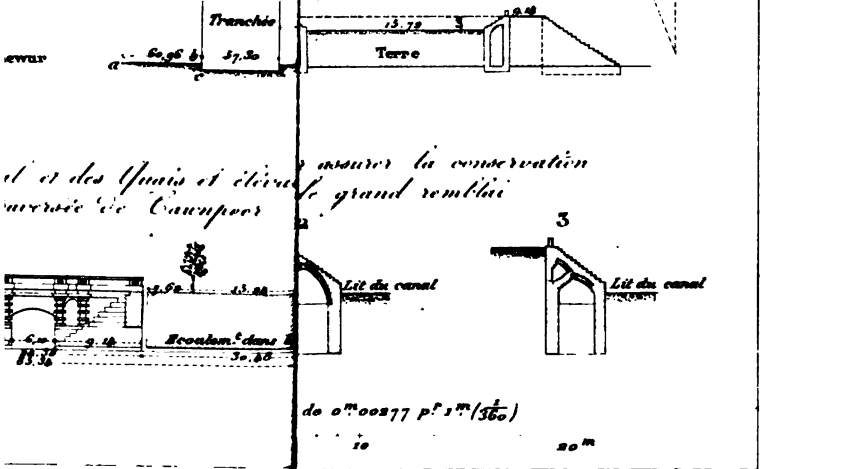
3 mètres

Gravé par E. Perot



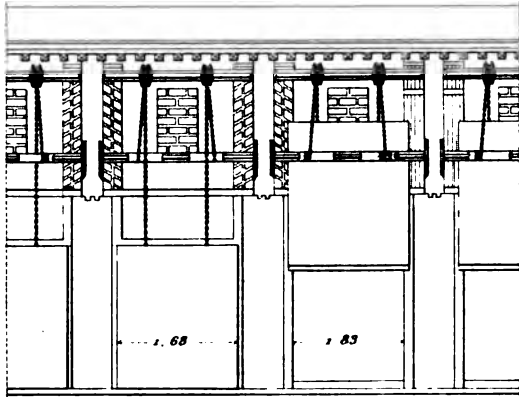
I 117

Fig. 8. *Traverse transversée de la Vallée du Solani*
Croquis coupe du remblai.



