

TRAVAUX PUBLICS

PAR

H. HERSENT,

Jugeant civil. Entrepreneur de Travaux publics

N. 15511



VII 6/10

TRAVAUX PUBLICS

OUVRAGES EXÉCUTÉS AU MOYEN DE L'AIR COMPRIMÉ

DRAGAGES, DÉROCHEMENTS, TERRASSEMENTS

OUTILLAGE

DESCRIPTION DES MOYENS D'EXÉCUTION

Machines, Engins et Installations diverses

Par H. HERSENT,

*Ingenieur civil, Entrepreneur de Travaux publics,
Chevalier de la Légion d'honneur, Décoré de plusieurs Ordres étrangers,
Ancien Président de la Société des Ingénieurs civils, etc.*

J. N. 11511



PARIS

IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE CENTRALES DES CHEMINS DE FER

IMPRIMERIE CHAIX

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE SIX MILLIONS

Rue Bergère, 20

1889

W. Chaix

XXX

1171



III 17993

Akc. Nr. _____ 134/52

PRÉFACE

Depuis que l'emploi de la vapeur a mis à la disposition des travailleurs une force presque sans limite; depuis que la création des chemins de fer, la navigation à vapeur et la télégraphie ont permis l'échange plus rapide des idées, et rendu les déplacements plus faciles, les conditions économiques du monde entier et les relations internationales se sont trouvées complètement bouleversées.

Toutefois, en constatant l'amélioration extraordinaire produite dans la vie matérielle et intellectuelle des peuples, depuis une cinquantaine d'années, malgré les perturbations qui ont changé des formes de gouvernement et modifié des nationalités, on est porté à croire que nous ne sommes qu'au début de cette période; et, si l'avenir peut nous réserver des déceptions, il nous révélera des progrès plus importants encore.

Les travaux publics, par leur développement graduel, ont certainement le plus contribué à cette prospérité générale.

Pour eux, le problème s'est toujours posé ainsi: « faire mieux et moins cher »; aussi pouvons-nous constater que les grands ouvrages tels que: ports, canaux, chemins de fer, etc., coûtent bien moins aujourd'hui, quoique les ouvriers reçoivent un salaire notablement plus élevé.

En même temps, nous avons vu des entreprises, considérées naguère comme impossibles, devenir, actuellement, d'une exécution courante.

Ces résultats sont dus à l'outillage, sans cesse perfectionné, qui est la source de toute richesse industrielle et agricole. Il représente le capital le plus important qu'une génération laisse à celle qui lui succède; il intéresse toutes les classes de la société et permet à l'ouvrier de produire davantage avec moins de fatigue physique; il demande plus à l'intelligence et moins au corps; il élève l'individu.

Pour faire ressortir les progrès réalisés, il nous a paru intéressant de réunir ici tous les ouvrages que nous avons exécutés depuis trente ans. Ces résultats ont été acquis lentement; aussi pour les percevoir avec quelque précision est-il nécessaire d'en faire la comparaison sur une période assez étendue.

Les travaux auxquels nous avons été attaché, depuis notre jeunesse, bien que classés parmi les plus difficiles et les plus pénibles, occasionnent peu de grèves, et les différends, entre patrons et ouvriers, y sont rares.

Ils nous ont généralement laissé la satisfaction de constater que les hommes vigoureux et intelligents qui les exécutent sont presque toujours contents d'eux-mêmes et de leur situation.

Évidemment, une entreprise de travaux publics n'est pas une école de philanthropie; mais, même au point de vue spécial de travaux, dans lesquels l'emploi des machines et des installations mécaniques tient la première place, on peut affirmer que la vraie philanthropie y est largement pratiquée car les hommes, qui ont su s'y faire une place, n'en sortent plus que par manque de travail.

Les résultats que nous avons atteints, dans ces dernières années, nous fournissent, ici, l'occasion de reporter nos souvenirs en arrière et de rendre hommage à M. A. Castor, qui fut, pendant dix-huit ans, notre maître et notre conseiller (1).

Nous sommes également heureux de remercier les nombreux Ingénieurs, sous les ordres desquels nous avons exécuté des travaux quelquefois difficiles : l'appui de leurs lumières nous a été d'un grand secours.

Enfin, nous avons grand plaisir à reconnaître le concours habile et dévoué de nos collaborateurs, parmi lesquels nous citerons M. Langlois, un ami de jeunesse, qui a dirigé et mené à bien les difficiles travaux des bassins de Missiessy, à Toulon ;

M. Coiseau, qui a dirigé, sur place, les travaux maritimes d'Anvers ;

MM. Baruzzi et Leclerc, qui ont dirigé l'entreprise du bassin de radoub de Saïgon en Cochinchine ;

M. Marié, Ingénieur, qui nous a secondé, depuis huit années, pour les études techniques de nos divers ouvrages ;

Et tant d'autres, dont le dévouement et l'habileté nous ont permis de résoudre les difficultés de chaque jour.

Paris, Avril 1889.

(1) M. Castor, décédé en 1873, a publié un Recueil de machines et appareils employés dans les travaux publics ; il était officier de la Légion d'honneur.

INTRODUCTION

En réunissant, dans un volume, les nombreux renseignements que nous avons recueillis sur les travaux exécutés à diverses époques, nous avons pour but de faire ressortir les progrès qui ont été réalisés dans le cours de notre carrière, et de mettre, à la portée de tout le monde, l'expérience que nous avons acquise.

Cet ouvrage est divisé en quatre chapitres :

Dans les trois premiers sont exposés par catégories : les travaux effectués avec l'emploi de l'air comprimé : les dragages, dérochements, terrassements, exploitation de carrières, avec l'indication des difficultés particulières qu'on y a rencontrées, et, en même temps, des moyens de construction appliqués.

Le quatrième chapitre décrit spécialement la disposition des outils et des installations de chantier.

Dans chacun de ces chapitres les questions sont traitées dans l'ordre chronologique, de manière qu'on puisse facilement suivre les perfectionnements réalisés, notamment pour les appareils nécessaires à l'emploi de l'air comprimé et aux travaux de dragage. On sait que ces procédés ont pris leur origine et se sont développés exclusivement en France, pour pénétrer, ensuite, dans les autres États d'Europe et en Amérique.

Avant de commencer cette description, nous donnons, ci-après la liste des principaux ouvrages auxquels nous avons collaboré ou que nous avons exécutés nous-même.

NOMENCLATURE DES TRAVAUX EXÉCUTÉS PAR M. HERSENT :

1° Travaux dirigés pour le compte des Entrepreneurs, MM. Castor et Jacquetot, avec participation dans les bénéfices. — 1856-1860.

Remblais de la ligne de Mulhouse, en face Conflandey, au moyen de dragages dans la Saône et de débarquement par machines élévatoires	Fr. 800.000 »
Remblais, par les mêmes moyens, du chemin de fer de Genève à Lyon, entre le pont de Saint-Clair et les Brotteaux.	600.000 »
Ballastage et pose des voies des lignes de Creil, par Chantilly, et de Paris à Soissons. — Démolition des piles du Pont-au-Change, etc.	3.000.000 »
Fondation du pont de Kehl, sur le Rhin, au moyen de l'air comprimé (fonçage des piles, dragage, etc.).	1.500.000 »
	Fr. 5.900.000 »

**2° Travaux exécutés en participation, ou en association,
avec M. Castor. — 1860-1873.**

Dragages pour la fondation de la digue du large et des quais du port Napoléon, à Brest	Fr. 800.000 »
Creusement du bassin à flot et dérochement de l'avant-port de Boulogne-sur-Mer	800.000 »
Fondation, au moyen de l'air comprimé, des piles tubulaires du pont d'Argenteuil, culées, terrassements	2.700.000 »
Fondations tubulaires, au moyen de l'air comprimé, des ponts d'Orival et d'Elbeuf	2.000.000 »
Construction du viaduc de Poix et autres travaux, sur 42 kilomètres de longueur, pour la ligne de Rouen à Amiens	2.800.000 »
Fondation, au moyen de caissons en tôle et d'air comprimé, des piles des ponts d'Arles et de Saint-Gilles, sur le Rhône; ligne d'Arles à Lunel.	750.000 »
Fondation, au moyen de caissons métalliques et d'air comprimé, du pont de Revigo, sur l'Adige	450.000 »
Fondation des deux piles du pont-route d'Arles	300.000 »
Ballastage et pose des voies du chemin de fer de ceinture de Paris, sur la rive gauche, à partir d'Auteuil, de l'embranchement de Grenelle au Champ de Mars et dans l'Exposition de 1867.	600.000 »
Dragage d'un banc dans le chenal du port de Fécamp	80.000
Construction, au moyen d'un caisson métallique et d'air comprimé, d'un batardeau pour permettre l'agrandissement de la cale n° 5 du port de Brest	300.000 »
Construction du mur du quai de port de Bône et dragage de la darse	2.300.000 »
<hr/>	
<i>A reporter</i> . . Fr.	13.880.000 »

	<i>Report.</i> . . . Fr.	13.880.000 »
Construction du mur de quai du viaduc, dans l'arsenal de Brest.		500.000 »
Fondation des piles du pont de Molay, sur le Doubs.		140.000 »
Fondation, au moyen de caissons métalliques et d'air comprimé, des piles et culées des ponts de Duvivier, sur la Seybouse, et de Bougie, sur la Soummam, en Algérie		260.000 »
Exécution du dragage pour le chenal de l'écluse du port de Boulogne, et dernier creusement du bassin à flot		660.000 »
Fondation, au moyen de caissons circulaires métalliques et d'air comprimé des piles du pont tournant de Ranville, sur l'Orne, et de la Joliette, au port de Marseille.		200.000 »
Fondation, au moyen de caissons métalliques et d'air comprimé, des piles et culées du pont de Stadlau, sur le Danube.		2.000.000 »
Fondation de deux culées pour un pont de 100 mètres d'ouverture sur la Theiss, à Algyo, près Szegedin, lesquelles sont descendues à 21 et 22 mètres sous l'étiage		440.000 »
Fondation du pont de Linz, sur le Danube, exécutée avec les mêmes moyens qu'au pont de Stadlau		1.530.000 »
Fondation des piles et culées du pont « Franz-Josef », sur le Danube, au moyen de caissons et d'air comprimé et ouvrages accessoires.		2.200.000 »
Fondation de deux ponts sur la Dordogne, à Sainte-Foy et à Prigonieux, et d'un pont sur la Durance, au Saulce		500.000 »
Fondation de divers ponts, sur la Durance, à Saint-Auban, au Hocnard, près Nantes; sur la Tet, à Millas et à Ille.		600.000 »
Reconstruction du quai de l'artillerie, au port de Brest, au moyen de piliers fondés à l'air comprimé.		800.000 »
Fondation de divers ponts sur l'Aar, à Olten; sur le Buech, sur le Rhône au Crédo, sur le Doux et l'Erieux; sur la Garonne, à Toulouse.		4.000.000 »
Travaux du port de Philippeville, en cours d'exécution depuis 1866, en participation avec MM. Castor et Lesueur (Travaux continués par MM. Hersent et Lesueur).		16.000.000 »
	Fr.	<u>40.740.000 »</u>

3° Travaux exécutés, en association ou seul, de 1873 à 1888.

Travaux de régularisation du Danube, à Vienne, entrepris par MM. Castor, Couvreur et Hersent, et dirigés, sur place, par MM. Couvreur et Hersent.	Fr. 42.000.000 »
Travaux d'approfondissement et d'élargissement du canal de Gand, à Terneuzen, en Belgique (Castor, Couvreur et Hersent)	5.300.000 »
Travaux de l'écluse de Termonde, exécutés à l'abri de batardeaux (Couvreur et Hersent)	250.000 »
Bassins de radoub de Toulon, dans la darse de Missiessy, au moyen d'immenses caissons métalliques (avec le concours de M. Langlois)	7.500.000 »
Pont de Castagnède, de la Drôme, et de Casamozza (Corse).	800.000 »
Curage du canal et du port de Carentan	30.000 »
Écluse de chasse, au port de Honfleur, comprenant un arrière-radier, fondé au moyen d'un caisson métallique et d'air comprimé, de 42 mètres de longueur, sur 3 mètres de largeur et 7 mètres de hauteur	800.000 »
Nouvelles installations maritimes du port d'Anvers, comprenant 3,300 mètres environ de quais, fondés au moyen de l'air comprimé, des bassins de batelage avec 1,300 mètres de quais, une écluse, des ponts, etc. (Couvreur et Hersent)	45.000.000 »
Dérochement dans le port de Brest, pour l'enlèvement de la roche « La Rose »	1.200.000 »
Fondation par l'air comprimé, des 3 piles du pont de Cadillac, sur la Garonne.	400.000 »
Fondation du viaduc du Val Saint-Léger, à Saint-Germain-en-Laye, avec ou sans air comprimé, jusqu'à 35 mètres de profondeur	400.000 »
Recoupement, sous l'eau, du radier du bassin n° 2 de l'arsenal de Brest.	420.000 »
Participation à l'organisation des travaux du canal de Panama, direction des études, du tracé et des sondages; construction et expédition du matériel de chemin de fer, dragues, bateaux à vapeur, atelier, constructions diverses dans l'isthme, marchés de fournitures et de travaux (Couvreur et Hersent)	50.000.000 »
	<i>A reporter.</i> Fr. 483.700.000 »

	<i>Report.</i>	Fr.	
	153.70.000	»	
Dragages dans le port de Trouville avec transport des produits au moyen de tuyaux et d'eau	76.000	»	
Construction d'écluses, sur la Seine, à Saint-Aubin, près Elbeuf, au moyen de caissons métalliques et d'air comprimé (Hersent et Langlois).	2.000.000	»	
Dérochement et creusement de l'entrée du port de Cherbourg	2.000.000	»	
Fondation par l'air comprimé, du pont de Saint-Florent (Corse)	36.000	»	
Fondation par l'air comprimé, à l'aide de caissons des quais d'Elbeuf.	800.000	»	
Dragage et dérochement de la Charente (Hersent et Langlois)	1.800.000	»	
Creusement à la drague, avec long couloir, du canal de Marans (Hersent et Langlois)	1.200.000	»	
Quai et soubassement de grue, au moyen de l'air comprimé dans le port de Lorient.	500.000	»	
Démolition d'un batardeau, recoupement de vieux ouvrages et roches sous-marines, à la cloche, dans le port de Lorient.	125.000	»	
Réfection et creusement du bassin de radoub, n° 8, du port de Cherbourg	1.650.000	»	
Construction d'un bassin de radoub à Saïgon (Cochinchine)	7.000.000	»	
Fondation de 4 ponts pour le chemin de fer de Cahors à Capdenac.	400.000	»	
Construction de deux puits filtrants pour les eaux d'Albi	36.000	»	
Fondation de deux ponts roulants, dans l'arsenal de Brest.	450.000	»	
Fondation des piles et culées du pont Saint-Michel, à Toulouse (Hersent et Langlois).	800.000	»	
Curage de canaux de dessèchement, pour le syndicat de la Dives, et dragage de la Dives	52.000	»	
Ecluse du Carnet (canal maritime latéral à la Loire) (Hersent et Langlois)	2.500.000	»	
Réfection de quais au port de Dunkerque et construction de nouveaux quais.	1.500.000	»	
Puits filtrant pour la ville de Chambéry.	18.000	»	
Dérochement à l'entrée du bassin, n° 2, dans le port de Lorient	100.000	»	
Emprise dans la baie de Bougie, pour l'établissement de la gare maritime (Hersent et Lesueur).	715.000	»	
	<hr/>		
	Fr.	477.458.000	»

4° Travaux en cours d'exécution

Travaux du port de Lisbonne, comprenant :

10 kilomètres de quais, les terre-pleins, des darses, 2 bassins de radoub, des hangars et une installation de force hydraulique avec les engins de levage.	Fr. 60.000.000 »
Remblais d'emprises, sur le Tage, pour le passage de la voie ferrée de Lisbonne à Belem. — Travaux de défense des rives, égouts, etc.	12.000.000 »
	<u>Fr. 72.000.000 »</u>

RÉCOMPENSES REÇUES

1873. — Médaille de progrès à l'Exposition de Vienne, décernée à MM. Castor et Hersent, pour le batardeau de Brest.
1875. — Ordre de la Couronne de fer d'Autriche (3^e classe), à l'occasion de l'inauguration de la régularisation du Danube.
1878. — Diplôme d'honneur à l'Exposition universelle de Paris.
1880. — Grand prix de construction de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (Fondation Elphège Baude).
1880. — Ordre de la Légion d'honneur.
1884. — Grande Médaille d'Or de la Société des Ingénieurs civils pour le meilleur mémoire de l'année.
1884. — Ordre du buste de Bolivar, pour un projet de port à la Guayra.
1885. — Diplôme d'honneur à l'Exposition d'Anvers, pour travaux du port. Médaille d'Or pour les travaux du bassin de Saïgon (alors en construction).
1886. — Ordre de Léopold, lors de l'inauguration du port d'Anvers.
1887. — Ordre du Cambodge (commandeur) pour travaux en Cochinchine.
1888. — Ordre du Dragon de l'Annam (commandeur) pour travaux en Cochinchine.
- En outre : M. LANGLOIS a reçu l'ordre de François-Joseph pour les travaux de la régularisation du Danube et l'ordre de la Légion d'honneur, à l'occasion des bassins de Missiessy ;
- M. COISEAU, l'Ordre de Léopold, à l'occasion des quais d'Anvers ;
- M. BARUZZI, l'Ordre de la Légion d'honneur et du Cambodge, et
- M. LECLERC, l'Ordre du Cambodge pour les travaux de Saïgon.

CHAPITRE PREMIER

TRAVAUX EXÉCUTÉS AU MOYEN DE L'AIR COMPRIMÉ

Considérations générales sur l'emploi de l'air comprimé pour l'exécution des travaux hydrauliques.

Les travaux hydrauliques, exécutés au moyen de l'air comprimé, sont considérables et ont été l'objet d'un grand nombre de publications, notamment dans les *Annales des Ponts et Chaussées* et dans les bulletins de la Société des Ingénieurs civils; de sorte qu'à présent la vulgarisation des procédés permet, presque à tout le monde, d'en faire emploi.

Les travaux de fondation des piles du pont de Kehl furent laborieux et difficiles. La dépense fut très grande, mais les conséquences ont été riches en résultats. Depuis lors, tout a été simplifié : construction des caissons, disposition des écluses à air, compresseurs d'air, etc.

Enfin, l'expérience a amené la suppression des échafaudages, très coûteux dans beaucoup de circonstances; ce qui fait qu'actuellement on remorque, généralement, les caissons à flot, jusqu'à l'endroit où on doit les échouer.

La forme des contrats, presque toujours à forfait, sous la responsabilité du constructeur, a, aussi, puissamment contribué au développement des nouveaux procédés de constructions hydrauliques. On a supprimé ainsi la plus grande partie des entraves, que contenaient les marchés administratifs, qui augmentent, dans une large mesure, le

prix de revient des travaux sans amélioration du résultat (1). Il s'agit, en réalité, aussi bien pour le constructeur que pour l'administration de contrôle, d'arriver, le plus correctement et le plus simplement possible, à la réalisation satisfaisante d'un ouvrage défini, qui ne devrait pas pouvoir être modifié, ni être susceptible de coûter plus cher que les prévisions.

Ces diverses améliorations sont l'œuvre de quelques hommes d'initiative, qui en ont poursuivi, pendant assez longtemps, la réalisation, en appliquant, dans chaque cas particulier, ce que l'expérience leur avait appris.

Au pont de Kehl, on fut très préoccupé de la possibilité de descendre ensemble trois ou quatre caissons de 40^m,60 de surface, tandis que, vingt ans après, pour les bassins de Missiessy, à Toulon, on a opéré, sans plus de difficulté, sur des caissons uniques de 5,800^m de surface.

M. le docteur Folley, qui nous donna ses conseils, en 1864, lors de l'exécution du pont d'Argenteuil, fit des expériences sur les effets physiologiques de l'air comprimé agissant sur les poissons et les oiseaux, en même temps qu'il observait ce qu'éprouvaient les hommes; et il est parvenu à déterminer, avec une certaine précision, les effets produits sur l'organisme humain par la pression de l'air.

Ces études ont permis de guérir vite les indispositions résultant de l'emploi de l'air comprimé (ou tout au moins d'en diminuer la fréquence et la gravité), indispositions qui ne sont, en général, que des affections de la peau ou des congestions locales.

Dans cet ordre d'idées, nous avons fait, à Toulon, une piscine d'eau chaude pour permettre aux travailleurs, sortant de l'air comprimé, de réagir contre la sensation de froid qui résulte de la décompression de l'air après l'éclusement, et de conjurer ainsi les rhumatismes accidentels ou les congestions, occasionnés par les refroidissements.

A Brest et à Cherbourg, les hommes qui ont travaillé dans les cloches à dérochement, pendant plusieurs années, sans interruption, ont été presque indemnes des accidents précédemment observés. Nous avons attribué une partie de ce résultat à l'ascension obligatoire, à l'air libre, de l'escalier de seize mètres de hauteur, qui existait entre l'écluse à air et la plate-forme. La nécessité, pour chaque homme, de faire cette ascension le for-

(1) On est fondé à croire qu'en appliquant la même manière de procéder à tous les travaux publics, il serait possible de réaliser de très grandes économies pour l'exécution des ouvrages, sans en amoindrir la qualité. Déjà, on met au concours, sur programme défini, la construction de ponts de grandes dimensions, et les constructeurs, qui les exécutent, d'après leurs propres projets, à raison d'un prix déterminé par eux, n'ont aucun motif pour faire des réclamations en fin de compte; cela est tout à fait différent lorsqu'il s'agit de l'exécution de marchés au rabais, où il n'est pas rare de voir des décomptes dépasser de 50 0/0 les prix de l'adjudication, sur lesquels on avait consenti 15 ou 20 0/0 de rabais.

çait à une gymnastique qui ramenait immédiatement la chaleur à la peau et rétablissait l'équilibre de la circulation, si elle avait été un moment interrompue.

Pour terminer cet aperçu, il est nécessaire de faire ressortir que les ouvrages construits au moyen de l'air comprimé ont été, généralement, soumis à une direction un peu différente des autres travaux publics et entourés d'une plus grande sollicitude, en harmonie avec la nouveauté des procédés mis en œuvre.

Ces considérations, celles concernant la protection des travailleurs, l'intervention des machines, ont permis d'améliorer successivement la production en demandant moins à chacun.

En réduisant la hauteur des chambres de travail des caissons, qui était de 3^m20 à Kehl, 2^m40 à Arles, 2 mètres à Vienne, et 1^m90 à Toulon, on est parvenu à diminuer, sensiblement, le travail de remplissage, sans nuire au travail d'extraction ; cela a permis de faire flotter les caissons avec un tirant d'eau plus petit, tout en augmentant la résistance des parois et en diminuant la quantité de métal utilisé.

L'extraction du déblai, dans la chambre de travail, a été améliorée par les écluses à double sas, par les écluses à éclusettes, employées pour le fonçage des piles de pont et pour les cloches à dérochement, et surtout par l'extension du siphonnement, qu'on n'appliquait, à l'origine, qu'aux terrains demi-liquides. Peu à peu on a pris l'habitude de liquéfier tous les terrains, qui en sont susceptibles, pour les siphonner en dehors de la chambre de travail, afin d'éviter de les écluser.

L'éclairage électrique est venu apporter son contingent d'amélioration dans les ouvrages exécutés au moyen de l'air comprimé et a remplacé la bougie dont la fumée, s'ajoutant à la poussière de l'air, faisait tousser les travailleurs.

Enfin le nombre des maladies locales a diminué et les indispositions sont devenues de plus en plus rares, parce qu'on a su mieux soigner les ouvriers, qui, eux-mêmes, ont fait usage des précautions hygiéniques mises à leur portée.

L'habitude des ablutions froides ou chaudes, qui ramènent la circulation à la peau, a beaucoup contribué à cette amélioration et on peut, dès à présent, considérer le travail dans l'air comprimé comme absolument dépourvu de dangers, pour la santé humaine, jusqu'à des profondeurs de 20 à 30 mètres sous l'eau, correspondant à une pression de trois à quatre atmosphères.

Les principaux ouvrages, construits au moyen de l'air comprimé sont, dans l'ordre chronologique :

1860 — Fonçage des quatre piles du pont de Kehl, pour la Compagnie des chemins de fer de l'Est — (Castor et Jacquilot).

1861 — Fondation des piles du pont de la Voulte et du Var — (Fives-Lille).

1862 — Fondation des piles du pont du Scorff — (Ernest Gouin et C^{ie}).

1863 — Fondation des piles du pont d'Arles, sur le Rhône, et de l'Adige, à Rovigo (type de caisson généralement adopté depuis) — (Castor et Hersent).

1866 — Fondation d'un batardeau dans le port de Brest ; coupure du rocher sous l'eau ; soudure en béton aux extrémités ; partie démontable — (Castor et Hersent).

1867 — Fondation des quais de la darse du port de Bône, au moyen de caissons de 3 mètres sur 3^m50, espacés de 13 mètres l'un de l'autre — (Castor et Hersent).

1867 — Fondation du pont-route d'Arles, au moyen d'échafaudages flottants et de caissons immergés dans 16 mètres de profondeur d'eau.

1868 — Fondation des piles du pont de Stadlau, sur le Danube, près Vienne (Autriche) — (Castor et Hersent).

Pile du pont de Ranville, sur l'Orne, près Caen (on y a rencontré une source montante 2 mètres plus haut que la haute mer).

1873 — Quais de l'artillerie dans le port de Brest — (Castor et Hersent).

1875-80 — Bassins de radoub de Missiessy, dans le port de Toulon, au moyen de caissons métalliques de 5,800 mètres carrés de surface et batardeaux mobiles — (avec le concours de M. Langlois).

1876-82 — Quais du port d'Anvers et autres ouvrages avec hausses mobiles.

Écluses de Saint-Aubin, sur la Seine, au moyen de caissons réunis et de hausses mobiles.

1888 — Quais du port de Lisbonne au moyen de caissons séparés, réunis sous l'eau par des linteaux maçonnés — (en construction).

Quais du port de Bordeaux d'après les mêmes principes.

Les travaux de fondation d'ouvrages au moyen de l'air comprimé ont été introduits, en Autriche-Hongrie, lors de la construction du pont du chemin de fer sur la Thejss, à Szegedin, par MM. Ernest Gouin et C^{ie} ; puis MM. Castor et Hersent ont fait les fondations des ponts de Stadlau et de Linz, sur le Danube. En Allemagne et en Suisse, plusieurs

ouvrages ont été construits par des Ingénieurs ayant suivi les travaux de MM. Castor et Hersent.

Enfin sont venues les cloches à dérochement, qui ont été le point de départ du caisson de phare construit, à l'embouchure de l'Elbe, par des Ingénieurs de la maison Hartkort, qui avaient suivi les travaux du pont du Thabor, à Vienne; de même, les travaux de l'écluse de Saint-Aubin ont été l'origine de l'emploi de l'air comprimé, pour les ouvrages de la canalisation de la Seine.

Après l'énumération succincte du développement de l'emploi de l'air comprimé, pour les constructions sous-marines, il est juste de rappeler que c'est en 1839 que M. Triger eut, le premier, l'idée de s'en servir pour le fonçage du puits des mines de Chalonnnes, à travers des couches aquifères, et que sa tentative fut couronnée de succès.

Nous avons reçu les conseils personnels de M. Triger, lors de la construction des ponts de Kehl, sur le Rhin, en 1839, et d'Argenteuil, sur la Seine, en 1862.

Il nous est resté aussi le meilleur souvenir de la haute direction de M. Fleur-Saint-Denis, pour les ouvrages du pont de Kehl, et de sa sollicitude pour le fonçage des caissons métalliques en tôle, qui était son œuvre.

Après s'être acclimatée sur le continent européen, la nouvelle méthode de bâtir sous l'eau a fait ses preuves en Amérique, lors de la construction des ponts de Saint-Louis et de Brooklyn, et elle a fait récemment son apparition, en Angleterre, pour le pont sur le Forth, dont les piles ont été foncées avec notre outillage d'Anvers.

Actuellement, il y a de grandes probabilités pour que l'emploi de l'air comprimé soit préféré dès qu'une construction présente quelques difficultés d'exécution, même quand ce n'est pas tout à fait indispensable, tant cette solution est radicale et sûre. Les ouvrages cités, qui ont été exécutés depuis vingt-huit ans, en sont la preuve. Les accidents sont peu fréquents et les prévisions de dépenses rarement dépassées. Les Ingénieurs, chargés de la direction des travaux, sont ainsi exonérés des préoccupations que donnent les ouvrages difficiles.

Aussi éprouvons-nous un sentiment de satisfaction à constater que c'est en France que ces nouveaux procédés de construction sous-marine se sont développés après y être nés.

Description succincte des fondations du pont sur le Rhin, à Kehl. 1859-1860.

Lors de la construction du pont sur le Rhin, à Kehl, l'exécution des travaux projetés était un problème difficile à résoudre. Un grand nombre d'Ingénieurs de tous les pays s'intéressèrent au succès de cette entreprise, qui devait être le point de départ d'un progrès considérable.

MM. les Ingénieurs de la Compagnie de l'Est durent s'assurer le concours d'hommes pratiques, dont l'expérience était indispensable pour vaincre des difficultés auxquelles on ne s'était pas heurté jusque-là, et MM. Castor et Jacquolot, qui exécutaient, à ce moment, des travaux de dragages dont la direction nous avait été confiée, furent chargés de l'entreprise du fonçage des piles, au moyen de l'air comprimé.

Nous n'avons pas besoin de refaire l'historique de ces intéressants travaux, décrits par M. Castor, dans son ouvrage, et par MM. Vuignier et Fleur-Saint-Denis, dans un travail, plus complet, publié en 1861.

Aujourd'hui, le côté intéressant de la construction du pont de Kehl est l'examen rétrospectif qu'on en peut faire, après vingt-huit ans, pour constater les résultats acquis.

On fit, à Kehl, des installations importantes pour assurer le service des maçonneries, de grands échafaudages couverts pour le montage et la manipulation des caissons et des accessoires. Ces échafaudages servirent aussi à l'installation du fonçage et à la manutention des matériaux de maçonnerie.

On avait tout prévu et largement prévu; le succès couronna l'entreprise, mais il coûta cher.

La combinaison des quatre caissons séparés, à foncer simultanément, était une petite erreur de la convention internationale, qui réglait la répartition des dépenses entre le duché de Bade et la Compagnie de l'Est.

La disposition des caissons était bien étudiée et, sauf la partie inférieure de la première pile, qui manqua de solidité, tout alla bien. Les caissons, de 7 mètres sur 5^m,80 ont pesé, 32,000 kilogrammes à la première pile et 33,000 kilogrammes pour les autres piles; cela fait près de 800 kilogrammes par mètre carré, dans le premier cas, et près de 900 kilogrammes dans le second.

Le remplissage, dans les compartiments que formaient les poutres du plafond fut une difficulté et le revêtement en bois, autour de la maçonnerie de la première pile, fut considéré comme une erreur. À la seconde pile-culée, on mit quelques rangées de hausses métalliques, qui rendirent le même service, plus économiquement; et, enfin, on se contenta

de maçonner en faisant le parement des maçonneries en moellon smillé bien uni. A la partie supérieure, on fit un batardeau, scellé aux dernières assises de parement en libages, et on put poser les premières assises du socle, sous l'eau, sans difficulté. Les deux autres piles furent descendues avec une seule hausse en tôle et la maçonnerie parementée en moellon smillé.

Le fonçage, exécuté au moyen du dragage des déblais dans une cheminée centrale, était très bien approprié au pont de Kehl, à cause du volume à déblayer, qui était considérable ; mais il avait l'inconvénient de nécessiter une grande installation.

Nous fûmes spécialement chargé de conduire la descente des caissons, en les prenant sur l'échafaudage, pour les mettre à l'eau, et de les foncer jusqu'à 20 mètres de profondeur sous l'étiage, à travers une couche de gravier et d'alluvion.

Ces difficiles et délicates opérations nous firent acquérir une expérience dont nous avons essayé de profiter et dont les résultats appartiennent, maintenant, à l'art des constructions. Elles ont nécessité de grandes précautions, sous peine d'insuccès, et, généralement, elles ont bien réussi.

Les maçonneries du pont de Kehl ont été exécutées avec du ciment, ce qui en a élevé le prix. Mais la grande dépense provient, surtout, des installations très importantes, qu'on dut faire pour assurer la réussite et la rapidité d'exécution de ce travail d'un nouveau genre.

On peut estimer que les travaux de fondation du pont de Kehl ont coûté :	
La maçonnerie, le mètre cube, environ	Fr. 65
La fouille du sol, pour l'enfoncement, environ	50
La fourniture de la tôle, environ	35
La fourniture de l'air comprimé et des appareils.	50
Soit en tout	<u>Fr. 200</u>

Et quand on applique aux seules maçonneries des piles les dépenses accessoires des ponts provisoires, échafaudages et installations de toute sorte, on arrive à des prix de revient beaucoup plus élevés ; mais on n'est pas autorisé à critiquer ces dépenses, puisqu'elles étaient nécessaires pour mener à bien un grand travail, sans précédent, dans un temps très court.

La planche I, (fig. 1, 2, 3), montre la coupe et le plan des caissons de fondation du pont de Kehl. Les chambres de travail ont 2^m,40 de hauteur sous la poutre transversale, qui a elle-même 0^m,50, ce qui fait 2^m,90 de hauteur sous le plafond.

Les tôles ont 7 et 8 millimètres d'épaisseur. Le fer du tranchant n'avait, à la première pile, que 120/15 ; pour les autres piles, cette pièce fut notablement renforcée.

Les caissons étaient traversés, suivant leur axe, par une cheminée verticale en tôle, descendant jusqu'au bas, et réservée pour le passage d'une chaîne à godets, qui servait à extraire et remonter au jour les déblais provenant du lit du fleuve. Ils étaient, en outre, surmontés de deux autres cheminées, de plus petit diamètre, par lesquelles arrivait l'air comprimé fourni par les machines soufflantes. Ces deux cheminées établissaient la communication, de l'intérieur des caissons, au moyen des écluses, ou sas à air, dont elles étaient surmontées.

Les caissons étaient reliés par des boulons ou des rivets, de manière à les rendre parfaitement solidaires ; on les soulevait ensuite à l'aide d'un système de vérins puissants ; on enlevait la partie centrale du plancher qui les supportait, puis on les immergeait jusqu'à ce que leur partie supérieure fût, à peu près, à fleur d'eau. C'est à ce moment que l'on commençait à établir la maçonnerie au-dessus du plafond, en ménageant les trois vides nécessaires au passage des cheminées, et on continuait à l'élever à mesure que les caissons descendaient.

Pendant cette opération, on ajoutait des longueurs aux trois cheminées de chaque caisson, de manière à tenir leur tête constamment hors de l'eau.

Quand les caissons furent arrivés au fond du fleuve, on envoya de l'air comprimé dans les chambres de travail, de manière à en chasser l'eau ; les ouvriers purent alors y descendre, puis, à l'aide de pioches, désagréger le gravier et le faire rouler sous les cheminées dans lesquelles manœuvraient les dragues.

A mesure que les déblais arrivaient au jour, on desserrait les vérins pour laisser descendre les caissons, en même temps qu'on continuait à élever la maçonnerie, qui devait rester sensiblement au même niveau au-dessus de l'eau.

Au début des travaux, pour satisfaire aux conditions de la convention internationale, on avait eu le projet de descendre les caissons séparément ; mais, au moment de commencer cette opération, on pensa que c'était une erreur et on réunit ceux de la première pile-culée, par quelques boulons qu'on avait la possibilité d'enlever après l'immersion. On essaya d'opérer le fonçage sans les découpler, et les résultats de cet essai furent tellement satisfaisants que, pour les trois autres piles, non seulement on les réunit complètement, mais encore on ménagea, entre eux, des ouvertures pour communiquer de l'un à l'autre.

Dans ces conditions, la descente des caissons à travers le sable a été de 10 à 12 centimètres par heure, atteignant, quelquefois, 14, dans les premiers mètres de fonçage ; elle diminuait jusqu'à 3 centimètres, dans les derniers mètres, à cause de la plus grande résistance de frottement.

La moyenne a été de 7 centimètres et demi par heure.

En résumé, grâce aux moyens énergiques d'exécution et aux perfectionnements, qui ont été successivement apportés, on a mis : 85 journées de 10 heures pour fonder la première pile, 34 pour la seconde, 26 pour la troisième et 22 pour la quatrième.

Fondation des ponts sur la Seine, à Argenteuil, Orival et Elbeuf.

La construction des piles du pont de Kehl avait causé une grande impression parmi les Ingénieurs. Le moyen était hardi, sûr, mais la dépense avait été telle qu'on n'osait à peine y recourir.

La multiplicité des questions de détail, que nous avons eu à résoudre, et surtout l'expérience acquise dans un pareil travail, nous avaient suggéré, au point de vue de la simplicité, de la sûreté et de l'économie, une série de perfectionnements dont l'entreprise du pont d'Argenteuil, sur la Seine, puis, successivement, celles des ponts d'Orival et d'Elbeuf nous permirent de faire l'application.

Les piles de ces ponts sont formées, chacune, de deux tubes ou colonnes composés d'un certain nombre d'anneaux en fonte. Ces deux tubes sont reliés, entre eux, hors de l'eau, par des entretoises contreventées par une croix de Saint-André en fer.

Les anneaux, d'une hauteur uniforme d'un mètre, ont, au-dessous de l'étiage, 3^m,60 de diamètre et, au-dessus, 3^m,20. Ces deux parties, d'inégal diamètre, se raccordent au moyen d'un anneau spécial, de forme cylindro-conique. L'épaisseur est variable suivant la position: l'anneau inférieur, qui doit pénétrer, le premier, dans le sol, a 55 millimètres d'épaisseur et est terminé, à sa partie inférieure, par un biseau.

Les six anneaux, au-dessus de l'étiage, de la colonne d'amont, la plus exposée au choc des glaces et des bateaux, ont 50 millimètres d'épaisseur tandis que les autres ont, indistinctement, 38 millimètres. Les anneaux sont réunis, l'un à l'autre, au moyen de brides intérieures venues de fonderie, et assemblées, deux à deux, par quarante boulons de 30 millimètres de diamètre.

La chambre de travail est constituée, au bas du tube, par le premier anneau et par une cage tronconique formée de barreaux en fonte, qui viennent s'appuyer, d'une part, sur le premier joint et, d'autre part, sur la base de la cheminée. Ils sont reliés, en leur milieu, par une couronne qui sert, en même temps, d'appui à une deuxième série de barreaux plus courts, placés entre les premiers, et reposant, comme eux, sur la bride de l'anneau inférieur. Ce cône, à claire-voie, est recouvert de maçonnerie sur toute sa surface et forme le plafond de la chambre de travail des ouvriers chargés de l'extraction des déblais.

A partir du sommet du cône à claire-voie commence la cheminée centrale, de 1^m,40 de diamètre, réservée pour la descente des ouvriers et la manœuvre des petites bennes chargées de déblais.

L'espace annulaire compris entre la cheminée et le tube est rempli de béton, qu'on coule au fur et à mesure de la descente, afin d'augmenter la charge nécessaire pour vaincre les frottements extérieurs et pour résister aux efforts de soulèvement que l'action de l'air comprimé produit sur la masse immergée. Toute la charge est, comme à Kehl, supportée par des tiges en fer, attachées au premier anneau du tube par quatre oreilles; on les rallonge à volonté et on les manœuvre, depuis le plancher supérieur de l'échafaudage, à l'aide de vérins.

Le système que nous venons de décrire se recommandait par sa simplicité et par l'économie qu'il permet de réaliser en reportant, aussi bas que possible, le lestage qui a facilité la descente, sans déviation sensible et sans accident, jusqu'à des profondeurs de 16 à 20 mètres au-dessous du niveau de la Seine, à travers un sol composé de sable, d'argile, de rognons et de pierres d'un volume quelquefois considérable.

Pour les ponts de Lyon, Mâcon, Culoz et Saint-Germain-des-Fossés, on avait dû apporter du lest en rails pour faire pénétrer les tubes dans le sol.

Fondation des ponts sur le Rhône, à Arles et Saint-Gilles, et sur l'Adige, à Rovigo, en 1865.

L'emploi de la fonte étant fort coûteux, nous pensâmes, à l'époque de la construction du pont d'Argenteuil, qu'il viendrait un moment où MM. les Ingénieurs des Compagnies en feraient l'abandon, au moins momentanément, pour lui substituer la tôle, qui permet d'établir, d'un seul coup, des fondations sur de plus larges surfaces, tout en exigeant une dépense relativement moindre. Nos prévisions se réalisèrent en 1865, lorsque nous fûmes chargé d'établir, d'après ce système économique, les fondations de trois ponts, sur des rivières importantes où l'emploi des moyens ordinaires eut été difficile. Le premier et le second de ces ouvrages appartiennent au chemin de fer d'Arles à Lunel, le troisième est établi sur le chemin de fer de Padoue à Rovigo, en Italie.