Gravé par B. Pérot

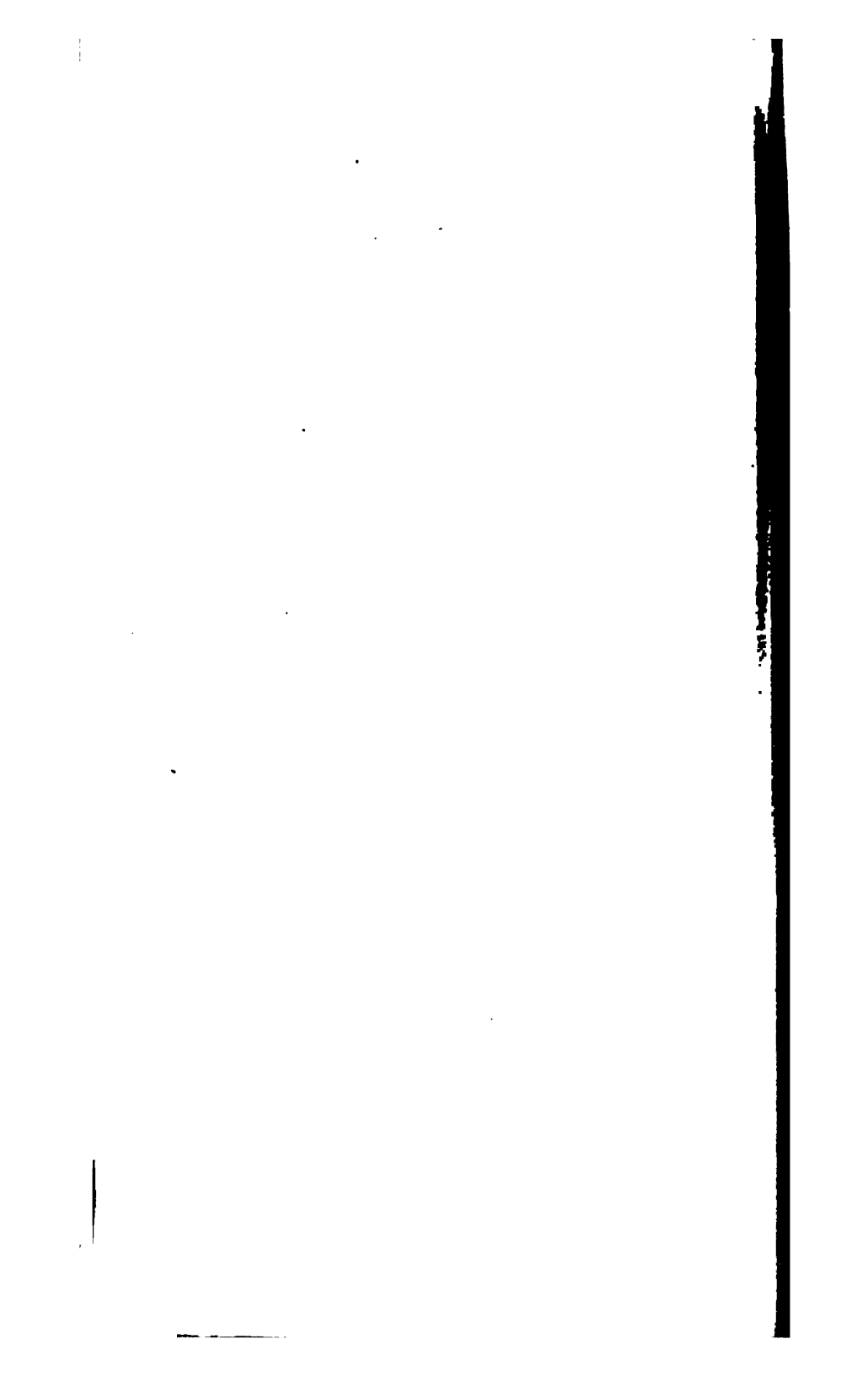
1



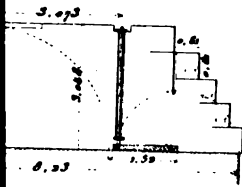
Echelle 1/2 de 0^m00828 p^r 1^m (1/120)



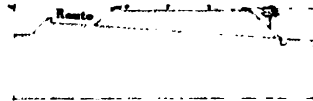
Gravé par E. Pérot



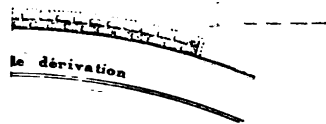
de décharge de Lunowri
 avant l'axe d'une travée



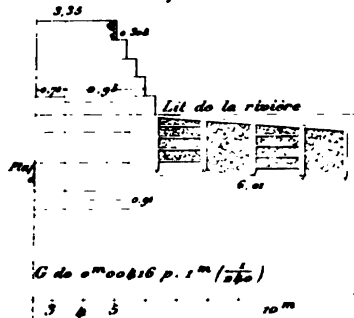
Plan d'une travée



du torrent de Putri



Aménage (Inlet) de Lunowri
 finale d'un pilier central



Gravé par E. Perot



Fig. 7.

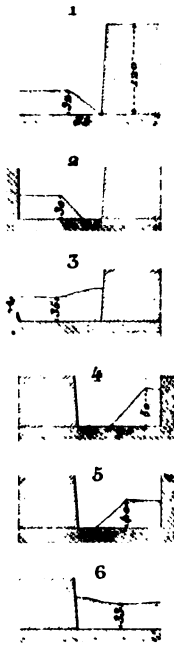
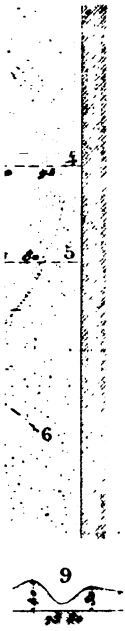


Fig. 8.



Fig. 10

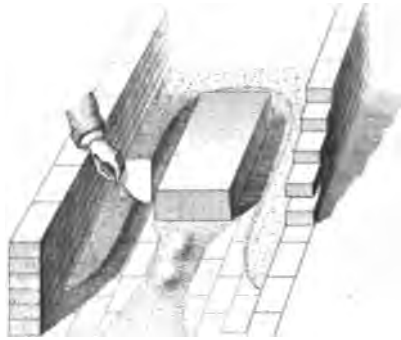
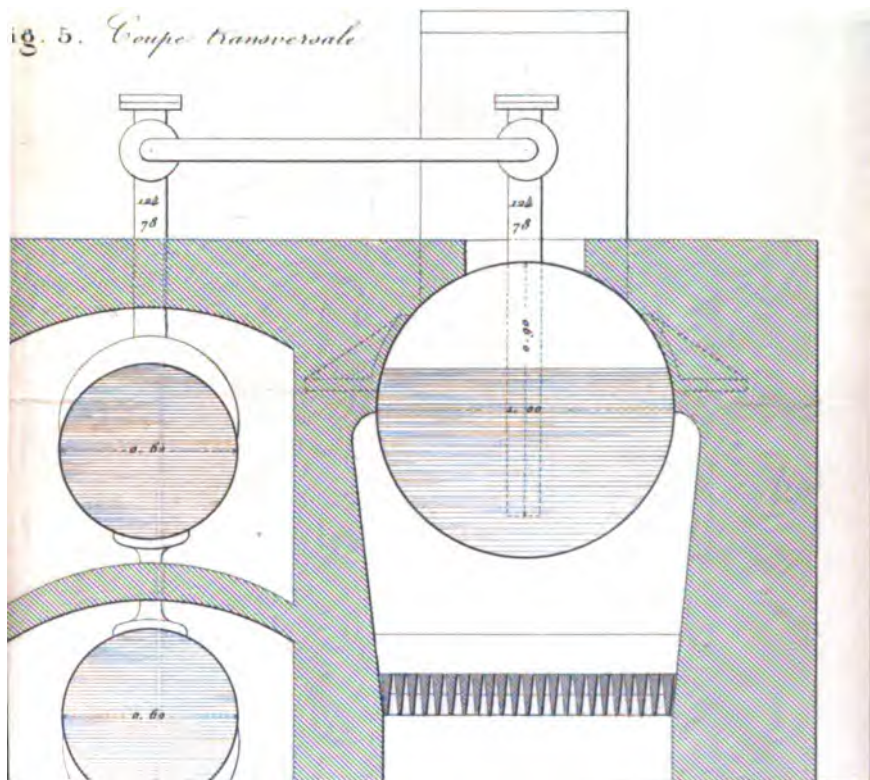