Nous cherchâmes, avec M. A. Castor, comment on pourrait obtenir des caissons solides avec une quantité de fer relativement faible.

La disposition, qui est résultée de nos études, a été publiée par M. Castor et elle est la seule en usage, à présent. Elle a servi de point de départ aux imitateurs, qui l'ont considérée comme la disposition type.

Cette disposition de caisson (*Pl. I, fig. 4, 5, 6*), dans laquelle la tôle du plafond, qui sépare la chambre de travail des maçonneries supérieures, est au-dessous des poutres, permet de faire le remplissage convenable de la partie inférieure, en dernier lieu et d'une manière relativement commode. Les poutres, immédiatement encastrées dans la maçonnerie sont plus rigides, et les contre-fiches inférieures, également remplies de maçonnerie, font, de cette base, un ensemble solide qui, dans certains cas, a traversé des terrains de résistance très inégale d'un point à l'autre, sans subir aucune détérioration, ou déformation.

Le poids du fer employé variait, pour la chambre de travail, entre 300 et 350 kilogrammes par mètre carré à la base.

Pour la pose des assises supérieures sous l'eau, et afin de protéger la maçonnerie contre son contact immédiat, nous avons préféré l'envelopper d'une tôle de 4 millimètres, formant un batardeau absolument étanche, plutôt que de la laisser à nu, comme on l'avait fait au pont de Kehl. L'enveloppe en fer n'est pas, d'ailleurs, plus coûteuse qu'un parement de maçonnerie et c'est une grande garantie pour le succès du fonçage.

Nous étadiâmes aussi, pour cette disposition de caisson, une écluse à air à double sas, moins lourde que celle qui avait servi à Argenteuil et à Kehl et nous sommes heu-

reux de constater, après vingt-trois années, que nous n'avons pas vu d'appareil mieux approprié à cette sorte de travaux, pour un usage général. En effet, outre qu'il permet d'enlever les déblais d'une manière continue, il contient une écluse spéciale pour introduire le béton du remplissage de la chambre de travail.

L'échafaudage fixe était nécessaire, tant pour monter le caisson que pour l'immerger à sa place. Pour cette dernière opération, on fit usage des vis qui avaient été utilisées au pont de Kehl.

Ces dispositions permirent d'exécuter les travaux de fondation à un prix voisin de 400 francs le mètre cube, et, à partir de ce moment, les constructions au moyen de l'air comprimé, ont pris un grand développement.

Pont-route sur le Rhône, à Arles.

Arles, la dernière station importante que l'on rencontre en descendant le cours du Rhône, est assise sur la rive gauche du fleuve et communiquait avec la rive droite, depuis 1798, à l'aide d'un pont de bateaux, souvent incapable de résister aux grandes crues et aux débâcles de glace. Les populations étaient donc obligées de subir, de temps en temps, des interruptions de communication avec la rive opposée et l'île de la Camargue. Ces interruptions, qui apportaient toujours une grande perturbation dans les relations commerciales, firent désirer la construction d'un pont fixe.

A la suite des travaux de fondation des deux ponts du chemin de fer d'Arles à Lunel, exécutés par nous, pour la Compagnie de Paris à la Méditerranée, nous fûmes chargé par M. l'Inspecteur général des Ponts et Chaussées Ducos, alors Ingénieur en chef des Bouches-du-Rhône, d'étudier les conditions dans lesquelles on pourrait établir, en plein fleuve, deux piles destinées à supporter un pont fixe. Les difficultés étaient grandes, étant donné l'état du Rhône, à l'endroit désigné pour les fondations.

En effet, la vitesse du courant varie de 4^m,80 par seconde, en temps ordinaire, à 3 mètres, dans les crues; la profondeur d'eau, à l'étiage, atteint 16 mètres; enfin, la fréquence des crues et la rapidité imprévue avec laquelle elles se produisent, rendent très dangereuse toute installation qu'on serait tenté d'établir provisoirement.

En raison des difficultés que nous venons de signaler, il fallait se préoccuper, d'une manière toute spéciale, des moyens à employer, non seulement pour construire ces piles, mais encore pour les amener sûrement en place.

Les piles ont été foncées: l'une à 17^m,82 et l'autre à 18 mètres sous l'étiage. A cette profondeur, on a rencontré un banc de gravier, à l'état de poudingue, formant une espèce de béton naturel, dans lequel les arêtes de la base des piles ont été soigneusement encastrées.

La forme de chaque pile est, en section horizontale, un rectangle de 8^m,40 de long, terminé, en amont et en aval, par des demi-circonférences. A la base, la largeur est de 6^m,40; plus haut, elle se réduit successivement à 5^m,60 et à 4^m,40. Cette dernière dimension est maintenue jusqu'à la hauteur de l'étiage, où se pose le socle supportant la portion de la maçonnerie qui apparaît au-dessus de l'eau.

La construction sous-fluviale a été faite, pour chaque pile, au moyen d'un caisson métallique (Pl. I, fig. 7, 8, 9) ayant une chambre de travail dont l'analogie, avec celle déjà

employée pour les ponts d'Arles et de l'Adige, nous dispense d'en donner la description. Les cheminées d'extraction des déblais, au nombre de deux; les écluses, ou sas à air, et le mode d'excavation ont été les mêmes. La section de ces caissons est celle des maçonneries, auxquelles ils servaient d'enveloppe.

La partie supérieure du caisson a été notablement modifiée. Au lieu de faire cette partie en tôles minces, suffisantes pour protéger la maçonnerie et pour former, dans le haut, un batardeau, nous lui avons donné une rigidité plus grande en l'entretoisant, de mètre en mètre, dans le sens de la hauteur, au moyen de colonnes en fonte à embase, pour lui permettre de résister à la pression extérieure de l'eau, jusqu'à 5 ou 6 mètres au moins de profondeur. L'épaisseur des tôles a varié de 4 à 8 millimètres, suivant les efforts à supporter par l'enveloppe.

Chaque caisson a été monté sur un échafaudage flottant posé, sur deux bateaux plats, jaugeant chacun 200 tonneaux et reliés invariablement, à l'avant et à l'arrière, pour maintenir entre eux l'écartement nécessaire à l'immersion du caisson.

En raison de la vitesse du courant, ainsi que de la fréquence et de la rapidité des crues, il a fallu prendre de très grandes précautions relativement aux amarres, afin d'échouer chaque caisson exactement en place où bien de pouvoir, pendant la construction, les emmener en lieu sûr, en cas de danger.

On sait, sans que nous ayons besoin de l'expliquer de nouveau, comment l'immersion graduelle du caisson est obtenue. Le poids de la maçonnerie, qu'on élève sur le plafond de la chambre de travail, détermine l'enfoncement de toute la masse, suspendue d'ailleurs aux vérins, qui permettent d'en régler, à volonté, la descente.

L'exécution des deux piles, suivant la méthode que nous venons d'expliquer, ne s'est pas faite sans quelques difficultés.

Pendant la construction de la première pile, le régime des eaux a présenté assez de régularité; mais l'élévation de la température a été la cause de graves inconvénients pour les ouvriers, obligés de travailler dans l'air comprimé, à 16 mètres de profondeur sous l'eau, sans passer par des pressions intermédiaires; aussi a-t-on renoncé, en partie, au travail de jour, pour ne continuer le fonçage que pendant la nuit.

Pour la seconde pile, nous avons eu à subir plusieurs crues successives, et, à une certaine époque, les glaces charriées par le fleuve nous ont, un instant, fait craindre que la sécurité de l'œuvre ne fût compromise. Toutes ces difficultés ont été heureusement surmontées et le travail de fondation a été terminé dans l'espace de moins de cinq mois.

Les travaux ont été exécutés, à forfait, à raison de 138,350 francs par pile, tout

compris : maçonnerie, tôlerie et frais accessoires. Le prix du mètre cube est revenu à 110 francs.

La mise en place de ces piles, qui ont flotté longtemps avant d'atteindre le tirant d'eau de 16 mètres, a nécessité des dispositions spéciales d'amarrage, qui ont produit de bons résultats, mais donnèrent de grandes préoccupations.

Batardeau démontable pour le port de Brest.

La forme de radoub, qu'on rencontre à l'entrée du port militaire de Brest, est l'un des premiers ouvrages de ce genre dont nos ports maritimes aient été dotés ; sa construction remonte au règne de Louis XIV. Pendant longtemps, elle rendit de nombreux services ; mais il arriva un moment où les modifications importantes subies par le matériel naval obligèrent de l'agrandir et de l'approfondir pour permettre l'entrée des navires de nouveau type.

Une entreprise, à forfait, fut chargée de ce travail, qui comportait l'établissement d'un batardeau, en avant du bateau-porte ; mais des difficultés de toutes sortes l'empêchèrent de réussir et les travaux durent être suspendus.

C'est alors que, sur la proposition de M. Collignon, Inspecteur des Ponts et Chaussées, il fut décidé qu'on nous confierait la construction d'un nouveau batardeau, que nous proposâmes d'établir à l'emplacement projeté, mais en employant notre méthode de fondation, c'est-à-dire au moyen d'un caisson en tôle et d'air comprimé.

Les difficultés d'exécution étaient augmentées par la présence des pieux, palplanches et de tous les étré sillonnements de la première entreprise, qu'il fallait enlever avant d'extraire les pièces de bois et les pierres provenant de travaux plus anciens.

L'endroit où le batardeau a dû être établi présente une vaste échancrure de rochers plongeant sous la mer, dont le fond accuse de la solidité, tant sur les points que la sonde avait atteints que sur ceux qu'on a pu reconnaître au moment où les plus basses eaux les ont mis, temporairement, à découvert.

Pour fermer la plus grande partie de cette échancrure et en épouser, en quelque sorte, le profil, il était indispensable d'établir, de suite, la fondation sur une grande largeur.

A cet effet, nous avons construit un caisson rectangulaire, en tôle, dont la chambre de travail a 27^m,20 de longueur sur 8^m,50 de large et 2^m,30 de hauteur. Au-dessus de cette première chambre, on en a établi une seconde, de même largeur, mais avec 21 mètres de longueur seulement et 2 mètres de hauteur, qui a servi pour le lestage, pour la facilité du démontage et de l'enlèvement des pièces. La partie inférieure était destinée à rester comme arrière-radier de l'écluse. Enfin, les parois verticales du caisson, servant à protéger la maçonnerie, ont été élevées à 10^m,50 de hauteur, à partir de la base.

Ce caisson ressemble, en grande partie, à ceux dont nous nous sommes déjà servi ;

cependant, nous ferons remarquer une disposition particulière, nécessaire pour établir une soudure étanche entre les flancs de la roche et le caisson.

Cette disposition consiste en trois rainures d'un mètre carré de section, régnant sur toute la hauteur des parois extrêmes du caisson, et ouvertes suivant la face qui regarde le rocher. Ces rainures ne sont en communication, avec la chambre de travail, que par des ouvertures ménagées, à 0^m,50 au-dessus de la base, et fermées par des tampons s'ouvrant de l'intérieur de cette chambre.

Le caisson fut échoué à sa place d'immersion en remplissant d'eau la chambre située au-dessus du plafond, puis on a commencé le fonçage et installé, en même temps, un échafaudage destiné au service de l'extraction des déblais et de la confection des maçonneries.

Pendant cette première période, l'alternance des marées nous créa de sérieux embarras. Les différences de charge, qui en résultaient pour le caisson, produisaient des oscillations que nous ne pûmes faire disparaître qu'en accumulant la maçonnerie aux deux extrémités, de manière à produire un lest de plus de 500 tonnes, et en ne travaillant, à l'air comprimé, que pendant les marées basses, jusqu'à ce que le caisson eût pénétré dans le sol, d'environ 2 mètres. A partir de ce moment, le travail devint régulier et put être poussé, avec plus d'activité, jusqu'à la fin.

En dehors des difficultés prévues, l'extraction des déblais n'a donné lieu à aucun incident qui vaille la peine d'être noté. Au fur et à mesure qu'on descendait, on rencontra, sous les arêtes du caisson, et dans l'eau, de nombreuses pièces de bois qu'on coupait avec de grands ciseaux pour pouvoir les sortir par les écluses.

La roche a été rencontrée presque au début de la fouille. On la détachait, soit avec des outils, soit au moyen de petites mines qu'on faisait partir sous l'eau ; à mesure qu'on descendait, ce travail demanda plus de temps, car la roche augmentait en étendue et devenait de plus en plus dure.

La partie la plus délicate de ce travail consistait dans la voie à faire pour le passage du tranchant du caisson et dans les précautions à prendre pour que ce caisson ne descendît pas brusquement. Nous sommes arrivé à un bon résultat en le soutenant au moyen d'un certain nombre d'étais en sapin, de 0^m,25 d'équarrissage, allant du sol au plafond et distribués sur toute l'étendue de la chambre.

Quand la fouille était préparée tout autour, sur une profondeur de 0^m,20 à 0^m,25, on faisait tomber la moitié des étais, tandis que le reste, en s'écrasant sous le poids de la charge, ménageait au caisson une descente douce et régulière.

C'est ainsi qu'après un travail suivi de cinq mois, nous sommes parvenu à la cote de

7^m,50 au-dessous du zéro, après avoir fait pénétrer le caisson de 9^m,05 dans la roche, et extrait les quantités de déblais suivantes :

Vase et pierraille	1.220 mètres cubes.
Roche	790 mètres cubes.
Fer et fonte	1.750 kilogrammes.
Bois de toutes sortes	103 mètres cubes.

La soudure des parois verticales, des extrémités du caisson, avec le rocher, s'est effectuée, à l'aide des rainures, disposées à cet effet. On a commencé par nettoyer le fond de chacune d'elles, à l'aide des ouvertures ménagées à la base, puis on a coulé une première couche de béton, qu'on a disposée avec soin, en descendant dans ces espaces étroits avec un scaphandre.

Après cette première couche, on en a coulé d'autres, successivement, au moyen de bennes spéciales, jusqu'au niveau des basses mers de vive-eau, et l'on est parvenu ainsi à établir une soudure, suffisamment étanche, entre les flancs de la roche et le caisson.

Pour effectuer le remplissage de la chambre de travail, on a fait, d'une part, sur le parement regardant la mer, un mur maçonné au mortier de ciment, ayant 2 mètres d'épaisseur, et, d'autre part, sur le parement opposé, un mur analogue, auquel on a donné une épaisseur d'un mètre; puis on a rempli le vide de béton, après avoir soigneusement soudé, avec du mortier, la base de l'ouvrage à la roche du fond, bien dénudée, sur toute sa surface.

Le reste des maçonneries nécessaires pour former un mur de soutènement de 16 mètres de hauteur, a été exécuté en travaillant à marée basse.

La réussite de l'œuvre a été telle que, lorsqu'on a procédé à l'épuisement, les filtrations totales de toute la surface du bassin de radoub n'ont pas produit 40 mètres cubes d'eau à l'heure, chiffre qui, en peu de temps, s'est abaissé à 10 mètres cubes.

La construction du batardeau a été faite, à forfait, pour la somme de 376,000 francs, toutes fournitures comprises, à l'exception des moellons que la Marine a fournis en même temps qu'elle s'est chargée du transport des déblais au large.

La durée pour l'exécution des travaux n'a pas dépassé treize mois, depuis la signature du marché, jusqu'au complet achèvement du batardeau.

Quais des ports de Bône et de Brest.

Le mur de quai du port de Bône, en raison de sa construction, peut être considéré, en quelque sorte, comme un ouvrage à claire-voie. Il repose sur des piliers de fondation, espacés de 13 mètres, d'axe en axe, et réunis par des voûtes surbaissées de 2^m,50 de flèche, dont les naissances sont à 3 mètres au-dessous du niveau des eaux. Ces piliers, qui ont 3^m,50 d'épaisseur sur 3 mètres de largeur dans le sens de la longueur du mur, ont été construits au moyen de caissons en tôle et à l'aide de l'air comprimé (*Pl. I, fig. 10, 11, 12*;) ils sont enfoncés jusqu'à une profondeur qui a varié depuis 12 jusqu'à 18 mètres, suivant la nature du terrain et le plus ou moins de sécurité qu'il offrait, mais ne reposent point sur le rocher.

Les caissons des extrémités, formant culée, sont doubles des caissons ordinaires; ils ont, par conséquent, 6 mètres dans le sens de la longueur du mur.

Afin de diminuer le travail dans l'air comprimé, on a exécuté, au préalable, des fouilles de 3 mètres de profondeur au-dessous du niveau des eaux, et on en a soutenu les parois au moyen d'un ensemble de petits ouvrages en piquets et clayonnages.

L'épuisement de ces fouilles fut peu important.

Après le fonçage des caissons, on a nettoyé le fond de la fouille pour construire les voûtes de jonction des piliers. Le cintre a été fait en moellons bruts posés à sec, et il est resté en place. La voûte a été maçonnée en moellon brut; elle a 0^m,70 d'épaisseur à la clef et 2^m,80 de largeur.

L'exécution des travaux, que nous venons de décrire sommairement, s'est faite avec une seule machine soufflante installée au milieu des chantiers, et au moyen d'une conduite d'air comprimé, disposée de manière à permettre la pose de deux caissons en même temps.

En moyenne, on a foncé trois piliers par mois; la maçonnerie de la partie supérieure pouvant se faire avec une plus grande rapidité, on est parvenu à exécuter, dans ce laps de temps, 39 mètres de longueur de mur de quai.

Les quais de Bône sont revenus à environ 1,900 francs le mètre courant; la fondation des piliers varie entre 14 et 18 mètres sous le niveau moyen de la mer.

En suivant le même ordre d'idées, nous avons exécuté le quai du viaduc dans l'arsenal de Brest et, plus tard, le quai de l'Artillerie dont les piliers, foncés à l'air comprimé, reposent sur le rocher.

Le sol étant incliné, ainsi que le rocher, le fonçage a présenté cette particularité qu'on a été obligé, avant de commencer le travail d'extraction, d'apprécier le déplacement, qui se produirait en avant, pendant l'enfoncement. Les appréciations se sont presque toujours réalisées avec exactitude, les caissons se sont avancés de 0^m,40 à 0^m,60.

L'enfoncement dans du rocher, d'un côté, et dans de la terre, de l'autre, présente des difficultés spéciales, qui ont été assez bien résolues, mais il faut faire grande attention que le rocher soit bien coupé, jusqu'en dehors du tranchant du caisson, pour que rien ne s'oppose à la descente verticale.

Les quais de Brest ont coûté environ 4,000 francs le mètre courant.

Fondation du pont sur le Doubs, à Molay.

En 1868, lorsqu'il fut question de la construction du pont sur le Doubs, près de Molay, pour le chemin de fer de Dôle à Chalon-sur-Saône, on n'était pas encore habitué à la construction des caissons de grandes dimensions, mais on cherchait à faire des tubes moins chers que les tubes en fonte.

Nous proposâmes, et la direction des travaux des chemins de fer de la Méditerranée accepta, pour chacune des piles du pont de Molay, l'emploi de trois tubes cylindriques, en tôle, posés à six mètres, d'axe en axe, l'un de l'autre. C'est sur ces tubes, surmontés de socles en maçonnerie émergeant du niveau des basses eaux, qu'on construisit, ultérieurement, les piles, composées de trois piliers, réunis par des voûtes.

Les caissons cylindriques, de 3^m,60 de diamètre, ont été faits en tôle, dans le genre des caissons ordinaires, avec plafond armé de contre-fiches pour supporter la cheminée d'écluse à air posée au centre.

La mise en place a été relativement facile à cause de la petite dimension des piliers. On a maçonné sur le plafond, pour le lestage, et la paroi extérieure a été continuée par des hausses de quatre millimètres d'épaisseur, afin d'isoler la maçonnerie du sol et de constituer un batardeau à la partie supérieure.

Le pont, d'abord construit pour une voie, fut posé sur deux des tubes de chaque pile; depuis, on a placé la deuxième voie, ce qui a permis d'utiliser le troisième tube.

Arrière-radier parafouille de l'écluse de chasse de Honfleur, 1875.

Depuis le premier emploi de l'air comprimé pour les fondations, nous nous sommes constamment préoccupé de réduire, autant que cela paraissait possible, la quantité de métal nécessaire pour la confection des caissons métalliques, et nous pensons y avoir assez bien réussi. Nous avons construit des caissons dont la chambre de travail n'atteint pas 300 kilogrammes par mètre carré, et cependant il ne s'est présenté aucun inconvénient pendant le fonçage, malgré des conditions quelquefois mauvaises.

Le caisson de l'arrière-radier de l'écluse de chasse de Honfleur, ayant 42 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur, a été un spécimen particulier de ce genre de construction. On pouvait craindre des torsions ou des flexions du caisson, dans la première période du fonçage, à cause de sa grande longueur. C'est ce qui eut lieu effectivement, dans de petites proportions; mais après 2 mètres de fonçage, lorsque le caisson a été un peu lesté, son enfoncement s'est effectué d'une manière très régulière: prompt au commencement, à cause de la facilité d'extraction des déblais par siphon; plus lent, à la fin, en raison de la dureté des déblais du fond et de l'encastrement du tranchant dans le rocher calcaire de formation ancienne.

Le fonçage a été conduit à 24^m,50 au-dessous du niveau des quais, avec une pression d'air atteignant deux atmosphères; le prix du mètre cube de maçonnerie, avec mortier de ciment de Portland, fut inférieur à 400 francs.

Le fonçage a été commencé à 2^m,50 au-dessus de la cote d'arasement, c'est-à-dire qu'on a fait 49 mètres de profondeur de fonçage dans l'air comprimé, pour lesquels on a extrait près de 4,000 mètres cubes de déblais.

Une grande amélioration, sur les caissons précédemment construits, a été réalisée pour celui d'Honfleur. La chambre de travail a été réduite à 2 mètres de hauteur et cette dimension a été reconnue suffisante pour que les ouvriers ne soient pas gênés. Depuis, cette hauteur a été abaissée à 1^m,75, à Dunkerque et à Lisbonne, parce que le déblai a pu être fait au siphon, pour la plus grande partie.

Il résulte de cet abaissement de hauteur une bien plus grande force de la chambre de travail et il est devenu inutile d'avoir des entretoises à sa partie inférieure.

Le revêtement a été fait avec des tôles plus minces et nous avons aussi diminué un peu l'épaisseur de la tôle du plafond.

Le caisson a été divisé, dans le sens de la longueur, en quatre parties marquées par un renfort intérieur, en arc, qui a augmenté la rigidité des parois.

Au-dessus du plafond et au droit de ces renforts, nous avons placé, contre les tôles des hausses, des châssis en cornières entretoisés et croisillonnés pour les raidir et servir de guide à la maçonnerie d'élévation.

La chambre de travail a pesé.	60.000 kilogs.
Les hausses et entretoises.	70.000
Total. . .	<u>130.000 kilogs.</u>

Bassins de Radoub de Missiessy, construits pour le port de Toulon.

Considérations générales.

Le port de Toulon, comme presque tous les ports militaires, est composé de darses ajoutées successivement les unes aux autres, pour répondre aux besoins toujours croissants du service militaire et de la navigation. Il possède six bassins de radoub, dont le plus ancien, le bassin Groignard, date de 1774.

En 1827, on construisit, dans la darse Vauban, deux formes qui devinrent bientôt insuffisantes et en 1844, on dut exécuter trois nouveaux bassins de radoub dans la darse de Castigneau.

Cet ensemble important de moyens de visite et de réparation, du matériel naval, avait suffi jusqu'au moment où les dimensions plus grandes des vaisseaux nécessitèrent de nouveaux engins de radoub.

La construction de bassins, dans la darse de Missiessy, décidée en 1876, a eu pour but de répondre à ces besoins et de permettre la réparation des cuirassés de premier ordre, comme le *Foudroyant*, le *Redoutable*, etc.

Le sol du port de Toulon est composé, à sa partie supérieure, d'alluvions plus ou moins anciennes, jusqu'à une profondeur de six à huit mètres. A cette cote, on rencontre un terrain très résistant, connu sous le nom de « safre ». C'est un sol composé de cailloux calcaires roulés et de sable, agglutinés avec de l'argile, entrecoupé par quelques bancs de poudingues, qui sont des conglomérats déposés en couches horizontales d'épaisseur variable et irrégulièrement réparties.

La darse de Missiessy, désignée pour l'emplacement des deux bassins de radoub à construire, a été creusée, en 1860, dans le safre, jusqu'à 8 mètres de profondeur sous marée basse.

Le safre, à raison de sa porosité, est le réservoir naturel des eaux qui descendent des montagnes environnantes de sorte que tous les puits de Toulon, même ceux de l'arsenal, à quelques mètres de la mer, fournissent de l'eau douce en quantité assez considérable.

Le souvenir des grandes difficultés qu'on avait rencontrées, pour le travail d'immersion du béton, lors de la construction des bassins de radoub de Castigneau, et les chances d'insuccès qu'on pouvait encourir, engagèrent MM. les Ingénieurs de la Marine à chercher de nouvelles combinaisons pour l'exécution de ces ouvrages importants.

On se demanda s'il ne serait pas possible de construire la partie la plus importante des bassins, c'est-à-dire l'écluse, dans un caisson métallique. Ce mode de construction présentait toute la sécurité désirable, au point de vue de la bonne exécution de la maçonnerie, faite pour la plus grande partie, à l'air libre ; seulement, on pouvait craindre des difficultés pour obtenir une soudure satisfaisante entre la partie d'avant, fondée à l'air comprimé, dans un caisson, et la partie du bassin, construite avec les moyens ordinaires.

Le défaut d'expérience, sur une question si délicate, fit penser qu'il serait peut-être aussi facile de construire tout le bassin de radoub dans un seul caisson, suffisamment grand. L'examen attentif de cette hypothèse a été l'origine du projet soumis à l'appréciation de MM. les Ingénieurs des travaux hydrauliques du port de Toulon.

Le dragage préalable de la fouille fut arrêté, en principe ; il n'y avait donc pas à se préoccuper du fonçage du caisson dans le sol, et on examina les deux dispositions suivantes :

1° Construction de la totalité du bassin de radoub dans un grand caisson en tôle, à fond rigide et plat, permettant de faire l'immersion à mesure que s'exécuterait la maçonnerie du bassin. Ce caisson reposerait d'une manière uniforme sur toute la surface de la fouille, préalablement exécutée à la drague, et dont le fond serait dressé avec le plus grand soin.

2° Construction de ce même bassin dans un caisson semblable, avec l'addition, à la partie inférieure, de chambres de travail permettant de visiter le fond à l'aide de l'air comprimé, de le débarrasser des vases que le dragage aurait pu y laisser et de faire disparaître les irrégularités possibles à une pareille profondeur.

Après examen, on écarta la première disposition, et la seconde prévalut comme réunissant à l'avantage de construire, à sec, les maçonneries du bassin, celui, non moins grand, de faire reposer tout l'ensemble de la construction, sur un sol parfaitement uni, purgé de vases, horizontal et facile à visiter. Après que MM. les Ingénieurs de la Marine eurent étudié attentivement les moyens d'exécution proposés, la Commission des travaux

hydrauliques du Ministère de la Marine accepta, en principe, que les deux bassins à construire seraient exécutés au moyen de caissons métalliques, et elle autorisa la Commission des marchés à traiter, de gré à gré, avec M. Hersent (1).

Le marché fut signé, par M. le Ministre de la Marine, le 23 novembre 1876, et l'exécution des travaux commença peu après.

L'importance de chaque bassin a été évaluée à 3,780,000 francs, dont deux millions, à forfait, pour les caissons et tous les ouvrages de sujétion, le reste des travaux compté sur prix de série. La première forme devait être exécutée dans un délai de quatre années et la seconde, une année après.

Le travail consistait à mettre en place, à 19^m,30 de profondeur, au moyen d'un caisson métallique, un massif de 40,000 mètres cubes de maçonnerie, présentant, à l'intérieur, un vide suffisant pour recevoir les nouveaux bâtiments. Ce vide, qui constitue la forme proprement dite, devait avoir une longueur de 127 mètres, une largeur, au niveau des quais, de 35^m,35 et, au niveau du radier, de 23^m,80. L'écluse d'entrée de 23 mètres de largeur devait avoir son seuil à 9^m,40 au-dessous du niveau des basses mers.

La préparation de la fouille, pour l'immersion du caisson du bassin de radoub, nécessita la construction d'appareils de dragage puissants, pouvant désagréger et enlever le safre, entre 10 et 19 mètres de profondeur. Ces appareils sont décrits page 203.

Montage et mise en place des caissons.

Pendant qu'on creusait l'emplacement définitif du caisson, on s'occupait de sa construction et de sa mise à l'eau ; cette dernière opération nécessita de sérieuses précautions, car on pouvait craindre des déformations résultant d'un lançage par glissement.

(1) Après l'élaboration de son projet sur la manière de construire les maçonneries du bassin de radoub, à sec, dans des caissons métalliques, M. Hersent apprit, dans son premier voyage à Toulon, de M. Raoulx, directeur des Travaux hydrauliques, qu'en 1774 et années suivantes, l'Ingénieur Groignard construisit, au même arsenal, le premier bassin de radoub qui porte son nom, au moyen d'un immense caisson en bois à fond plat, lequel fut immergé par la charge du lest, puis on fit les maçonneries ; c'est ce qui est exactement reproduit dans la première hypothèse, avec la différence de l'emploi du fer au lieu du bois.

Le travail de l'Ingénieur Groignard marcha très bien, jusqu'au moment où toute la charge reposa sur le sol, et, pour cette raison, la seconde hypothèse, qui permet de faire disparaître les inégalités du sol, a donné toute satisfaction avant et après l'échouage.

Le bassin Groignard rend encore, journellement, d'excellents services à l'arsenal, mais n'est pas complètement étanche.

On s'est arrêté à l'idée de la construire dans un bassin provisoire, creusé à proximité de la darse Missiessy, et de l'eau sortir, en le faisant flotter, après avoir mis ce bassin en communication avec la darse.

Lorsqu'on eut creusé l'excavation jusqu'à 2^m,30 au-dessous du niveau de haute mer, sur une surface de 7,000 mètres carrés, on rencontra un sol assez perméable qui obligea de faire un grand rigolage, pour l'écoulement des eaux, et d'installer une pompe débitant environ 200 mètres cubes à l'heure, pour tenir la fouille à sec.

Avant le montage des poutres du caisson, on a fait un calage en vieilles traverses de chemin de fer, posées à plat sur le sol et supportant des tasseaux réglés à hauteur pour répartir les charges sur une grande surface.

Une grue, sur voie latérale, permettait de prendre les fers sur les wagons et de les déposer à terre; une autre grue, faisant le service du montage, les reprenait pour les mettre en place.

Le montage du premier caisson commença le 26 octobre 1877 et fut fini le 19 juillet 1878, après 287 jours de travail.

La mise à flot et la sortie du bassin présentèrent quelques difficultés, à cause du peu de profondeur de l'excavation et de la hauteur qu'avaient prise le calage des poutres et le réglage des niveaux.

Après l'achèvement du montage du caisson, on laissa pénétrer l'eau dans l'excavation pendant qu'on réduisait la largeur du terre-plein, qui la séparait de la darse; ensuite, avec des pompes, on éleva le niveau de l'eau au-dessus du niveau de la mer, de façon à augmenter, autant que possible, la hauteur de la flottaison.

Pour permettre d'enlever les tasseaux sur le pourtour du tranchant, et sous les cloisons extérieures, on déplaça le caisson, longitudinalement, de 2 mètres environ, de sorte que les cales, qui étaient restées attachées au fer, purent être facilement dégagées. On gagna ainsi une hauteur de 20 à 25 centimètres pour le tirant d'eau du caisson, mais cela ne fut pas tout à fait suffisant. Les cheminées étant fermées en dessous, on installa sur le caisson même, une machine et un compresseur d'air et, au moment de la marée haute, qui est d'environ 50 centimètres à Toulon, on introduisit, sous son plafond, un certain volume d'air qui le souleva et lui permit de flotter pour sortir du bassin de construction.

L'installation du halage, pour la sortie du caisson, a été organisée par les soins des mouvements du port; des cabestans, disposés convenablement, permirent d'amener facilement à sa place d'immersion ce bateau de forme nouvelle et de dimensions inusitées, dont nous donnons la description au chapitre IV, page 166.

Organisation des chantiers.

Pendant la durée de la construction des maçonneries, le caisson a été maintenu en place au moyen de fortes chaînes et on a posé, sur ses bords, trois passerelles; qui tenaient à terre et l'empêchaient de remuer sensiblement.

L'une de ces passerelles donnait passage à la voie de fer, pour le service des matériaux de maçonnerie. Les deux autres avaient pour but de s'opposer à l'oscillation qu'aurait pu causer l'action du mistral sur aussi une grande surface.

Sur toute la longueur du caisson et suivant l'axe, on a construit un pont provisoire en bois, qui a permis de poser deux voies de fer parallèles, venant de terre. La passerelle qui établissait la communication, reposait, d'un côté, sur le caisson, de l'autre, sur une palée avec support mobile; de sorte que, au fur et à mesure de l'enfoncement on eut d'abord une rampe, puis une pente, entre la terre et le bord du caisson.

Une machine à changement de marche actionnait un treuil à gros tambour sur lequel s'enroulait un câble sans fin et flottant, permettant de tirer les wagons sur la rampe et de les retenir sur la pente.

Le béton a été fabriqué, dans le caisson, au moyen de boîtes à plans inclinés opposés, et transporté en place, avec des volets à manches, que les hommes portent sur l'épaule.

Le mortier a été fait avec trois manèges à roues métalliques mues par une machine motrice qui élevait en même temps, en abondance, l'eau pour l'arrosage des moellons et du caillou à béton.

Les pierres de taille ont été préparées d'avance et empilées sur le chantier avec une grue roulante.

Elles ont été reprises, par le même moyen, au moment de l'emploi, et amenées, par wagonnets, sur les bajoyers du bassin de radoub, d'où une autre grue roulante, de forme spéciale, a permis de les descendre, juste à leur place de pose, sans aucune autre manœuvre.

Mode de résistance des caissons.

Dans les calculs de résistance, faits à l'avance, on avait admis : que les bajoyers seraient élevés successivement un peu au-dessus du niveau de l'eau et qu'on leur donnerait la résistance nécessaire pour contre-balancer la poussée de l'eau tout au pourtour ; enfin, que le reste de la surface du plafond serait uniformément chargé des maçonneries.

Sans faire d'appréciation exacte, on avait bien admis qu'il y aurait lieu de chercher à équilibrer les maçonneries dans le sens longitudinal, à cause de l'inégalité de charges, qui résulte du mur circulaire à l'extrémité à pans coupés et de la présence du batardeau à l'autre.

Le caisson ayant pris, à la mise à flot, une petite flexion longitudinale, vers les deux bouts, on s'est proposé pendant la construction de la maçonnerie de ne pas déranger son équilibre, et de répartir les charges d'une façon uniforme, sur toute la surface, afin d'atténuer ainsi les efforts qui causent les flexions longitudinales et transversales. Cette disposition a permis à la maçonnerie d'absorber les pressions latérales qui se sont produites et dont le point d'application est au tiers de la hauteur d'immersion.

En suivant, pour la confection de la maçonnerie, un ordre déterminé d'avance, qui réglait la quantité de surcharge à mettre au milieu des poutres pour équilibrer le poids des bajoyers, le caisson métallique n'a plus eu à supporter de grands efforts, il a été le moule dans lequel on a construit la maçonnerie. Toutefois, on doit reconnaître que l'ossature rigide en fer a puissamment servi à atténuer les différences de répartition des charges, qui se sont produites, et qu'on ne saurait la faire disparaître, ni même essayer d'en diminuer l'importance, sans crainte de danger.

D'après la coupe (*Pl. II, fig. 4*), pour une immersion à 3^m,83 du plafond et 5^m,73 du tranchant, on a déjà une épaisseur de maçonnerie, sur le plafond, de 0^m,80 ; les poutres transversales et longitudinales sont enveloppées d'une maçonnerie de 2 mètres de hauteur sur 2 mètres de largeur, le pourtour est maçonné à travers la double paroi métallique sur 1 mètre d'épaisseur jusqu'au haut de la poutre du pourtour.

Ces maçonneries ont été exécutées par couches de 0^m,30, pour tout ce qui est sur le plafond, et de 0^m,50 pour les bajoyers, en observant les flexions pour obtenir une répartition aussi exacte que possible.

Les flexions transversales, pour cette partie du chargement, ont été nulles ; mais les flexions longitudinales ont eu quelque importance. La dilatation de la partie supé-

rière des grandes poutres longitudinales est très sensible et produit, selon les écarts de température, des flexions de 4 à 6 centimètres, de midi à minuit ou du soir au matin.

D'après la coupe (*Pl. II, fig. 5*), qui correspond à une immersion de 6^m,42 du plafond et 8^m,02 du tranchant, la maçonnerie du pourtour a été continuée en élévation; les poutres longitudinales et transversales sont presque complètement enveloppées de maçonnerie; les contreforts, contre la paroi verticale, sont commencés ainsi que l'entretoisement du pied. La maçonnerie de la partie centrale est élevée pour équilibrer, transversalement, la charge des murs de paroi.

Cette maçonnerie, sur 4^m,60 d'épaisseur, a été confectionnée en béton avec du mortier de chaux hydraulique, de la fabrique Lafarge, du Theil (Ardèche), et a été exécutée sur toute la longueur du caisson.

La coupe (*Pl. II, fig. 6*) correspond à une immersion de 10^m,35 du plafond et 12^m,25 du tranchant. La maçonnerie du pourtour a été continuée en élévation et les poutres sont complètement enveloppées; les contreforts sont élevés et déjà on a pu faire un peu de maçonnerie au fond des puits d'évidement. Les pressions latérales ont acquis une grande importance, mais leur point d'application se trouvant à 3^m,46 du plafond, on se rend très bien compte qu'elles passent à travers la maçonnerie déjà rigide, qui enveloppe les poutres en fer, et que les poutres elles-mêmes pourraient supporter la plus grande partie de ces pressions, car elles sont complètement encastrées dans la maçonnerie. À cette profondeur, les flexions transversales sont nulles et celles longitudinales peu importantes: ce sont des indices qui servent pour la direction des maçonneries et la répartition des charges.

La coupe (*Pl. II, fig. 7*) représente la situation des maçonneries au moment où le tranchant touche le sol, avec 16^m,35 d'immersion du plafond et 18^m,25 du tranchant. Les murs du pourtour sont élevés jusqu'au-dessus du niveau de l'eau; l'entretoisement du bas des contreforts, bien buté contre la maçonnerie des poutres, contribue à la résistance générale. Le radier a 3^m,40 d'épaisseur au milieu, et les côtés en sont évidés afin que leur poids et celui des murs de rive fassent équilibre aux poids de la partie centrale et du lest qu'on a dû y apporter. Les flexions transversales et longitudinales sont toujours à peu près nulles.

Pour les deux extrémités, on a dû faire, dans le radier, des évidements plus grands afin d'équilibrer les charges des parois. La résultante des pressions extérieures passe encore à l'intérieur de la maçonnerie du radier, ce qui est un excellent résultat.

Pour observer exactement les flexions, on a posé, dès l'origine, sur chaque poutre

transversale, quatre nivelettes en fer creux, avec réglage à vis et voyants de diverses couleurs, lesquelles ont permis de niveler en long et en travers. En outre, on a tracé, de mètre en mètre, sur la paroi extérieure du caisson, des lignes parallèles au tranchant et chaque jour on a fait quatre observations, qui ont permis de mesurer les flexions du caisson et par suite de déterminer exactement le chargement à faire à une extrémité ou à l'autre, à tribord ou à bâbord.

En résumé, la maçonnerie a été aussi bien répartie que possible pour atténuer le travail du fer et pendant toute la construction elle a travaillé, elle-même, d'une manière normale. Le peu qu'on en a démoli justifie qu'elle est très bonne et très bien liée, quoiqu'elle ait été faite par petites épaisseurs, superposées ou accolées.

Appréciation des résistances des grands caissons.