Fig. 11



Explosion d'un bouilleur réchauffeur

fig. 5. Coupe transversale





1

2

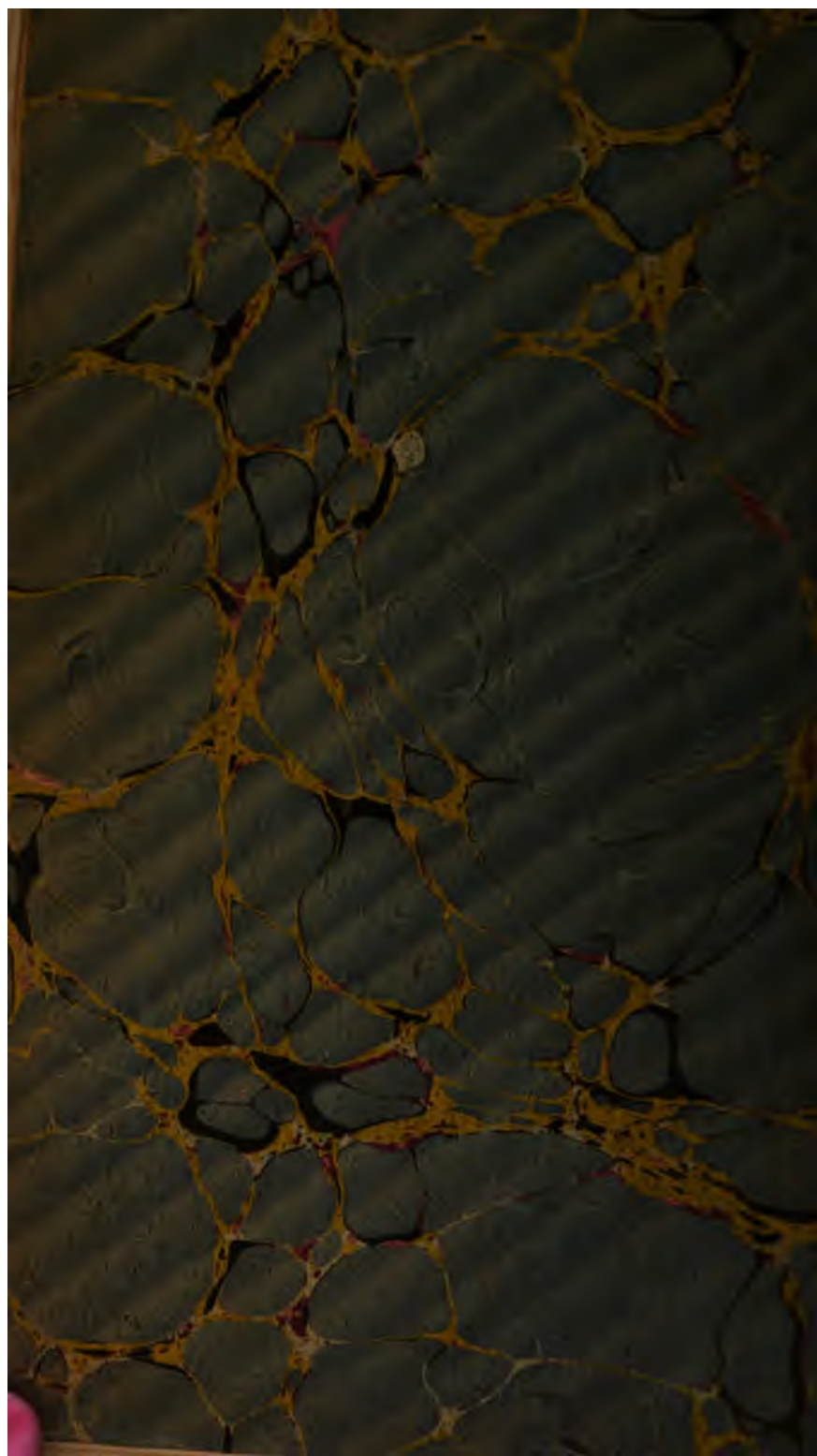
3

4

1

2



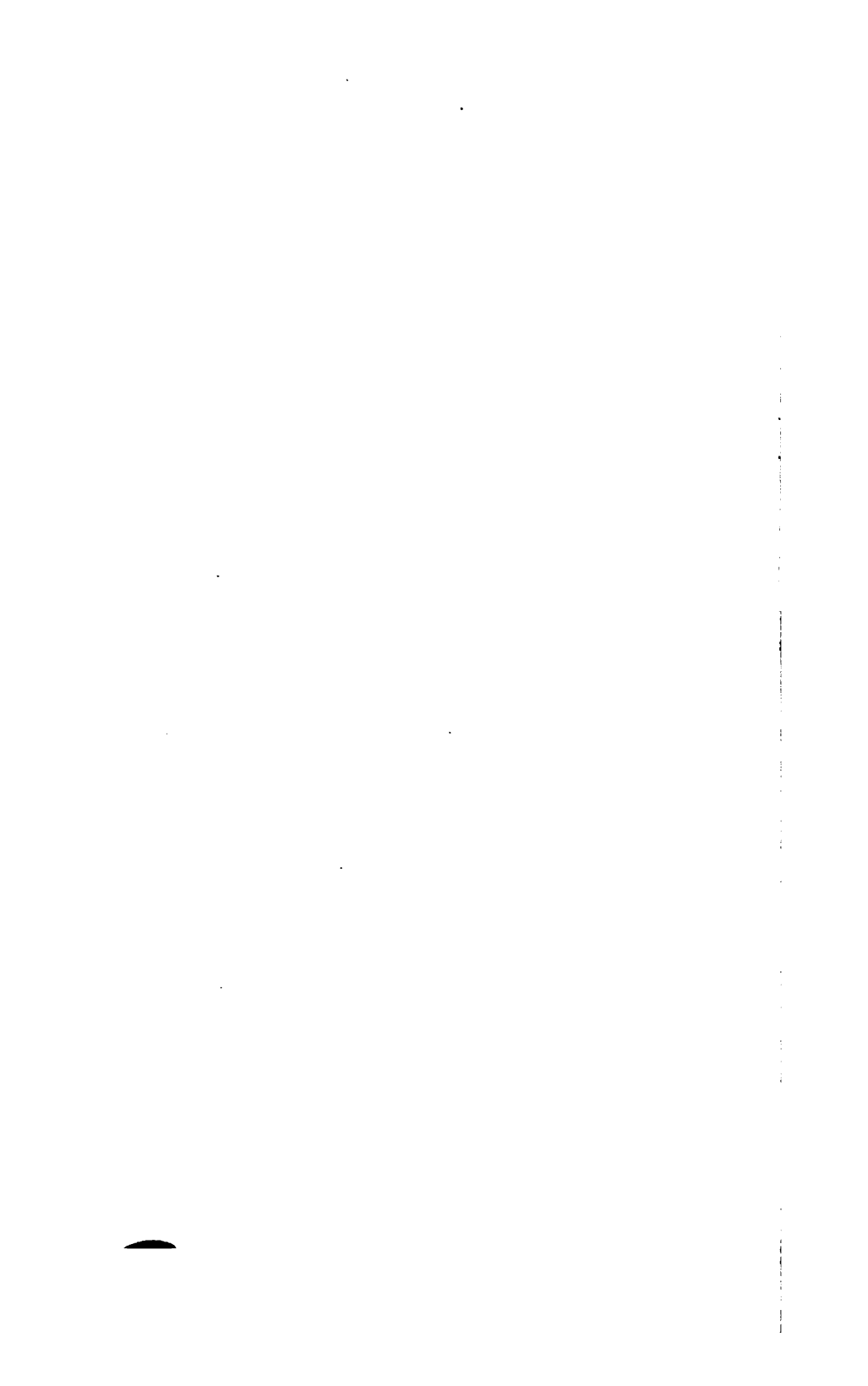


UNIVERSITY OF MICHIGAN

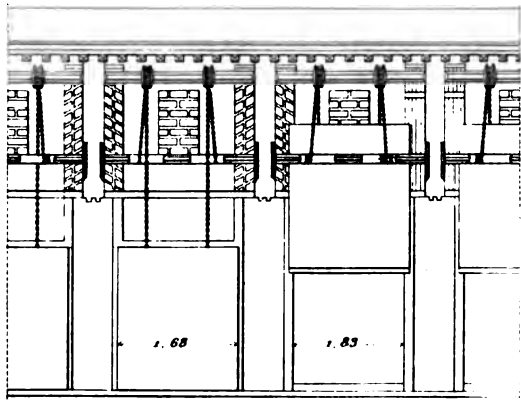


3 9015 06559 7851





D. FIG. 12. ... /

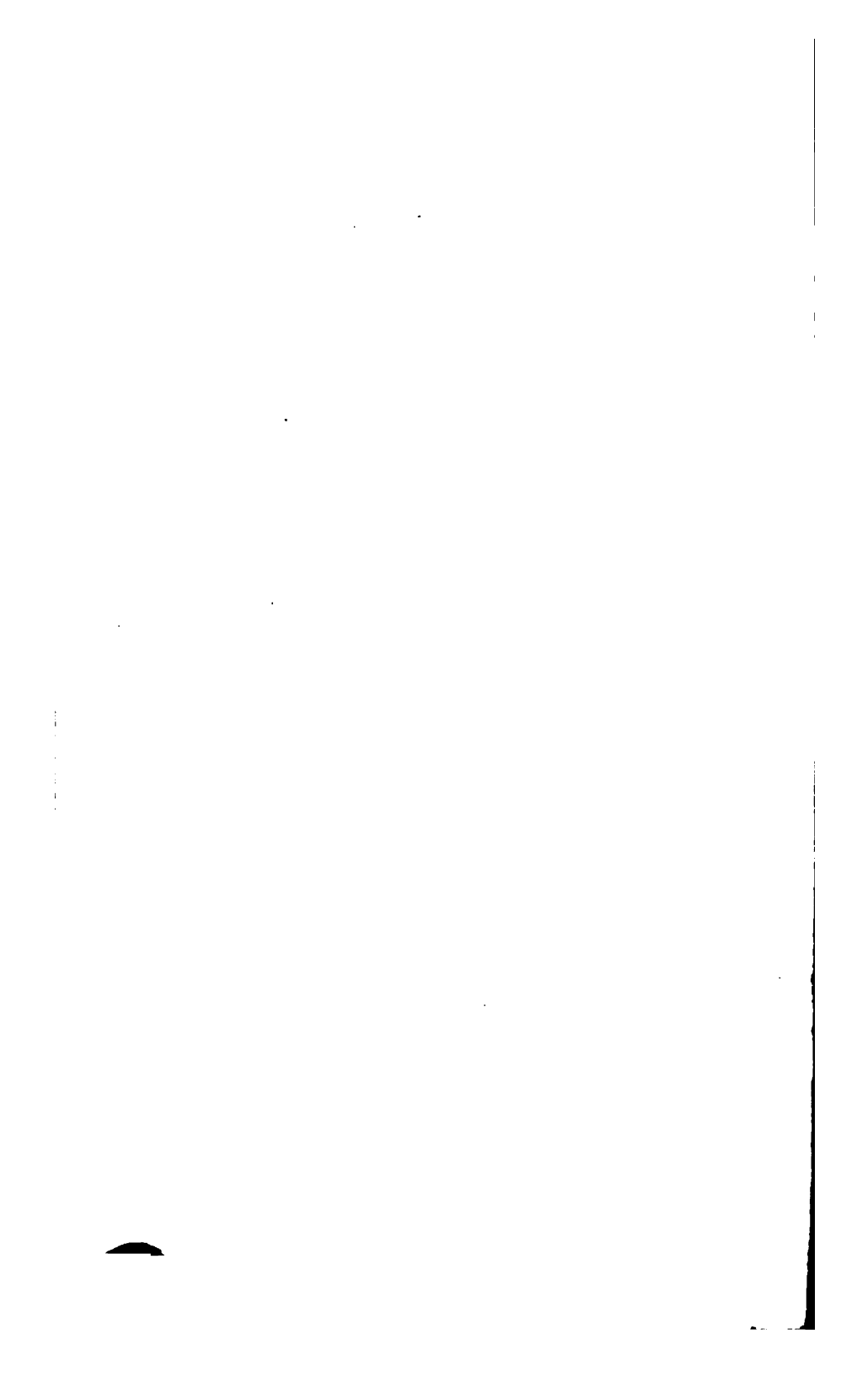


12, 20

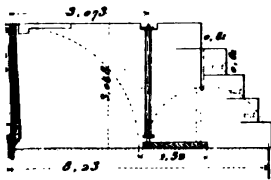
Balco H de 0.70088 p. 1. m (120)



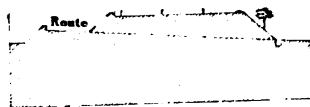
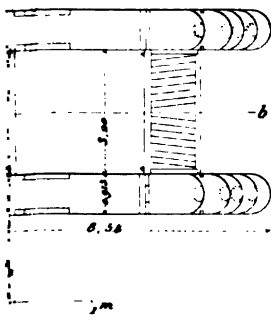
Gravé par H. Piret



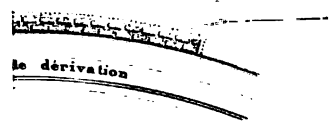
Vois de décharge de Dunouvi
suivant l'axe d'une travée