Les efforts auxquels les caissons doivent être capables de résister pendant leur immersion sont dus à trois groupes de forces extérieures, savoir :

1° A des forces verticales, agissant dans le sens de la pesanteur, c'est-à-dire de haut en bas. Ces forces représentent : le poids du caisson, de la maçonnerie, du lest et des accessoires divers ;

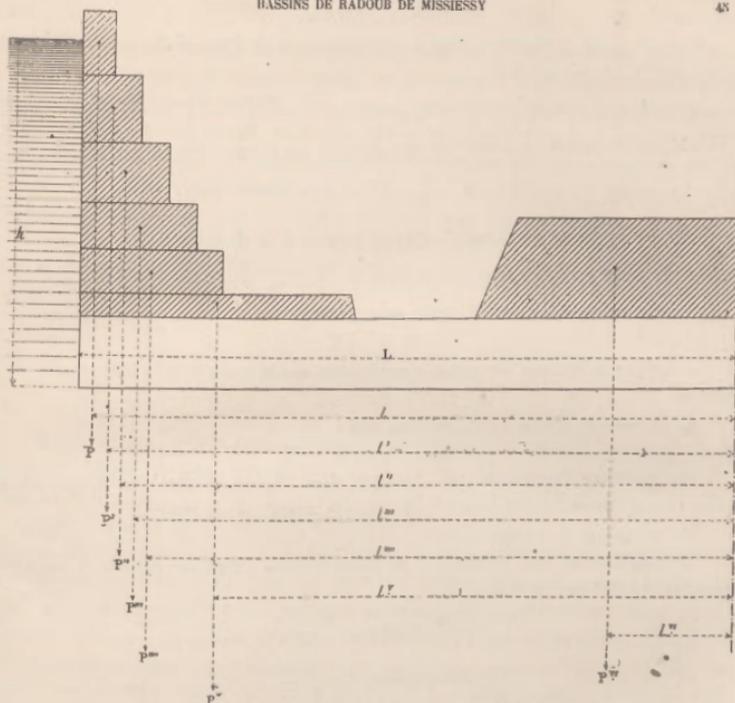
2° A des forces verticales uniformément réparties sur toute la surface du fond du caisson, dirigées en sens contraire, c'est-à-dire de bas en haut. Elles représentent le poids de l'eau déplacée, c'est la sous-pression ;

3° Enfin à des forces horizontales dues à la poussée de l'eau sur les parois latérales du caisson.

Le caisson est divisé, par les poutres transversales, en compartiments de 8 mètres. Chacune d'elles devra donc pouvoir supporter les efforts indiqués ci-dessus, appliqués sur une tranche de 8 mètres de largeur.

Le poids du caisson ainsi que celui des maçonneries uniformément réparties, seront directement détruits par la sous-pression correspondante et ne donneront pas lieu, par conséquent, à des moments fléchissants.

Il n'y a, en définitive, à tenir compte que des charges inégalement réparties (poids des bajoyers et du lest,) indiquées par des hachures sur la figure ci-après.



La poutre sera soumise à l'action des forces $p, p', p'', \text{ etc.}$, agissant de haut en bas à des distances $l, l', l'', \text{ etc.}$, du milieu du caisson.

Ces forces produiront, en ce point, un moment fléchissant :

$$M_p = pl + p'l' + p''l'', \text{ etc.}$$

De même, la sous-pression donne lieu, au même point, au moment fléchissant ci-dessous :

$$-M_s = \frac{(p + p' + p'' + p''', \text{ etc.})l}{2}$$

Le moment fléchissant, dû à l'ensemble des forces verticales, aura donc pour valeur :

$$M_r = +M_p - M_s$$

Il est maximum au milieu des poutres.

Pour un point quelconque, situé à une distance x de l'axe de la poutre, il serait donné par la formule générale :

$$M_x = p(l - x) + p'(l - x) + \text{etc.} - \frac{p + p' + p', \text{ etc.}}{L} \times \frac{(L - x)^2}{2}.$$

La poussée latérale agissant, horizontalement, sur chaque bajoyer, a pour valeur :

$$K = \frac{h^2}{2} \times 8^m \times 1026 \text{ kilogrammes.}$$

Elle est appliquée au $\frac{1}{3}$ inférieur de la hauteur h et donne lieu :

1° A un effort de compression générale k ;

2° A un moment fléchissant, ayant pour valeur :

$$-M_k = -K \times d$$

d désigne la distance du point d'application de la poussée à la fibre neutre des poutres :

Le moment fléchissant total sera donc égal :

$$M_t = M_p - M_k - M_k$$

Les moments fléchissants qui s'exercent dans chaque tranche transversale de la poutre étant déterminés, il reste à rechercher le travail qui en résulte.

Ce travail est dû à deux causes :

1° A la flexion, dont le moment M_t donne lieu au travail de tension et de compression exprimé par les formules :

$$\text{Tension } r = \frac{M_t \times n}{I}$$

$$\text{Compression } r' = \frac{M_t \times n'}{I}$$

2° A la poussée latérale K , qui exerce une compression générale sur toute la section des poutres, égale à :

$$c = \frac{K}{s},$$

s étant la section des poutres en millimètres carrés.

Le travail total de tension et de compression sera donc :

$$\text{Tension } R = r - c.$$

$$\text{Compression } R' = r' + c.$$

r représente le travail de tension dans la fibre la plus éloignée de la fibre neutre et r' celui de la fibre la plus comprimée.

Les formules générales une fois établies, on les a successivement appliquées : 1° au

calcul du travail des poutres en fer du caisson, considérées comme seuls éléments de résistance; 2° au calcul du travail du radier en maçonnerie, abstraction faite de la résistance des poutres en fer; 3° enfin, au calcul du travail de la poutre hétérogène composée de fer et de maçonnerie. Ces différents calculs étaient appelés à montrer, d'une part, dans quelles limites ou pour quels degrés d'immersion on pouvait compter, soit sur la résistance seule du fer, soit sur celle de la maçonnerie; d'autre part, quelle réduction le système de la poutre hétérogène devait produire respectivement dans le travail particulier du fer et dans celui de la maçonnerie. Ils devaient fournir, en même temps, toute les indications nécessaires touchant le meilleur programme à suivre pour l'exécution des maçonneries.

Echouage et remplissage.

Avant de pouvoir travailler au nettoyage du sol, on a dû asseoir le caisson sur le fond de la fouille, de façon à ce qu'il ne se relevât plus. Cette opération fut très simple; mais comme on avait émis des craintes, de divers côtés, on prit de grandes précautions.

Quand le caisson toucha le sol, suite de son chargement, on s'en aperçut facilement aux oscillations de la marée qui varient, à Toulon, de 25 à 40 centimètres, et s'effectuent régulièrement deux fois par jour. Ces oscillations sont sensiblement modifiées par l'action du vent, qui retient l'eau dans la rade ou la pousse dehors; il en résulte que les oscillations maximum ou minimum peuvent être d'un mètre environ. On les a minutieusement observées, au moyen d'un marégraphe pour se rendre compte des efforts auxquels le tranchant du caisson pourrait être soumis. Un mètre de déplacement du caisson représente 3,800 tonnes à supporter par les parois extérieures et transversales, dont la longueur cumulée est 1,033 mètres, soit, par mètre courant de paroi verticale, 3,500 kilogrammes. Cette charge serait insignifiante si la répartition en était uniforme, mais elle peut avoir une grande influence sur les parois, si elle s'effectue en des points isolés.

La fouille avait été draguée aussi exactement que possible et les sondages n'avaient pas relevé de grandes différences; mais on craignait que le caisson ne vint s'appuyer sur quelques-unes des cales de montage qu'il avait emmenées lors de sa mise à l'eau. Le sol du fond est de dureté très inégale; certaines parties sont des poudingues très résistants, d'autres du safre moyennement dur ou enfin des couches d'argile interposées dans ce sol manquant d'homogénéité.

Au lest permanent, destiné à annuler les oscillations possibles, on dut encore ajouter l'équivalent du déplacement à faire dans les chambres au moyen d'air comprimé; il fallut prendre des précautions pour que cet air comprimé ne se répandit partout sous le caisson et ne le soulevât.

Après l'examen de toutes ces difficultés, on résolut de sortir du caisson, pour l'alléger un peu, tous les déblais et matériaux inutiles, et on fit, tout au pourtour, un remblai de safre d'environ 30 centimètres de hauteur, que l'oscillation de la marée tassa et fit entrer sous le tranchant. Un plongeur surveilla ce travail au fond de l'eau et fit passer une partie du safre, sous le tranchant, en le poussant avec ses pieds. On eut ainsi un petit matelas de matériaux rapportés, qui se laissa pénétrer, en face des parties dures et offrit de la résistance dans les autres. Le relèvement du sol sur le pourtour permit aux poutres extérieures de prendre une charge plus grande, tandis que les poutres transversales se trouvèrent allégées.

Après cette préparation, on chargea de nouveau le caisson avec de la maçonnerie jusqu'à toucher le sol, et on ajouta ensuite une surcharge de 3,000 tonnes environ, pour permettre de visiter quatre chambres à la fois, et de n'avoir pas de soulèvement à redouter par l'effet de la marée.

Dans cette situation, le caisson s'inclina vers Castigneau, de 4 centimètres environ; mais il n'y a pas eu de torsion: le caisson était bien posé sur le sol et on put en visiter le fond.

Toutes les écluses à air étaient en place mais on résolut de ne commencer le travail que dans quatre compartiments: le deuxième, le dix-septième, puis le septième et le douzième, afin d'avoir, après leur remplissage, un calage provisoire donnant toute tranquillité pour supporter de nouvelles charges et éloigner les chances de soulèvement.

Le deuxième compartiment était déjà rempli de béton; et le dix-septième très avancé; on travailla au nettoyage des septième et douzième compartiments lorsque, le 13 septembre 1879, vers 5 heures de l'après-midi, le caisson se souleva, du côté de Toulon, d'environ 40 à 12 centimètres, par l'effet de l'air comprimé qui avait pénétré dans les chambres voisines. On ouvrit les robinets de décharge d'air et le caisson se rassit à sa place; puis on apporta du lest sur les compartiments remplis et rien ne bougea plus.

Ce soulèvement s'est produit avec un chargement d'environ 100,000 tonnes. Il est probable que c'est la plus grosse charge qui ait jamais été soulevée d'un bloc.

Après le remplissage des quatre premiers compartiments, on augmenta notablement le lest à l'intérieur du bassin, et le travail se régularisa. On travailla, simultanément, à la

préparation d'un compartiment, au nettoyage d'un autre et au bétonnage d'un troisième, toujours en chevauchant, dans l'ordre établi d'abord pour le remplissage complet des dix-huit compartiments inférieurs. Le nettoyage du fond consistait à extraire les vases argileuses et sableuses résultant du dragage et déposées dans la fouille, sur une épaisseur de 60 à 80 centimètres; leur partie supérieure était à l'état liquide, tandis que la couche inférieure était plus compacte.

Cette vase demi-liquide a été rejetée à l'extérieur au moyen d'un siphon marchant sous la pression de l'air comprimé; la vase plus consistante était d'abord rendue fluide, puis on l'évacuait par le même procédé.

Le caisson ayant été posé sur un cordon de safre, les murailles transversales rencontrèrent quelques traverses de bois, et des parties du sol présentant de la résistance; il en est résulté que le fond de la fouille a été, presque partout, de 10 à 20 centimètres plus bas que le tranchant du caisson, et qu'en raison de cette disposition, on a pu délayer, très convenablement, la vase et la siphonner.

Le siphon, employé à cet usage, est un tuyau de 70 millimètres de diamètre, mi-partie métallique, mi-partie en caoutchouc, facile à monter et à démonter, et pouvant atteindre tous les endroits du caisson. Il fonctionne à l'aide de la pression de l'air comprimé sur la surface du liquide dans lequel est plongée l'une de ses extrémités, tandis que l'autre communique avec l'air extérieur.

Un peu d'air comprimé, destiné à alléger la colonne, est introduit, à 2 mètres de hauteur au-dessus du fond par un petit trou de 2 à 3 millimètres de diamètre. Cette disposition permettait le nettoyage d'un compartiment de 328 mètres de surface en deux jours environ, avec deux compresseurs d'air et deux siphons.

Le nettoyage était suivi d'un commencement de remplissage en pierres sèches, rangées à la main sur le fond, pour éviter de mettre le béton dans l'eau; cette couche de pierres posées à sec, de 0^m,30 environ, sortait de l'eau, de telle façon que le béton posé dessus pouvait pénétrer dans les interstices et en faisait une maçonnerie.

Enfin, chaque compartiment a été rempli de béton fabriqué au dehors et introduit, pour la plus grande partie, par les deux écluses à béton spécialement disposées de chaque côté, à cet effet.

A l'intérieur, le béton a été posé par couches successives en commençant par les deux extrémités, continuant par les côtés, et toujours en bourrant sous le plafond, à mesure qu'on se rapprochait des orifices d'introduction. Les portes des bétonnières ont été fermées de l'intérieur et l'achèvement du remplissage a été fait avec du béton introduit par l'écluse centrale.

Les deux écluses à béton ont permis d'en entrer 100 mètres cubes dans un jour.

Après le remplissage du fond la fermeture des cheminées centrales a été faite très soigneusement par du béton jeté de haut en bas. Pour rendre l'étanchéité complète on a nivelé ce béton à un mètre environ au-dessus du plafond, on l'a recouvert d'une couche de 40 centimètres de mortier au ciment de Portland, et on a posé sur celle-ci un tampon de bois sec, qu'on a serré contre les parois de la cheminée, avec autant de coins en bois qu'il a été possible d'en mettre, puis on a posé, sur le tampon, une autre couche de 40 centimètres de Portland et de 30 centimètres de béton. Ensuite, on a tenu l'air comprimé environ vingt-quatre heures, pour amener une première prise du mortier et laisser au bois le temps nécessaire pour se gonfler. Toutes les cheminées furent ainsi exactement fermées et les bassins n'ont pas donné une goutte d'eau à l'intérieur.

Les opérations successives du nettoyage, du remplissage et de la fermeture des cheminées ont duré, en tout, trois mois, et pendant ce temps, on a sorti environ 8,000 mètres cubes de vase et entré et mis en place 12,000 mètres cubes de moellons et de béton.

L'installation, pour l'air comprimé, a donné les meilleurs résultats; on a pu satisfaire largement à tous les besoins avec dix compresseurs et environ 200 chevaux de force motrice, ce qui laissait des éléments de rechange très importants. Les compresseurs de notre nouveau modèle ont été employés pour la première fois, leur rendement a été excellent et l'air fourni très frais:

Achèvement.

Le caisson une fois bien assis sur le sol, le remplissage intérieur et la fermeture des orifices terminés, on s'occupa de l'achèvement des maçonneries pour le radier, les puisards des pompes, les banquettes et les bajoyers de l'écluse.

Deux grandes grues roulantes permirent de manutentionner, sans avaries et promptement, toutes les pierres de taille et on put ainsi terminer le premier bassin avant le délai de quatre années, qui avait été accordé à l'entreprise.

Jonction entre les deux bassins.

Chacun des bassins possède ses moyens d'épuisement: machines, pompes avec les puisards et vannes d'isolement ordinaires; mais la vapeur n'est fournie que par un seul groupe de chaudières installées dans un bâtiment voisin.

On pensa qu'il y aurait grand intérêt, en cas d'accident possible, que les deux bassins fussent réunis afin de permettre de se servir d'un groupe quelconque de machines, pour l'épuisement de l'un ou l'autre d'entre eux. La distance entre les parois extérieures des caissons est de 25 mètres, et la communication devait être faite au niveau du fond des puisards; c'est-à-dire, à environ 6 mètres au-dessus du sol sur lequel reposaient les bassins, par un canal de 4^m,80 de diamètre permettant d'aller de l'un dans l'autre.

Pour obtenir cette jonction on avait d'abord songé à employer un tube en fer; mais on écarta cette solution à cause du danger de rupture dans le remblai et on s'arrêta à l'idée d'établir une communication fixe, reposant sur le même sol que les bassins.

A cet effet, on construisit un petit caisson de 24^m,80 de longueur et de 3 mètres de largeur, de forme ordinaire, quant à sa partie inférieure, pour permettre de nettoyer le sol du fond et bétonner après coup. La fouille fut faite, par dragage, à la même profondeur (18 mètres) que pour les bassins.

Ce caisson était surmonté d'une caisse métallique, renforcée à l'intérieur et destinée à contenir le canal de communication; elle avait été préparée d'avance pour la confection des joints contre les bajoyers.

Trois cheminées partaient de cette caisse et venaient émerger au-dessus du niveau de l'eau. Deux d'entre elles étaient destinées au passage des ouvriers, et la troisième, celle du milieu, de 4^m,50, servait au passage des matériaux.

Le chargement de lestage se composait : de la couche de béton sur le plafond de la chambre à air comprimé, de la maçonnerie du canal lui-même et des dépôts de matériaux posés sur le plafond pour abaisser le centre de gravité de l'ensemble.

L'échouage et la mise en place ont été réglés au moyen de palans et de treuils. Le nettoyage et le remplissage de la chambre intérieure n'ont eu rien de particulier.

Le caisson, ainsi posé en travers, laissait, à chaque extrémité, un espace vide d'environ 25 centimètres jusqu'à la paroi métallique de chaque bassin de radoub. Les extrémités avaient été préparées à l'avance pour recevoir, en prolongement des parois, des palplanches destinées à fermer cet espace dans lequel on a coulé du béton avec mortier de chaux, pour la partie inférieure, et avec mortier de ciment pour la partie avoisinant les orifices à percer pour la communication.

Quinze jours après le coulage du béton, on put couper les tôles des grands caissons, enlever celles du caisson de jonction et finir tout le travail.

L'un des joints ne donna pas d'eau et l'autre en donna un peu à cause d'un petit accident, qui, fut du reste, bientôt réparé, survenu dans le coulage du béton.

Lorsque la maçonnerie de la communication fut terminée, on posa un manchon

métallique, de 1^m,20 de largeur, pénétrant de 50 centimètres dans chaque caisson et, à chaque extrémité, on fit une garniture au mortier de ciment; la jonction fut établie sans aucune fuite et sans crainte de mouvement quelconque.

Tous ces travaux ont été dirigés, sur place, par M. Langlois.

Piles du viaduc du Val-Saint-Léger, près Saint-Germain-en-Laye, 1878.

Le Val-Saint-Léger, près Saint-Germain, sur lequel a été établi le viaduc du chemin de fer de grande ceinture, est une dépression de terrain, de 40 mètres environ de profondeur. Des sources jaillissent non loin de là, et, près de l'emplacement du viaduc, il y a des puits peu profonds, dont le niveau de l'eau ne varie guère, quelque quantité qu'on en puise avec les moyens ordinaires.

Lorsque le tracé de la ligne fut déterminé, on fit des sondages pour s'assurer de la nature du sol et on reconnut que, dans le cas d'un viaduc à quatre ouvertures, la pile centrale devait aller chercher son point d'appui à 27 mètres de profondeur au-dessous du fond du vallon et les deux autres, respectivement à 36 et 29 mètres, en traversant d'abord la couche d'humus, puis le bout des bancs calcaires qui affleurent dans les coteaux, de chaque côté, et enfin les couches de sable mouillé et d'argile molle, dont on avait constaté l'existence, dans le fond de la vallée, par un puits d'essai.

Le viaduc a quatre travées métalliques, formées de quatre poutres sous rails; les travées du milieu ont 71^m,25 de portée.

La nature du sol, bien déterminée par les sondages et par le puits d'essai, a nécessité l'emploi de l'air comprimé pour le fonçage des trois piles.

Chacune d'elles a 12 mètres de longueur à la base, sur 6^m,60 de large avec un fruit, tout autour, de 50 millimètres par mètre, sur 3 mètres de hauteur; au-dessus, pour tout le reste de la fondation, le fruit n'est que de 25 millimètres par mètre.

Cette disposition avait pour but de diminuer le frottement latéral et de permettre à la maçonnerie de suivre le déblai, particulièrement pour la partie inférieure.

Afin de ne pas trop charger la base, la maçonnerie de la fondation a été exécutée en meulière et avec deux puits d'évidement sur presque toute la hauteur.

Les piles ont été construites dans des caissons métalliques ayant une chambre de travail de 2 mètres de hauteur, dans laquelle on accédait par deux cheminées correspondant au puits d'évidement.

Ces caissons ont été surmontés d'un échafaudage portant, à environ 4 mètres au-dessus du sol, un plancher fixe pour y faire toutes les manipulations relatives au déblai, le dessus des piles restant libre pour le service et l'exécution des maçonneries, à mesure de l'enfoncement.

Des machines élévatoires ont été installées, à côté, pour lever les déblais.

A mesure de l'enfoncement, le caisson métallique a été surmonté de hausses en

tôles, de 3 millimètres d'épaisseur, bien cousues et étanches, pour éviter le contact du sol, diminuer le frottement à la descente et empêcher l'eau de pénétrer dans les maçonneries.

La pile du thalweg, qui a été exécutée non loin du puits de sondage, a traversé exactement les mêmes terrains que ce puits. La quantité d'eau fut peu importante : tout au plus un mètre cube à l'heure, dans la partie sableuse de 5 à 15 mètres de profondeur ; après quoi, le fond fut sec dans la couche d'argile.

Puis, on a traversé une couche de tourbe, dégageant des gaz qui ont obligé à ventiler, pendant quelque temps, la chambre de travail. Pendant cette partie du fonçage, le déblai a été effectué à l'air libre, le fond étant absolument sec.

A la fin du fonçage, la pile a porté, presque entièrement, sur le tranchant du caisson, qui n'a pas pénétré dans le sol ; c'est-à-dire qu'environ 1,300 mètres cubes de maçonnerie, ou 2,500 tonnes, ont été posés sur un fer de champ, de 37 mètres de développement, 220 millimètres de hauteur et 20 millimètres d'épaisseur offrant moins d'un mètre de surface. On doit donc être tout à fait tranquille sur la résistance de la base, après le remplissage de la chambre de travail qui a 80 mètres carrés de surface, quand un seul mètre a supporté près de la moitié des charge et surcharge du viaduc.

Le fonçage de la pile du côté de Versailles, qui a pénétré de 36 mètres dans le sol, a donné lieu à quelques incidents intéressants. La partie supérieure fut foncée à l'air libre sur 11 mètres environ de profondeur, et là, on rencontra les bancs de calcaire fissuré, contenant un véritable réservoir d'eau. C'est d'ailleurs ce réservoir qui alimente les sources jaillissant, non loin de là, dans la partie inférieure de la vallée.

On essaya d'épuiser mais sans succès ; finalement, on fut obligé d'envoyer de l'air comprimé et de descendre, de 14 mètres, par ce moyen.

Après cet enfoncement à 25 mètres dans le sol, la base du caisson étant engagée dans l'argile compacte, on put continuer le fonçage à l'air libre pour le reste de la profondeur, environ 11 mètres.

Quant au fonçage de la pile, du côté de Poissy, dont la fondation repose sur le même sol que les précédentes, à 29 mètres de profondeur, il a donné lieu également à deux incidents très remarquables, qui en ont retardé l'achèvement et élevé la dépense.

La première partie, jusqu'à 17 mètres de profondeur, a été effectuée, à l'air libre, à l'aide de quelques épaissements pour enlever l'eau des sources qui existent de ce côté, au-dessous des bancs de calcaire dur et épais, qu'on a coupés à la mine.

L'extraction du déblai et l'épuisement de l'eau ont déterminé le glissement des roches dures inclinées ; un angle de rocher est venu s'engager dans le flanc du pilier, travaillant

à la manière d'un outil de raboteuse et pénétrant d'autant plus qu'il prenait plus de charge, jusqu'à ce qu'il eût déterminé la rupture transversale de la maçonnerie et de la tôle d'enveloppe, à 6 mètres environ au-dessus du fond.

On dut dégager le pourtour de la pile pour retirer l'obstacle présumé, qu'on trouva tel qu'on l'avait prévu. Les parties de maçonnerie disjointes furent rapprochées ; mais on crut prudent de faire disparaître celles qui avaient été ébranlées, pour les remplacer par une maçonnerie nouvelle. On répara l'enveloppe et on continua à foncer.

La quantité d'eau devint plus importante et on dut, comme à la pile côté de Versailles, employer de l'air comprimé, sur une profondeur de 10 mètres environ, pour traverser les couches de sable mouillé et d'argile humide. Puis on suspendit l'emploi de l'air comprimé dans la couche d'argile jusqu'au rocher calcaire inférieur.

Pendant l'arrêt du fonçage, l'adhérence des terres contre les parois devint plus grande et, lorsqu'on reprit le travail du déblai, la pile ne voulut plus descendre. On la surchargea de 200 à 300 tonnes de pierres sans qu'elle descendit sensiblement, quoiqu'elle fût complètement dégagée par dessous.

On dut alors étayer le caisson, pour éviter des descentes brusques, et continuer le déblai jusqu'au rocher, sur une épaisseur de 4 mètres environ, puis construire par partie la maçonnerie, en sous-œuvre, jusqu'au caisson.

Ces travaux ont été exécutés dans une année environ, à partir de la signature du marché, avec trois mois de retard sur les prévisions.

Le prix du marché était de 80 francs par mètre cube de maçonnerie et il n'a pas été dépassé.

Puits filtrants.

Nous avons construit, à Vienne, en 1874, un puits filtrant pour fournir l'eau nécessaire à un bain militaire que l'Administration a fait établir près du Danube régularisé.

L'alimentation du bain s'opère à l'aide d'une pompe à vapeur, qui élève l'eau du puits et la refoule dans la piscine. Un tuyau de trop-plein ramène au fleuve l'eau en excès, et un robinet, placé à la partie inférieure, permet de vider la piscine, pour le nettoyage et pour l'hiver.

Le puits a 3 mètres de diamètre intérieur et 8 mètres de profondeur au-dessous du sol; son cuvelage en maçonnerie sert de base à la machine à vapeur et à la pompe d'alimentation. Il est formé d'un rouet en tôle, servant de base à une couronne en béton construite au fur et à mesure de la descente et de l'enfoncement.

Le fonçage qui a été fait au moyen d'un dragage à l'intérieur, s'est effectué sans difficulté; mais un peu de lest fut nécessaire dans les derniers moments, afin de vaincre la résistance du frottement extérieur des maçonneries et du rouet en tôle contre le gravier.

Cette disposition est très économique pour la construction dans les terrains perméables, de grands puits qu'on peut, ainsi, exécuter rapidement.

Depuis, nous avons construit deux puits filtrants pour l'alimentation de la ville d'Albi et un autre pour Chambéry.

Pour ces trois ouvrages nous avons dû procéder un peu différemment qu'à Vienne, à cause de la plus grande profondeur qu'il fallait atteindre.

Dans le but de protéger la maçonnerie, sur toute sa hauteur, nous l'avons enveloppée, extérieurement, d'un tube en tôles et cornières, de 3^m,10 de diamètre, dont l'anneau inférieur porte un couteau semblable à celui des caissons (*Pl. III, fig. 1, 2, 3, 4, 5*).

Dans l'intérieur est disposée une chambre de filtration de 3^m,40 de hauteur et de 2 mètres de diamètre, qui vient se raccorder, à l'aide d'un plafond, avec le tube extérieur, à environ 75 centimètres au-dessus du couteau. Cette chambre de filtration est surmontée d'une cheminée de 4^m,25 de diamètre terminée elle-même par une plate-forme qui la ferme complètement. C'est sur cette plate-forme qu'on fixe l'écluse à air nécessaire pour le fonçage.

L'anneau inférieur est percé de trous de 20 millimètres de diamètre pour laisser passer l'eau de filtration latérale; ces trous sont bouchés avec des chevilles en bois pendant le fonçage.

Aux puits d'Albi, on avait augmenté la surface de filtration en faisant communiquer, à l'aide d'un certain nombre de tubes, la chambre intérieure avec le pourtour extérieur.

Lorsque l'enveloppe du puits fut ainsi préparée, on remplit de béton le volume annulaire, compris entre les deux couronnes métalliques, et on fit le fonçage, au moyen de l'air comprimé, au fur et à mesure de l'avancement de la maçonnerie.

La plate-forme, qui ferme la cheminée d'accès, à sa partie supérieure, est traversée par la conduite d'aspiration, descendant dans le puits jusqu'à 3 mètres environ au-dessus du fond. Cette conduite, terminée par une crépine, est fixée à la paroi de la cheminée à l'aide de colliers en fer. Enfin, une échelle verticale donne accès dans le puits, sur toute sa hauteur, pour permettre la visite.

Installations maritimes du port d'Anvers.

Le développement rapide du mouvement maritime du port d'Anvers est, en grande partie, la conséquence de son heureuse situation géographique, à 75 kilomètres environ de l'embouchure de l'Escaut dont l'accès est facile et la profondeur suffisante.

Les nombreux canaux et chemins de fer aboutissant à Anvers ont des tarifs très bas, qui permettent d'amener dans ce port les produits du nord de la France et de l'Alsace, de la Suisse et d'une partie de l'Allemagne, à un prix peu différent de ceux de la Belgique.

Depuis 1830 (époque de la fondation du royaume de Belgique), le port a été constamment amélioré par la ville d'Anvers, qui a eu souvent recours au gouvernement belge, dont la sollicitude ne lui a jamais fait défaut.

En 1870, le gouvernement nomma une Commission spéciale chargée d'élaborer le programme des travaux à faire, pour placer le port fluvial et maritime d'Anvers à la hauteur de toutes les exigences. Cette Commission décida qu'il convenait d'améliorer le fond et le régime du fleuve et que, pour atteindre ce résultat, il fallait régulariser la rive droite en rectifiant les quais actuels suivant une ligne courbe partant de l'écluse du bassin de Kattendyck, au nord de la ville, et rentrant dans l'Escaut, en face de la citadelle du sud, pour se raccorder à la rive actuelle, en dehors des nouvelles fortifications.

En suivant ce plan général, on devait régulariser la vitesse des courants de marée, maintenir le chenal devant les nouveaux quais et augmenter la surface de ces derniers dans une forte proportion.

L'entreprise générale comportait :

1° La rectification et la construction des quais, sur une étendue de 3,500 mètres environ, avec l'établissement de trois embarcadères flottants, munis chacun d'un pont mobile pour permettre l'accostage constant des navires;

2° La construction d'un bassin de batelage, de près de quatre hectares de superficie, avec 1,800 mètres de murs de quai au pourtour, et une écluse à sas, de 13 mètres de largeur, pour le relier à l'Escaut ;

3° La construction d'une digue de raccordement, continuant la rive du fleuve, à l'amont du nouveau quai, et, enfin, le remblaiement de plusieurs bassins dont la suppression avait été décidée, ainsi que celui des parties situées en arrière des nouveaux quais, de manière à constituer de vastes terre-pleins.

L'administration des Ponts et Chaussées belges songea d'abord à passer un marché à forfait absolu pour l'ensemble des travaux ; elle élabora, à cet effet, un cahier des charges auquel elle joignit, à titre de simple renseignement, un profil des murs de quai.

Mais, sous cette forme, l'entreprise pouvait courir des risques assez importants, tenant aux différences de profondeur du sol sur lequel il convenait d'asseoir les fondations ; aussi l'Administration reçut-elle, dans le courant de l'année 1876, des offres d'exécution variant entre 40 et 70 millions de francs.

Elle modifia alors les bases du marché et régla, à l'avance, les différences à payer aux entrepreneurs dans le cas d'augmentation ou de diminution dans la profondeur des fondations ; le 7 juin 1877, elle accepta la soumission de MM. Couvreur et Hersent, dont le projet s'élevait à 38,275,225 francs.

La fin de cette même année 1877, fut employée à la rédaction des projets définitifs, à l'installation des ateliers, à la construction du matériel nécessaire aux travaux et aux tracés sur le terrain.

En 1878, on commença les travaux définitifs, que l'entreprise avait divisés en plusieurs sections et qui ont été entièrement terminés dans les délais prévus.

Port d'Anvers en 1877.

Le port d'Anvers, en 1877, se composait des quais sur l'Escaut, de quatre canaux débouchant dans le fleuve, de sept bassins à flot, d'un sas et de trois formes de radoub. Ces bassins sont les suivants : les deux anciens bassins construits par Napoléon I^{er} et livrés à la navigation en 1811 et 1813 ; le bassin du Kattendyck, exécuté par la ville et achevé en 1860 ; le bassin de jonction, livré en 1869 ; les bassins aux bois, de la Campine et du Canal, finis en 1873.

Surface des 7 bassins à flot : 40 hectares environ.

Longueur des quais : 4 kilomètres.

Longueur des talus : 2 kilomètres 500 mètres.

Surface des quais : 5 hectares 28 ares.

Les voies de chemins de fer, établies sur les terre-pleins des bassins, atteignaient une longueur de 63 kilomètres et occupaient une superficie de 32 hectares ; il existait, de plus, 40,000 mètres carrés de hangars couverts.

Les quais de l'Escaut ne sont pas compris dans cette énumération ; ils avaient une

longueur d'environ 2,200 mètres et n'étaient accostables, par les navires, que sur 300 mètres de longueur environ.

Quoique ces installations fussent considérables, elles étaient insuffisantes ; et, l'on ne saurait donner une meilleure idée de la nécessité des travaux exécutés, aussi bien par la ville que par l'Etat, qu'en citant quelques extraits des communications faites, à cette époque, par M. de Wael, bourgmestre d'Anvers, à la Chambre des représentants :

- « C'est à dater de 1843 qu'on a commencé à étendre les installations maritimes.
- » En 1842-43, un mètre de quai correspondait à 113 tonnes de jauge moyenne.
- » En 1855, un mètre de quai correspondait à 175 tonnes de jauge moyenne.
- » En 1864, un mètre de quai correspondait à 237 tonnes de jauge moyenne.
- » En 1873, un mètre de quai correspondait à 245 tonnes de jauge moyenne.
- » En 1876, un mètre de quai correspondait à 300 tonnes de jauge moyenne.
- » L'expérience a démontré que, dans ces conditions, la gêne devient considérable. »

Tel était l'état du port d'Anvers au moment où le gouvernement se résolut à mettre en adjudication les travaux qui font l'objet de la présente description.

L'administration communale, de son côté, a fait prolonger le bassin de Kattendyck ; construire trois nouvelles cales de radoub ; préparer les études pour l'extension des bassins, qu'elle a commencés en 1882. Ces bassins portent les noms de : América et Africa ; ils ont, ensemble, une surface de 24 hectares.

Port d'Anvers en 1885.

En tenant compte de l'allongement des bassins du Kattendyck et des nouvelles installations sur la rive droite de l'Escaut, le service de la navigation disposait, en 1885, d'environ :

- 49 hectares de bassins à flot, non compris le bassin de Lovibroek destiné au garage des bateaux d'intérieur arrivant par le canal de la Campine ;
- 9,650 mètres de longueur de quais, compris ceux de l'Escaut ;
- 3,300 mètres de longueur de talus accostables ;
- 40 hectares, environ, de surface de quais.

Les voies de chemins de fer ont été notablement augmentées par l'adjonction de la nouvelle gare du Sud, spécialement affectée au service des quais de l'Escaut et des bassins de batelage.

Aux 40,000 mètres carrés de hangars couverts, existant en 1877, on a ajouté, sur

les quais de l'Escaut, 89,000 mètres carrés, et on en a construit depuis 9,000 mètres environ, ce qui porte la surface couverte à près de 14 hectares.

Enfin, 6 bassins de radoub de diverses dimensions.

L'outillage mécanique, pour la manutention des marchandises, sur les quais, et pour les divers services, comporte deux groupes d'accumulateurs à eau comprimée, placés : l'un en arrière du bassin de Kattendyck, et l'autre près des nouveaux bassins de batelage.

L'eau comprimée est utilisée, sur toute l'étendue des quais et dans les gares de chemins de fer, par des grues de forces diverses, généralement de 2 tonnes et demie à 5 tonnes. Il y a, en outre, sur le quai ouest du bassin de Kattendyck, une mâture de 150 tonnes et des grues de 10, 20 et 50 tonnes.

Pour bien faire ressortir l'activité du pont d'Anvers, le tableau suivant est intéressant à consulter :

ANNÉES	NAVIRES A VOILE		BATEAUX A VAPEUR		TOTAUX		TONNAGE par NAVIRE
	NOMBRE	TONNAGE	NOMBRE	TONNAGE	NOMBRE	TONNAGE	
1875	4634	532.682	2717	1.652.734	4351	2.185.416	502
1876	4534	546.978	3016	1.980.719	4550	2.527.697	536
1877	4532	558.261	2925	1.941.221	4457	2.499.482	561
1878	4538	610.582	3045	2.169.374	4583	2.779.956	607
1879	4256	620.290	2892	2.287.721	4248	2.908.011	685
1880	4468	642.991	3158	2.304.763	4626	3.117.754	674
1881	4147	615.287	2963	2.423.194	4110	2.938.481	715
1882	4149	507.772	3292	2.945.522	4441	3.453.294	778
1883	989	417.860	3700	3.440.074	4689	3.857.934	823
1884	935	477.481	3874	3.034.559	4809	3.512.040	730

N. B. — Depuis le 1^{er} janvier 1884, les navires sont jaugeés d'après le nouveau système international. Le rapport moyen entre le nouveau et l'ancien tonneau de jauge est de 1,168. Le tonnage de 1884 représenterait, d'après l'ancien système, 4,102,063 tonneaux.

Description détaillée des travaux exécutés.

Mur de quai de l'Escaut.

Le mur de quai continu de l'Escaut est construit suivant deux types :

Le premier (*Pl. IV, fig. 3*), qui règne sur environ 3,030 mètres, repose sur une fondation arasée à 8 mètres sous marée basse, c'est-à-dire à 7^m,85 sous zéro (le zéro étant à 0^m,43 sous marée basse). La fondation a, régulièrement, 9 mètres d'épaisseur; la hauteur varie en raison de la profondeur à laquelle se trouve le fond solide. Les caissons, qui forment l'enveloppe de cette fondation, ont les hauteurs suivantes : 2^m,60, 3^m,60, 4^m,60, 5 mètres et 6 mètres; par suite, le dessous de la fondation se trouve à 10^m,45, 11^m,45, 12^m,45, 12^m,85 et 13^m,85 sous zéro. Ces caissons sont, en majeure partie, remplis de béton. Pour quelques-uns, la paroi au-dessus du plafond a été renforcée par des contreforts en maçonnerie de briques.

Le mur est construit en briques du pays, sauf le couronnement, de 0^m,35 d'épaisseur, qui est en pierre de Soignies, dite *petit granit*, et le parement, entre le couronnement et 4 mètres sous marée basse, qui est en moellons piqués de la Meuse, ayant 0^m,40 et 0^m,60 de queue et 0^m,32 de hauteur moyenne d'assise.

A l'avant, depuis le dessus de la fondation sur laquelle il est en retraite de 4^m,50 jusqu'à 2^m,85 sous zéro, le mur a un fruit de 0^m,40 par mètre; au-dessus, le fruit est de 0^m,05 seulement. A l'arrière, il est en retraite de 0^m,30 sur la fondation, et vertical jusqu'au niveau de marée basse; puis il présente des redans tous les 2 mètres, comme l'indiquent les figures 3, 4 et 5 (*Pl. 4*). L'épaisseur, à la base, est de 7 mètres, et la hauteur totale, au-dessus de la fondation, de 14^m,65.

Le deuxième type (*Pl. IV, fig. 2*) règne sur environ 450 mètres, au droit des grandes profondeurs. La hauteur de la fondation est de 7 mètres; le dessus est à la cote — 8^m,85 et le dessous à — 15^m,85; soit à 20 mètres environ sous le niveau de la marée haute. Elle est, presque partout, encadrée dans le terrain naturel ou dans les enrochements et produits pierreux des dragages. Son épaisseur est de 9 mètres, sur les 5 premiers mètres, à partir du fond, et de 8 mètres ensuite.

Le mur a un fruit de 0^m,50, à l'avant, sur 4 mètres de hauteur; puis, après, il a les mêmes fruits et le même parement que le premier type. A l'arrière, il est complètement plein, sauf un conduit, qui a été réservé, à la partie supérieure, pour recevoir les tuyaux du gaz, des engins de manœuvre hydraulique, des eaux de la Ville et des hangars. Un

conduit pareil a été établi, à l'arrière, sur la dernière retraite du mur du premier type, par les soins de l'administration communale et à ses frais.

Dans le but d'éloigner le plus possible, du pied du mur, les courants qui pourraient y produire des affouillements et mettre la construction en danger, on a disposé trois contreforts, formés de caissons semblables à ceux du mur courant, posés en travers. Leur fondation fait saillie de 3 mètres sur l'alignement général. En arrière, ces contreforts entrent de 13 mètres dans le remblai. Ils sont pleins jusqu'au niveau de marée basse et se terminent par trois redans. Cette disposition divise le prisme de poussée des terres, ancre fortement le mur au terre-plein et en augmente notablement la base et la résistance.

Le tableau suivant donne les hauteurs, les épaisseurs moyennes et les coefficients de stabilité des deux types de mur, pour différentes hauteurs de fondation.

Les bases, qui ont servi aux calculs de stabilité, sont les suivantes :

1° Poids des maçonneries : 4,800 kilogrammes le mètre cube;

2° Poids des terres de remblai : 4,500 kilogrammes le mètre cube;

3° Surcharge sur le mur et le remblai : 6,000 kilogrammes par mètre superficiel;

4° Angle de glissement des terres : 45 degrés.