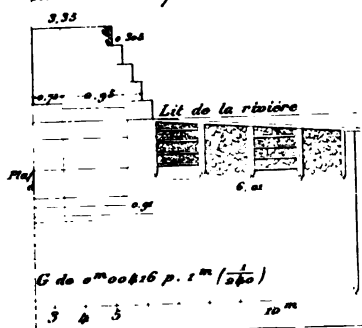
Plan d'une travée



du torrent de Putri



Aménage (Julel) de Dunouvi
dirigé d'un pilier central



Gravé par E. Perrot

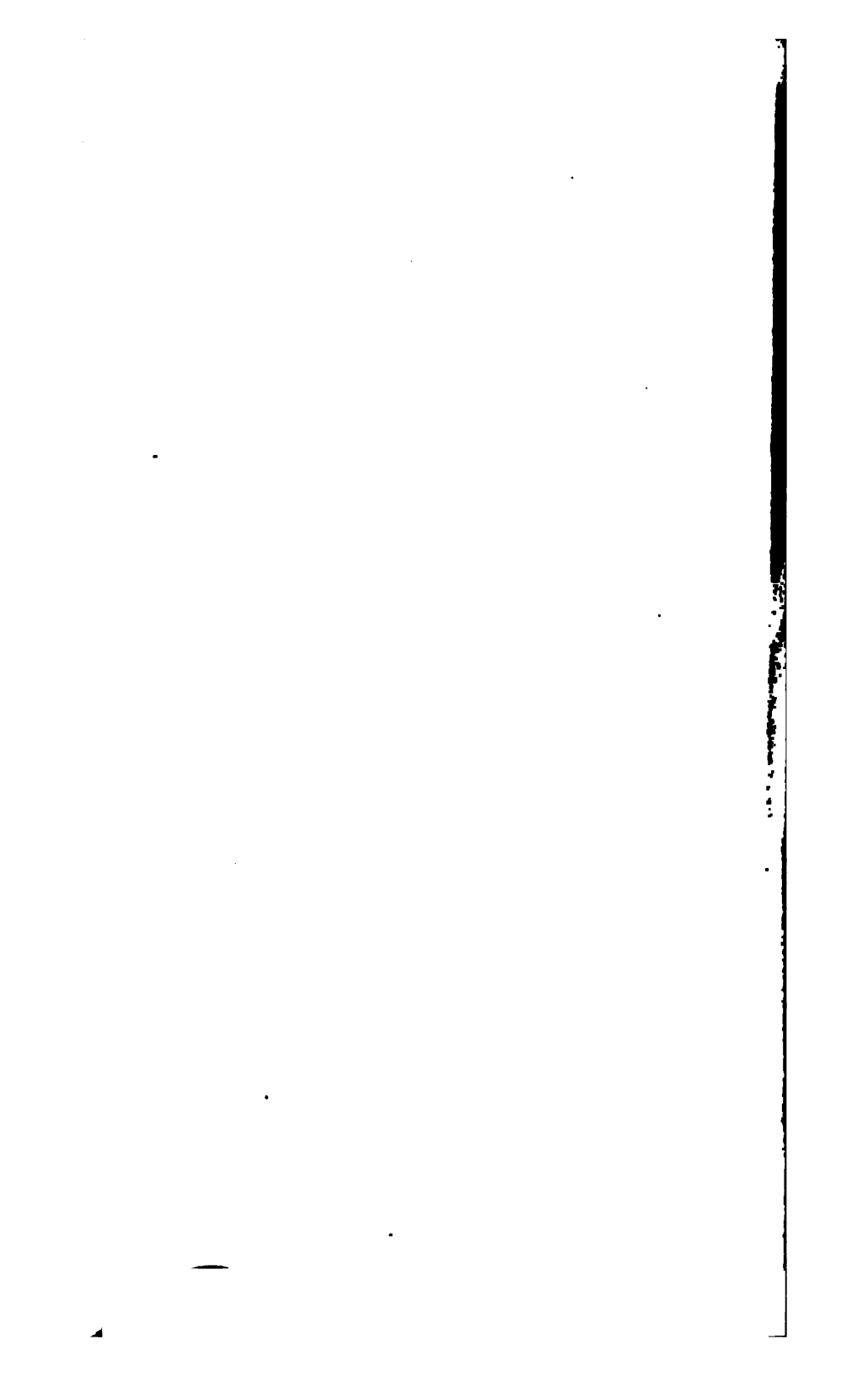


Fig. 7.

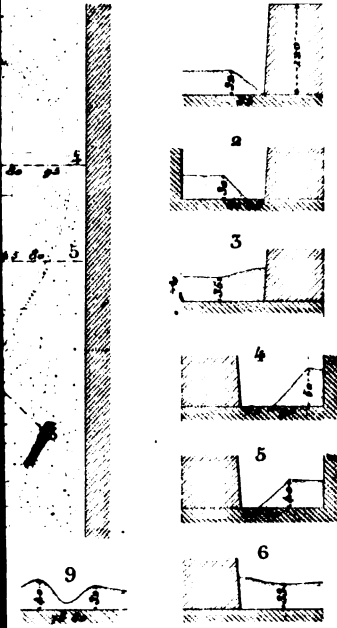


Fig. 8.