Aucun compte n'est tenu de la contre-pression, exercée à l'avant du mur par l'eau.

DÉSIGNATION DES TYPES DU MUR	HAUTEUR TOTALE	SECTION	ÉPAISSEUR MOYENNE	RAPPORT entre L'ÉPAISSEUR et LA HAUTEUR	COEFFICIENTS DE STABILITÉ CONTRE LE	
					RENVERSEMENT	GLISSEMENT
	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
Type n° 1 . . .	17.25	97.819	5.703	0.33	4.912	3.906
— . . .	18.25	106.819	5.885	0.32		
— . . .	19.25	115.819	6.047	0.31		
— . . .	19.65	120.319	6.123	0.31		
— . . .	20.65	129.319	6.262	0.30	4.480	4.260
Type n° 2 . . .	22.65	166.176	7.346	0.32	3.660	4.300

Embarcadères flottants.

Pour permettre l'accès au fleuve, on a construit trois embarcadères flottants, enclavés dans la ligne des nouveaux quais.

Deux petits, qui sont placés : l'un, près de l'ancien bastion Saint-Michel, et l'autre, un peu en amont du chenal de l'écluse des anciens bassins. Le premier est réservé au

service du chemin de fer d'Anvers à Gand, par le pays de Waës ; le second à la circulation des marins et du public, entre la rade et la ville.

Le troisième, le plus grand, est destiné au passage d'Anvers à la Tête-de-Flandre ; au débarquement et à l'embarquement des passagers des lignes de bateaux à vapeur, faisant les services locaux de l'Escaut, en aval comme en amont d'Anvers ; enfin, au service des équipages de l'armée, pour le passage des hommes et voitures de munitions, et pour l'artillerie des forts et casernes de la rive gauche. Il est situé au droit de l'ancien canal au Beurre, près du *Steen*, vieux monument rappelant la fondation d'Anvers.

La disposition d'enclaver les embarcadères dans le mur du quai les met à l'abri des glaces, des épaves que charrie quelquefois le fleuve, et les préserve un peu de la houle, dont l'Escaut n'est pas tout à fait exempt.

Ils se composent de deux parties : le ponton flottant et la passerelle qui relie celui-ci avec le terre-plein du quai. Pour simplifier les détails, nous décrivons la disposition du plus grand d'entre eux.

L'enclave est formée de murs de quai foncés à l'air comprimé, sur caissons, comme ceux du quai de l'Escaut, et d'un épi, à l'amont, pour protéger la passerelle d'accès.

Le ponton a 100 mètres de longueur sur 20 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur. Il cale 90 centimètres et émerge, par conséquent, de 1^m.40. Il se compose de cinq tronçons de 20 mètres de côté, assemblés par des boulons. Les quatre tronçons, qui ne portent pas la passerelle d'accès, peuvent être retirés à volonté et réparés ou visités sans que le service soit interrompu. En outre, chaque tronçon comporte lui-même quatre chambres séparées par trois cloisons transversales étanches, de sorte qu'en cas d'accident, en un point quelconque du ponton, une ou deux chambres pourraient se remplir sans le mettre en péril.

Les parois horizontales du ponton sont reliées, longitudinalement, par sept lignes de poutres à croisillons, qui forment carlingues et entretoisent les cloisons étanches. Entre ces cloisons, le fond est soutenu transversalement par des cadres de 1^m.20 de hauteur, espacés de 63 centimètres, venant s'assembler avec les carlingues.

Les barrots du pont sont en fer T de 175 millimètres de hauteur. Le pont est formé de deux platelages superposés, en bois de pitch-pin ; l'inférieur a 40 centimètres d'épaisseur et le supérieur 3 centimètres.

Pour protéger le ponton contre le choc des accostages, on l'a garni, au droit des cloisons étanches de montants en bois, aussi bien du côté du fleuve que du côté du quai.

Chaque compartiment est muni de deux pompes, pour l'épuisement, et de trous

d'homme, avec échelles, pour la visite et l'entretien. Les couvercles de ces derniers sont percés de trous pour la circulation de l'air.

Le guidage du ponton, dans son enclave, est obtenu par deux sortes de guides : les uns à frottement et les autres à roulement.

Les premiers sont formés de fortes équerres en fonte de 25 centimètres de hauteur, disposées en saillies sur le ponton. Elles viennent emboîter des glissières verticales de 30 centimètres d'épaisseur, fixées sur le mur. Ces glissières sont recouvertes latéralement d'une bande de fer, du côté où a lieu le frottement.

Les guides à roulement, au nombre de deux, sont boulonnés sur le pont, aux extrémités de la face longitudinale qui regarde le quai. Ils se composent d'une boîte en tôle, contenant des rondelles en caoutchouc traversées par une tige en fer, dont l'extrémité extérieure porte une traverse qui sert d'axe à deux galets. Ces galets roulent dans une rainure ménagée dans la maçonnerie, et retiennent le ponton à distance lorsqu'il est sollicité du dehors. Les rondelles en caoutchouc ont pour but d'atténuer les chocs.

Le compartiment amont du ponton porte une échancrure, munie de glissières, sur lesquelles roulent les galets fixés à l'extrémité de la passerelle. Cette disposition permet les variations de la distance horizontale, produites par les fluctuations de la marée.

La communication, entre le ponton et le terre-plein du quai, est obtenue par une passerelle de 40 mètres de longueur et 6 mètres de largeur, dont 3 mètres pour la voie charretière et 4^m,30 pour chacun des deux trottoirs.

La plus forte inclinaison qu'elle peut prendre, à marée basse, est de 40 centimètres par mètre.

Les poutres, au nombre de deux, ont la forme de solides d'égale résistance; elles sont à croisillons et forment garde-corps.

A leur partie supérieure, elles sont fixées sur le quai au moyen d'axes reposant sur des coussinets reliés à la maçonnerie. Elles tournent autour de ces axes en suivant le mouvement de la marée.

A leur partie inférieure, elles glissent sur le ponton à l'aide de galets.

Le raccordement du ponton et du quai avec la passerelle se fait à l'aide de deux tabliers mobiles, placés à chaque extrémité de cette dernière.

La surcharge d'essai, également répartie, a été de 400 kilogrammes, par mètre superficiel. Après l'enlèvement de cette surcharge on a fait circuler sur la passerelle un char de 40 tonnes. Dans ces conditions, le travail du fer n'a pas dépassé 6 kilogrammes par millimètre carré.

Le fonctionnement de cet appareil, l'un des plus grands qui aient été construits, est très satisfaisant.

Les petits pontons sont disposés d'une façon analogue. Il n'y a de différence que dans les dimensions : ils ont 20 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur ; les passerelles ont 30 mètres de longueur sur 3^m,50 de largeur. La pente maximum est de 15 centimètres par mètre.

Depuis leur mise en service on s'est préoccupé de l'envasement des enclaves et on a, effectivement, constaté qu'une couche de vase de trois mètres d'épaisseur s'est déposée, en six mois environ, à partir de 8 mètres sous zéro ; mais, à mesure que le niveau s'élève, les dépôts se font de plus en plus lentement. On s'est rendu compte, en tout cas, qu'au moyen d'un travail peu important, il sera facile de maintenir le tirant d'eau dont on a besoin. C'est, quand même, un inconvénient à signaler pour les rivières contenant beaucoup de limon.

Digue de raccordement.

En amont de la ligne des quais de l'Escaut, on a construit une digue de raccordement de l'ancienne rive, près de Hoboken, à la ligne des quais, près du bassin d'échouage (*Pl. V, fig. 8 et 9*).

A son origine, en amont, cette digue entre en rivière, d'abord à de petites profondeurs, puis arrive, à son extrémité d'aval, à 6 mètres sous basse mer. Elle a 4 mètres de largeur en couronne et 6^m,50 de hauteur au-dessus du zéro.

L'inclinaison des talus est : un de hauteur, sur deux de base, du côté des terres, et un de hauteur pour un et demi de base, du côté du fleuve.

Le noyau est formé d'un remblai en sable recouvert d'une couche d'argile d'alluvion, ou terre de schorre, très employée dans les travaux de digues, en Belgique, pour défendre le sable contre l'influence de l'eau.

Le talus, du côté du fleuve, est, en outre, revêtu d'un perré en moellons smillés posés à sec sur la terre. Le pied de ce perré est défendu par des enrochements.

Pour fonder la partie de cette digue sous l'eau, on a eu recours à l'emploi des plates-formes en fascines d'osier, chargées de pierres, dont les Hollandais font un grand usage dans les nombreux travaux d'endiguement qu'ils exécutent.

Cette digue, construite dès le commencement de l'entreprise, a maintenant subi l'épreuve du temps ; elle a tassé un peu plus sur les fascinages que dans les parties où elle repose directement sur le sol. On l'a rechargée, puis on a réparé le perré, et on

peut la considérer comme définitivement bien assise. D'ailleurs, les eaux mieux dirigées ont, à présent, moins d'action destructive sur cette digue.

Bassins de batelage.

Ces bassins, au nombre de trois, sont creusés à 2 mètres au-dessous du niveau de marée basse, et le couronnement des murs de quai est élevé à 6^m,35 au-dessus de ce même niveau. Ils sont réunis par des passes de communication de 20 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur. Les deux extrêmes ont 246 mètres et 225 mètres de longueur sur 30 mètres de largeur ; le troisième, celui du milieu, a 266^m,50 de longueur sur 30 mètres de largeur.

Sur les passes sont posés deux ponts tournants, qui établissent les communications entre les deux côtés des bassins.

Les murs de quai reposent, au niveau du fond des bassins, sur une couche de béton de 1 mètre d'épaisseur et 3 mètres de largeur, encaissée entre deux files de pieux et palplanches. Le parement a un fruit de 1/10 et la face arrière est formée de 4 redans de 2 mètres de hauteur et 50 centimètres de largeur. Leur hauteur est de 8^m,35 jusqu'au dessus du couronnement, qui est en pierre de taille dite *petit granit*; le parement, sur 3^m,50 de hauteur, est maçonné en moellons piqués, et le reste de la maçonnerie est en briques.

Le volume de la maçonnerie des murs des bassins, au-dessus de la fondation, est d'environ 24 mètres cubes par mètre courant, y compris les contreforts. Leur épaisseur moyenne est de 2^m,87½, représentant environ les 34 centièmes de la hauteur.

Les coefficients de stabilité sont :

Au renversement, de	3,75
Au glissement, de	3,32

Les ponts tournants sont en fer ; ils ont une voie charretière de 5^m,25 et deux trottoirs de 1 mètre de largeur. Chaque tablier a 24^m,40 de longueur ; le pivot se trouve à 14^m,40 de l'extrémité de la volée. Ces ponts tournent librement sur leurs pivots ; deux galets, placés sous les poutres, empêchent les mouvements d'oscillation qui pourraient se produire pendant la rotation. Un homme seul les fait facilement tourner, et la manœuvre d'ouverture ou de fermeture ne dure qu'environ une minute. Ils ont été éprouvés avec une surcharge de 400 kilogrammes, également répartie, par mètre carré, et le passage d'un chariot, à deux essieux, pesant 18,000 kilogrammes.

Dans ces conditions, tous les fers travaillaient à moins de 6 kilogrammes par millimètre carré.

Ecluse.

L'écluse de communication entre les bassins de batelage et l'Escaut est composée de trois parties distinctes, constituant les ouvrages spéciaux suivants :

1° La chambre des portes d'amont, dont la largeur libre est de 13 mètres, a son seuil arasé à 0^m30 en contre-haut du fond du bassin. Elle est munie d'une paire de portes de retenue.

Un pont tournant, pour voitures et voies ferrées, est installé sur ses bajoyers.

Toute cette construction repose sur une fondation de 2^m,50 d'épaisseur en béton, encaissée entre quatre files de pieux et palplanches. Le radier a 2^m,80 d'épaisseur et peut, par son poids seul, équilibrer la sous-pression, l'écluse étant vide.

2° Le sas de l'écluse, qui a 75 mètres de longueur et 25 mètres de largeur, a un radier général en béton, de 1 mètre d'épaisseur. Il est bordé de murs de quai semblables à ceux qui entourent le bassin, avec cette différence que le parement est entièrement en pierres de taille.

3° La chambre des portes d'aval, contient deux paires de portes : portes de flot et portes d'ébe. Son radier est, comme celui de la chambre d'amont, à 2 mètres au-dessous de marée basse, et ses bajoyers portent un pont tournant pour voitures et voies ferrées. Cet ouvrage, étant entièrement dans le fleuve, a été construit sur un caisson métallique. Le dessous de la fondation est à la cote 6^m,65 sous zéro et le dessus du radier à 2 mètres ; il en résulte une épaisseur de maçonnerie de 4^m,65, largement suffisante pour résister aux sous-pressions des plus hautes marées, le sas supposé vide.

Un chenal, de 50 mètres de longueur sur 50 mètres de largeur, donne accès de l'Escaut à l'écluse et permet aux bateaux, entrant ou sortant, de stationner en dehors du courant jusqu'au moment de leur départ. Ce chenal est bordé de murs de quai du même profil que ceux de l'Escaut.

L'écluse d'aval est, comme celle d'amont, munie d'un pont tournant pour donner passage aux trains de chemin de fer, aux voitures et aux piétons. De cette façon la communication terrestre est permanente, car on peut toujours passer sur l'une des écluses, si l'autre est ouverte pour l'entrée ou la sortie des bateaux.

Ces ponts ont 26^m,70 de longueur totale, dont 17^m,95 pour la volée et 8^m,75 pour la culasse. Leur largeur totale est de 8^m,80, dont 6^m,50 pour la voie charretière et pour les deux voies de chemin de fer, et 4 mètre pour chaque trottoir.

Les poutres ont une hauteur maximum de 4^m,35. Cette dimension réduite est commandée par la hauteur du couronnement qui est à la cote + 6,80 et celle de + 4,85

des portes d'èbe, au-dessus desquelles le pont doit tourner. Les deux poutres sont reliées par des poutrelles sur lesquelles viennent se fixer les longrines supportant les voies ferrées.

La manœuvre se fait à l'aide d'une manivelle actionnant un arbre, lequel porte un pignon qui engrène avec une crémaillère placée dans l'encuvement du pont, du côté de la culasse. Pendant la rotation, presque toute la charge est supportée par le pivot ; deux galets placés sous chaque poutre le soulagent un peu, tout en empêchant les oscillations qui pourraient se produire pendant les manœuvres.

Au repos, les ponts s'appuient sur six calages, trois sous chaque poutre. Ces calages sont à coins, ceux du centre et de la culasse sont commandés par des leviers et des vis ; celui de la volée se manœuvre automatiquement.

La culasse porte un lest en fonte pour équilibrer le poids de la volée.

La manœuvre en est facile : un homme seul peut les faire tourner en 90 secondes lorsque les calages sont libres.

Les dimensions des divers éléments des ponts ont été déterminées de manière que, sous une charge de 8,000 kilogrammes par mètre courant, ils ne travaillent pas à plus de 6 kilogrammes par millimètre carré.

Les portes d'écluse sont en fer et à doubles parois étanches. Chaque vantail a 7^m,81 de largeur, 8^m,22 de hauteur, pour les portes de flot, et 6^m,60 pour celles d'èbe (1). L'ossature est formée par des membrures horizontales ayant 0^m,70 de hauteur au milieu. La face du vantail, s'appuyant sur le busc, est plane ; celle opposée est légèrement bombée. Trois bordages en bois, placés en bas des vantaux, au poteau tourillon et au poteau busqué, assurent l'étanchéité du contact des portes. Elles ont été calculées pour soutenir toute la hauteur d'eau agissant sur l'une de leurs faces, l'autre étant à sec.

La manœuvre se fait à la main, par deux hommes munis de leviers, qui font tourner un pignon à axe vertical, actionnant une crémaillère droite en fer dont une des extrémités est attachée à chaque vantail. Cette disposition, très simple, ne donne jamais d'ennuis pour la réparation, ni pour l'entretien.

Importance des matériaux employés.

Installation des chantiers.

Afin de faire ressortir l'importance des travaux, nous avons indiqué, dans le tableau ci-après, les quantités de matériaux utilisés pour chaque espèce d'ouvrage.

(1) Il y a deux paires de portes d'èbe et une paire de portes de flot.

La quantité de maçonneries exécutées en cinq années a dépassé 500,000 mètres cubes ; le maximum du travail effectué par jour paraît avoir été d'environ 600 mètres cubes ; la moyenne a été de 400 mètres cubes au moins.

Le personnel ouvrier a varié et a été en moyenne de 4,100 hommes, de toutes professions et de nationalités diverses : Belges, Italiens, Autrichiens, Français.

Le chiffre ci-dessus ne tient pas compte du personnel des ateliers accessoires, de la briqueterie, des carrières et des constructions métalliques.

La dépense totale des travaux s'est élevée à 43,993,167 francs, y compris la construction du fort Sainte-Marie et l'aqueduc du bassin de radoub du Kattendyck.

Toutes les maçonneries ont été exécutées avec du mortier de trass composé de trois parties de chaux hydraulique de Tournay éteinte, deux parties de sable et une partie de trass d'Andernach. Le mortier a été exclusivement préparé avec des broyeurs à cuve tournante, et sa bonne qualité a été très appréciée. Le mortier de trass fort, employé pour la pierre de taille, est composé de trois parties de chaux hydraulique de Tournay éteinte et de deux parties de trass d'Andernach.

Résumé des matériaux employés aux travaux des nouvelles installations maritimes d'Anvers.

LIEUX D'EMPLOI	GRAIS	TRAIS	BOUCES	POUR BÉTON		BOUELS	PIERRES de TAILLE	FERS et FONTES	BOIS	PASCINAGES	ENROCHEMENT	PIERRES	DÉBLAIS	DRAGAGES	REBLAIS
				Briques	PIERRES craies										
1 ^{re} Section	Tonnes	Tonn.		M ³	M ³	M ³	M ³		M ³		M ³				
Bassin de batelage	13.980	8.061	50.181.000	8.847	8.800	2.500	3.300	1.033.000	1.300	»	»	»	590.000	70.000	85.000
Ecluses	30.763	17.974	77.330.000	26.386	26.300	4.000	830	4.431.000	190	»	»	»	5.000	765.000	1.264.000
Quais	»	»	»	»	»	»	»	»	»	5.600	6.805	7.640	»	»	»
Voies de raccordement	18.800	10.315	81.300.000	13.000	13.150	2.000	460	2.817.000	90	»	5.398	»	15.000	70.000	271.000
2 ^{de} Section	26.531	14.319	79.743.000	18.373	19.000	2.700	475	2.799.000	150	»	2.008	»	32.000	55.000	85.000
3 ^{de} Section	21.633	13.660	59.717.000	14.728	14.850	3.700	786	3.274.000	510	»	»	»	220.000	450.000	165.000
4 ^{de} Section															
TOTAUX	111.707	64.319	318.291.000	81.334	82.300	16.100	6.071	14.374.000	2.440	5.600	14.361	7.640	832.000	1.410.000	1.920.000

Installations préparatoires et outillage.

L'organisation des ateliers et des chantiers a duré plus d'une année, car il a fallu non seulement réunir, sur place, les outils de toutes sortes, nécessaires à l'exécution des travaux, mais encore construire des ateliers, des échafaudages divers, des bateaux, etc., etc. ; en un mot, tout le matériel, fixe et autre, qu'exige une pareille construction.

L'Administration a remis à l'entreprise, pour toute la durée des travaux, 2 hectares de terrains voisins de la gare du sud d'Anvers, sur lesquels elle a, ainsi que MM. Rolin et Valentin, établi des ateliers (1).

L'extension de la gare aux marchandises a, par la suite, obligé MM. Rolin et Valentin à transporter, sur les terre-pleins conquis sur l'Escaut, leurs ateliers de montage pour les caissons; mais les ateliers et les magasins de l'entreprise ont pu y rester jusqu'à la fin des travaux.

Cette surface de terrain concédée a été insuffisante pour emmagasiner les divers approvisionnements nécessaires, et l'entreprise a dû acheter, sur la rive gauche du fleuve, un hectare de terrain qu'elle a exhaussé et bordé de quais en bois et d'estacades. Sur ce terrain elle a construit des magasins couverts pour déposer, plus spécialement, la chaux et le trass.

Enfin, toutes les installations de l'entreprise ont été reliées entre elles par des voies charretières et une quinzaine de kilomètres de voies ferrées aboutissant à la gare du Sud.

Des estacades en bois, assez solides pour supporter le passage des trains et des grues, et avançant assez loin, dans le fleuve, pour qu'à toute heure de marée les bateaux pussent y accoster sans difficulté, complétèrent l'outillage nécessaire pour un chantier de cette importance.

Pour se mettre à l'abri des difficultés d'approvisionnement, l'entreprise a loué une briqueterie occupant une surface de 20 hectares. On y a installé un grand four circulaire avec séchoir et une fabrication mécanique, qui a donné les meilleurs résultats. Cette briqueterie, qui occupait 350 ouvriers, a fourni environ 25,000,000 de briques par an.

Aperçu de l'importance des installations et de l'outillage de l'entreprise.

Ateliers de réparation et de construction contenant : forges, marteaux-pilons, tours, cisailles, machines à percer, à raboter, etc., scies et outils à bois,
environ 2,500^{m²} couverts

Magasins pour chaux et trass, hangars pour chantiers, etc., habitations d'employés 4,000^{m²}

Voies à largeur normale, raccordées à la gare du Sud pour la réception des matériaux. 15 kilomètres

(1) La construction des caissons métalliques a été confiée, à peu près en parties égales, à la Société des travaux de Braine-le-Comte, M. Eug. Rolin, directeur, et à la Société de Willebroeck, M. Valentin, administrateur délégué.

Wagons plates-formes ou à bascule, à voie normale.	60
Voies de plus petites dimensions avec wagonnets Decauville, de 0 ^m ,40 et 0 ^m ,50 de largeur	6 kilomètres
Wagonnets.	100
Estacades et appontements divers à l'Escaut, bateaux, chalands, pontons, etc., etc.	

Force en chevaux-vapeur des diverses machines employées pour les travaux.

50 chevaux.	Machine à vapeur fixe de l'atelier de réparation.
100 —	Deux locomotives.
400 —	Six chaloupes à vapeur pour les remorquages divers.
150 —	Dix grues à vapeur pour les diverses manutentions et le débarquement des matériaux.
180 —	Six machines des échafaudages flottants.
50 —	Trois pompes à vapeur pour échafaudages flottants.
50 —	Deux compresseurs d'air et accessoires.
25 —	Machines pour l'électricité.
50 —	Machines pour l'épuisement.
100 —	Dix locomobiles diverses.
130 —	Trois dragues.
60 —	Débarquement flottant.
80 —	Deux machines pour la fabrication des briques, à Hemixem.

4.425 chevaux-vapeur.

Exécution des travaux, moyens employés.

Bassins de batelage.

Les bassins de batelage ont comme superficie :

Le premier, au nord.	12.300 mètres
Le second, au milieu.	17.322 —
Le troisième, au sud.	14.275 —
SUPERFICIE TOTALE.	<u>40.897</u> mètres

Le développement des murs de quai est d'environ 4,800 mètres courants.

La construction des bassins comportait environ :

1° Déblai pour le creusement	560.000 ^{m³}
2° Bois pour pieux, palplanches et chapeaux	4.200 »
3° Béton pour la fondation	40.000 »
4° Maçonnerie de brique	40.500 »
5° Maçonnerie de moellon piqué	2.600 »
6° Maçonnerie de pierre de taille	4.000 »

Ils sont construits sur l'emplacement de l'ancienne citadelle du Sud, et leur entrée occupe la place de l'écluse de la Porte de fer qui servait à alimenter les fossés de la citadelle.

La fouille a été faite à l'abri d'un batardeau en terre, construit en travers du chenal de cette ancienne écluse. Ce batardeau s'est très bien comporté, quoiqu'il ait dû, par moments, supporter une charge d'eau de 8 mètres.

L'extraction des déblais n'a pas présenté de difficultés. Plusieurs moyens ont été mis en œuvre pour le transport : la brouette traditionnelle, les wagons et locomotives, les petits wagonnets et voies Decauville, remorqués sur plans inclinés ou élevés par des grues.

Deux pompes centrifuges, débitant chacune 6,000 litres à la minute, ont suffi pour les épaissements.

La fondation des murs de quai est encastrée entre deux files de pieux et de palplanches jointives, qu'on a battus avant le creusement de la fouille. On a commencé le battage avec des sonnettes à vapeur, montées sur des chariots qu'on faisait avancer au fur et à mesure de la marche du travail, en aidant le battage par une injection d'eau. Ensuite l'enfoncement des pieux se fit uniquement à l'aide de l'injection. Cette dernière méthode, qui a été employée avec succès, mérite d'être décrite en détail.

Le sol était composé de sable fin, pouvant être facilement désagrégé par de l'eau en pression. Pour enfoncer les pieux et les palplanches, on a installé, à 8 mètres de hauteur au-dessus du niveau du fond de la fouille, des réservoirs d'eau alimentés par les pompes d'épuisement. De ces réservoirs, partait un tuyau flexible terminé par une lance métallique, d'environ 2 mètres de longueur, au moyen de laquelle on faisait un trou dans le sol, à la place du pieu à enfoncer. Quand ce trou était déjà creusé de près de deux mètres, on mettait en place le pieu, que l'on chargeait tout en continuant à injecter de l'eau avec la lance, et on la laissait s'enfoncer en même temps que lui. Avec une faible charge, nécessitée moins par la résistance du sol que par la force ascensionnelle

agissant sur le pieu plongé dans l'eau, on arrivait à l'enfoncer jusqu'au bout. A ce moment, on retirait la lance, et le sable se resserrait autour du pieu aussitôt que l'injection d'eau cessait. Pour les palplanches, on opérait de même et les bois n'étaient pas détériorés, comme cela arrive souvent avec le battage au mouton; les lignes étaient sensiblement mieux observées; enfin, le moyen était rapide et surtout économique.

La tenue des pieux fichés par ce procédé est absolument égale à celle des pieux battus au mouton; l'expérience en a été faite par des arrachages.

Les pieux, espacés de 3 mètres, étaient réunis par un chapeau et les palplanches étaient clouées contre la face intérieure de ce dernier.

La fouille de 4 mètre entre les deux files de palplanches a été déblayée à la main avant le coulage du béton.

La fabrication du béton a été faite avec des bétonnières à plans inclinés, montées sur un grand chariot roulant sur les deux lignes de chapeaux des pieux. Ce chariot portait, à sa partie supérieure, une plate-forme sur laquelle se faisaient le dosage et le mélange des matériaux. Leur trituration s'obtenait par leur passage sur les plans inclinés successifs des bétonnières, de telle sorte qu'à la sortie il ne restait qu'à répartir le béton et à le pilonner.

Le service d'approvisionnement des matériaux: mortiers, pierres cassées, briquillons, briques, s'est généralement fait à l'aide du matériel Decauville, à voie de 0^m,40 et wagons de 250 litres.

Ecluse.

L'écluse se trouve à l'emplacement du chenal de l'ancienne porte servant à l'alimentation des fossés de la citadelle du Sud.

Comme l'indique le croquis, (*Pl. V, fig. 6*), le sas et la tête aval étaient à construire en plein Escaut, par des profondeurs variant de 0 à 6 mètres, sous marée basse.

Cette disposition, la nature du terrain et l'obligation de maintenir les communications entre l'amont et l'aval sur la rive du fleuve, ont conduit à construire l'écluse en trois parties distinctes, dans l'ordre suivant.

1^o Tête amont.

Elle a été construite à l'abri d'un batardeau (*Pl. V, fig. 6*), en même temps que le bassin de batelage; les pieux et les palplanches ont été, comme au bassin, enfoncés par injection d'eau jusqu'à 4 mètres de profondeur; le béton fabriqué et posé de la même façon.

2° Tête aval.

Cet ouvrage (*Pl. V, fig. 6*), étant à construire dans l'Escaut, a donné lieu à des dispositions spéciales, très importantes, pour lesquelles on a écarté l'idée d'établir un batardeau, dans le fleuve, à cause des risques à courir et de la dépense qu'auraient entraînée non seulement sa construction, mais encore sa démolition.

Il parut plus simple de construire les chambres des portes de cette écluse sur un caisson métallique, relié aux rives, de chaque côté, par deux digues faisant parties du terre-plein, afin d'isoler, de l'Escaut, les ouvrages intérieurs.

Cette disposition permettait aussi de supprimer le batardeau amont dès que la pose du pont tournant de l'écluse d'amont serait effectuée.

Ce caisson (*Pl. V, fig. 10, 11, 12 et 13*) a été descendu jusqu'à 6^m,80 au-dessous de marée basse; il repose sur un sol formé de sable vert homogène. Il avait, en plan, la dimension de la fondation de l'écluse: 40 mètres de longueur sur 23 mètres de largeur (920 mètres carrés de surface). Il a été construit d'après les mêmes principes que les immenses caissons des bassins de radoub de Toulon. La partie supérieure, de 11 mètres de hauteur, est une caisse unique destinée à contenir toute la maçonnerie de l'écluse. La partie inférieure, ou chambre de travail, est divisée en cinq compartiments indépendants, de 8 mètres de longueur sur 23 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur, destinés à l'emploi de l'air comprimé pour le dressement et le nettoyage du sol. Ils ont été ensuite remplis de béton pour former le radier général. Chacun d'eux possédait une cheminée pour la descente des ouvriers, et deux autres, plus petites, pour le passage du béton.

Ce caisson, entièrement métallique, pesait 400 tonnes.

Dans le but de faciliter sa mise à flot, on l'a construit dans une fosse creusée près de l'Escaut, à un niveau tel, qu'en y faisant entrer l'eau de la marée, le caisson pouvait flotter. Après l'enlèvement d'un des côtés de ce bassin provisoire, on a pu amener le caisson à sa place d'immersion.

Alors on a commencé la pose du béton sur le plafond, puis élevé les maçonneries des bajoyers, le long des parois longitudinales, jusqu'à ce que le caisson touchât le fond et ne se relevât plus à marée haute.

A ce moment, les maçonneries de brique du radier étaient arrivées à leur hauteur, au droit des poutres principales. Entre ces poutres, il restait encore des cases à remplir.

On a laissé entrer l'eau dans la partie supérieure, après avoir mis le caisson exactement en place; puis on a commencé à introduire de l'air comprimé dans les chambres de travail, pour faire le nettoyage et le dressement du fond.

Pendant la construction des maçonneries de lestage, un des angles de la fouille avait

été approfondi, et l'angle opposé relevé par l'effet des courants. Pour cette raison on a constaté, au moment de l'échouage, un certain gauchissement ; mais, ni le caisson, ni les maçonneries faites n'ont paru avoir subi de déformation. Les déblais du fond ont été expulsés par les mêmes appareils que ceux dont nous parlerons dans la description des caissons de murs de quai.

Enfin on a entièrement rempli de béton la chambre de travail.

Les deux digues latérales ont été établies pour isoler le sas de l'Escaut, et on a pu, à leur abri, démonter la paroi en fer, du côté de l'amont, et fermer les vannes pratiquées dans la paroi extérieure.

Toute communication avec l'Escaut étant interrompue, on a épuisé l'intérieur et l'on a terminé les parements en pierre de taille du radier et des bajoyers.

L'épuisement exécuté pour la tête aval de l'écluse a permis de faire la fouille, battre les pieux et palplanches, puis poser le béton et commencer la construction des murs du sas jusqu'à la rencontre de l'ancien batardeau.

Lorsque le pont tournant, établi sur la tête amont, a été monté, on a immédiatement posé, sur ce pont, la voie d'accès aux divers points du chantier et l'on a élevé le batardeau, ce qui a permis d'achever les murs de sas en les raccordant avec ceux de la tête amont.

Les trois paires de portes ont été, pendant ce laps de temps, construites et montées à l'abri du batardeau formé par la paroi du caisson de la tête aval et des remblais raccordant ce caisson au terrain primitif.

Il est entré, dans la construction de cette écluse, environ :

Béton	8.000 ^{m³}
Maçonnerie de brique	40.000 ^{m³}
Maçonnerie de moellon piqué et pierre de taille	2.500 ^{m³}
Fers pour caissons, ponts et portes	800 tonnes

Commencée le 1^{er} septembre 1878, elle a été achevée le 1^{er} avril 1880, en treize mois de travail effectif.

Murs de quai de l'Escaut.

L'exécution des murs de quai continu de l'Escaut a été un travail nouveau et considérable, qui a présenté de nombreuses difficultés résultant des grandes dimensions de la construction et des conditions spéciales dans lesquelles on se trouvait placé. Ce travail était à faire sous l'eau, à des profondeurs variant de 8 à 12 mètres, à marée

basse, et de 14 à 18, même à 20 mètres, à marée haute, dans un fleuve ayant un fort courant (jusqu'à 4^m,90 par seconde), soumis à des marées de 4^m,50 à 6 mètres. Ces murs reposent sur une fondation de 9 mètres de largeur et 2^m,50 à 5 mètres de hauteur, arasée à 8 mètres au-dessous de la marée basse.

Dans le projet présenté avec la soumission, on s'est inspiré des dispositions employées par MM. Castor et Hersent, aux quais de Bône et de Brest (1), mais on a proposé de nouveaux moyens pour la manipulation des caissons métalliques.

Le quai fut divisé en tronçons de 25 mètres, à construire sur des caissons, qui devaient être posés les uns au bout des autres et réunis ensuite pour que le quai fût continu sur toute sa longueur. La partie supérieure du mur au-dessus de la fondation devait être construite à la marée.

L'expérience acquise par les travaux antérieurs, et le grand nombre de caissons pareils à foncer dans les mêmes conditions, déterminèrent l'emploi des dispositions générales suivantes :

1° Construire des caissons métalliques, identiques en surface et de hauteurs variables, à raison des profondeurs présumées du fonçage;

2° Surmonter ces caissons de batardeaux mobiles, qu'on retirerait pour s'en servir à nouveau;

3° Construire un échafaudage flottant pour manutentionner le batardeau mobile, qui pèse 200 tonnes, et installer, sur cet échafaudage, tous les engins de manutention des matériaux.

4° Réunir par un joint convenable deux fondations voisines.

Caissons.

Les caissons métalliques ont tous la même longueur, 25 mètres, et la même largeur, 9 mètres. Ils diffèrent par leur hauteur qui varie de 2^m,60 à 6 mètres, suivant les points du fleuve où ils doivent être foncés (2).

Ces caissons sont divisés en deux parties, dans le sens de la hauteur. La partie inférieure, ou chambre de travail, a 4^m,90 de hauteur; elle sert pour l'emploi de l'air comprimé. La partie supérieure, au-dessus du plafond, ouverte en haut, sert à faire flotter l'ensemble; elle a de 0^m,70 à 4^m,40 de hauteur. L'armature générale est composée

(1) A. Castor, *Recueil d'appareils à vapeur*, L. Lacroix, 1867.

(2) On a construit des caissons spéciaux pour la partie circulaire des muscirs, etc., qui ont été foncés différemment.

de l'enveloppe extérieure, rendue rigide par des contre-fiches intérieures attachées aux poutres transversales, espacées de mètre en mètre, qui font de l'ensemble un châssis d'une réelle résistance. (*Pl. IV, fig. 6 et 7.*)

Le plafond, séparant les capacités inférieures et supérieures, est interposé entre les contre-fiches et les poutrelles ; il est percé d'orifices surmontés des amorces de cheminées. L'orifice du milieu, de 4^m,95 de diamètre, doit être réservé à l'entrée des ouvriers dans la chambre de travail ; les 4 autres, de 0^m,50 de diamètre, doivent servir à l'introduction du béton pour le remplissage de la chambre de travail.

En outre des ouvertures du plafond, on a placé, à l'intérieur de chaque chambre de travail, un robinet de 0^m,40 avec tubulure débouchant au dehors, qui sert pour l'expulsion des déblais susceptibles d'être entraînés avec de l'eau, comme on l'expliquera plus loin.

Les caissons ont été construits dans des chantiers voisins de l'Escaut. Pour les mettre à flot et les amener à leur place d'immersion, on les a posés sur des galets *ad hoc*, roulant sur des rails. Ces galets venaient s'engager sur un plan incliné, muni de doubles rails, qui permettait de descendre les caissons, à basse mer, à un niveau tel qu'à la haute mer suivante, on pouvait les faire flotter et les conduire à destination.

Pour construire la maçonnerie au-dessus de la chambre de travail, on s'est mis à l'abri de l'eau, au moyen de grands panneaux métalliques appelés : batardeaux mobiles. Ces panneaux assemblés formaient une caisse rectangulaire dont les dimensions extérieures, à la base, étaient les mêmes que celles du caisson, c'est-à-dire 25 mètres de long sur 9 mètres de large ; tandis qu'à l'intérieur, elles n'étaient que de 24 mètres de long sur 8 mètres de large. La hauteur totale est de 12 mètres. Nous détaillons la construction des batardeaux au chapitre IV, page 175.

Construction d'un tronçon de 25 mètres de quai.

L'échafaudage flottant est amené à la place que doit occuper le caisson à foncer, puis solidement amarré à l'aide de chaînes et d'ancres. Il porte le batardeau mobile qu'on lève assez haut, au-dessus du niveau de l'eau, pour que le caisson en flottant puisse être introduit dessous. On pose une bande de caoutchouc sur la cornière du batardeau, et on place quelques boulons pour présenter les parties à joindre. Enfin, quand les trous sont en face ou à peu près, on introduit un peu d'air comprimé dans le caisson pour le soulever et l'appliquer contre le batardeau, et l'on boulonne le joint sur tout le pour-

tour. Cette opération est faite hors de l'eau, à l'air libre et, autant que possible, au moment de l'étalement de haute ou basse mer.

Les boulons employés ont la tête à six pans et l'écrou quadrangulaire. Ils sont disposés de telle façon qu'au démontage l'écrou, seul, est perdu.

On pose ensuite le béton sur le plafond du caisson jusqu'au niveau supérieur des poutres, et on commence la construction du mur en montant d'abord les extrémités que le milieu.

On place, transversalement, des étais pour renforcer les parois métalliques, à mesure que la construction s'enfonce sous l'eau.

Les maçonneries sont en contact direct avec la paroi longitudinale du batardeau, derrière le mur et aux deux bouts, sauf au droit des rainures ménagées pour faire ultérieurement les joints. Sur la face extérieure il reste un espace libre, entre le mur et la paroi métallique.

Lorsque la maçonnerie atteint une ligne d'étré sillons, on engage, entre la face du mur et la paroi du batardeau, de petits étais qui permettent de retirer les grands au fur et à mesure de l'enfoncement.

Pour ne pas troubler l'équilibre de l'ensemble, on a rempli de sable l'espace libre, entre la face extérieure du mur et la paroi du batardeau.

Pendant qu'on exécute la maçonnerie, dans le caisson, on observe, attentivement, la tension des chaînes de suspension, afin de ne leur laisser porter que ce qui est utile pour intéresser le caisson surmonté du batardeau. Cette opération est ainsi continuée jusqu'au moment où le caisson touche le sol, à marée basse.

En même temps qu'on continue la maçonnerie, on introduit, à marée basse, de l'air comprimé dans la chambre de travail, et l'on va dresser et régler le sol au fond, afin d'éviter que le caisson ne repose sur une surface gauche. Enfin, on arrive au moment où le caisson ne peut plus se relever à marée haute. On continue la maçonnerie parallèlement au fonçage, et on l'arrête seulement lorsqu'elle est arrivée au niveau d'arasement.

A raison de ce que le déblai a presque toujours été du sable non aggloméré, il a été possible de l'évacuer de la façon suivante. On s'est servi de deux caisses en fer, de 150 litres de capacité, ouvertes à leur partie supérieure et ayant, à leur partie inférieure, un orifice de 0^m,40 de diamètre d'où partait un tuyau métallique, traversant le plafond et débouchant à l'extérieur du caisson. Un robinet de même dimension permettait d'intercepter ou d'établir la communication à volonté. On jetait le déblai dans ces caisses, en le mélangeant avec de l'eau qu'on introduisait du dehors, et la pres-

sion de l'air de la chambre de travail projetait ce mélange, à l'extérieur, lorsqu'on ouvrait le robinet de communication.

On a donné le nom d'*éjecteur* à cette disposition particulière du siphonnement, qui a rendu des services, et qui réalise un progrès sur celle dont M. Triger s'était servi au puits de Chalennes.

Quand les déblais sont extraits et que le caisson est arrivé à profondeur, c'est-à-dire sur le sol résistant (sable vert coquillier très dur), on procède au remplissage de la chambre de travail en introduisant le béton par les cheminées installées spécialement à cet effet. En même temps, on effectue, à la partie supérieure, l'arasement des maçonneries et on pose les premières assises de parement, en moellons piqués, à l'alignement et au niveau convenables pour le raccordement des joints avec les caissons voisins; après quoi, on déboulonne les joints des cheminées d'écluses et de bétonnières, on suspend les cheminées au batardeau, puis on laisse pénétrer l'eau. On envoie, ensuite, de l'air comprimé dans les galeries inférieures du pourtour, où l'on opère le déboulonnage du batardeau, qu'on lève avec tous ses accessoires, à l'aide de l'échafaudage flottant; on le dégage de la construction, au moment de la haute mer, et on le transporte, sur un nouveau caisson, pour recommencer un travail semblable.

La mise en place exacte est une opération délicate à raison des courants divers et de l'inégalité du sol. Elle a été difficile pour les premiers caissons, mais, l'expérience aidant, elle s'est faite plus facilement par la suite et, en général, l'alignement a été très bon.

Jonction entre deux tronçons de mur.

Les tronçons de mur de 25 mètres de longueur étaient posés l'un au bout de l'autre, de façon que leurs caissons de fondation se touchaient, ou peu s'en faut, et il restait au-dessus des fondations, un espace libre, sans maçonnerie, de 1 mètre à 1^m,25 de large, représentant un peu plus de deux fois l'épaisseur des batardeaux. Les extrémités des massifs étaient munies de trois rainures, pour permettre leur liaison avec les joints.

Voici comment on a procédé à la confection de ces joints, en vue d'établir la continuité du mur de quai :

1° On a posé, sur chaque paroi, un panneau en bois, lesté pour plonger dans l'eau, et de la grandeur exacte de l'orifice qu'on avait mesuré à l'avance. Ces panneaux ont été attachés, à chaque extrémité du mur, par des crochets en fer, agrafés dans les rainures, de façon à former une caisse pouvant contenir du béton.

2° On a nettoyé, préalablement, les surfaces et le joint par injection d'eau ou d'air comprimé.

3° On a coulé du béton jusqu'à 4 mètre sous zéro, dans l'espace formé par les panneaux, au moyen d'une bétonnière à portes inférieures.

4° On a épuisé, à basse mer, la partie restant à remplir et on a posé les assises de moellon piqué, qui ont été arasées au même niveau que dans les deux caissons adjacents.

Après la confection des joints, la maçonnerie du mur a été élevée en travaillant avec sujétion de marées, sans que rien de particulier soit à signaler. Toutefois, pour éviter que le sable ne puisse passer à la partie inférieure des joints, on a eu la précaution d'y faire un remblai en terre de schorre.

Dragages. Démolition d'anciens ouvrages.

L'entreprise comportait : environ 1,400,000 mètres cubes de dragages à effectuer dans l'Escaut; la démolition du Werf et de certaines parties de quais, etc., etc. L'avancée du Werf se composait de plusieurs ouvrages, élevés les uns sur les autres, à des époques différentes et leur démolition, ainsi que celle des quais, présentèrent de réelles difficultés.

Il a été extrait du fleuve plus de 7,000 mètres cubes de bois de toutes sortes et, surtout, beaucoup de pieux anciens. On a été souvent obligé de briser, avec des explosifs, les fragments de maçonnerie, trop gros pour pouvoir être dragués.

Le matériel employé à ces travaux d'extraction comprenait trois dragues et deux pontons arrache-pieux.

Deux des dragues avaient des godets de 250 litres; l'une d'elles, (celle qui a été utilisée au canal de Gand à Terneuzen), portait une machine à vapeur de 50 chevaux; elle a été particulièrement employée aux travaux faciles. L'autre, construite spécialement pour être employée aux travaux difficiles, était munie d'une machine compound, de 80 chevaux. Le carré d'entraînement des godets était commandé à l'aide de deux chaînes Gall. L'arbre du pignon de chaîne Gall était actionné par la machine à vapeur, au moyen de deux poulies plates, agissant, l'une sur l'autre, par simple contact. Cette disposition nouvelle a eu pour but d'atténuer les chocs, résultant des différences de dureté des produits du dragage. Les treuils étaient actionnés par une machine spéciale.

La troisième drague était une pompe à sable, affectée aux dragages spéciaux qu'on peut demander à cet engin. Elle a servi à l'extraction du sable nécessaire pour les maçonneries.

Les *arrache-pieux* sont des pontons en fer portant, à l'une de leurs extrémités, une chèvre ou bigue très forte, avec laquelle on accroche, à marée basse, un ou plusieurs pieux au moyen d'élingues. Les élingues sont amarrées à un fort palan, qu'on tend au moyen d'un treuil à vapeur.

Assez souvent, on amarrait les pieux au ponton ou à sa bigue et l'action seule de la marée produisait l'extraction, ou au moins l'ébranlement.

Ce travail d'arrachage de pieux sous l'eau présente de grandes difficultés et n'est pas toujours sans danger; il nécessite, en tout cas, un outillage approprié et des hommes très expérimentés.

Eclairage des chantiers.

L'importance des travaux à exécuter et la nécessité de travailler souvent la nuit, à cause de la sujétion des marées, a motivé l'organisation d'un grand éclairage pour lequel l'emploi de l'électricité était tout indiqué. Aussi, dès l'année 1878, a-t-on installé deux machines Gramme, à courants alternatifs, chacune de 16 bougies Jablockhoff, et deux petites machines servant d'excitatrices. Il y a eu jusqu'à 7 kilomètres de fil employé pour huit circuits.

Cet éclairage, qui a rendu de très grands services, fournissait partout la lumière en quantité suffisante pour qu'on puisse travailler la nuit et maçonner, sans interruption, dans les batardeaux.

L'éclairage des chambres de travail avait toujours été un problème difficile à résoudre; après avoir essayé différents systèmes, l'emploi des bougies fut reconnu le plus simple, malgré l'inconvénient de la fumée se mêlant à l'air de la chambre de travail, où les ouvriers étaient obligés de séjourner.

En 1881, l'Exposition d'électricité de Paris fit connaître les lampes à incandescence qui, par leur nature, étaient tout indiquées pour un pareil usage, puisqu'elles supprimaient les inconvénients de la fumée.

En 1882, on a complété les premières installations d'éclairage des chantiers, par l'addition de deux batteries de 30 accumulateurs et de deux nouvelles machines Gramme (type d'atelier), dont l'une, à fil fin, pour charger les accumulateurs, et l'autre, pour l'éclairage direct des lampes.

L'éclairage devait souvent se faire dans cinq caissons à la fois; il nécessitait l'emploi de 40 lampes de 20 bougies, soit 8 lampes par chaque caisson.

Pour permettre aux lampes Swann de résister à la pression extérieure de deux atmosphères effectives, on leur a mis des enveloppes de verre notablement plus épaisses

que celles de fabrication ordinaire et on les a protégées, extérieurement, par un grillage métallique.

Dans la journée, on employait l'une des machines électriques à alimenter les lampes à incandescence des chambres de travail, pendant que l'autre chargeait les accumulateurs, qui devaient fonctionner pendant la nuit, et remplacer les machines électriques plus spécialement affectées aux bougies Jablockhoff.

L'introduction de l'éclairage électrique, par incandescence, dans les caissons à air comprimé, a été très appréciée des ouvriers et, malgré l'excédent de dépenses, qui en est la conséquence, c'est un éclairage à recommander pour ces sortes de travaux (4).

Travaux spéciaux en dehors des quais.

Conduit souterrain des formes de radoub.

En même temps qu'on régularisait l'Escaut et qu'on construisait les quais, on s'occupait aussi d'améliorer l'outillage des bassins à flot.

Au bassin du Kattendyck, on ajoutait trois nouvelles formes de radoub. M. Royers, ingénieur de la ville, reconnu que les machines d'épuisement des anciennes cales pouvaient faire le service des nouvelles et des anciennes, tout à la fois. Pour permettre cette simplification, il fallait établir, sans grande dépense, une communication souterraine entre le puits des nouvelles formes et le puisard des anciennes, dans une couche de sable vert, sans consistance, à 3^m,50 en contre-bas du niveau des eaux du bassin. Faire ce travail par épuisement, aurait été, non seulement fort coûteux, mais encore dangereux, car on courait le risque d'entraîner les murs des constructions voisines. Dans ces conditions, l'emploi de l'air comprimé semblait tout indiqué. Après divers pourparlers, nous primes l'engagement d'exécuter ce travail dans le délai de cinq mois, pour le prix, à forfait, de 75,000 francs.

L'eau provenant des nouvelles formes devait être amenée dans un puits à construire, et, de là, dans le puisard des machines d'épuisement, par la galerie de communication. Ce puits, qui a 3^m,70 de diamètre, extérieurement, et 2^m,50, intérieurement, a été foncé mi-partie à l'air libre et mi-partie à l'air comprimé, jusqu'à 12^m,25 de profondeur, après quoi le fond a été maçonné (*Pl. IV, fig. 13*).

La partie supérieure du puits a été recouverte d'un plateau métallique fermant

(4) A la fin de l'entreprise, cette installation électrique a été achetée par la ville d'Anvers.

exactement, qui a été surmonté d'une écluse à air pour l'extraction des déblais et pour l'introduction des pièces en fonte destinées à la galerie.

Pendant le fonçage, on a successivement traversé les couches suivantes :

- 1° Sur 3^m,50 d'épaisseur, des terrains divers de remblais;
- 2° Sur 2^m,80, des terre végétale et tourbe;
- 3° Sur 2^m,75, du sable argileux, verdâtre, renfermant beaucoup de coquillages;
- 4° Et sur les 3^m,50 restants, du sable très fin, verdâtre et sans consistance.

L'orifice, pour le départ de la galerie, avait été préparé d'avance dans l'enveloppe en tôle du puits et c'est sur cet orifice que sont venus se boulonner les anneaux en fonte pour le blindage de la galerie.

La galerie est droite sur 58 mètres, en courbe sur 16 mètres, et se raccorde, avec le puisard des pompes, par une ligne droite de 16 mètres.

Sa forme est à peu près ovale; elle est formée par des anneaux en fonte de 0^m,50 de longueur, composés de quatre pièces à nervures assemblées par des boulons (*Pl. IV, fig. 14 et 15*). Les joints sont obtenus par une corde goudronnée, comprimée par le serrage. Ces pièces à nervures ont, pour dimensions : en dedans 1^m,50 de hauteur et 1^m,20 de largeur, et, en dehors, 1^m,75 sur 1^m,50.

Le déblai, à l'avancement, a été fait par tranches de 1 mètre de longueur à partir du dernier anneau posé (*Pl. IV, fig. 13*). La galerie avait, tout autour, environ 0^m,20 de plus que les anneaux, pour permettre de les poser facilement. Les déblais étaient transportés, à l'aide d'une petite voie, dans des caisses placées sur des wagonnets, jusqu'au puits où on les élevait dans l'écluse à air, pour opérer leur évacuation.

Aussitôt qu'un anneau était mis en place et boulonné, on le bourrait tout autour, avec du sable, et on mettait un peu d'argile à la partie supérieure, pour empêcher l'air comprimé de s'échapper.

Après le démontage du plateau supérieur du puits, on a constaté que la galerie était parfaitement étanche et que le travail avait été bien exécuté. C'est probablement la première galerie construite au moyen de l'air comprimé.

Batterie sous-marine.

Pour profiter de l'outillage considérable des chantiers du port d'Anvers, l'administration du génie a chargé l'entreprise de construire, sur la rive du fleuve, une batterie sous l'eau, pour lancer des torpilles.

Cette batterie comporte deux grandes salles couvertes, qui ont été construites dans un caisson et sont reliées au fort par un tunnel blindé.

Le tout se voit à peine du dehors et les dispositions spéciales de cette construction paraissent avoir été très appréciées de l'administration de la guerre.

Construction des Écluses de Saint-Aubin, près Elbeuf.

Dispositions générales des Écluses (1).

Les écluses de Saint-Aubin, près Elbeuf, sont construites dans une dérivation de la Seine, ayant sa prise d'eau à l'amont de Martôt, et rentrant dans le lit du fleuve, en face d'Elbeuf.

Les projets avaient été faits dans la prévision d'une fondation à exécuter par les moyens ordinaires, dans une enceinte fermée; mais en raison de la grande perméabilité du sol, reconnue pendant l'exécution des fouilles, MM. les Ingénieurs des Ponts et Chaussées pensèrent qu'il serait plus sûr, et plus rapide, de construire ces écluses au moyen de l'air comprimé.

Nous avons été chargé de cette construction, pour tout ce qui concernait l'air comprimé, les caissons, etc., par une convention à forfait, à la suite d'un concours restreint, et nous devons dire que la dépense est restée dans les limites des prévisions.

La fouille avait été faite au moyen de dragages, nous avons eu à combiner les dispositions spéciales pour asseoir, convenablement, sur le sol, et réunir entre eux, les caissons formant les bajoyers et ceux destinés à contenir les chambres de portes d'écluse.

Les écluses de Saint-Aubin sont séparées par un bajoyer commun, et forment deux sas : un grand, de 159 mètres de longueur et 12 mètres de largeur, susceptible d'écluser, à la fois, un train de touage ou de remorquage; un petit, de 59 mètres de long et 8^m,20 de large pour, écluser les bateaux séparés.

Le seuil d'aval est à la cote — 2^m,05 et celui d'amont à la cote — 0^m,07, la différence entre ces deux cotes est la retenue présumée du barrage.

On devait asseoir les maçonneries de fondation à la cote — 7 mètres; mais on est descendu, en moyenne, jusqu'à — 7^m,46 et toute la maçonnerie des bajoyers et des chambres des portes repose, uniformément, sur la craie blanche compacte.

Le remplissage et la vidange des sas sont effectués par des aqueducs, munis de vannes métalliques, à jalousies, donnant ou écoulant une grande quantité d'eau en peu de temps.

(1) Les travaux ont été exécutés sous la direction de M. de Lagrené, Ingénieur en chef, promu, depuis, Inspecteur général des Ponts et Chaussées; M. Caméré, Ingénieur en chef, et M. Lechales, Ingénieur des Ponts et Chaussées, résidant à Rouen.

Les plans et coupes (Fig. 1 à 8; Pl. VI) définissent la disposition générale des ouvrages.

Moyens d'exécution.

Pour la construction, on a divisé les deux écluses en 10 fragments, correspondant à autant de caissons spéciaux, qui ont été mis en place dans l'ordre indiqué par la Fig. 1, Pl. VI.

Caisson n° 1. — Bajoyer gauche de la petite écluse.

Caisson n° 2. — Bajoyer droit de la petite écluse, commun avec le bajoyer gauche de la grande.

Caisson n° 3. — Chambres des portes d'aval de la petite écluse et partie du bajoyer gauche de la grande.

Caissons n° 4 et 5. — Complément du bajoyer gauche de la grande écluse.

Caisson n° 6. — Chambres des portes d'aval de la grande écluse.

Caissons n° 7, 8 et 9. — Bajoyer droit de la grande écluse.

Caisson n° 10. — Chambres des portes d'amont des deux écluses.

Il y a, en outre, 4 petits caissons pour supporter les murs en retour des têtes d'amont et d'aval *a, a', a'', a'''*.

Les 10 caissons métalliques ont 1^m,90 de hauteur, pour les chambres de travail, et 1^m,50 au-dessus pour la flottaison et le montage des batardeaux, ce qui fait, en tout, 3^m,40 de hauteur de tôlerie perdue autour et dans la maçonnerie sous l'eau.

Tous ces caissons sont d'assez grandes dimensions; ceux des bajoyers ont 8^m,60 de largeur et 35 à 45 mètres de longueur. Le caisson des chambres des portes d'amont a 44 mètres sur 22 mètres; il est divisé en compartiments comme les caissons de Missiessy à Toulon; chacun des caissons des chambres de portes d'aval a environ 400 mètres carrés de surface. Ils ont été construits à terre et mis à l'eau par glissement, sur un plan incliné de 10 0/0.

Nettoyage du fond et remplissage.

Les caissons furent amenés, séparément, à leur place et descendus jusqu'au sol avec la maçonnerie qu'ils contenaient. On a fait usage de l'air comprimé pour visiter le fond et le nettoyer des résidus de dragage, qui s'y étaient déposés sur une hau-

teur de près d'un mètre. Les parties molles furent enlevées à l'aide de siphons à air comprimé, et les débris solides, cailloux etc., au moyen des écluses à air. On a fait, ensuite, un peu de fonçage, et le tranchant du caisson a été partout encastré dans le sol calcaire, pour que toute la base fût assise exactement sur le terrain solide.

Ce n'est qu'après le nettoyage préalable et après la visite du fond de chaque caisson, par MM. les Ingénieurs, que le remplissage, avec du béton fabriqué à l'extérieur, a été opéré par des écluses à air spéciales, permettant d'introduire jusqu'à 400 mètres cubes de béton par jour, de le ranger avec soin et le bien bourrer sous le plafond en commençant aux extrémités et en se retirant vers la base de la cheminée de l'écluse de communication pour les hommes. Au-dessous de cette dernière écluse, il y a une écluette spéciale pour l'introduction du béton, qui sert à remplir les dernières parties de la chambre de travail et la base de la cheminée elle-même pour faire le joint de fermeture.

La base des cheminées de bétonnières et de la cheminée d'écluse sont restées dans la maçonnerie ; deux jours après l'achèvement du remplissage, on a démonté toutes les cheminées, à partir du premier joint, puis on a fermé les puits avec du béton et de la maçonnerie.

Tout le massif au-dessous du niveau des basses eaux a été construit avant l'enlèvement des batardeaux. Le reste des maçonneries, hors de l'eau et les joints dont il est question ci-après ont été terminés ensuite.

Jointe entre les caissons.

La construction successive des maçonneries sur les caissons, la mise en place de ces derniers, avec exactitude, et le raccordement des parements, se sont réalisés sans entraves et d'une façon satisfaisante.

Il en a été de même de la réunion des divers tronçons entre eux, malgré les petites difficultés de détail qu'on a rencontrées

Pour les joints entre deux caissons de bajoyers, on a procédé de la manière suivante :

1° Avec un jet d'air comprimé, on a agité le sol et, avec une pompe, on a enlevé l'eau contenant la vase et la terre mises en suspension, de sorte qu'au fond du joint, il n'est resté que des cailloux propres, dont on a pu constater la présence par les sondages et même avec le scaphandre.

2° Les deux panneaux en tôle *A. B.* (*Pl. VI fig. 9, 10 et 11*) ont été mis en place et on les a assujettis de chaque côté au moyen de deux pilots, et d'une ligature intérieure.

3° On a d'abord coulé, au fond de la rainure, une couche de mortier au ciment de Portland pour amalgamer, sûrement, les cailloux restés au fond, et marier le tout avec le sol calcaire; par-dessus le mortier, on a coulé du béton sur une petite épaisseur et on a attendu la prise; puis une seconde épaisseur, une troisième et une quatrième, à un jour d'intervalle, pour que les parties inférieures aient le temps de prendre de la consistance. La dernière couche, qui atteignait le niveau où l'eau descend à basse mer, était un peu élevée sur les bords, de façon à faciliter l'étanchéité des deux panneaux destinés à former les batardeaux. Ces panneaux devaient naturellement serrer les murs après l'épuisement et leurs bords extérieurs étaient garnis de coussins remplis de mousse pour assurer l'étanchéité après le contact contre les maçonneries.

Généralement, l'opération d'épuisement et d'étanchéité a réussi du premier coup; mais il est aussi arrivé, quelquefois, qu'on a dû obstruer des rentrées d'eau, qui provenaient d'un manque de précautions.

L'élévation des maçonneries de briques et de moellons n'a donné lieu à aucun incident particulier, après l'assèchement entre les batardeaux. En raison des diverses formes de joints, on a fait des panneaux différents pour chaque cas particulier; leur poids a été, en moyenne, de 3,000 kilogrammes.

L'achèvement des maçonneries, au-dessus du niveau de l'eau, a permis de constater la précision relative avec laquelle les blocs séparés, des bajoyers de l'écluse, ont été mis en place: à la partie supérieure, le tout paraît avoir été fait d'un seul morceau.

Après l'exécution des travaux, il s'est produit, aux écluses de Saint-Aubin, un fait important, qui paraît avoir été remarqué pour la première fois.

Au commencement de l'hiver 1883-84, on a observé des petites fissures verticales, dans la maçonnerie des bajoyers, au droit de quelques joints; plusieurs briques furent cassées par arrachement. Ces fissures ont eu jusqu'à un demi-millimètre d'épaisseur au plan d'eau, et s'arrêtaient à 1^m,50 ou 2 mètres au-dessous du couronnement. On a cru qu'elles avaient été déterminées par l'abaissement de la température, qui aurait contracté le fer des caissons. Il faut peut-être chercher d'autres causes pour expliquer cet effet, car on a refait les parements et le mouvement paraît s'être produit de nouveau.

Après l'exécution des travaux, on a fait un radier en béton, de 2 mètres d'épaisseur, dans les sas d'écluse, tant pour renforcer les murs des bajoyers que pour assurer l'étanchéité du fond.

Organisation des Chantiers.

Le mortier a été fabriqué avec deux broyeurs à roues, employés aux grands travaux de maçonnerie, mis en mouvement par une machine à vapeur de 18 chevaux qui actionnait, en même temps, une pompe pour l'élévation de l'eau nécessaire à la confection du mortier et au lavage des cailloux à béton.

L'air comprimé, nécessaire pour les caissons, a été fourni par 4 compresseurs à 2 cylindres, commandés par deux machines de 25 chevaux chacune, conduisant aussi une machine Gramme, pour l'éclairage électrique, au moyen de 4 bougies Jablochhoff. A la fin des travaux de fonçage, on a éclairé le fond des caissons au moyen de lampes à incandescence, alimentées par un courant électrique produit par deux batteries de piles au bichromate de potasse sursaturé, dont l'entretien n'est pas trop difficile. Ce système peut devenir pratique, sinon économique. Depuis cette expérience, en 1883, l'emploi des lampes à incandescence est devenu ordinaire pour cet usage, mais on produit l'électricité au moyen de la machine Gramme.

Pour le débarquement des pierres de taille et le chargement sur wagon, nous avons employé une grue à vapeur, roulant sur une voie de 2^m,50, qui a rendu de bons services, aussi bien pour le classement de la pierre brute que pour la reprise des pierres taillées, au moment de l'emploi.

Une grue roulante, à chariot, a été installée sur les grands caissons des chambres de portes pour faciliter la manutention des pierres de taille et leur mise en place.

Une barge flottante, qui permettait de lever et mettre en place les fragments de batardaux, les grosses pierres de taille de 40 à 45,000 kilogrammes, et d'embarquer, dans les caissons, tous les matériaux de maçonnerie, a rendu les plus grands services et facilité beaucoup d'opérations, considérées comme délicates ou difficiles.

Les plans inclinés sur lesquels on a construit les caissons pour les mettre à l'eau complétaient l'installation des chantiers.

Construction d'un bassin de radoub, à l'arsenal de Saïgon,

au moyen de caissons métalliques.

La construction de bassins de radoub est réclamée dans tous les ports pour la visite des carènes de navires et pour les réparations que nécessitent les longues traversées. Aussi la ville de Saïgon, qui est le centre commercial et administratif de la colonie française de l'Indo-Chine, réclamait-elle, depuis longtemps, un bassin de radoub fixe, pour remplacer le dock flottant qu'elle possède déjà depuis un certain nombre d'années.

Les sondages, exécutés à l'endroit où l'on a construit le bassin de radoub, ont accusé une couche de sable à la profondeur de la fondation, c'est-à-dire à 10 mètres environ au-dessous du niveau de la basse mer. On craignit, avec raison, d'avoir à faire des épaissements trop importants si l'on creusait, à l'air libre, la fouille jusqu'à cette profondeur. Ce travail aurait été d'autant plus difficile qu'on n'a pas, à Saïgon, toutes les ressources dont on dispose en Europe.

Aussi l'Administration de la Marine et des Colonies s'est-elle décidée à construire le bassin de radoub de Saïgon à l'aide de moyens analogues à ceux qu'on a employés, avec tant de succès, pour la construction des bassins de Missiessy, à l'arsenal de Toulon, avec cette différence caractéristique que, pour Saïgon, on a préféré employer plusieurs caissons, au lieu d'un seul comme à Toulon.

Cette disposition, plus compliquée en réalité, et aussi plus coûteuse, a été préférée pour diviser l'opération du fonçage en deux périodes, moins longues qu'une seule.

Les agents et ouvriers, attachés à la construction, purent ainsi suivre chaque opération sans être exposés à un excès de fatigue, toujours dangereux dans les pays où la température est exagérée. D'un autre côté, en faisant des fouilles dans un sol contenant des débris organiques, on a craint de développer des fièvres intermittentes parmi le personnel du chantier. Pour cette raison, on a pensé qu'en exécutant les déblais de la fouille par dragage, et leur transport avec des moyens hydrauliques, on écarterait, en très grande partie, les émanations insalubres du sol.

Atténuer les émanations, d'une part, et diminuer le nombre des travailleurs, d'autre part, cela parut constituer des éléments de succès dont on devait tenir grand compte, sous un climat n'ayant pas bonne réputation.

Après avoir écarté les inconvénients les plus considérables du climat, nous avons arrêté les combinaisons générales qui nous semblaient permettre l'exécution du travail en quatre années, d'après les dispositions suivantes :

Le bassin de radoub de Saïgon, destiné aux navires de l'État et aux paquebots, mesure, intérieurement :

Longueur entre le bateau-porte et le fond	mètres. 161,00
Largeur au fond	19,08
Largeur au couronnement	26,88
Profondeur du seuil au-dessous du couronnement	9,80
Les dimensions extérieures de la construction sont les suivantes :	
Longueur totale de tête en tête	167,30
Largeur extérieure des caissons	30,00
Profondeur de la fondation sous les basses mers environ	44,00

Le corps du bassin de radoub repose sur deux caissons séparés (*Pl. VII, fig. 1*) ayant chacun 83 mètres de longueur, qui ont été réunis à la fin de l'opération par une maçonnerie étanche.

Les machines motrices, les pompes et le puisard sont installés sur un troisième caisson, ayant 20 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur, qui forme, en même temps, mur de retour et est relié au corps du bassin par un joint en maçonnerie à travers duquel passe la galerie de communication du bassin au puisard.

Un quatrième caisson, de 8 mètres de longueur sur 4 mètres de largeur, sert à soutenir le mur en retour, formant tête du côté opposé aux machines. Ce mur est relié au corps du bassin par une voûte en maçonnerie, construite sur des enrochements.

Les deux grands caissons, mesurant chacun 83 mètres de longueur sur 30 mètres de largeur, sont, comme ceux de Toulon, coupés horizontalement par le plafond, qui les divise en deux parties distinctes :

1° La partie inférieure, appelée chambre de travail, pour l'emploi de l'air comprimé;

2° La partie supérieure, d'une seule pièce, destinée à contenir les maçonneries du radier et des bajoyers.

La chambre de travail est divisée, par les poutres transversales, en 10 compartiments, de 8^m,30 de long sur 30 mètres de large, armaturés à l'intérieur au moyen de consoles; elle est renforcée, sur le plafond, par des poutrelles à croisillons (*Pl. VII, fig. 8 et 9*).

Chacun de ces compartiments est muni d'une cheminée avec écluse à air pour le passage des ouvriers employés, dans l'air comprimé, au déblai et au rangement du béton, et de deux autres, plus petites, pour l'éclusage du béton de remplissage.

Cette disposition d'un grand nombre de cheminées a été prise en vue de réduire le plus possible le travail intérieur, qui consiste à transporter le béton du pied de la cheminée au lieu d'emplot et à le pilonner.

En outre, chaque compartiment est muni de robinets destinés à l'expulsion des déblais. Dans ce but, les déblais argileux sont rendus demi-liquides au moyen de l'eau du fond, ou d'eau introduite, de l'extérieur, sous pression.

Les deux caissons du bassin de radoub sont presque identiques. Ils sont posés, bout à bout, en laissant, entre eux, un espace de 1^m,30, qui a été rempli, à la fin du travail, de manière à les rendre tout à fait solidaires l'un de l'autre et à former, à l'intérieur, une seule grande chambre, absolument étanche.

Les parois sont fortement armaturées, tous les 8^m,30, par de grandes contre-fiches verticales, assemblées à leur partie inférieure avec les poutres transversales. Chaque caisson a été fermé, à ses extrémités, par des batardeaux métalliques à une seule paroi. Ces batardeaux ont été démontés lorsque les maçonneries du bassin furent terminées, tandis que les côtés latéraux sont restés pour envelopper la maçonnerie et en assurer l'étanchéité.

Les hausses formant les parois sont en tôles minces; elles ont été posées, au fur et à mesure de l'enfoncement du caisson, sur des armatures destinées à les soutenir (*Pl. VII, fig. 8 et 9*).

Les maçonneries sont faites avec des granits du cap Saint-Jacques, où une carrière importante, à proximité d'un arroyo, a été ouverte spécialement par l'entreprise. Cette carrière a fourni presque tous les matériaux nécessaires à la construction du bassin.

Le mortier a été fait avec du sable, provenant des parties amont de la rivière de Saïgon, et du ciment de Portland ou de la chaux hydraulique; les proportions employées sont les mêmes qu'aux bassins de Toulon.

Les angles d'élévation, les seuils, les arêtes de banquettes, les marches d'escaliers et les couronnements sont en pierre de taille. Les parements de surface du radier sont en dalles et les bajoyers en moellons millés, parementés en mosaïque.

Le corps des maçonneries est en moellons bruts. La partie inférieure sur le plafond, dans les poutrelles, et le remplissage des chambres de travail sont en béton.

L'ensemble des matériaux entrés dans la construction peut se résumer comme suit :

Maçonnerie de pierre de taille	4.434 ^{m³}
Maçonnerie de moellon millé.	2.279
Maçonnerie de moellon brut	49.577
Maçonnerie de béton	45.250
TOTAL DES MAÇONNERIES	<u>38.260^{m³}</u>

L'entreprise comprenait, en outre :

1° L'exécution de la fouille dans laquelle le bassin a été construit, et le dressement du fond, au moyen de l'air comprimé.

2° La fourniture et la construction des caissons métalliques pour l'emploi de l'air comprimé. Le poids de ces caissons est d'environ 1,900,000 kilogrammes.

3° La fourniture et la mise en place des machines à vapeur et des pompes d'épuisement et d'assèchement.

4° La fourniture et la mise en place du bateau-porte, en fer et acier, qui fermè le bassin.

L'entreprise a été faite partie à forfait, d'après une définition jointe au marché, et partie sur série de prix.

L'ensemble des estimations s'élève à environ 7 millions de francs.

Bateau-Porte.

Description et dimensions.

Le bateau-porte, construit pour la fermeture du bassin de radoub, se compose de deux parties distinctes : le flotteur et les compartiments supérieurs.

Le flotteur a une section trapézoïdale ; il est terminé, à sa partie inférieure, par une quille et, à sa partie supérieure, par un pont nommé « pont du ressaut ».

À l'intérieur sont installées les caisses à eau, nécessaires pour les manœuvres. Le lest, en fonte, est empilé et rangé avec ordre dans la quille.

Les compartiments supérieurs, au nombre de trois, séparés par deux cloisons étanches, partent du pont du ressaut et sont terminés, à leur sommet, par une passerelle qui permet de circuler d'un côté à l'autre du bassin. Ils peuvent être alternativement remplis d'eau et vidés, pour les manœuvres de la porte.

De la passerelle, on peut descendre dans l'intérieur de ces compartiments et dans les flotteurs, à l'aide de trois cheminées verticales, rectangulaires, munies d'échelons.

	MÈTRES
Les principales dimensions du bateau-porte sont les suivantes :	
Largeur au milieu.	
{ au-dessus du pont du ressaut	4.500
{ au-dessous du pont du ressaut	4.500
Hauteur de la porte jusqu'au pont du ressaut	6.400
Hauteur totale de la porte.	40.700

	MÈTRES	
Largeur de la porte. {	au-dessus du pont supérieur	21.810
	au-dessous de la quille	19.920
Tirant d'eau à flot		5.900
Émersion pour sortir {	par basses mers	2.400
	par hautes mers	3.800
Différences entre les plus hautes et les plus basses mers.		1.700
Largeur de la quille et des étambots		0.700
Largeur de la passerelle.		4.900
Le poids du bateau-porte, sans lest, est d'environ		150.800k ^m
Le poids du lest s'élève à		115.700k ^m
Le déplacement du bateau-porte, avec le tirant d'eau de 5 ^m ,90 est de		266.500k ^m

Le bordé de la carène est en tôle de fer. Les membrures intérieures sont en acier.

Toutes les matières sont zinguées et peintes ensuite à trois couches.

Les manœuvres du bateau-porte sont de deux sortes : il faut pouvoir l'échouer dans ses enclaves et ensuite le relever pour l'en sortir.

Pour faire couler le bateau-porte dans ses enclaves, on remplit d'abord les caisses à eau. Comme ces caisses sont placées plus bas que le niveau de la flottaison, il suffit d'ouvrir les robinets qui les font communiquer avec l'eau extérieure. La manœuvre se fait de la passerelle à l'aide de tringles équilibrées, placées dans la cheminée centrale.

Les caisses pleines, le tirant d'eau de la porte s'élève à environ 0^m,250 au-dessus du pont du ressaut.

Pour terminer l'échouage, il suffit de faire communiquer les compartiments supérieurs avec l'extérieur en ouvrant les soupapes placées sur le pont du ressaut.

La manœuvre de ces soupapes se fait également de la passerelle. Lorsque la porte repose au fond de ses enclaves, le niveau de l'eau, dans les compartiments supérieurs, est le même que celui du fleuve.

On ferme alors tous les robinets, vannes et soupapes de la porte, et on commence l'épuisement du bassin.

Pour le relever, on ouvre les vannes afin de remplir le bassin, puis les soupapes qui font communiquer les compartiments supérieurs avec l'extérieur. On épuise ensuite l'eau des caisses à l'aide d'une pompe disposée à cet effet; cette pompe se manœuvre de la passerelle.

La porte se soulève d'elle-même jusqu'à ce qu'elle n'ait plus que 5^m,90 de tirant d'eau. A ce moment, elle peut être dégagée de ses enclaves, sans difficulté.

Machines et pompes d'épuisement et d'assèchement.

La capacité du bassin de radoub est d'environ 30,000 mètres cubes et la profondeur du radier, au-dessous des hautes eaux, de 40^m,300. La hauteur d'élévation de l'eau varie donc de zéro à 40^m,300.

L'épuisement ne doit pas durer plus de six heures. Il se fait à l'aide de deux machines motrices et de deux pompes d'épuisement, installées à gauche de l'entrée du bassin, dans une chambre spéciale, qui communique, par l'intermédiaire d'un puisard et d'une galerie, avec le bassin.

Les machines motrices sont du système compound, verticales, avec condenseur par injection. Chacune d'elles actionne directement une pompe Dumont. Elles sont munies d'un régulateur à force centrifuge ayant pour but d'empêcher toute accélération au delà de la vitesse de 180 tours par minute, et elles peuvent fonctionner, à volonté, avec ou sans condensation. Chacune d'elles développe une puissance maximum de 172 chevaux indiqués, en faisant 180 tours.

Leurs principales dimensions sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre	0 ^m ,380
Diamètre du grand cylindre	0 ^m ,520
Course commune des pistons	0 ^m ,500
Diamètre du plongeur de la pompe à air	0 ^m ,300
Course du plongeur	0 ^m ,300

Les chaudières, au nombre de six, sont placées dans un bâtiment en communication avec la chambre des machines, et recouvert par une toiture métallique. Quatre chaudières suffisent pour la marche des deux machines motrices. Elles sont à foyer intérieur amovible, avec tubes en retour et réservoir d'eau et de vapeur.

Leurs dimensions principales sont les suivantes :

Surface de grille par chaudière	4 ^m ,50
Surface de chauffe par chaudière	68 ^m ,00
Diamètre intérieur des tubes	0 ^m ,070
Épaisseur des tubes en laiton	0 ^m ,0025

Elles sont timbrées à 5 kilogrammes.

Pour l'alimentation, on dispose de deux petits chevaux et de deux injecteurs Giffard.

La cheminée est construite en tôle zinguée, elle a 30 mètres de hauteur totale et 4^m,30 de diamètre intérieur à la base.

Les pompes centrifuges Dumont sont semblables à celles qui sont employées à Tou-lon pour le même service. Leurs disques en bronze ont 1^m,60 de diamètre. Les tuyaux d'aspiration portent, à leur partie inférieure, des clapets de retenue et des crépines; ceux de refoulement sont munis de vannes installées à leur partie supérieure; ils ont tous 0^m,500 de diamètre. Les vannes sont manœuvrées de l'intérieur de la chambre des machines.

Les pompes sont, en outre, munies d'éjecteurs pour assurer leur amorçage après les arrêts.

Pour assécher le bassin on dispose de deux pompes, système Thirion, placées dans la chambre des machines motrices.

Chaque appareil comprend une machine à deux cylindres horizontaux, ayant 0^m,192 de diamètre et 0^m,280 de course, qui actionnent directement ceux des pompes, dont le diamètre est de 0^m,257.

Elles peuvent élever chacune 200 mètres cubes d'eau par heure, à une hauteur de 40^m,300.

Les tuyaux d'aspiration et de refoulement ont 0^m,200 de diamètre. Les premiers portent, à leur partie supérieure, des vannes qui sont manœuvrées de l'intérieur de la chambre des machines; les seconds sont munis, à leur partie inférieure, de crépines et de clapets de pied.

Tous les tuyaux de refoulement viennent déboucher dans une galerie pratiquée dans la partie supérieure du bajoyer et communiquant avec la rivière, tout près de l'installation des machines.

Organisation des chantiers.

Les difficultés du climat ont nécessité, pour l'organisation des chantiers, des précautions plus grandes que celles qu'on prend ordinairement en Europe. On a choisi, de préférence, les agents parmi des personnes qui, ayant déjà habité les pays chauds, possédaient les connaissances spéciales exigées par chaque partie du travail. On s'est aussi préoccupé de leur construire des habitations dans les meilleures conditions possibles, et on a choisi, à cet effet, pour les bureaux et ateliers, un emplacement à proximité du jardin botanique, c'est-à-dire loin de la fouille, pour éviter les émanations malsaines qui pouvaient s'en dégager.

Le sol entourant la fouille a été relevé, tant pour le mettre à la hauteur des futurs bajoyers que pour l'assainir immédiatement.

Pour débarquer les produits d'Europe et tous les matériaux, on a établi deux estacades, munies de grues à vapeur et desservies par un réseau de voie ferrée (*Pl. VII, fig. 10*), à l'aide duquel on a pu faire, sans peine, le classement méthodique des fers destinés à la construction des caissons métalliques, des dragues, débarquement, bateaux; en un mot, de tout le matériel et de tous les matériaux de construction : chaux, ciment, sable, moellons, pierres de taille, etc., etc., car tout, ou presque tout, arrive par eau.

Le service des transports et remorquage, entre les chantiers et la carrière de granit, a été assuré à l'aide de deux remorqueurs, l'un de deux cents chevaux, l'autre de cent environ, et de douze chalands, dont six de deux cents tonneaux et six de quarante tonneaux.

A ce matériel, il faut ajouter une chaloupe à vapeur, d'une vingtaine de chevaux, destinée à transporter rapidement les agents.

L'examen de la figure 10, pl. VII, permet d'apprécier les dispositions générales du chantier, les emplacements de montage des caissons de fondation, des dragues et autres bateaux destinés à l'exécution de la fouille à toute profondeur; la place des magasins à chaux et ciment, des manèges pour la confection du mortier, et de l'atelier de réparations, dont l'importance est en rapport avec celle du chantier.

L'emplacement destiné à recevoir les déblais provenant du dragage étant assez éloigné du centre du travail, nous avons effectué leur transport au moyen de l'eau, de façon à éloigner toutes causes d'insalubrité.

Nomenclature du matériel expédié.

3 Grues à vapeur, ensemble	25 chevaux.	} 855 chevaux.
3 Bateaux à vapeur	320 id.	
1 Drague	80 id.	
1 Débarquement flottant	400 id.	
4 Locomobiles	50 id.	
Les machines motrices pour les compresseurs d'air (1)	280 id.	
6 Bateaux de transport de 200 tonneaux, pour les déblais et matériaux ;		
6 Bateaux de transport de 40 tonneaux, pour petits transports ;		
2 Kilomètres de voie, en rails de 18 kilogrammes, et accessoires ;		
50 Wagons à la voie de 1 mètre ;		

(1) Ces machines sont celles qui ont servi ensuite à actionner les pompes d'épuisement.

30 Wagonnets Decauville et 300 mètres de voie de 0^m,80 ;
Outillage d'atelier pour forge et ajustage, charpenterie, etc. ;
Outillage de carriers, pour l'exploitation de la carrière du cap Saint-Jacques ;
Outillage de maçons, de terrassiers, tailleurs de pierre, etc. ;
Échafaudages en bois etc. ;
Compresseurs d'air, écluses à air, cheminées et accessoires.