Fig. 10

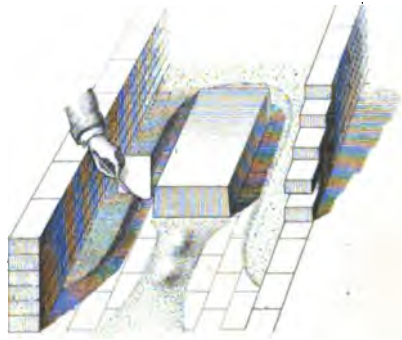
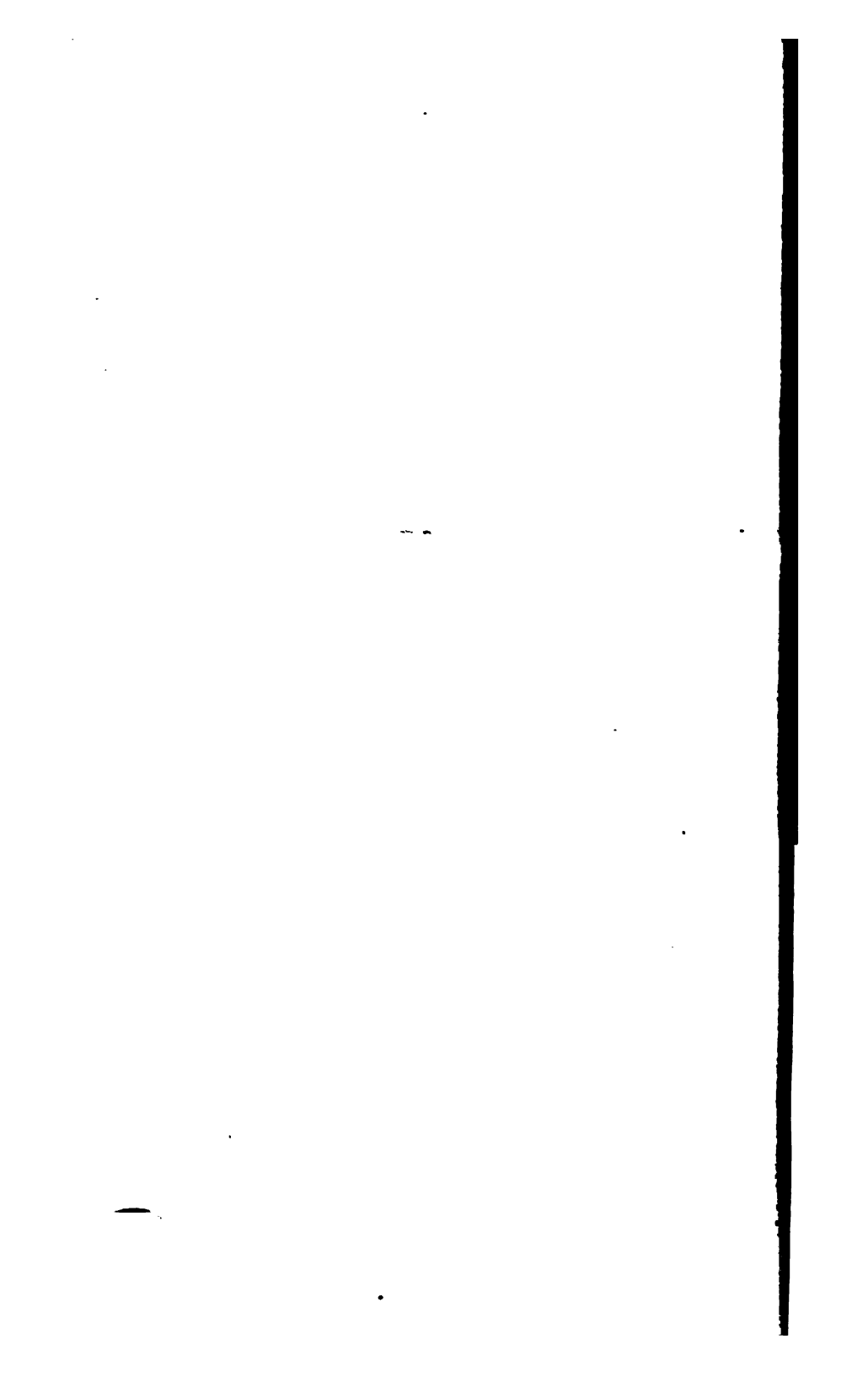


Fig. 11





Explosion d'un bouilleur réchauffeur

Fig. 5. Coupe transversale