Il a fallu tout expédier d'Europe pour être assuré que rien ne manquait et, pendant toute la durée des travaux, le programme tracé a été ponctuellement suivi.

Les terrassements de la première tranche de la fouille ont été faits à sec, par les indigènes et les Chinois ; le transport des déblais a été effectué avec des wagonnets Decauville et avec des tombereaux traînés par des bœufs. La partie inférieure a été exécutée à la drague.

La drague (p. 204, Pl. XIX), construite pour creuser la fouille, est exécutée suivant le type que nous avons fait établir pour le dérochement de la Charente maritime.

Elle est susceptible d'être utilisée, soit pour ouvrir un chenal en pleine terre, soit pour approfondir, jusqu'à 11 mètres, des canaux déjà existants.

Le débarquement flottant (p. 214, Pl. XXII), pour le transport des déblais, avec long couloir, est identique à celui construit pour le dérochement de la Charente.

Le montage des caissons de fondation a été fait dans une enceinte, isolée de la rivière par un batardeau, et tenue sèche à l'aide d'épuisements de peu d'importance.

Le montage du premier caisson étant terminé, on a laissé entrer l'eau dans l'enceinte pour le faire flotter et l'amener à sa place définitive de fonçage. On a opéré de même pour le second caisson, et on a remblayé la fosse pour augmenter la surface des terre-pleins.

Le travail de la maçonnerie a été exécuté sur le plafond et sur les bords, comme on l'a fait pour les bassins de radoub de Toulon, par tranches successives qu'on élevait toujours au-dessus du niveau de flottaison, pour que les tôles du caisson ne fussent jamais soumises à une pression latérale. Ces tôles ne servirent, en réalité, qu'à isoler les maçonneries du contact de l'eau extérieure.

Les diagrammes (Pl. VII, fig. 3, 4, 5, 6, 7) indiquent la disposition des massifs de maçonnerie pour les diverses immersions des caissons.

La jonction des deux caissons du bassin de radoub a été exécutée lorsqu'ils furent complètement assis. Dans ce but, ils portaient chacun un aileron extérieur de 0^m,700 de long, destiné à former batardeau, pour le nettoyage du fond du joint et la confection de la maçonnerie de remplissage.

Dans le cas où ces ailerons n'eussent pas formé batardeau par eux-mêmes, il eût été facile d'y suppléer en posant, à l'extérieur, de chaque côté, un panneau métallique garni de bourrelets, que la pression eût collé sûrement d'une manière hermétique. On était ainsi assuré de pouvoir épuiser et faire le travail intermédiaire en toute sécurité.

Au moyen de cette disposition, on put démonter les extrémités des deux caissons et relier les maçonneries aussi exactement que possible.

Les tôles supérieures des deux parois ont été assemblées de telle façon qu'elles n'en forment plus qu'une seule.

Lorsque le travail de fondation fut tout à fait terminé, on exécuta le pavage du radier, on fit l'élévation des bajoyers et on acheva la chambre des machines.

Le bateau-porte a été monté à l'intérieur du bassin de radoub, de sorte que, lorsque le batardeau métallique de la tête d'aval fut enlevé, le bassin se trouva prêt à être mis en service.

Pendant l'exécution des maçonneries, le matériel de dragage a été utilisé au creusement du chenal d'accès, pour que celui-ci fût achevé en même temps que les maçonneries; mais on a eu des mécomptes sérieux à cause de la présence, dans le sol, de couches importantes de conglomérats, vulgairement appelés « bien-hoa », qu'on a dû faire sauter à la dynamite pour en permettre l'extraction à la drague.

Les délais fixés par le Ministère de la Marine, pour l'exécution de ce travail, étaient de quatre ans et demi; le contrat fut signé le 4 décembre 1883 et l'inauguration fut faite le 1^{er} janvier 1888, M. Constans étant alors gouverneur général de l'Indo-Chine. On voit ainsi que, malgré les difficultés, inhérentes au climat (1) et à l'éloignement, on est arrivé à devancer de cinq mois la date prévue pour la mise en service du bassin de radoub, bien que l'on ait eu à subir des embarras du fait de la guerre du Tonkin.

(1) Les travaux ont été exécutés sans perte, dans le personnel européen; malheureusement, M. Baruzzi, qui les avait dirigés avec succès, et qui était retourné à Saïgon pour régler les comptes, a succombé à une attaque de choléra, le 16 février 1889, après une excursion au Cambodge.

L'administration avait reconnu le mérite de M. Baruzzi en le décorant de la Légion d'honneur et de l'Ordre du Cambodge.

Écluse du Carnet.

L'Écluse du Carnet fait partie des ouvrages du canal maritime de la Basse-Loire, destiné à permettre aux navires de mer d'arriver à Nantes avec un tirant d'eau qu'on a estimé à 5 mètres.

Ces travaux ont été entrepris par M. A. Couvreur, qui a dû les rétrocéder à M. Bord, pour cause de santé. Ils comprennent deux grandes constructions : l'écluse de la Martinière et celle du Carnet, pour lesquelles MM. les Ingénieurs de l'État avaient admis, l'emploi partiel de caissons fondés au moyen de l'air comprimé. M. Couvreur proposa et fit accepter par l'Administration, pour la fondation de chacune de ces écluses, la transformation des prévisions du devis en un marché à forfait.

Les projets présentés par M. Couvreur reproduisaient, approximativement, les dispositions du port d'Anvers, pour les chambres des portes et celles des quais de Brest et de l'écluse de Saint-Aubin pour les bajoyers et les murs en retour.

L'écluse de la Martinière a été exécutée en partie par M. Couvreur, et terminée par M. Bord.

Les difficultés qu'on a rencontrées et les critiques auxquelles cette construction a donné lieu, ont engagé M. Bord à nous confier l'exécution de l'écluse du Carnet.

Nous avons mené cette entreprise à bonne fin, sans encombre, mais aussi sans profit à cause des exigences exagérées de MM. les Ingénieurs, pour l'encastrement des caissons dans le rocher, et des sujétions particulières qu'ils ont imposées pour la maçonnerie.

Pour fonder l'écluse du Carnet, on a fait une fouille générale, jusqu'à la cote 3^m,40 au-dessous du zéro, à l'aide de dragues, et il est resté à traverser, au moyen de l'air comprimé, une épaisseur d'environ 5 mètres de vases d'alluvions pour atteindre la roche dans laquelle on a fait encastrent tous les caissons.

Chacune des chambres des portes a été construite dans un caisson de 4,300 mètres carrés de surface, à peu près semblable à celui de l'écluse du bassin de batelage, à Anvers. (*Pl. VIII, fig. 1 et 2*).

Les murs en retour des têtes reposent sur trois caissons réunis par des voûtes. Le plus voisin de l'écluse a 8 mètres de longueur sur 7^m,50 de largeur et les deux autres 4^m,70 sur 4^m,40.

La longueur totale de l'écluse est de 169 mètres, qui se décomposent ainsi : 100 mètres pour la longueur du sas proprement dit et 34^m,50 pour celle de chacune des deux têtes.

La largeur intérieure du sas est de 40 mètres et celle des têtes de 18 mètres.

Les bajoyers sont fondés sur des caissons de 8 mètres de largeur sur 7^m,50, dans le sens de l'épaisseur, réunis par des voûtes surbaissées dans le genre des quais de Bône et de Brest.

Le vide entre les piliers est fermé par des enrochements posés à la main en quantité suffisante pour que la fermeture soit effective, même dans le cas où il se produirait un mouvement de tassement. (*Pl. VIII, fig. 4*).

Toutes les maçonneries ont été exécutées avec des matériaux granitiques et du mortier de ciment.

La durée des travaux a été de deux ans et demi, et l'outillage employé est celui qui a servi à Anvers. Cette écluse comporte environ 45,000 mètres cubes de maçonnerie et 1,445,000 kilogrammes de fer pour les caissons.

Travaux du port de Lisbonne.

Dispositions générales.

Le port de Lisbonne est formé d'une large emprise, sur la rive droite du Tage, depuis la gare du chemin de fer à Santa-Apolonia, jusqu'à Alcantara, sur une longueur de 5,500 mètres environ.

La continuation de cette emprise, avec rectification de la rive, entre Alcantara et la tour de Belem, sur une longueur de 3,500 mètres environ, est exécutée pour le compte de la Compagnie Royale des chemins de fer Portugais, de sorte que la nouvelle rive du Tage aura une direction convenable et régulière, sur 8 kilomètres de longueur et une profondeur d'eau qui ne sera pas inférieure à 8 mètres, à basse mer.

Sur les 5,500 mètres, spécialement affectés au port, la rive sera bordée d'un quai vertical permettant, presque partout, l'accostage des navires.

En arrière du quai de rive, on construira des darses et un bassin à flot, dont l'ensemble comporte une longueur utile de quais de 4,500 mètres environ.

Le nouveau port de Lisbonne comprendra donc 40,000 mètres de quais : 3,500 à la rive, comme à Anvers et 4,500 pour les darses intérieures ; 1,000 mètres de rampes d'accostage, pour petites embarcations et halage à terre ; deux embarcadères flottants avec passerelles mobiles d'accès à chaque extrémité ; deux bassins de radoub et un plan incliné pour la réparation des navires ; des compresseurs et accumulateurs pour la distribution de la force et, enfin, des grues hydrauliques, cabestans, hangars, etc.

Ces dispositions nécessitent la construction d'une écluse à sas, de trois ponts roulants ou tournants et de quelques autres ouvrages accessoires.

La construction de l'ensemble des travaux du port a été entreprise par nous, moyennant un prix à forfait, s'élevant à près de 60,000,000 de francs.

Murs de quai.

Le profil longitudinal, sur la ligne des quais, indique que le sol rocheux, résistant, est rencontré à des profondeurs très variables et qu'il est recouvert de terrains de consistance très différente.

	Quais de rives	Quais de darses	Totaux des longueurs
De 7 mètres à 10 mètres.	4.135 ^m	2.810 ^m	3.945 ^m
De 10 mètres à 12 mètres.	934	465	1.399
Au delà de 12 mètres.	3.225	1.834	5.059
	<u>5.294^m</u>	<u>5.109^m</u>	<u>10.403^m</u>

Cette diversité des profondeurs et la nature du fond nous ont fait rechercher un système de mur de quai offrant la solidité et la stabilité nécessaires, tout en chargeant peu le sol, et permettant, en outre, d'en réaliser la construction avec une très grande économie comparativement aux ouvrages de ce genre, exécutés jusqu'à présent.

Les grandes profondeurs, constatées sur certains points, n'ont pas permis de songer à faire reposer tous les ouvrages directement sur le terrain solide à cause de la dépense exagérée qui en aurait été la conséquence. L'administration des travaux publics a autorisé la construction d'une partie de ces ouvrages, sur un sol artificiel pouvant les supporter avec la sécurité suffisante.

Ce sont les combinaisons d'économie et la constitution d'un sol artificiel, qui ont été le point de départ du système de construction qu'on emploie, pour la première fois, au port de Lisbonne.

En nous inspirant des travaux très intéressants que nous avons exécutés, au port de Bône, en 1866-68 ; au port de Brest, sous la direction de M. A. Castor, et, plus récemment, aux ports de Lorient et d'Anvers, etc., nous avons étudié la construction d'un mur à claire-voie, chargeant peu le sol, en reportant l'axe de résistance notablement en arrière de la face du mur de quai proprement dit.

Le mur de quai est composé de piliers de 8 mètres environ de largeur, et 4 mètres dans le sens de la longueur, espacés entre eux de 8 à 10 mètres, selon le cas, posés sur le sol résistant, au moyen de l'air comprimé, jusqu'à des profondeurs de 10 à 12 mètres au-dessous du zéro marométrique, c'est-à-dire au-dessous des plus basses mers connues.

Les piliers de fondation du mur de quai sont arasés, sous l'eau, à 2 mètres au-dessous de ce même niveau et sont surmontés d'un linteau en maçonnerie, construit et contenu dans une caisse métallique, de dimensions suffisantes, qui est elle-même entourée d'un batardeau permettant d'amener le linteau, de le poser aussi exactement que possible à sa place, et de faire émerger le mur au-dessus du niveau de la basse mer.

Les linteaux ont été posés à 2 mètres sous zéro, pour qu'en aucun cas leur face inférieure ne puisse découvrir et, par suite, rien s'engager dessous.

Au-dessus du linteau, la maçonnerie se continue jusqu'au couronnement, d'une façon ininterrompue.

Dans le but de faciliter la mise en place des piliers de fondation, on drague une raï-nure permettant d'extraire les vases et autres matières, qui recouvrent le sol résistant, et qu'on devrait, sans cela, traverser au moyen de l'air comprimé pour asseoir les piliers sur le terrain solide.

Cette raï-nure sert à contenir l'enrochement posé en arrière du mur, afin de fermer les ouvertures, entre les piliers, c'est cet enrochement qui forme la plus grande résistance pour soutenir les remblais du terre-plein.

Les figures 2 et 3, de la Planche IX, définissent le profil du mur de quai, entre l'appontement du chemin de fer de Santa-Apolonia et le dock de Terreiro do Trigo; il peut être considéré comme le type du mur à construire.

Il est composé de piliers successifs, espacés d'environ 14 mètres d'axe en axe, sauf certaines exceptions résultant de la division; les piliers des extrémités sont écartés de 12 mètres d'axe en axe, seulement.

Ils sont contenus, à la base, dans un caisson métallique, destiné à permettre la pénétration dans le sol au moyen de l'air comprimé, jusqu'à ce qu'on ait reconnu que la résistance du sol est suffisante pour asseoir la construction. Ce caisson est surmonté d'une caisse mobile dans laquelle on construit la maçonnerie nécessaire pour le lestage et pour la partie supérieure du pilier, qui est arasé juste à 2 mètres sous zéro. On remplit la chambre de travail du caisson avec du béton, ainsi que la partie inférieure de la cheminée d'accès servant à l'emploi de l'air comprimé.

Lorsque la maçonnerie du corps de pilier et le remplissage du reste de la cheminée d'accès sont terminés, on recouvre le dessus du pilier d'une couche de mortier, à la chaux hydraulique, pour attendre la pose du linteau dont il sera parlé ci-après, et on enlève la partie mobile du caisson, laissant sur le sol le pilier avec le mortier d'attente.

Lorsqu'il y a plusieurs piliers de posés sous l'eau, on apporte, à flot, un linteau qui recouvre l'espace séparant deux piliers voisins, en les réunissant.

Ce linteau est composé de maçonnerie exécutée dans une caisse en fer ayant la longueur utile, la largeur du mur et 1^m,30 de hauteur. Cette maçonnerie est faite en voûte sur la partie destinée à recouvrir le vide. La caisse en fer est surmontée de hausses mobiles, qui permettent de faire flotter une épaisseur de maçonnerie d'environ 2^m,50. On l'exhausse ensuite de façon que la partie supérieure émerge de l'eau, après que la pose sur les piliers a été faite. C'est cette épaisseur de maçonnerie, de 2^m,50 à 3 mètres qui est à considérer comme linteau, et non celle de 1^m,30 du caisson métallique.

Après la mise en place du bloc de maçonnerie recouvrant deux piliers voisins, on enlève la partie supérieure de la caisse en fer (hausses mobiles), qui servira à une autre opération; la caisse inférieure reste seule sous la maçonnerie.

Dès que plusieurs linteaux successifs sont posés, on coule du béton dans l'espace de 0^m,15 qui les sépare, et on continue à élever, sans interruption, la maçonnerie jusqu'au couronnement.

L'épure et les calculs de stabilité démontrent que, dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire avec des piliers foncés à la cote — 12 mètres et une surcharge de 6,000 kilogrammes, par mètre courant de quai, la partie du sol la plus chargée ne supportera pas plus de 7^k,30 par centimètre carré.

Charge sur le joint *mn*.

$$\frac{(4,663,100^k + 6,000^{kn} \times 14^m)2}{3} = 1,164,420 \text{ kilogrammes.}$$

Surface du joint *mn*.

$$2^m,40 \times 4^m,60 = 156,400 \text{ centimètres carrés.}$$

Charge par centimètre carré :

$$\frac{1,164,720}{156,400} = 7^k,30.$$

Le poids total d'un pilier et de son linteau est environ de 4,663,100 kilogrammes et le moment de stabilité de :

$$4,663,100 \times 4^m,50 = 7,483,950 \text{ kilogrammètres.}$$

Le moment de renversement correspondant, dû à la poussée des terres, est de :

$$254,800^k \times 8^m = 2,038,400 \text{ kilogrammètres.}$$

Il résulte que le coefficient de stabilité s'élève à :

$$\frac{7,483,950}{2,038,400} = 3,6$$

la stabilité est, par suite, complètement assurée.

Le poids du linteau, y compris la surcharge de 6,000 kilogrammes peut être évalué, par mètre carré, à 14,000 kilogrammes.

La pression que doit supporter un mètre courant de joint des voussoirs est donnée par l'expression :

$$T = rF,$$

dans laquelle :

T est la pression que les voussoirs successifs se transmettent normalement à leurs joints ;

F, le poids appliqué sur un mètre carré de l'extrados de la voûte ;

r, le rayon de courbure de l'intrados.

L'écartement entre les piliers étant de 10 mètres, la flèche de la voûte de 4 mètres, le rayon de l'intrados sera de 13 mètres, et l'on obtiendra :

$$T = 13^m \times 14,000^e = 182,000 \text{ kilogrammes.}$$

L'épaisseur de la voûte est de 4^m,30; 4 mètres courant de joint comprend une surface de : 130 centimètres \times 100 centimètres = 13,000 centimètres carrés, et la pression, par centimètre carré, est de :

$$\frac{182,000}{13,000} = 14 \text{ kilogr.}$$

Cette pression sera, en réalité, beaucoup moindre, car la maçonnerie, qui surmonte la voûte, n'agit pas comme du remblai ordinaire; elle possède une résistance propre dont nous n'avons tenu aucun compte.

La Planche IX comporte les détails des accessoires du mur de quai.

Les bollards en fonte, pour amarrer les navires, sont espacés de 100 en 100 mètres; la partie supérieure de la caisse en fonte a le même profil que la pierre de couronnement et se trouve, de même, posée sur le mur et fixée par deux boulons d'attache, verticaux, de 4 mètres de longueur.

La partie saillante est seule au-dessus.

Pour augmenter leur résistance, les bollards sont ancrés, derrière le mur, au moyen de 4 tirants en fer, rivés à des pièces verticales, également en fer.

Les échelles sont en fer, et posées en saillie sur le mur; une poignée est scellée sur le couronnement pour en faciliter l'accès; elles sont à environ 200 mètres l'une de l'autre.

Les anneaux sont posés à raison de deux par 100 mètres de longueur.

Les poteaux de défense, en bois, sont en pitchpin de 0^m,38 \times 0^m,38 d'équarrissage, fixés dans la maçonnerie par quatre scellements en fer et des boulons.

Le dessus et les arêtes saillantes sont taillées en chanfrein.

Il y a un poteau de défense dans chaque joint de linteau du quai.

Les maçonneries des quais extérieurs et intérieurs sont exécutées de la manière suivante :

Le remplissage de la chambre de travail et de la cheminée au milieu des piliers de fondation, ainsi que le remplissage entre les blocs de linteaux, est fait en béton, composé de deux parties de cailloux cassés à la grosseur ordinaire (0^m,06) et d'une partie de mortier composé d'un mètre cube de sable mélangé avec 350 kilogrammes de chaux hydraulique du Theil, en poudre, non tassée; ou bien de sept parties de sable mélangé avec quatre parties de pouzzolane des Açores et quatre parties de chaux grasse éteinte.

Au-dessous du plafond des caissons, pour les piliers ; sur deux mètres de hauteur, pour les linteaux et pour toute la maçonnerie de pierre de taille, le mortier est composé d'un mètre cube de sable pour 0^m,40 de ciment en poudre (2 1/2 pour 1).

La face des maçonneries est en pierre de taille à partir du zéro hydrographique jusqu'au couronnement ; c'est la seule partie qu'on puisse apercevoir aux marées les plus basses.

Le couronnement, formé de carreaux et boutisses, a un mètre de largeur uniforme, et 0^m,40 d'épaisseur.

Le rejointoiement des parements est fait à mesure de l'avancement du travail et avec le même mortier lissé au fer.

Les arêtes de la pierre de taille sont faites avec soin et les surfaces sont piquées à l'aiguille, de façon à éviter des parements trop lisses.

Le couronnement et les pierres d'angle sont encadrés de ciselures de 0^m,030 de largeur.

Les enrochements, destinés à soutenir les terres et à en absorber la poussée, sont placés contre les maçonneries jusqu'à ce que les pierres émergent à basse mer. Ils sont apportés au moyen de bateaux à clapets versant leur chargement immédiatement derrière le mur.

Le complément de ce qui pourrait être utile est déchargé à la main, pour qu'il y ait partout un cordon uniforme, donnant toute sécurité sur la fermeture des orifices, entre les piliers, après l'achèvement du remblai, et pour que la fermeture soit complète, même s'il se produisait quelques tassements.

Dans les parties de rive, où le terrain solide est notablement au-dessous de la cote — 10 mètres, la fondation des piliers pouvait donner quelque inquiétude et prendre des proportions exagérées de profondeur ; on y a obvié en décidant de faire un sol artificiel, au moyen d'enrochements et de sable, versés avec des bateaux à clapets, pour obtenir un massif compact, arasé au-dessus de la vase, comme cela a été prévu dans le projet officiel, qui a servi de base pour le concours.

Le sol artificiel a la largeur suffisante pour assurer la stabilité du mur ; il est arasé à la cote — 10 mètres environ, et préparé à l'avance pour que le tassement se produise, s'il y a lieu.

La construction, sur ce sol artificiel, est faite, comme sur le terrain résistant, au moyen de caissons et d'enrochements en arrière.

Nous croyons devoir insister sur l'emploi des bateaux à clapets pour la formation du sol artificiel, à cause de la compression importante que produit une grande masse

indivise immergée, d'un coup. Les vases sont écartées et le terrain est intéressé à la résistance sur une grande surface.

Ecluse à sas.

L'écluse à sas, placée entre l'avant-port et le bassin à flot d'Alcantara, est construite presque entièrement à l'abri d'un batardeau, qui ferme complètement l'espace contenant les bassins de radoub, le bassin à flot d'Alcantara et l'écluse elle-même.

L'épuisement général en est fait par les machines du bassin de radoub. Cette disposition réalise une notable économie et fait disparaître, en partie, les sujétions du travail de dérochement pour amener le fond du bassin à flot et des bassins de radoub à la cote — 6 mètres.

Cette écluse est composée d'un sas et de deux seuils avec leurs portes busquées, en fer, garnies de bois et munies des chaînes, treuils, vannes, etc., nécessaires au bon fonctionnement.

Les principales dimensions de l'ouvrage sont les suivantes :

	MÈTRES
Largeur libre entre les bajoyers de l'écluse.	25.00
d° en bas du sas	25.00
d° en haut du sas.	27.60
Longueur de tête des bajoyers.	222.00
d° entre la porte d'ébe aval et celle d'amont	192.50
d° entre la porte d'ébe amont et celle de flot	12.50
Hauteur du seuil d'amont.	5.50
d° d° d'aval	6.00
d° de la chambre des portes d'amont.	14.50
d° d° d° d'aval.	12.00

Le seuil d'amont est fondé sur un massif de maçonnerie ou de béton, reposant sur le terrain solide; il a 41 mètres de longueur et comprend deux portes: l'une de flot et l'autre d'ébe. Son radier est à la cote — 9^m,30; il est arqué afin de mieux entretoiser les bajoyers et d'offrir une plus grande résistance à la sous-pression.

Le seuil d'aval est fondé également sur le terrain solide; son radier est à la cote — 6 mètres. Il ne renferme qu'une seule porte d'ébe; sa longueur est de 24^m,40.

Les deux seuils ont, à l'extérieur, une rainure avec les dimensions convenables pour qu'il soit possible de fermer l'écluse avec les deux bateaux-portes du bassin de radoub et permettre de faire ainsi toutes les réparations qui paraîtront utiles.

Le sas, qui a 25^m de largeur, est formé de murs de quai construits sur le même type que ceux de l'intérieur du bassin à flot. Ils sont exécutés à sec, par épaissements.

Au droit du pont tournant, il existe un massif suffisamment large pour supporter cet ouvrage et contenir les appareils de rotation.

Bassins de radoub.

La construction des deux bassins de radoub est identique ; elle est faite dans une enceinte asséchée au moyen de leurs machines d'épuisement.

Le grand bassin est divisé en deux parties et possède deux bateaux-portes.

Le petit bassin est d'une seule chambre, fermée également par un bateau-porte.

La fouille de construction étant creusée et le terrain solide purgé des impuretés, on posera des drains en terre cuite pour recevoir et conduire, en dehors de la construction, les eaux qui pourraient venir du sol. On recouvrira ces drains d'une couche de béton, au ciment de Portland, de 0^m,50 d'épaisseur, dont les bords sont limités par des vannages en bois ou de la maçonnerie.

Le surplus du radier est maçonné en moellons calcaires, au mortier de ciment.

Les maçonneries de remplissage, au-dessus du radier, sont faites avec du mortier à la chaux hydraulique.

Les maçonneries de pierre de taille sont hourdées avec du mortier de ciment et la taille de la pierre est identique à celle des quais.

Les escaliers de communication, le couronnement, les banquettes, ainsi que les arêtes des rainures et des bateaux-portes, sont en pierre de taille.

Les banquettes sont munies d'anneaux en fer pour amarrer les accores. Sur la plate-forme, en arrière du couronnement, on a prévu des bornes de fonte et des cabestans, en quantité nécessaire, pour la facilité des manutentions. Le tableau ci-après résume les principales dimensions des deux bassins.

DÉSIGNATION	GRAND BASSIN	PETIT BASSIN
Longueur totale extérieure	173 ^m 50	141 ^m 50
Longueur du seuil	41.00	9.00
Longueur utilisable à l'intérieur	160.00	100.00
Longueur totale extérieure	36.00	24.00
Longueur intérieure entre les bejoyers, en haut	25.00	15.00
— — en bas	22.00	13.08
Longueur du fond des rainures, en haut	26.00	16.00
— — en bas	23.80	14.08
Longueur totale intérieure de la 1 ^{re} banquette	32.42	21.00
— — 2 ^{me} banquette	29.84	20.31
— — 3 ^{me} banquette	27.26	17.72
— — 4 ^{me} banquette	24.68	
Hauteur du couronnement au-dessus du zéro	6.00	6.00
Profondeur totale sur le radier, près le seuil	12.00	10.00
— — sur la 4 ^{me} banquette	11.20	
— — 3 ^{me} banquette	8.40	9.60
— — 2 ^{me} banquette	3.60	6.40
— — 1 ^{re} banquette	3.80	3.20

Le puisard, dans lequel se réunissent les eaux d'épuisement, est formé de deux chambres contiguës, pratiquées dans le massif de fondation des machines. L'une d'elles est destinée à recevoir uniquement l'eau qui est extraite par les pompes d'assèchement, de telle sorte qu'il est possible d'épuiser un bassin pendant que l'autre est à sec.

Les eaux sont amenées, de chaque bassin au puisard, par un aqueduc en maçonnerie et des vannes métalliques, manœuvrées du sol, permettent d'isoler les bassins de te puisard.

Pour l'assèchement, un tuyau en fonte de 0^m,20 de diamètre est posé, dans la maçonnerie, en avant des vannes, et dirigé ensuite dans le puisard d'assèchement, dont le niveau est un peu plus bas.

La manœuvre des robinets d'isolement se fait du parquet des machines.

La salle des machines, établie au-dessus du puisard, a 13 mètres de longueur sur 13 mètres de largeur; elle est surmontée d'une toiture en fer, et réunie à la chambre des claudières par un escalier.

Cette dernière chambre est disposée pour contenir les chaudières et recevoir facilement le combustible.

La cheminée est en brique; son socle est posé à l'extrémité de la chambre des chaudières,

Les machines d'épuisement, au nombre de quatre, sont exactement semblables à celles employées pour le bassin de radoub de Saïgon. La vapeur est fournie par un groupe de dix chaudières de 68 mètres, de surface de chauffe, dont huit doivent suffire pour le fonctionnement des quatre machines.

Les disques des pompes centrifuges ont 1^m,60 de diamètre et les tuyaux d'aspiration et de refoulement 0^m,30 de diamètre. Les tuyaux d'aspiration sont munis de crépines et de clapets de retenue, et ceux de refoulement portent des vannes à leur partie supérieure. Ces pompes sont du même modèle que celles du bassin de Saïgon.

Pour assécher les bassins, on dispose de deux pompes pouvant débiter 200 mètres cubes à l'heure.

Tous les tuyaux de refoulement viennent déboucher dans une galerie, pratiquée dans la partie supérieure des quais et communiquant avec le bassin à flot.

La fermeture des deux bassins est obtenue au moyen de bateaux-portes, en fer et acier, construits d'après les données les plus récentes.

Leurs dimensions principales sont les suivantes :

DÉSIGNATIONS	BASSIN	BASSIN
	DE 160 MÈTRES	DE 100 MÈTRES
	mètres	mètres
Largeur de la porte au milieu au-dessus du pont de ressaut	1.80	1.50
Hauteur totale de la porte	12.50	10.50
Largeur de la porte au-dessus du pont.	25.80	15.80
— au-dessous de la quille	23.60	13.88
Largeur de la quille et des étambots.	0.70	0.70
Largeur de la passerelle	1.90	1.90

Plan incliné.

La cale de halage, ou plan incliné, est construite à l'angle nord-ouest de la darse d'Alcantara; le pied est au niveau de basse mer, à l'alignement du mur de quai.

Cette cale a 10 mètres de largeur avec une pente de 0^m,10 par mètre; le fond est muni d'une voie à quatre rails portant deux chariots; deux cabestans sont installés sur la plate-forme pour le halage des embarcations.

Les voies ferrées sont encastrées dans le pavage de la cale, qui est fait avec des matériaux résistants, maçonnés au mortier de chaux hydraulique. Les talus, de chaque côté de la cale, sont inclinés à 1 1/2 de base pour 1 de hauteur, et ont des banquettes pour faciliter le service et la pose des étais.

Les rails sont susceptibles de porter, chacun, 10,000 kilogrammes, en un point quelconque, sans fatigue; il en résulte que chaque chariot peut, accidentellement, supporter 80,000 kilogrammes, et les deux chariots 160,000 kilogrammes. Cette charge maximum, qu'on peut mettre sur le plan incliné, correspond à des bateaux de 4 à 500 tonnes.

L'effort maximum de traction, qu'il faut développer, pour haler un navire de 160 tonnes sur le plan incliné est, avec les frottements, d'environ 25 tonnes.

La traction est opérée par deux cabestans de 4 à 5 tonnes chacun, agissant sur des palans de 6 ou 8 brins.

Embarcadères flottants.

Les embarcadères flottants sont placés dans des enclaves formées par les murs de quai. Le premier, le plus important, est établi en face de la place du Commerce; il a 100 mètres de longueur libre et 15 mètres de largeur,

Le second est construit près de la gare de Santa-Apolonia; il a 54 mètres de longueur et 10 mètres de largeur seulement.

Chacun d'eux communique avec les quais à l'aide de deux passerelles mobiles, de 25 mètres de longueur et 3^m,50 de largeur.

Chaque embarcadère est formé de pontons rectangulaires en fer, avec les angles arrondis. Aux deux extrémités, le pont est abaissé pour recevoir l'about des passerelles d'accès.

Ils sont divisés, en tranches de 5 mètres de largeur, par des cloisons étanches, qui ont chacune un trou d'homme, sur le pont, du côté voisin du mur.

Les ponts sont en pitchpin de 0^m,08 d'épaisseur, calfatés et goudronnés. Sur tout le pourtour des pontons, il y a des bittons pour l'amarrage des bateaux venant y accoster et pour celui des pontons à la rive.

Les pontons sont tenus en place par des guides-glissières, fixés au mur de l'enclave et, par des chaînes amarrées au quai.

Les passerelles d'accès ont l'une de leurs extrémités posée à tourillon sur le mur, tandis que l'autre glisse sur l'extrémité du ponton. Des tabliers mobiles facilitent le raccordement malgré les oscillations de la marée.

Les poutres ont la forme d'un solide d'égale résistance; elles sont à treillis et forment garde-corps. Elles sont reliées, inférieurement, tous les 4^m,98, par des poutrelles en treillis, de 0^m,60 de hauteur, et par un contreventement horizontal en croix de Saint-André.

Ponts mobiles.

Sur l'entrée du dock de l'Arsenal, est établi un pont roulant de 15 mètres de largeur et de 30 mètres de portée et, sur l'écluse, un pont tournant de 12 mètres de largeur et 25 mètres de portée.

Ces deux ouvrages donnent passage aux voies ferrées et aux piétons.

Enfin, un troisième pont, également tournant, est posé sur le passage de l'avant-port, au dock de Santos. Sa largeur est de 10 mètres et son ouverture de 30 mètres. Il ne livre passage qu'aux voies ferrées du port.

Hangars à marchandises.

Les hangars à marchandises ont 100 mètres de longueur sur 24 mètres de largeur. Ils sont composés de fermes métalliques, élevées sur des piliers espacés de 4^m,20 et 4^m,40 d'axe en axe. La hauteur du larmier, au-dessus du sol est de 5 mètres.

Les piliers sont posés et boulonnés sur des massifs en maçonnerie établis sur le remblai du terre-plein de telle façon que, s'il se produisait un tassement quelconque, on pourrait les relever pour conserver la rectitude des lignes du bâtiment.

Les fermes reposent directement sur les piliers des deux, faces elles sont formées d'un arbalétrier dont les retombées sont reliées par un tirant horizontal. Ces deux éléments de la ferme sont réunis entre eux, tous les 2 mètres, par des entrails et des contre-fiches.

La couverture est en tôles ondulées galvanisées, d'un millimètre d'épaisseur, et repose sur des pannes en sapin de 0^m,160 sur 0^m,140 d'équarrissage.

La face du bâtiment, située vers la ville, ainsi que les deux pignons, sont fermés au moyen d'une maçonnerie en briques de 0^m,110 d'épaisseur, encastrée dans les rainures des piliers et du larmier.

La face vers le quai est fermée au moyen d'une grille en barreaux de fer ronds, assemblés dans des traverses en fer U. De trois en trois travées, cette grille est mobile et roule sur un rail posé à l'intérieur du hangar, comme les barrières roulantes des chemins de fer.

Des chéneaux sont placés sur les deux faces, et les eaux pluviales sont amenées sur le sol par une conduite posée à l'intérieur des poteaux, toutes les trois travées.

Tous les fers sont peints à deux couches de minium et une de gris de fer.

Appareils de manutention.

L'outillage, pour la manutention des marchandises du port, comprend :

Une bigue de la force de 120 tonnes,

Une grue fixe de 20 tonnes,

Deux grues fixes de 10 tonnes,

Trente grues mobiles de 750 à 1,500 kilogrammes.

Tous ces appareils fonctionnent à l'aide de l'eau comprimée, fournie par des compresseurs actionnés par des machines de 80 chevaux.

Six accumulateurs, ou réservoirs d'eau comprimée, sont placés, aux points les plus convenables, sur la canalisation qui a environ 10 kilomètres de longueur.

CHAPITRE II

TRAVAUX DE DRAGAGES ET DÉROCHEMENTS

Amélioration de l'outillage.

Le dragage, ou déblaiement sous l'eau, est un travail mécanique par excellence, qui date à peine de cinquante années.

En 1842, il n'y avait, sur la Seine, que deux ou trois dragues à vapeur, de douze à quinze chevaux de force, et quelques dragues à manège; dans les arsenaux de Brest et de Toulon, il existait des dragues à cuillère, manœuvrées par des forçats, au moyen de grandes roues.

Le dragage des terrains faciles était payé 2 fr. 50 c. le mètre cube, mesuré dans des bateaux, tandis qu'aujourd'hui, le même travail est payé de 30 à 50 centimes; mais il est exécuté par des outils plus puissants, mieux desservis, et produisant considérablement plus dans le même temps.

L'industrie du dragage s'est vite développée: en France, par l'approfondissement de la Seine et des ports; en Angleterre, par le creusement des ports de la Clyde et de la Tyne, qui ont été de véritables écoles.

Nous avons fait visiter, en 1860, les diverses installations de l'Angleterre, afin d'établir un parallèle entre l'outillage de ce pays, qu'on disait plus perfectionné, et le nôtre. Avec M. Castor, qui était un maître, nous avons pensé être dans la bonne voie: nos engins, quoique moins puissants, donnaient d'aussi bons résultats.

En général, les Ingénieurs, ou plutôt les constructeurs anglais, ont fait des machines

à draguer très lourdes. Construisant plus léger, nous avons eu quelquefois des ruptures, mais la différence des poids morts mis en mouvement a été très grande, et le remplacement des pièces beaucoup plus facile.

Les travaux du canal de Suez ont aussi apporté leur contingent d'améliorations pratiques.

L'expérience faite à Panama, dans ces derniers temps, avec les dragues de 80 chevaux et les dragues de la Société Huerne et Slaven, de 240 chevaux, a été favorable aux premières, qui ont fait un travail plus régulier et ont produit annuellement davantage : cela était vrai, au moins dans la première période des travaux.

Les dragues marines, qui opèrent dans de grands espaces, doivent être munies d'organes plus robustes, pour résister à l'inégalité de travail causée par la houle; elles utilisent une plus grande puissance en vapeur, qui sert, alternativement, au dragage, au transport de l'engin et même à celui des matières draguées.

Tout en améliorant le matériel de dragage, on a dû s'occuper d'en transporter économiquement les produits.

Le travail des hommes étant insuffisant et incertain, on a eu recours à des procédés divers, parmi lesquels le bateau à clapet se vidant par le fond, a été un des modes les plus simples en même temps qu'un des plus économiques; c'est celui qu'on emploie le plus souvent pour les travaux de ports et dans les grands fleuves où la profondeur de l'eau le permet.

Pour le creusement du canal de Suez, on imagina les longs couloirs, lesquels, quoique très lourds, donnèrent de bons résultats.

Depuis, on a construit des tabliers-porteurs, puis de longs couloirs légers s'adaptant à des dragues de dimensions moyennes, et permettant de charger directement dans les wagons.

Pour les grands terrassements, comme ceux du chemin de fer, à Lyon, on a employé des machines élévatoires directes, ou des grues à vapeur élevant des caisses, chargées de gravier, par les dragues.

En un mot, on a construit des bateaux spéciaux et des machines à draguer, avec les dispositions convenables pour élever les produits du dragage, de façon à les charger soit sur des wagons, soit à les déposer à terre, selon les besoins; voire même à les conduire à distance au moyen de longs couloirs, qui permettent de faire un travail extrêmement économique.

On a même adapté aux dragues des dispositions particulières pour refouler, à distance, le produit du dragage dans des tuyaux; enfin on a fait le transport des dragages liquides,

dans des bateaux fermés, qu'on a ensuite refoulés par siphonnement comme on le fait pour les déblais dans l'air comprimé.

Toutes les applications mécaniques à la manutention des déblais dragués ont eu, pour effet, d'en abaisser le prix, en rendant le travail plus facile.

Pendant qu'on se préoccupait, en Europe, de ramener toutes les manutentions à des mouvements continus, les Américains du Nord, comme l'a constaté M. Malézieux dans son rapport de mission, en 1874, s'étaient appliqués, au contraire, à développer les dragues à mouvement alternatif, qu'ils ont peu à peu abandonnées depuis, pour se rapprocher de nos dispositions.

En creusant les rivières et les ports, on a rencontré des roches que les dragues n'ont pu attaquer et on a dû chercher d'autres solutions.

En Amérique, on a fait d'immenses travaux au Flood-Rock en creusant des galeries souterraines considérables, à l'imitation de ce qui fut fait à Brest, en 1839, pour sortir le batardeau du bassin de radoub du Salou. L'exploitation du rocher a coûté assez cher; l'explosion a fourni l'occasion d'expériences très intéressantes, qui ont été longuement décrites, mais le rocher ne fut que soulevé, disloqué en gros morceaux et peu abaissé.

En France, l'expérience des travaux de fonçage, au moyen de l'air comprimé, nous a amené à d'autres combinaisons. Nous avons construit de grandes cloches à plongeur pour enlever la roche « la Rose » qui nuisait à l'entrée du port de Brest et pour approfondir l'entrée des ports de Cherbourg et de Philippeville. Enfin, nous avons pu creuser les hauts-fonds rocheux de la Charente, en draguant le produit d'explosions sous-marines à un prix relativement bas (voir p. 130).

Dans ce même ordre d'idées, M. Couvreur fit construire une drague terrestre qu'il a appelée « Excavateur », pour faire mécaniquement le chargement des wagons, soit en creusant au niveau de la voie, soit en creusant en contre-bas, même dans l'eau; c'est la machine à terrassement par excellence, qu'on a beaucoup employée aux grands travaux de Suez, et dont on a exécuté de nombreuses variantes, notamment pour les travaux du canal de Panama.

Ce sont ces études et ces améliorations dans l'outillage qui ont permis de mener à bien le canal de Suez, d'exécuter la régularisation du Danube, à Vienne, de creuser le canal de Cronstadt et tant d'autres ouvrages.

Nous décrirons, succinctement, les travaux que nous avons particulièrement suivis.

Régularisation du Danube, à Vienne.

Le Danube.

Le Danube, un des plus beaux fleuves de l'Europe, prend sa source dans le duché de Bade; il traverse la Bavière, l'Autriche, la Hongrie, baigné la Roumanie et la Serbie, puis se jette dans la mer Noire, après un cours de 3,000 kilomètres environ.

Son lit, quelquefois resserré entre les montagnes, traverse, dans les environs de Vienne, des plaines très étendues, formées en majeure partie par ses alluvions.

Sa pente varie beaucoup; elle est rapide dans la partie supérieure, moins forte dans la partie moyenne et presque nulle dans celle comprise entre les Portes de fer et la mer Noire.

Le débit du fleuve, à Vienne, est considérable; il est d'environ 1,800 à 2,000 mètres cubes par seconde, à l'étiage, et peut atteindre et dépasser 12,000 à 15,000 mètres cubes dans les grandes crues.

Malgré leur grande vitesse, les eaux gèlent presque tous les hivers et produisent des débâcles dont les effets sont quelquefois terribles, et causent de grands désastres. La ville de Vienne en a beaucoup souffert, et, comme dans toutes les cités en voie de progrès, l'amélioration du fleuve, qui la baigne, fut une des constantes préoccupations de ses habitants.

Des travaux, nombreux et anciens, attestent que le fleuve s'est déplacé sous des influences diverses, et qu'on a dû faire de grands efforts pour maintenir l'eau dans le canal de Vienne (Donau Canal).

En exécutant les travaux neufs on a retrouvé les traces de vieilles constructions qui prouvent aussi que le Danube a occupé diverses positions, entre le canal actuel et le lit vers Floridsdorf et Kaisermühlen.

Cette variation continuelle du lit et le développement considérable de la ville de Vienne ont nécessité l'amélioration du cours du fleuve, tant pour assainir les terrains voisins que pour les protéger contre les fréquentes inondations et améliorer, en même temps, la navigation.

On a constamment cherché à rapprocher le fleuve de la ville, en assurant la traversée des routes sur des ponts fixes en bois, construits sur les deux bras, à Zwischen-

brücken et Floridsdorf, et en entretenant, aussi bien que possible, l'entrée du canal, près de Nussdorf.

L'amélioration du Danube fut longuement examinée et mûrie par les hommes d'État autrichiens, et par les habitants de Vienne particulièrement intéressés à la solution.

Études préliminaires.

Ce ne fut qu'après 1866, et par suite d'un retour d'idées vers l'industrie et les améliorations matérielles, qu'on songea de nouveau à étudier ce grand projet. La situation financière du pays, l'affermissement de son crédit, des moyens d'exécution plus perfectionnés, permirent d'envisager la possibilité d'entreprendre ce grand travail.

En 1867, M. le conseiller aulique de Passetti présenta un projet à la Commission, qui avait été chargée d'étudier les moyens de régulariser le Danube, en vertu d'un ordre Impérial de 1866. Ce projet consistait à ne donner qu'un seul lit au fleuve, en conservant la direction du vieux lit, et en se servant du bras de Kaiserwasser pour en faire un port, muni d'écluses; ce port aurait été, en amont, en communication avec le canal de Vienne, et, en aval, avec le grand Danube régularisé. La Commission ne crut pas devoir accepter cette combinaison et nomma un Comité qui examina la question à un autre point de vue, et rapporta, dans une séance ultérieure, les propositions suivantes :

« Réunir le fleuve entier dans un lit normal, soit en conservant la direction du » vieux lit, soit en suivant un nouveau tracé; écarter les causes d'inondations; rap- » procher le fleuve principal de la ville de Vienne et établir la voie navigable pour » satisfaire aux exigences de la navigation actuelle des bateaux à vapeur. »

La Commission, ne pouvant s'entendre sur une décision définitive, proposa au Gouvernement d'inviter les Ingénieurs étrangers d'une renommée européenne à donner leur avis sur les travaux de régularisation à exécuter.

Conformément à cette résolution, la Commission rédigea un programme dont voici les déterminations les plus importantes :

« Étudier les dispositions générales du projet de la régularisation du Danube et » la correction du lit du fleuve, près Vienne, à partir de Kuchelau, en aval de Kloster- » neubourg jusqu'à Fischamend. »

Dès lors, on reconnut aussi que d'autres travaux seraient également désirables en amont, de Kuchelau jusqu'à Kréms, et, en aval, de Fischamend jusqu'à Theben; mais

qu'on devrait profiter de l'expérience que donnerait la régularisation, à Vienne, avant de les entreprendre.

En même temps, on se préoccupait de l'amélioration du canal de Vienne, proprement dit, auquel on voulait donner un plus grand tirant d'eau pour la navigation, et de l'eau courante comme élément de salubrité.

MM. JAMES ABERNETHY, Ingénieur civil à Londres,
 GOTTHILF HAGEN, Directeur des Travaux publics, à Berlin,
 GEORGES SEXAUER, Conseiller des Travaux publics, à Carlsruhe,
 ALBERT TOSTAIN, Inspecteur général français et Directeur général du chemin de fer du sud, à Vienne,

furent invités à étudier les projets élaborés et le programme de la Commission de la régularisation du Danube, et ces messieurs déposèrent, par écrit, leur opinion sur les travaux à exécuter.

La Commission prit, à la suite de cet avis, la décision suivante, qui a servi de base aux projets exécutés :

« Réunir tous les bras du Danube en un seul lit normal, qui aura à suivre à peu près le tracé proposé, en 1867, par MM. J. Abernethy et G. Sexauer et, sous certaines conditions, par M. Tostain.

Ce projet parut écarter le mieux possible les dangers d'inondations, répondre en même temps aux exigences du commerce, permettre l'exécution des voies de communication et se prêter au développement de la ville de Vienne. Il fut accepté presque à l'unanimité de la Commission, qui accepta aussi le profil du nouveau lit du fleuve.

Combinaison financière.

La combinaison financière, qui a permis d'entreprendre les travaux de la régularisation du Danube, repose sur un emprunt en obligations foncières, garanti en parties égales :

Par l'Empire d'Autriche,
 Par la province de la Basse-Autriche,
 Par la ville de Vienne.

On espère que la vente des terrains achetés et améliorés, la location des installations sur le fleuve, suffiront au remboursement des obligations de l'emprunt et au paiement des intérêts.

La Commission.

Pour diriger l'exécution des projets, une Commission fut constituée sous la présidence du Ministre de l'Intérieur et composée de trois membres votants de l'Empire, de la Chambre basse et de la municipalité de Vienne. La Commission s'adjoignit encore des hommes spéciaux et éminents avec voix consultative pour s'éclairer sur les questions techniques.

Lors de sa constitution, en 1869, la Commission de la régularisation du Danube, qui dirigeait cette grande œuvre d'amélioration générale et patriotique, était composée comme suit :

Commission de la Régularisation du Danube, en 1869.

Président : S. Ex. M. le docteur GISKRA, Ministre de l'Intérieur.

Vice-Président : M. le Docteur BARON DE WEHLI, Chef de Division au Ministère de l'Intérieur.

Membres de l'Empire :

MM. MOSER, Chef de division au Ministère des Finances,
 DE WIEDENFELD, Conseiller de Section au Ministère de l'Intérieur,
 VANIEK, Conseiller au Ministère de l'Intérieur,
 DE DOBLER, d° d°

Membres de la Basse-Autriche :

MM. DE WINSTERTEIN, Président de la Chambre de commerce,
 SCHMILLER, Député,
 CZEDICKE, d°

Membres de la Commune de Vienne :

MM. le Docteur FELDER, Maire,
 le Docteur NEWALD, Vice-Maire,
 le Professeur SOESS, Conseiller municipal.

Membres consultatifs de l'Empire :

MM. D'ENGERTH, Directeur général adjoint au Chemin de fer de l'Etat;
DE HAUSLAB (S. Ex. le Feldzeugmeister), Membre de la Chambre des
Seigneurs,
ALFRED LENZ, Ingénieur, Membre de la Chambre haute,
STEFFENS.

Province :

MM. WILNER, Député,
DITMAR, d^o

Vienne :

MM. GROS, Conseiller municipal,
SCHIFNER d^o

• Description sommaire de la Régularisation du Danube, à Vienne.

TRACÉ. — La nouvelle direction du Danube, à Vienne, a son point de départ obligé, à l'amont, en face Nussdorf, au pied du Kahlenberg; de là on a tracé, à travers les terrains du Prater, une ligne légèrement courbe, pour que le thalweg, qui se tient ordinairement du côté extérieur de la courbe, se trouvât aussi près que possible vers la ville, et afin de favoriser les installations de débarquement.

Cette ligne rejoint l'ancien lit du Danube sous le pont de Stadlau; elle le quitte une seconde fois, pour traverser les îles de Weidenhaufen et le reprendre en face du village d'Albern, après un parcours de rectification de rives, ou de lit complètement creusé, d'environ 15 kilomètres de longueur.

Sur la rive droite du nouveau lit, on a installé les quais de débarquement, les bains publics, les docks d'entrepôts, et, du côté opposé, on a seulement construit une digue, pour protéger les terrains des immenses plaines de la Marchfeld contre les inondations.

DIMENSIONS DU LIT. — La largeur et le profil pour le lit majeur ont été fixés dès l'origine, à 2,400 pieds soit 750^m,60, entre la rive droite et la digue d'inondation (4).

La crête des remblais, du côté de Vienne, est à une distance de 171 mètres de la crête du talus, et à 6^m,32 au-dessus du zéro; la digue d'inondation de la rive gauche

(4) Le pied de Vienne = 1/6 de klafter = 0^m,316. Le klafter = 1^m,896.

est à la même hauteur. Celle-ci est formée d'un noyau de 4^m,75 d'épaisseur à la couronne, avec des pentes de 1/2 du côté du fleuve et de 1/4 du côté opposé.

Le lit d'inondation est à 4^m,90 au-dessus du zéro, au bord du fleuve, et à 2^m,80, au pied de la digue d'inondation.

Le lit mineur, destiné à contenir le fleuve en temps ordinaire, devait d'abord avoir 4,000 pieds de largeur (316^m,40); pendant l'exécution, on réduisit cette largeur à 900 pieds (284^m,80). On peut assurément, à présent que l'épreuve est faite, considérer cette largeur comme le maximum de ce qui est utile à Vienne. La profondeur est de 2^m,53 à 3^m,48, au-dessous du zéro (2). La pente moyenne est 0^m,00044 ; la vitesse du fleuve varie selon la hauteur des eaux. Au zéro, elle est d'environ 2^m,50 par seconde, ce qui correspond à une bonne navigation. Au-dessous de zéro, la vitesse est irrégulière et les hauts-fonds exercent une influence de ralentissement. La crête du talus de la rive droite, est à 3^m,80 et celle de la rive gauche à 4^m,90 au-dessus de zéro.

DÉFENSES DES RIVES. — Les talus des rives sont inclinés à 2 de base pour 4 de hauteur; on les a revêtus, partout, d'un perré en pierres brutes de 0^m,25 environ d'épaisseur, avec 4 mètre de largeur de banquette en haut. Le bas du perré descend à 3 pieds (0^m,95) au-dessous du zéro, et s'appuie sur un enrochement qui recouvre le talus dans l'eau. Cet enrochement est fait sur toute la hauteur du talus avec une épaisseur d'environ 4 mètre, et sert à protéger le sol des rives contre les affouillements.

On a fait, sur la rive droite, un grand nombre d'escaliers pour permettre l'accès du fleuve; les uns sont construits soigneusement avec des marches et des limons en granit; d'autres, et ce sont les plus nombreux, sont construits avec des marches en pierre ordinaire, posées sur le sable comme les perrés. On a aussi ménagé plusieurs rampes avec une pente de 0^m,40, pour permettre le tirage à terre du bois flotté et autres marchandises.

UTILISATION DES TERRAINS. — Les terrains de la rive droite ont été remblayés, sur une grande largeur, pour élever la rive, et former une surface insubmersible ayant la même hauteur que la digue d'inondation rive gauche.

La partie de ces terrains, la plus voisine de la rive, est destinée aux installations de magasins et d'entrepôts, pour le service des marchandises, aux bains, etc.

En arrière de cette zone, qui a environ 70 mètres de largeur, on a posé une voie longitudinale, qui joint à l'avantage de desservir la rive du Danube et ses entrepôts,

(2) Le zéro est un point de comparaison des eaux moyennes.

celui, non moins grand, d'être une voie de jonction entre les divers chemins de fer qui aboutissent à Vienne. Ainsi, la Staatsbahn et la Südbahn dont les gares sont voisines, y ont accès près du pont de Stadlau; la Nordbahn, près de sa gare; la Nordwestbahn et la Frank-Josef's Bahn y accèdent près de Nussdorf. La Westbahn y aura aussi accès en faisant traverser le canal de Vienne à la voie de Kaiser-Ebersdorf; elle peut y arriver en empruntant la Südbahn ou la Staatsbahn.

Enfin, une route ordinaire longeant la rive est destinée à desservir les groupes de terrains à bâtir qui, tôt ou tard, prendront de la valeur et seront une grande source de développement, pour la Ville, et de revenu pour la Commission, qui en est propriétaire.

PONTS. — Le nouveau lit du Danube est traversé par cinq grands ponts ayant des travées de 40 klafter (76 mètres) sur le lit majeur, et des ouvertures diverses sur le lit mineur; sur la rive droite, on a aussi ménagé, dans ces ouvrages, de grandes ouvertures pour laisser plus de facilité à la circulation. Deux de ces ponts servent au passage des routes, ce sont: le K. K. Franz Josef's Brücke et le Kronprinz Rudolf's Brücke; les trois autres servent au passage des chemins de fer de la Nordwestbahn, Nordbahn et Staatsbahn. Tous ces ponts sont en fer et fondés sur des caissons, au moyen de l'air comprimé. Le premier construit fut celui de la Staatsbahn, dans une partie non déplacé du fleuve et avant le commencement des travaux de la régularisation du Danube. Les fondations furent exécutées par MM. Castor et Hersent, et la partie métallique par MM. Schneider et C^s, du Creusot.

DIVISION DES TRAVAUX. — Dès l'origine des études définitives en divisa l'ensemble des travaux de la régularisation du Danube, en plusieurs lots, afin de permettre de commencer immédiatement le plus important d'entre eux, pour l'exécution duquel on accorda un délai de cinq années.

La nécessité d'assurer l'entrée de l'eau dans le canal de Vienne, pendant l'été, et d'empêcher la débâcle des glaces d'y pénétrer pendant l'hiver en causant des dommages à la partie basse de la ville, fut l'objet de travaux importants; il parut bon d'allonger le musoir en face de Nussdorf et de construire une écluse à fermeture mobile, au moyen d'un bateau-porte.

La démolition des vieux ouvrages, qui protégeaient l'ancienne rive gauche et obligeaient l'eau à entrer dans le canal de Vienne; la construction de nouvelles rives jusqu'au Roller; la fermeture du vieux Danube, en amont du pont de Floridsdorf, après que le nouveau lit en aval du Roller aurait été ouvert, et l'élévation d'une digue d'inondation sur la rive gauche, jusqu'en face du village de Kahlenberggerdorf, composèrent les travaux du premier lot.

Le deuxième lot qui fut le premier attaqué parce qu'il était le plus important, comprenait outre la grande coupure à faire à travers les terrains du Prater, à partir du Roller jusqu'au pont de Stadlau, la surélévation des terrains de la rive droite, la construction d'une digue d'inondation sur la rive gauche, des quais de débarquement, des bains et tous les ouvrages de protection des rives.

Plus tard, on ajouta, à ce lot, la rectification de la rive droite, en aval du pont de Stadlau, sur le Dammhaufen.

À travers les îles de Weidenhaufen, on dut faire une seconde coupure ; on allongea, jusqu'à Schneider-Insel, la rive gauche du canal de Vienne et on ferma le vieux lit du Danube, à l'amont de Weidenhaufen, pour former un port d'hiver.

Ce fut l'objet du troisième lot.

Ces divers travaux ont nécessité l'exécution de quantités considérables de terrassements et de dragages, et d'autres ouvrages plus ou moins importants, qui méritent une mention spéciale ; nous citerons, entre autres :

L'écluse de Nussdorf,

Les quais de débarquement,

Les bains,

La démolition des ouvrages de Nussdorf.

L'ouverture du nouveau lit au Roller,

La fermeture du vieux lit près Floridsdorf,

La fermeture du vieux lit à l'amont de Weidenhaufen.

Ecluse de Nussdorf.

L'écluse de Nussdorf a été construite, à l'entrée du canal de Vienne, pour empêcher les glaces de prendre la direction du canal et particulièrement pour éloigner de la ville les débâcles et leurs fâcheuses conséquences.

Dans ce but, on a construit deux culées très solides, sur des caissons métalliques, au moyen de l'air comprimé ; ces culées sont fondées sur le gravier à la profondeur de 9^m,50 au dessous du zéro et arasées à 15 pieds au-dessus de ce même zéro (4^m,74). Elles sont écartées l'une de l'autre de 47^m,50, pour laisser le passage du canal entièrement libre pendant l'été. À la partie inférieure, il y a un radier en béton de Portland de 4 pieds d'épaisseur (1^m,26), enclavé entre des pieux jointifs, à l'amont comme à l'aval ; la partie supérieure est arasée à 3^m,80 au-dessous de zéro, de sorte qu'il n'apporte

aucune gêne à la navigation, tout en empêchant les affouillements de se produire sous le bateau-porte, après la fermeture du canal.

Dans le même but on a fait, en avant, un enrochement de gros matériaux arasé à la même hauteur que le radier (4).

L'une des culées, celle de la rive gauche, sert de point d'appui fixe, et l'autre (côté de Nussdorf), sert de base à un appui mobile sur lesquels viennent se poser les deux extrémités d'un bateau-porte flottant, construit en fer. On le met en travers du canal, au moyen de cabestans, pour en obstruer l'entrée, tout en laissant passer l'eau en quantité suffisante; il peut être, à volonté, immergé, soit par du lest, soit par l'introduction de l'eau dans la cale.

Une expérience de quinze années a réalisé les espérances qu'on avait fondées sur son fonctionnement. L'eau et les petits glaçons peuvent passer sous le bateau, mais les gros morceaux de glace, et particulièrement les produits de la débâcle, s'arrêtent en amont pour suivre le grand lit du Danube.

Pendant l'été, le bateau-porte est remis dans un emplacement spécial, sur la rive gauche du canal.

Sur les deux rives sont établis les massifs d'amarrage servant à la manœuvre.

L'ensemble et les détails de ces constructions ont été étudiés sous la direction de M. le baron d'Engerth, qui est l'auteur de cette heureuse combinaison de prévoyance.

La fondation des culées de l'écluse-barrage de Nussdorf a été faite au moyen de deux caissons métalliques, de dimensions différentes: celui de la rive gauche, de forme rectangulaire, de 13 klafter de longueur (24^m,70) sur 3 klafter de largeur (5^m,70), a été enfoncé au travers de vieux ouvrages en bois et en pierre, qu'on a dû démolir à mesure de la descente, ce qui en a rendu le fonçage long et difficile; on a dû couper les pieux par bouts, à mesure qu'on les a découverts et les autres bois, sous le tranchant du caisson, pour en amener dans la chambre de travail tout ce qui s'opposait à sa descente.

Celui de la rive droite, du côté de Nussdorf, a 16 klafter de longueur (30^m,40) sur 3 klafter de largeur (5^m,70), avec un renflement du côté du canal, pour obtenir la surface nécessaire à la base de la chambre des portes d'écluse. Cette forme irrégulière a nécessité des précautions particulières pendant le fonçage qui, d'ailleurs, s'est opéré avec succès et sans embarras extraordinaires.

Les engins, qui ont servi au fonçage de ces caissons: écluses, cheminées, vérins machines de souffleries etc., sont ceux de l'outillage Castor-Hersent, déjà employés lors de la fondation des ponts de Stadlau et de Linz, sur le Danube, etc.

(3) Malgré ces précautions le radier a été insuffisant et on a dû le renforcer à l'aide d'ouvrages exécutés au moyen de caissons et d'air comprimé.

Murs de Quai.

A plusieurs endroits de la rive droite du nouveau lit du Danube, on a construit des murs de quais en maçonnerie, dont l'ensemble, formé de neuf tronçons séparés, présente une longueur totale d'environ 4,300 mètres.

La fondation de ces quais, sur la rive du fleuve, est faite d'un massif de béton de 12 pieds d'épaisseur (3^m,80), encaissé entre des pieux jointifs, et du côté des terres d'une file de pieux et palplanches; la base est à 14 pieds au-dessous du zéro (4^m,42), et, à partir de 2 pieds au-dessous de ce même zéro, c'est-à-dire au-dessous du niveau des basses eaux, commence la maçonnerie d'élévation, qui est arasée au niveau de la rive à 12 pieds au-dessus du zéro, soit 3^m,80.

Le parement et le couronnement sont exécutés avec des pierres de granit de la Haute-Autriche, et le reste de la maçonnerie avec des moellons ordinaires du pays. Toutefois, la partie inférieure du mur de quai, entre le massif de béton de la base et la cote — 2 pieds, est exécutée en béton de Portland, pour éviter les épaissements pendant la construction.

La face du mur, vers le fleuve, a un fruit de 0^m,10 par mètre; elle est en retraite de 0^m,62 environ, sur le massif. La saillie des pieux et des enrochements, qui les protège à la base, contre les affouillements, pouvait faire craindre un trop grand éloignement des bateaux des murs de quai; mais ce défaut n'est qu'apparent, car il est à noter que les eaux sont basses seulement en hiver, alors qu'il n'y a pas de navigation, tandis que, pendant l'été, l'eau est presque toujours au-dessus de zéro.

A l'extrémité de chaque quai, il y a un escalier d'accès au fleuve.

Plusieurs de ces quais sont largement utilisés par les installations de la Société générale des bateaux à vapeur du Danube, par les docks et entrepôts de la ville de Vienne, les installations du chemin de fer du Nord, etc.

Bains publics d'eau courante.

La salubrité étant l'une des bases du projet de la régularisation du Danube, la Municipalité de Vienne songea, dès l'origine des études, à construire, sur la rive droite du nouveau lit du fleuve, des bains froids d'eau courante, pour remplacer, dans une certaine mesure, les bains flottants de Kaiserwasser, et, surtout, pour réunir, dans ces établissements, les conditions hygiéniques nécessaires.

L'un de ces bains est construit près de l'emplacement de l'ancien Kaiserwasser, l'autre, plus haut, près du nouveau pont « Franz-Josef ».

Ces bains sont composés d'un grand bassin de 180 mètres de longueur sur 54 mètres de largeur, avec une prise d'eau à l'amont, et un canal de jonction à l'aval, ce qui permet, pendant l'été, le renouvellement constant de l'eau; pendant l'hiver, on ferme les canaux pour éviter les atterrissements causés par le dépôt des vases que contient l'eau du fleuve.

L'installation du bain de Kaiserwasser est complète et grandiose. Elle comprend :

- 1° Un grand bassin pour les nageurs;
- 2° Deux piscines de classes différentes, à fond mobile pour l'école de natation des deux sexes;
- 3° Une grande quantité de petites piscines séparées ou de famille;
- 4° Une grande lingerie avec blanchisserie mécanique.

Un médecin est attaché à l'établissement, où se trouve aussi un grand restaurant qui en est l'accessoire indispensable.

La construction du bassin des bains est du même genre que celle des murs de quai; le côté du fleuve seulement est parementé en pierre de taille de granit.

Les aménagements intérieurs sont presque tous en bois peint; les constructions du pourtour sont en briques d'un assez bel effet. Cet établissement, qui est desservi par des tramways, de tous les points de la ville, a l'avantage de permettre l'usage du bain froid à toutes les classes de la population. Sa surface est de près de deux hectares.

École militaire de natation.

En aval des terrains occupés par les Docks de Vienne, sur la rive droite du nouveau lit du Danube, l'administration militaire a fait construire une école de natation pour remplacer celle que cette administration possédait au Kaiserwasser.

L'économie de cette construction repose sur un autre ordre d'idées que celle des bains de la ville, creusés à grands frais à côté du fleuve.

On a édifié, à fleur de sol, une grande piscine toute en béton, dont le fond en pente a, à l'une de ses extrémités, 4^m,50 de profondeur et 2^m,20 à l'autre, de sorte qu'elle permet de faire tous les exercices de natation. Au pourtour, il existe un trottoir dallé en béton d'environ 3 mètres de largeur, et la clôture extérieure est faite par les cabines ayant toutes leurs ouvertures vers la piscine.

Le bain est alimenté par une pompe à vapeur, élevant l'eau d'un puits voisin du Danube et de la piscine; un tuyau de trop-plein ramène au fleuve l'eau en excès, et un robinet, placé à la partie inférieure, permet de renouveler toute ou partie de l'eau et de vider la piscine pendant l'hiver. La construction du puits, qui sert à l'alimentation des bains, est décrite page 36.

L'agencement général de ce bain présente l'avantage de coûter beaucoup moins cher d'installation que les bains d'eau courante et d'alimenter la piscine en quelque sorte d'eau filtrée; mais nous n'avons pas d'opinion sur la valeur relative de ces deux dispositions, au point de vue hygiénique.

Entreprise de l'exécution des travaux.

Le deuxième lot de travaux, compris entre le Roller et le pont de Stadlau, fut mis en adjudication en octobre 1869 et la Commission chargea de ces importants ouvrages MM. Castor, Watel, Couvreur et Hersent, quoique leur offre ne fût pas la plus basse, en considération de la confiance que ces entrepreneurs lui inspirèrent pour la bonne exécution.

Peu après l'adjudication, M. Watel se retira de l'association pour des motifs particuliers; dès lors, l'Entreprise resta à MM. Castor, Couvreur et Hersent, qui en ont suivi personnellement l'exécution.

Au mois de juillet 1874, la Commission mit au concours les importants travaux du premier lot, en amont du Roller jusqu'au Kahlenbergerdorf, et ceux du troisième lot, situés en aval de la première entreprise (deuxième lot), et jusqu'en face du village d'Albern.

MM. Castor, Couvreur et Hersent firent alors les prix les plus avantageux, et furent chargés de l'exécution d'un travail d'ensemble, qui comprenait tout ce qui était à faire sur 15 kilomètres environ de longueur.

Quoique chaque entreprise ait été dirigée et exécutée séparément, nous avons réuni ci-après les quantités d'ouvrages réellement exécutées, dont l'importance, en argent, a atteint environ le chiffre de 20 millions de florins.

Résumé des travaux exécutés, pour la Régularisation du Danube,

DÉSIGNATION DES TRAVAUX	1 ^{er} LOT	2 ^{me} LOT	3 ^{me} LOT	TOTAUX DES MÈTRES CUBES ETC. EXÉCUTÉS
Terrassements à sec.	1.451.065 m ³	4.773.014 m ³	936.953 m ³	7.161.032 m ³
Dragages ordinaires	688.689 m ³	8.247.987 m ³	1.766.048 m ³	10.702.694 m ³
Démolition de vieux ouvrages.	190.483 m ³	23.766 m ³	57.385 m ³	271.606 m ³
Enrochem ^{ts} , ou fascinages avec pieux, etc.)				
Pieux arrachés	8.267 pièces	1.350 pièces	»	9.617 pièces
Bois de construction arraché	19.537 m. lin.	»	»	19.537 m. lin.
Enrochements des rives nouvelles.	127.743 m ³	187.843 m ³	400.373 m ³	415.964 m ³
Perrés sur les talus	37.243 m ³	122.750 m ³	109.164 m ³	268.977 m ³
Maçonnerie des quais, etc.	21.574 m ³	49.413 m ³	»	70.987 m ³
Fondations à l'air comprimé.	2.750 m ³	»	»	2.750 m ³
Pieux battus (9 ^m ,50 long) ¹	3.519 m ³	16.481 m ³	»	20.000 pièces
Palplanches battues (6 ^m ,65 long).	1.830 m ³	13.577 m ³	»	15.413 d ^o
Fascinage de défense.	»	52.535 m ³	20.499 m ³	72.984 m ³
Saucisson (0 ^m ,42 diamètre).	200 m ³	13.140 m ³	3.098 m ³	16.408 m ³ d ^o

L'exécution de ces immenses quantités d'ouvrages était un gros problème à résoudre. Il est vrai que les chantiers du 2^e lot étaient déjà presque organisés, quand arrivèrent les deux autres lots, dont les travaux ne furent commencés que 20 mois après. Les machines jouèrent un grand rôle et furent utilisées sur une vaste échelle; elles donnèrent lieu à des essais nombreux, qui permirent d'établir de nouvelles méthodes de travail et d'obtenir de grandes productions journalières. Grâce à elles, on put ouvrir le nouveau lit du Danube, dans toute son étendue, sans dépasser le temps qu'on avait fixé d'avance.

Inauguration (1).

Le nouveau lit du Danube a été inauguré, en présence de Sa Majesté l'Empereur François-Joseph, le 30 mai 1875.

(1) A l'occasion de l'inauguration du nouveau lit du Danube, S. M. I. et R. l'Empereur François-Joseph a daigné témoigner sa satisfaction aux Entrepreneurs MM. Couvreux et Hersent, qui ont dirigé personnellement les travaux, et leur a remis l'ordre de la Couronne de fer, en même temps qu'elle eut la bienveillance de se souvenir de M. Castor, décédé en février 1874.

Où s'étendaient autrefois des bois et des prairies, le fleuve aujourd'hui roule majestueusement ses eaux, entre des rives consolidées. Il a pris promptement possession du lit qui lui avait été si soigneusement préparé, et il a prouvé que le tracé du nouveau canal était heureusement choisi.

Le fleuve s'est considérablement rapproché de la ville, et l'ancienne dénomination géographique, « Vienne sise sur les bords du Danube », s'est réalisée.

Des rives consolidées endiguent le fleuve, empêchent les déplacements annuels du courant dans le voisinage de la ville et rendent à la culture de vastes terrains.

Les dangers d'inondation sont à jamais écartés de Vienne et des environs.

Depuis l'ouverture du nouveau lit, il s'y est formé des atterrissements, produits par le déplacement de bancs de gravier situés à l'amont de la partie régularisée.

L'abaissement du niveau des eaux paraît être la cause de ces déplacements, et l'irrégularité de leur répartition paraît être aussi la conséquence de ce que, dans les premiers temps, le Danube a eu deux lits, l'ancien et le nouveau, ce qui était à prévoir.

A présent que les mouvements de gravier paraissent s'être arrêtés, il ne reste plus qu'à rétablir les fonds vers la rive droite, dans les parties qui en manquent, pour remplir exactement les conditions du programme et il y a peu de probabilités que de nouveaux déplacements se produisent.

Moyens d'exécution.

ORGANISATION GÉNÉRALE. — Aussitôt que les Entrepreneurs furent chargés des importants travaux du 2^e lot de la régularisation du Danube, ils organisèrent un atelier de construction et de réparation, vers le milieu des chantiers, sur des terrains appartenant à la Commission, et facile à raccorder avec le Chemin de fer du Nord (Kaiser Ferdinand Nordbahn), à proximité de Vienne, et à l'abri de la digue de Kaiserwasser.

Au moyen du raccordement avec le chemin de fer, tout arrivait directement dans les ateliers de l'entreprise, et, de là, pouvait être facilement conduit sur les chantiers, au moyen d'un réseau de voies ferrées.

L'atelier de réparations comprenait : des machines de scierie pour le bois ; des forges, des tours, des raboteuses, des perceuses, etc. pour le fer ; un atelier de chaudronnerie et une force motrice de 25 à 30 chevaux-vapeur environ était utilisée.

En outre, un atelier spécial de construction de bateaux en bois fut organisé sur les bords du Kaiserwasser, pour la confection immédiate, sur place, des engins de dragues, et des bateaux de transport nécessaires.

TERRASSEMENTS A SEC. — Dès le mois de novembre 1869, on organisa, les travaux de

déblais à sec, pour la partie supérieure, avec l'aide des ouvriers du pays, et surtout d'Italiens, qui viennent, en grande quantité, chercher du travail en Autriche.

A cet effet, toute la surface à déblayer a été divisée en figures permettant une subdivision très grande du travail et un classement méthodique, en rapport avec la composition des diverses équipes.

Le volume de chaque figure, ainsi que la distance de transport des déblais à en provenir, étaient connus d'avance; le prix du travail pouvant être déterminé avant tout commencement d'exécution, la vérification se trouvait faite.

Cette répartition du travail fut très appréciée des ouvriers et donna toute satisfaction. De grandes quantités d'ouvrage furent ainsi faites, pendant plusieurs années, par un millier d'hommes et environ 500 chevaux, sans jamais donner lieu à contestations entre les ouvriers et les agents de l'entreprise.

Les machines à terrassement ont été plus spécialement appliquées à des déblais en partie sous l'eau.

Le premier excavateur fonctionna dès le 19 avril 1870, et la première drague au mois d'octobre de la même année.

Deux excavateurs ont été employés, par exception et pour un certain temps, à charger des wagons avec du déblai à sec. Sans être d'un emploi très économique, ce moyen permit d'obtenir une production très satisfaisante, surtout à l'aide de machines légères, d'un prix peu élevé.

A la fin de 1871, quatre excavateurs et deux dragues fonctionnaient.

**Classement général du travail de terrassement exécuté dans les trois lots
de la Régularisation du Danube.**

	TOMBEREAUX et BROUETTES	EXCAVATEURS	DRAGUES
1 ^{er} Lot, 1871 à 1876	4.451.065 m ³	"	879.144 m ³
2 ^e Lot, 1869 à 1875	4.773.014	3.461.834	4.809.919
3 ^e Lot, 1871 à 1876	936.983	211.500	1.011.903
TOTAUX	7.161.032 m ³	3.673.334 m ³	7.300.966 m ³
	18.135.332 m ³		

Classement spécial du travail de terrassement du 2^e Lot.

MODE D'EXÉCUTION	QUANTITÉS PRODUITES EN MÈTRES CUBES							OBSERVATIONS
	1869	1870	1871	1872	1873	1874	EN TOUT	
Par Bennes ou Tombereaux . . .	11.400	682.400	1.303.760	811.840	403.590	536.262	4.008.082	
Par Excavateur n° 1 . . .	»	56.920	171.880	331.630	184.780	»	764.610	
— n° 2 . . .	»	51.630	273.500	316.400	204.040	»	847.570	
— n° 3 . . .	»	34.890	138.300	229.220	397.860	97.024	907.964	
— n° 4 et 5 . . .	»	21.030	306.270	302.010	312.350	»	941.690	
Par Dragues n° 1	»	3.330	142.120	17.760	23.330	»	186.530	A travaillé spécialement au 1 ^{er} Lot, 1871.
— n° 2	»	15.040	172.630	479.160	826.550	317.564	1.510.944	
— n° 3	»	»	134.720	399.350	621.760	320.648	1.437.478	
— n° 4	»	»	45.200	287.220	236.040	234.972	803.432	
— n° 5, 6, 7, 8, 9	»	»	»	449.860	285.680	91.108	826.648	
	11.400	864.930	2.750.440	3.614.880	3.388.980	1.598.482	12.235.818	

Il ressort de ce dernier tableau que, d'abord, les excavateurs ont eu une grande production, que les dragues ont ensuite, de beaucoup dépassée. Il est peu probable qu'avec un excavateur on serait parvenu à une production dépassant 600,000 mètres cubes, en une année de dix mois de travail tout au plus.

État sommaire du matériel des trois Lots à la date du 1^{er} avril 1873.

DÉSIGNATION des APPAREILS	2 ^o LOT			1 ^o LOT			3 ^o LOT			TOTAUX	
	NOMBRE de machines.	FORCE EN CHEVAUX		NOMBRE de machines.	FORCE EN CHEVAUX		NOMBRE de machines.	FORCE EN CHEVAUX		NOMBRE de machines.	FORCE en chevaux de 75 Lits prae- mètres.
		par appareil	TOTAL		par appareil	TOTAL		par appareil	TOTAL		
Ateliers de réparation	1	15	15	1	7	7	1	4	4	3	26
Excavateurs.	4	24	96	»	»	»	»	»	»	4	96
Dragues	5	22	110	2	25	50	1	25	25	8	185
Tabliers porteurs. . .	»	»	»	1	6	6	1	6	6	2	12
Roues élévatoires . .	1	6	6	»	»	»	»	»	»	1	6
Débarquements . . .	6	15	90	2	15	»	2	15	30	10	150
Grues à vapeur . . .	2	12	24	1	12	»	»	»	»	3	36
Grues flottantes . . .	1	20	20	»	»	»	»	»	»	1	20
Locomotives.	15	40	600	1	20	20	2	25	50	18	670
Remorqueurs à aubes.	1	240	240	»	»	»	»	»	»	1	240
d ^o à hélice.	6	»	150	3	»	240	1	»	45	10	435
Toueurs à chaîne . .	1	8	8	1	15	15	1	12	12	3	35
Sonnettes à vapeur . .	5	8	40	2	8	16	»	»	»	7	56
Arrache-pieux. . . .	»	»	»	1	8	8	»	»	»	1	8
Machines à casser la pierre	2	10	20	»	»	»	»	»	»	2	20
Locomobiles pour di- vers usages.	6	»	60	2	»	20	»	»	»	8	80
Soufflerie pour travaux à air comprimé. . .	»	»	»	2	18	36	»	»	»	2	36
			1.479			460			172		2.111 chevaux

Suite de l'état du matériel.

DÉSIGNATION DES APPAREILS		2 ^o LOT	1 ^o LOT	3 ^o LOT	TOTAL
Wagons.	Nombre. .	300	20	25	345
Voies.	Longueur.	40 kilom.	2 1/2 kil.	1 1/2 kil.	44 kilom.
Bateaux à clapets.	Nombre. .	»	6	»	6
Id. de transport.	Id.	75	25	20	120

Les machines spéciales, les excavateurs (système A. Couvreur), les dragues, les débarquements et autres engins, ont été étudiés spécialement pour les travaux de la régularisation du Danube, en raison de l'expérience que les entrepreneurs en avaient, et par leurs soins personnels.

Ouverture du nouveau lit.

A la fin de 1874, les travaux, dans la partie comprise entre le Roller et le pont de Stadlau, étant arrivés à leur période d'achèvement complet, on put songer à faire entrer le fleuve dans son nouveau lit. Beaucoup de raisons engagèrent à ne pas faire l'ouverture à l'approche de l'hiver, mais à attendre les basses eaux du printemps de l'année suivante.

Dès l'origine des travaux, pour protéger ceux-ci contre les inondations, on avait fermé un des bras du Danube (Kaiserwasser) au moyen d'une digue élevée, qui formait à ce moment le barrage du Roller et qu'il s'agissait d'ouvrir pour livrer passage aux eaux.

Une deuxième digue, en travers du nouveau lit, existait à la Schwimmschule allée et formait aussi barrage. Elle servait, en même temps, de route de communication entre Vienne et Kaisernühlen, en attendant l'achèvement du pont de la route (Kronprinz Rudolf's Brücke).

Après le passage des glaces et des hautes eaux annuelles, dues à la première fonte des neiges, on fixa définitivement le jour de l'ouverture au 14 avril.

La Commission en prit l'initiative d'accord avec la direction, et elle donna elle-même les ordres de détail.

On put constater, ce jour, que, par suite d'une légère crue, la différence de niveau de part et d'autre du barrage était plus importante que de coutume; elle s'élevait à 2^m,30.

Le niveau du bassin immédiatement en dessous de la digue, d'une surface de près de 400 hectares, ne pouvait donc atteindre la hauteur du plan d'eau supérieur qu'après avoir reçu plus de deux millions de mètres cubes d'eau.

Ce résultat atteint, on pouvait craindre que la deuxième digue (Schwimmschule allée) notablement plus faible que celle du Roller, ne pût soutenir un tel surcroît de charge, qui devait porter la retenue totale à 3^m,30 vers ce point.

Le percement fut néanmoins résolu, et, à la date fixée, à 3 heures et demie du soir, on pratiqua une simple saignée de 0^m,50 de large à travers la digue.

L'eau y pénétra d'abord sous la forme d'un simple filet, qui vint dégrader le talus intérieur, entraînant, insensiblement, d'abord le gravier et le sable, jusqu'à ce qu'il prit bientôt l'aspect d'un petit cours d'eau encore inoffensif, mais qui grossit de minute en

minute pour devenir un torrent impétueux, grondant et entraînant, avec une force irrésistible, la digue elle-même et les enrochements approvisionnés en assez grande abondance.

La rive, près de laquelle l'ouverture avait été pratiquée, fut elle-même légèrement endommagée.

A six heures et demie du soir, l'ouverture avait atteint une largeur de 50 mètres ; le courant se ralentissait, le bassin paraissait plein et on pouvait en quelque sorte songer déjà à réparer les dégâts survenus, lorsque les regards durent se reporter vers la Schwimmschule allée, où déjà la digue menaçait d'être entraînée sous la pression. Pour éviter les dommages, qui auraient pu se produire dans les rives, en cas de brusque rupture, on dut prendre l'initiative d'une nouvelle ouverture : la digue fut percée dans son milieu.

Dès lors, le nouveau Danube était ouvert, un courant continu s'établit bientôt et, deux jours après, le remorqueur de l'entreprise, le « Neu-Donau » put remonter le fleuve à travers tout son nouveau tracé.

On reprit immédiatement les dragages pour enlever les dernières traces des digues, les obstacles disparurent bientôt et la navigation put librement se faire.

On put alors constater que le plan d'eau, au Roller s'était abaissé de près d'un mètre, et, plus en amont, à l'entrée du canal de Vienne, de 0^m,75 à 0^m,80. Ce fut le premier résultat immédiat de la régularisation.

Fermeture du vieux Danube, à Floridsdorf

La fermeture du vieux Danube, à Floridsdorf, a été l'une des plus importantes opérations de la régularisation du fleuve, et c'est celle qui a le plus trompé les prévisions.

D'après les projets élaborés, on avait eu d'abord l'intention de faire une demi-fermeture sur la rive gauche du lit mineur, comme l'indique le plan, pensant qu'elle contribuerait à faciliter la fermeture, à faire immédiatement, en amont de l'ancien pont de Floridsdorf, dans la direction de la digue d'inondation, à travers laquelle on pensait construire, ultérieurement, une écluse de communication avec l'ancien Danube.

Avec cette disposition, les travaux furent considérablement plus difficiles qu'on ne l'avait prévu.

A mesure que les enrochements, jetés en avancement de l'amont à l'aval, resserraient le courant, la profondeur augmentait par suite du déplacement du gravier, et le débit de l'eau restait sensiblement le même dans le vieux Danube, tandis que le nouveau lit manquait d'eau pour la navigation.

On constata alors que le fleuve pouvait avoir assez d'eau pour un lit, mais qu'il n'en avait sûrement pas assez pour deux.

A la fin de 1875, après avoir jeté beaucoup plus d'enrochement qu'on ne l'avait prévu, pour opérer la fermeture, l'hiver et les glaces arrivèrent. Il fallait fermer la digue, car on pouvait craindre que, dans de telles conditions, la débâcle produisît de grands dommages aux travaux, et même obstruât l'entrée du nouveau lit. On se décida à fermer brusquement en profitant des basses eaux et des glaces qui ralentissaient notablement la vitesse du courant et diminuaient l'importance du débit. On forma le remblai de la digue de toutes pièces, gravier, terre gelée, glaçons, et on parvint ainsi à arrêter le courant.

Cette fermeture se fit, non sans difficulté, mais on eut la satisfaction d'avoir construit, à la fin de janvier 1876, une digue très forte, qui paraissait suffisante malgré quelques défauts.

Lorsque la débâcle des glaces arriva, en février, il se produisit, en bas de Fischamend et dans le double lit du Weidenhaufen, des amas de glace tels, que l'eau et la glace montèrent, à certains points de la régularisation, jusqu'à 16 pieds au-dessus du zéro.

On eut des craintes sérieuses, mais la ville de Vienne n'éprouva aucun dommage.

La digue de Floridsdorf parut bien tenir pendant les cinq ou six jours que durèrent les oscillations de l'eau, atteignant 12 à 14 pieds (3^m,80 à 4^m,40) de différence de l'amont à l'aval. Mais alors, la terre gelée s'amollit, et, le 20 février, vers deux heures du matin, la digue donna passage à un petit filet d'eau ; bientôt après, elle disparut en entier pour laisser le passage libre au fleuve, comme auparavant, sans causer toutefois d'autres dommages.

Au moment de la rupture de la digue, les eaux étaient déjà descendues de 1 mètre au-dessous de la hauteur de la veille.

Alors se posa de nouveau le problème de fermer le vieux Danube de vive force, car dans la débâcle, la plupart des enrochements de la rive du lit mineur disparaurent, et on avait devant soi une partie du fleuve avec des eaux moyennes.

L'entreprise proposa d'effectuer la fermeture nouvelle au moyen d'un pont provisoire, qui permettrait de tapisser d'enrochements le fond du fleuve.

La Commission accepta, et désira que la fermeture du lit mineur fût menée simultanément avec celle de la digue d'inondation.

Ce fut un gros travail auquel on se prépara, dès que le temps le permit, en disposant à l'avance, des matériaux sur la rive et en installant le pont provisoire.

La fermeture fut opérée avec des moellons d'enrochements, dont les plus gros pesaient 6 à 800 kilogrammes et un tiers environ 450 à 600 kilogrammes. Ces matériaux furent

amenés avec des wagons de 5 mètres cubes de capacité, par rame de 12 et jetés à l'aval du pont. Cela eut pour premier effet de consolider le pied des pieux et d'arrêter les graviers roulants du fond. La première période de ce travail fit penser qu'il serait bientôt terminé : on conduisait plus de 2.000 mètres cubes de matériaux par jour, en jetant les pierres en aval et les graviers en amont du pont de service.

Lorsque la chute d'eau fut bien accentuée et atteignit 2 mètres, il y avait encore, dans plusieurs travées du pont provisoire, une lame d'eau de 2 mètres d'épaisseur, dans laquelle les plus grosses pierres ne tenaient plus et étaient emportées, par le courant, comme de simples cailloux. La provision d'enrochements diminuant chaque jour, on songea à les arrêter en se servant du pont provisoire comme point d'appui. A cet effet, on mit des rails en travers d'une palée à l'autre, à la hauteur du plan d'eau et, d'autres rails furent posés verticalement comme des aiguilles de barrage; à l'amont de cette toile, tissée à grandes mailles, on jeta de nouveau et très rapidement les pierres, grosses et moyennes, et, le 15 mai 1876, on parvint à sortir le barrage hors de l'eau.

La différence de niveau, de l'amont à l'aval, était alors de 3 mètres; les eaux du Danube se trouvaient à 4^m,40 au-dessus de zéro.

En amont du barrage en pierre, on amena du gravier en grande quantité, et, successivement, les filtrations devinrent de moins en moins importantes, jusqu'au moment où, après avoir mis un revêtement de terre argileuse, à l'amont, elles disparurent presque complètement. On put alors élever le corps de la digue, tel qu'il est figuré par le profil.

Cette digue a été soumise à l'épreuve qui avait enlevé la précédente; ses dimensions plus grandes, les enrochements et même les pieux du pont provisoire qui l'épaulent à sa partie antérieure, permettent d'espérer qu'on n'a plus rien à craindre de ce côté, et qu'elle est définitivement bien assise.

Les travaux de la rive du lit mineur ne furent plus qu'accessoires, après la fermeture du vieux Danube.

Il a été employé pour l'ensemble de ces travaux plus de 40.000 mètres cubes d'enrochements, pendant une période de trente-cinq jours, et c'est la grande énergie, déployée qui fut la cause de leur réussite.

Fermeture du vieux Danube, à Weidenhaufen.

La fermeture du vieux Danube, à Weidenhaufen, avait été projetée et entreprise avec des ouvrages en fascines. L'épi formé à l'aval par la nouvelle rive droite et la vieille rive gauche était composé, pour la plus grande partie, d'enrochements anciens, et

paraissait très solide. Néanmoins, on le consolida encore avec de nouveaux enrochements et des saucissons de fascines remplis de pierres.

Les fascinages, exécutés d'amont en aval, sur la ligne de la nouvelle rive, marchèrent à souhait jusqu'à moitié distance; le remblai suivait en arrière, et, bien qu'un approfondissement sensible se fût produit à mesure que la largeur du vieux lit diminuait, on se croyait déjà hors de tout danger: il était trop tôt pour préjuger de la fermeture.

L'hiver de 1875-76 arriva, et il restait une ouverture de 80 à 90 mètres à fermer avec une profondeur qui atteignait 12 à 13 mètres. En somme, le débit de l'eau était resté à peu près le même qu'avant l'exécution de cette partie du barrage.

Pendant ce rigoureux hiver, les effets de la débâcle firent d'assez grands dommages à cet ouvrage, une partie des saucissons de défense à l'épi d'aval, et une partie du remblai de l'île, avec sa nouvelle rive, disparurent; le fond se creusa de nouveau sur une longueur importante; le fascinage de la partie d'amont et le remblai lui-même furent élevés. En un mot, le travail à faire après l'hiver, pour obtenir la fermeture, était redevenu au moins aussi important qu'il l'était au début.

L'examen des moyens à employer pour faire cette fermeture donna lieu à de nombreux projets; les avis se divisèrent, et, comme toujours, on voulut attendre la saison des eaux basses.

L'entreprise prit l'initiative, et proposa de l'effectuer sans plus attendre, afin de permettre l'exécution des travaux de la nouvelle rive gauche du canal; elle proposa même de se charger de cette opération à raison d'un marché à forfait, qui éloignerait, pour la commission, les chances d'augmentation de dépenses, qu'on paraissait redouter.

On fit un essai pour remblayer, avec des dragages, la grande fosse que le courant avait creusée dans la brèche du barrage, et on fut bientôt convaincu que la plus grande partie du gravier déposé avec des clapets restait en place.

Après cette démonstration et la conclusion du marché, on se mit à l'œuvre en s'inspirant de ce qui avait été fait pour le barrage, près du pont de Floridsdorf.

La différence de niveau était de 2 mètres environ, mais la profondeur de l'eau était trop grande pour faire immédiatement le pont de service.

On dut d'abord relever notablement le sol pour permettre la construction de ce pont, qui servit à amener plus tard les enrochements et le gravier. Ce relèvement du sol fut exécuté au moyen de remblais versés dans la plus grande profondeur de l'eau, avec des bateaux à clapets, et à raison de 2 à 3,000 mètres cubes par jour.

Dès que le pont de service fut fait, tout en continuant le remblai à l'aide des clapets, on apporta, avec des wagons, une nouvelle quantité de gravier dragué, qui relevait le

fond de toutes parts. Quand on s'aperçut que le gravier, versé du pont, était emporté, on apporta des enrochements à l'aval, et du gravier à l'amont du pont.

Enfin, on n'employa plus que des gros enrochements; on mit aussi des rails, comme aiguilles, pour les arrêter, et quelques fascines au dernier moment.

En résumé, la fermeture du vieux Danube à Weidenhaufen nécessita beaucoup moins de matériaux que celle de Floridsdorf, et elle a démontré que, sur un sol de gravier, dans un courant rapide, les ouvrages en fascines ne conviennent pas pour l'exécution de grands barrages, tandis qu'avec du remblai de gravier et de bonnes dispositions, on arrive plus sûrement et surtout plus économiquement, quand on dispose de moyens d'action énergiques.

Canal de Gand à Terneuzen.

Le canal maritime de Gand à Terneuzen, tracé à l'origine avec de nombreuses sinuosités, avait une profondeur de 4^m,40 et une largeur de 30 mètres au plan d'eau. Ces dimensions devinrent bientôt insuffisantes, et on fut amené à l'approfondir, ainsi qu'à redresser les coudes, pour satisfaire aux besoins croissants de la navigation entre Gand et la mer. Les travaux de redressement, d'élargissement et d'approfondissement qu'on a exécutés, consistent, particulièrement, en terrassements et dragages destinés à lui donner une profondeur de 6^m,30 sur une largeur de 17 mètres au plafond et de 36 mètres à la flottaison.

Les talus sont inclinés à trois de base pour un de hauteur, et les deux chemins de halage, établis à 2 mètres au-dessus de la flottaison, ont une largeur de 10 mètres.

Pour réduire les courbures, qui gênaient la navigation, on a dû exécuter plusieurs coupures en pleine terre, de toute la dimension du canal.

Le sol est presque exclusivement composé de sable fin d'alluvion du pays flamand.

Ces travaux, que nous avons exécutés en association, d'abord avec MM. Castor et Couvreur, puis avec M. Couvreur seul, comportaient environ deux millions et demi de mètres cubes de déblais, de diverses sortes, à extraire, depuis le pont de Termonde jusqu'à la limite Belgique-Hollandaise, au delà de Selzæte, ainsi que les travaux de ponts tournants, de dérivation, de chemin de fer, etc.

Les ouvrages de terrassement représentent la partie la plus importante de l'entreprise, et peuvent être divisés en plusieurs catégories.

	Mètres cubes.
Terrassements à la main, transportés à la brouette	350.000
— exécutés à l'excavateur et transportés en wagons	150.000
Dragages transportés directement en cavalier, au long couloir.	200.000
— — en bateau et déchargés par débarquement au long couloir.	450.000
— — en bateau et déchargés au moyen de pompes.	200.000
— — par tuyaux	400.000

Les terrassements à la brouette n'ont donné lieu à aucune innovation, d'autant plus que, dans le pays flamand, on peut utiliser les terrassiers indigènes qui sont très habiles; toutefois, nous avons pu constater que les terrassiers italiens, qui paraissent travailler

moins, mais qui travaillent, en réalité, plus régulièrement, produisent à la fin de la semaine, un travail tout aussi important.

L'excavateur employé avait fonctionné à Vienne, mais le sable compact sortait difficilement des godets, et on dut recourir à un petit artifice pour l'extraire au moment où ils passaient autour du tourteau d'entraînement.

Cette difficulté réduisit, dans une certaine mesure, ce qu'on avait espéré faire au moyen d'excavateurs.

La drague, avec l'adjonction des divers modes de transport indiqués ci-après, a été l'outil le plus utilisé pour le creusement du canal.

Les dragues employées ont été presque semblables à celles de Vienne. (*Pl. XVI, fig. 4, 5, 6*).

Le débarquement flottant, monté sur deux pontons en fer, était peu différent de ce qui a été fait pour Toulon et décrit page 214.

Le long couloir adapté à la drague était un tuyau d'acier, de 0^m,40 de diamètre, en tôle de 0^m,010, supporté par des haubans partant de la tête d'une chèvre posée sur le bord du bateau de la drague; les contre-haubans étaient amarrés à la coque du bateau contenant la pompe et son moteur.

La drague était susceptible d'extraire environ 150 mètres cubes par heure, et la pompe produisait environ 330 mètres cubes d'eau qui servaient de véhicule pour le glissement du déblai sableux.

À l'origine, on avait craint que le contenu des godets, en tombant dans le couloir, ne s'y accumulât et nuisit à la régularité du transport; aussi, pour parer à cette éventualité, avait-on installé une vis sans fin au fond du couloir, pour mettre la terre en mouvement. Ce fut une sujétion qu'on supprima bientôt pour laisser le couloir complètement libre; on se contenta d'augmenter un peu la pente au départ, et cette disposition, qui a toujours été suivie depuis, a donné de bons résultats. Une pente de 0^m,40 par mètre, au départ, réduite ensuite à 0^m,05, suffit dans presque tous les cas.

La tôle d'acier est bien préférable à la tôle de fer pour cet usage.

Les produits de la tranchée de Selzaète, environ 200,000 mètres cubes, déposés sur des terrains irréguliers, ont été transportés en tuyaux, de la manière suivante :

Ces déblais étaient versés, simultanément, avec l'eau fournie par une pompe, dans une caisse prismatique de 1^m,20 de base et 3 mètres de hauteur, munié de deux grilles, celle d'en haut avait ses barreaux espacés de 0^m,11, pour arrêter les racines ou les pierres, tandis que l'espacement de ceux de la grille inférieure n'était que de 0^m,05. L'extraction

des obstacles de la grille supérieure se faisait facilement, celle de la grille inférieure était faite par un tampon *ad hoc*.

Le déblai, en tombant sur les grilles, se délayait dans l'eau et s'écoulait à la partie inférieure de la caisse par un tuyau de 0^m,30 de diamètre, flottant à la surface de l'eau, sur un radeau, puis posé à terre. A 300 mètres de distance, on avait placé une machine actionnant une pompe Dumont destinée à accélérer la vitesse d'écoulement et vaincre les frottements ; 500 mètres plus loin, on avait installé une autre pompe, au pied d'une élévation de 8 mètres de hauteur où le tuyau, contenant l'eau et le sable, déversait librement. On conduisait ainsi le déblai, directement de la drague, au cavalier de remblai, en utilisant 3 pompes et 60 chevaux de force. Le produit a été d'environ 1,000 mètres cubes par jour.

La même drague a chargé des bateaux, qui ont été déchargés ensuite avec le débarquement, et conduits à la surface du dépôt, comme dans le premier cas ; il en est résulté une petite augmentation de produit sans augmentation de dépense.

La conduite du sable dans des tuyaux, sans pente naturelle, comporte l'inconvénient de l'arrêt du sable à leur partie inférieure et l'obligation de les vider en y faisant passer un volume d'eau très important.

L'entreprise comportait le remblai de parties de canaux dont la profondeur permettait à peine l'emploi de bateaux à clapets. Pour faire le remblai sous l'eau, jusqu'à 1^m,50 environ de profondeur et éviter d'employer ce genre de bateaux, nous avons fait des orifices de 0^m,30 de diamètre, espacés de 4 mètres l'un de l'autre, au fond de nos bateaux insubmersibles, destinés au transport des déblais pour débarquement. Ces orifices étaient fermés par des obturateurs qu'on ouvrait, seulement, au moment du déchargement, opéré de la manière suivante :

Lorsque les obturateurs des orifices inférieurs étaient ouverts, on dirigeait sur le chargement le jet d'une forte pompe qui mettait le sable en mouvement et l'entraînait au-dessous du bateau par les orifices du fond. Cette façon de procéder permettait de vider 50 mètres cubes en 10 ou 12 minutes.

Le transport des déblais, au moyen de l'eau, serait une très belle combinaison, si les terrains à traiter étaient homogènes ; mais dans les mouvements de terre, on rencontre, toujours en plus ou moins grande quantité ; des racines, des pierres, du gazon, même des morceaux de fer, des outils, qui causent des interruptions de travail et diminuent notablement le rendement des appareils.

Il n'en est pas moins vrai que ce procédé, qui consiste à utiliser l'eau comme véhicule pour transporter les déblais solides à de grandes distances, s'est affirmé depuis cette époque par l'emploi qu'on en a fait dans des circonstances analogues.

Dérochements sous-marins à Brest, Cherbourg et Lorient.

La roche, *la Rose*, a été longtemps un grave obstacle pour l'entrée, et pour la sortie des vaisseaux du port de Brest en raison de sa position avancée dans le chenal.

MM. les Ingénieurs des travaux hydrauliques avaient essayé de faire sauter les parties les plus saillantes, au moyen de bombes remplies de poudre qu'on faisait partir à haute mer. Ce travail permit de détacher quelques pointes que les plongeurs ramassaient et remontaient à la surface, mais le prix de revient était très élevé.

On ne pouvait pas penser à faire des galeries accessibles par un puits, comme on l'avait fait au batardeau du bassin du Salou et comme on le fit plus tard au Flood-Rock, près New-York, à cause de la proximité des bâtiments voisins.

Nous proposâmes de faire le dérochement de toute la surface à l'aide de cloches, et pour remplir nos engagements, nous avons construit trois de ces appareils; deux de 10 mètres sur 8 mètres et un de 5 mètres sur 4. Ce dernier était spécialement affecté au rescindement des pointes de rocher sur les talus.

Ces cloches sont décrites page 184; ici nous nous bornerons à indiquer comment on s'en est servi.

Le plan détaillé et coté du relief du rocher (*Pl. XI, fig. 4*) indique bien la situation. On a d'abord posé les cloches sur les parties les plus élevées pour les abaisser et obtenir successivement une plate-forme horizontale sur laquelle on a opéré avec plus de méthode et produit plus de travail.

On a procédé d'abord par tranches horizontales de 0^m,30; mais, pour les tranches inférieures, on a fait 0^m,80 de hauteur d'un seul coup.

On posait la cloche, à l'une des extrémités du sol à dérocher et, les déblais étaient extraits par les écluses à air. On la levait ensuite pour la poser à 8 mètres de distance et faire une excavation analogue; puis on la relevait de nouveau, pour la poser entre les deux précédentes positions, et on obtenait ainsi une rainure de 8 mètres de largeur, approfondie.

En procédant de la même manière en élargissement, on parvenait à déraser toute une tranche de rocher. Dans les positions voisines de la limite, il arrivait quelquefois que la cloche ne reposait que sur une partie de sa surface, mais l'expérience a permis de n'en éprouver que des embarras de peu de durée, le premier travail du fond étant le dérasement des parties plus élevées.

La roche, *la Rose*, était un gneiss très dur, peu fendillé, en très gros morceaux, plus

difficile de perçage et d'explosion que le granit franc. Nous avons pu, néanmoins, en faire l'extraction pour 63 francs du mètre cube massif, prix qui peut être notablement diminué pour des rochers moins durs.

Avec les mêmes procédés nous avons pu déraser un ancien radier en granit maçonné, du bassin de radoub du Salou, creuser l'entrée du port de Cherbourg et du bassin n° 2 du port de Lorient.

L'exploitation du rocher est faite sous l'eau, comme on la ferait à terre, en perçant des trous de mine qu'on fait sauter au changement de poste; l'extraction est faite par les écluses.

Ce procédé de dérochement, qui paraît un peu compliqué, a l'avantage de permettre d'être absolument sûr que le dérasement est fait à la profondeur demandée et d'une façon rigoureusement exacte.

Canal de Marans au Brault.

Le canal maritime de Marans est destiné à permettre aux navires, de 5^m,50 de tirant d'eau, d'arriver dans ce port. Il part de l'écluse du Brault et se dirige vers Marans en ligne droite, sur 4 kilomètres et demi, à travers les prairies. On a dû faire une dérivation de la Sèvres pour l'isoler du canal et lui conserver son débouché dans la baie de Luçon.

Le canal a une section uniforme. Sa largeur, au plafond du profil normal, est de 6^m,45; au plan d'eau, de 42^m,75 et, au niveau du sol, de 48^m,70; les talus de déblais sont inclinés à trois de base pour un de hauteur.



Il est creusé à 6^m,40 environ dans le sol et à 6 mètres sous le plan d'eau ordinaire. Il possède deux garages, de 80 mètres de longueur, et une gare d'évitement de 400 mètres de longueur.

L'emprise, dont la largeur est de 150 mètres, est limitée par des fossés de ceinture, qui assainissent en même temps les terrains voisins; il en résulte que, de chaque côté du canal, il y a une bande de terrain d'environ 50 mètres de largeur sur laquelle on a déposé les produits du creusement.

Le creusement du canal comportait un volume de déblai d'environ un million de mètres cubes, exécuté à raison d'un prix unique de 1 fr. 14 c. le mètre cube, pour toute main-d'œuvre et transport.

Le terrain à creuser est l'alluvion argileuse de la baie de Luçon, appelée « bri », c'est de l'argile compacte, facile à couper au louchet.

On a creusé, à la main, la première tranche du canal sur 2^m,50 environ d'épaisseur, ainsi que les fossés de ceinture. Les déblais provenant de ces fouilles ont servi à préparer les banquettes destinées à contenir le dragage de la seconde tranche, jusqu'à 4^m,50 de profondeur et ensuite celui de la dernière tranche.

La drague construite spécialement pour ce travail a produit près de 1000 mètres cubes par jour ; elle élevait les matières draguées jusqu'à 8 mètres au-dessus du plan d'eau et les déversait à 40 mètres de distance à l'aide d'un couloir ouvert supporté par un ponton. L'eau, servant à activer le glissement dans le couloir, était fournie par une pompe installée avec sa machine motrice sur un chaland, accolé à la drague, qui contribuait ainsi à l'équilibre général.

On relevait les banquettes au moyen du remblai au fur et à mesure qu'elles se remplissaient.

On a formé ainsi la majeure partie des cavaliers ; mais, pour loger les déblais provenant de l'élargissement des garages, on a dû faire un transport en bateau et employer un débarquement flottant, muni d'un long couloir, qui a permis de régler, avec une exactitude suffisante, la partie supérieure de ces derniers cavaliers.

Amélioration de la Charente maritime.

L'amélioration du tirant d'eau de la Charente maritime comprenait la coupure de deux seuils rocheux, situés : l'un, entre Rochefort et Martrou, le second, en aval du passage de Soubise, et, en outre, l'enlèvement du banc d'alluvion de gravier du Fougueux, dans lequel on a même rencontré du rocher.

D'après les appréciations du projet officiel, le cube total des déblais devait s'élever à 414,478 mètres cubes de déblais rocheux, et 442,980 mètres cubes de déblais ordinaires. Le chenal devait avoir une largeur de 40 mètres au fond du creusement, c'est-à-dire à 7 mètres sous le zéro des cartes.

Pour se rendre compte, à l'avance, de la formation et de la dureté du rocher, on a fait deux puits dans les prairies voisines, qui permirent d'acquiescer la presque certitude que des dragues suffisamment fortes et bien armées suffiraient pour l'extraction de la plus grande partie du déblai des seuils. On reconnut aussi que, pour les parties les plus dures et les plus compactes de Soubise, il serait utile préalablement de briser la roche, au moyen d'explosions sous-marines.

Dans ce but, on a construit une drague du type Panama, de 80 chevaux, et un débarquement flottant à long couloir décrits pages 204 et 214, ainsi qu'un appareil de perforation, des bateaux de transport, et tous les accessoires indispensables pour le fonctionnement et l'entretien de l'outillage.

La drague a eu quelque peine à enlever certaines roches, elle a glissé sur des débris de pierres qu'on a dû casser à la dynamite.

Pour les parties rocheuses compactes, on a perforé des trous, de deux en deux mètres environ qu'on a chargés et fait sauter par dix à la fois.

En général, les cartouches ont été posées à 0^m,50 et 0^m,60 au-dessous de la cote à déraser, pour que les pointes non attaquées par l'explosif pussent être enlevées par le dragage.

Dans le but de faciliter la désagrégation du sol, la chaîne dragueuse a été garnie de forts crochets qui ont donné de bons résultats.

La perforation s'est faite à l'aide d'une installation flottante portant trois perforatrices.

Ces appareils rotatifs, munis d'outils en acier chromé, tournaient à une vitesse moyenne de 200 tours par minute; ils foraient ainsi trois trous de 0^m,11 de diamètre et 2^m,50 de profondeur à l'heure. Dans les derniers temps, on avait remplacé les cordes

de transmission en chanvre par d'autres en coton, ces dernières s'allongent beaucoup moins et durent plus longtemps.

La vitesse de 200 tours peut être atteinte, sans inconvénient, si l'on prend la précaution d'injecter de l'eau sous pression, dans l'intérieur du tube porte-outil.

L'écartement des trous de mine était de 1^m,75 et avait été déterminé en se basant sur la nature même du rocher. Lorsque l'appareil avait terminé une rangée de trois trous, on y introduisait les cartouches, et, après avoir attaché les extrémités des fils conducteurs de l'amorce électrique, on relevait les glissières pour reculer l'appareil de 1 mètre, en le déplaçant transversalement, pour que les trous fussent en quinconce, afin de mieux utiliser l'énergie des explosifs.

L'explosion se faisait simultanément pour une dizaine de mines à la fois, au moyen d'une petite batterie de piles au bichromate de potasse, où l'on déterminait un courant momentané, en immergeant les électrodes pendant quelques instants.

Cette manière d'opérer offre un grand intérêt au point de vue de l'utilisation de l'énergie dynamique des explosifs, et l'emploi de l'électricité est, pour ainsi dire, commandé pour les explosions à de grandes profondeurs sous l'eau.

Cartouches.

Une fois le trou de mine perforé, il est aisé de comprendre que la partie délicate est d'avoir une cartouche pénétrant facilement dans le trou, et confectionnée dans des conditions telles qu'il ne puisse y avoir de ratés.

Suivant la structure du rocher et l'effet que l'on voulait produire, on a employé de la dynamite ou de la poudre de mine.

Ces cartouches se composent de deux parties distinctes : la première, formée d'une enveloppe en zinc ou en fer-blanc de forme cylindrique est terminée en tronc de cône à la partie inférieure, afin de faciliter son introduction dans le trou de mine, c'est dans cette partie que se trouvent l'explosif et l'amorce (*Pl. XI, fig. 1*).

Immédiatement au-dessus, l'on met un tampon en bois percé de deux trous destinés à laisser passer les fils de l'amorce. L'étanchéité est obtenue en versant, sur le tampon, un mélange chaud de cire et de résine dissoutes en parties égales (un autre mélange plus efficace consiste à faire dissoudre, ensemble, et en proportions égales de la gutta-percha et du suif). Après refroidissement, on obtient une étanchéité complète.

La seconde partie, de forme également cylindrique, vient se souder sur la première

et est remplie de lest composée de riblons, etc. Ce lest est recouvert d'un second tampon en bois, percé de deux trous, et fixé à l'enveloppe par de petites pointes. Au centre, ce tampon est muni d'une cheville autour de laquelle viennent se rejoindre et se fixer hermétiquement les fils de l'amorce, qui ont traversé le lest et sont ensuite reliés aux fils conducteurs.

Cette cheville est munie d'une corde au moyen de laquelle on descend la cartouche pendant la mise en place : tout le poids est ainsi supporté par la paroi extérieure et les fils conducteurs ne travaillent pas.

Pour les cartouches à poudre, la seule différence est que la première partie, renfermant l'amorce et l'explosif, est formée d'une sorte de bouteille en zinc, qui peut se fermer hermétiquement à l'aide d'un bouchon de liège traversé par les conducteurs; cette forme donnait moins de prise à l'eau et était commode pour l'introduction de la poudre.

Les dimensions de ces cartouches sont : 0^m,440 de longueur et 0^m,080 de diamètre. La charge en explosif varie de 800 grammes à 1^k,300, et le poids total est de 3^k,200 à 3^k,800.

Amorces.

Pour les grandes profondeurs sous l'eau, on obtient des résultats de beaucoup supérieurs en se servant des amorces électriques, que nous décrivons ci-après, avec lesquelles nous n'avons pas eu plus de 2 ratés pour 200 mines.

Ces amorces, formées d'une capsule en cuivre de 0^m,070 de longueur et 0^m,007 de diamètre, contiennent un gramme et demi de fulminate de mercure. La déflagration est déterminée par un fil de platine qui, devenant incandescent sous l'action d'un courant électrique, met le feu à la faible quantité de fulmicoton qui l'entoure.

Avant de se servir des amorces, il est utile de les éprouver pour se rendre compte si les fils conducteurs sont bien reliés. Pour cela, on constate le passage du courant sur un galvanomètre d'une pile très faible au sel marin.

Travaux du Canal de Panama.

Lorsque M. de Lesseps eut décidé de réaliser le projet de percement de l'isthme de Panama, il s'assura le concours de M. Couvreur et le nôtre, pour élaborer les études sur place et organiser l'exécution des travaux.

C'est en raison de la convention qui fut faite à cette époque, que nous avons dirigé les travaux du canal de Panama, pendant deux ans et demi, environ. A notre départ, la ligne du canal était étudiée, les travaux attaqués sur plusieurs points, des marchés d'entreprise étaient faits avec des entrepreneurs et le programme établi. Le matériel de voie : wagons, locomotives, les grues, dragues, pontons, les ateliers de montage et d'entretien du matériel étaient presque complètement terminés et les premiers excavateurs avaient fonctionné.

Il ne s'agissait plus que de surveiller l'organisation du travail, pour en assurer l'exécution économique, lorsque la santé de M. Couvreur l'empêcha de donner ses soins à l'entreprise.

Demeuré seul, après avoir visité l'isthme, nous crûmes de notre devoir de prévenir M. de Lesseps, qu'il était imprudent de nous laisser chargé d'une si grande responsabilité, d'autant plus que nous considérions comme absolument utile de retourner sur place et que, dans ce cas, la moindre indisposition eût pu paralyser la Direction.

L'insalubrité de l'isthme s'était largement révélée et nous considérions que la première et la plus grande préoccupation devait être, non de dépenser des sommes hors de proportion avec le travail produit, mais d'assurer la situation sanitaire, avant d'amener, sur les chantiers, un grand nombre de travailleurs, dont la maladie et la mortalité seraient du plus mauvais effet.

Nous préférâmes nous retirer, comme notre convention nous y autorisait, plutôt que d'assumer l'énorme responsabilité de réaliser les promesses de M. de Lesseps, qui nous paraissaient déjà presque irréalisables.

Néanmoins, après avoir quitté la Compagnie, nous sommes restés à sa disposition, pendant deux ans environ, pour fournir des renseignements sur toutes les questions que nous avions péniblement élaborées. La nouvelle Direction, confiée à M. Dingler, ne nous demanda presque rien. M. Dingler avait cru pouvoir affirmer que le canal serait creusé et mis en exploitation en 1889, alors que nous en doutions.

Les malheurs successifs qui ont entouré cette entreprise auraient été, croyons-nous, amoindris, par un moment d'attente et d'examen et on aurait ainsi évité bien des pertes d'hommes et d'argent.

Il nous est revenu de Panama que le matériel que nous avons fait construire a donné les meilleurs résultats ; notamment les excavateurs pour creusement en contre-bas ou au niveau de la voie, wagons de terrassement basculant, de 6 à 10 mètres cubes, locomotives, etc.

La mâture pour débarquer les gros fardeaux a bien fonctionné ainsi que les grues de transbordement et de débarquement.

Les dragues de 80 chevaux et les dragues marines sont celles qui ont fourni la plus grande quantité de déblais, et à des prix qui n'ont pas dû être élevés.

Emprise sur le Tage, d'Alcantara à Belem, pour le chemin de fer de Lisbonne à Cascaès.

Le chemin de fer de Lisbonne à Cascaès, concédé à la Compagnie Royale des chemins Portugais, a nécessité la formation d'une large emprise sur le Tage, depuis Alcantara jusqu'à Belem, sur une longueur de 3,500 mètres et une largeur qui dépasse 250 mètres, sur certains points.

Les nouveaux terre-pleins, gagnés sur le fleuve, sont défendus par une ligne extérieure d'enrochements, surmontés de perrés, sur toute la longueur de l'emprise. Ils comprennent deux darses, pour les embarcations et allées de la localité, l'une située à Alcantara et l'autre à Belem. La surface de la première est d'environ 3 hectares 20 et celle de la deuxième 2 hectares 40.

Le volume des remblais, arasés à la cote + 6 mètres, est d'environ 4,500,000 mètres cubes; dont 200,000 mètres cubes ont été fournis par l'approfondissement des deux darses; tout le reste a été apporté du dehors.

L'importance des enrochements est d'environ 800,000 mètres cubes et la surface de perrés de 20,000 mètres carrés.

En outre de ces travaux de terrassement, il a fallu prolonger tous les égouts existants, jusqu'à la nouvelle rive, et établir la voie ferrée sur le terre-plein (*Pl. IX, fig. 1*).

Les enrochements en pierres basaltiques et calcaires sont apportés, au moyen de clapets contenant 130 mètres cubes environ, et élevés jusqu'à la cote + 4.

Les perrés en retraite de 1 mètre, sont inclinés de un de hauteur pour deux de base, ils sont posés sur une couche d'argile, afin d'empêcher le sable formant la plus grande partie du terre-plein d'être entraîné par l'eau.

Le matériel employé, pour exécuter ces importants travaux, se compose: de deux dragues, un débarquement flottant et un débarquement fixe, deux bateaux pompeurs de sable et une pompe de relevage installée sur un chaland. Tous ces appareils sont servis par un nombre suffisant de porteurs et de clapets. Les dragues font en moyenne 4,500 mètres cubes par jour.

La partie inférieure du remblai, jusqu'au zéro environ, limitée par un premier cordon d'enrochement, est faite exclusivement par les bateaux pompeurs et par les clapets.

Lorsque la diminution de profondeur ne permet plus l'emploi de ce genre de matériel, le remblai est déposé à l'aide du débarquement flottant et de la pompe de relevage

qui reprend, comme son nom l'indique, les produits de dragage, déposées dans les darses, par les bateaux pompeurs ou par les clapets.

La zone supérieure du terre-plein jusqu'à la cote + 6 mètres est faite en partie par le débarquement fixe, au moyen de longs couloirs ou de wagons. L'autre partie des déblais provient de la carrière de Montsanto, et est amenée par le chemin de fer.

Le remblai est fourni par le sable et le gravier, que l'on drague sur la nouvelle rive, pour régulariser les fonds, et que l'on exploite par les bateaux-pompeurs, sur les bancs de Trafaria.

CHAPITRE III

TERRASSEMENTS ET EXPLOITATION DE CARRIÈRES

Terrassements.

La question la plus importante, pour l'exécution économique des terrassements et l'exploitation des carrières, réside surtout dans le choix judicieux et le bon agencement des moyens de manutention et de transport.

Les travaux de chemins de fer et de canaux ont donné lieu à de grands mouvements de terre pour lesquels le travail manuel a été le principal facteur, mais le recrutement des ouvriers est devenu de plus en plus difficile et a obligé de chercher d'autres moyens.

L'organisation des transports doit toujours être en harmonie avec les quantités de matière à déplacer. Pour les courtes distances, le wagonnet de petite dimension, avec voie portative, est bon; mais, dès qu'il s'agit de transporter 4 ou 500 mètres cubes par jour, à une seule décharge, située à plus de 1,000 mètres, on doit employer la voie d'un mètre et la traction par locomotives, et procéder au remblai par relevage ou élargissement, si c'est possible.

Lorsqu'il s'agit de l'ouverture de grandes tranchées, de plus de 10 mètres de hauteur, nécessitant une production de près de 1,000 mètres cubes par jour, il faut avoir recours à des wagons contenant au moins 2 mètres cubes de déblai et à la voie normale, avec traction de locomotives.

Baucoup de tranchées de cette importance ont été attaquées avec cunettes et banquettes successives; d'autres, au moyen de galeries avec puits, permettant de charger

les wagons par-dessus et de réaliser ainsi l'économie de la plus grande partie de la dépense du levage des matériaux et de simplifier, en outre, le transport. Enfin, dans dans d'autres circonstances, on a fait intervenir l'excavateur, sous ses diverses formes : l'américain, chargeant avec une grande pelle qu'on verse dans le wagon ; le français, système Couvreur, qui fait un travail continu.

Tranchées exécutées en cunettes.

L'extraction, dans les tranchées exécutées en cunettes et par étages successifs, dépend de la multiplication des attaques pour permettre de faire un volume déterminé de production journalière. Elle comporte la difficulté de faire avancer la cunette assez vite pour charger, en arrière, un nombre suffisant de wagons.

Ainsi, dans une tranchée de chemin de fer, de 8 à 9 mètres de largeur, à la base, et de 10 à 12 mètres de hauteur, la section de la cunette ne peut être inférieure à 32 mètres carrés pour charger deux wagons au plus par rame, quand il y en a trois en charge ; cette tranchée, qui mesure en tout 185 mètres carrés de section avec des talus à 45°, ne peut, en réalité, avancer que de deux wagons ayant 2 mètres cubes de capacité, soit pour 12 voyages : 24 mètres cubes ou $\frac{24}{32} = 0^m,80$; et le travail total se trouve limité à $185 \times 0^m,80 = 148$ mètres cubes, ou bien il faut travailler la nuit à l'avancement et faire une dépense importante sans pourtant pouvoir atteindre une grande production.

Comme, en général, les tranchées de chemin de fer sont à faire en augmentant la hauteur, cet inconvénient devient encore plus important et on a eu souvent recours à la division de la hauteur en tranches, qu'on exploite simultanément et qui permettent de produire davantage, mais au détriment du prix de revient.

Tranchées en galerie.

Les terrains de la tranchée d'Argenteuil (1860) étaient des calcaires grossiers ; on y a rencontré de nombreuses couches de plâtre, de 0^m,40 jusqu'à 1 mètre d'épaisseur, qui ont été extraites à la poudre.

A Poix (1863), le calcaire était plus ou moins fendillé et on a eu peu recours à l'emploi des explosifs.

La hauteur des tranchées de chemin de fer, ainsi exploitées, variait entre 10 et

18 mètres. Le même procédé de travail a été employé récemment au creusement du canal de Corinthe.

En même temps qu'on attaque les amorces des tranchées, on fait, au moyen de puits, un bout de galerie, comme les galeries d'avancement de tunnel, de 3 mètres de largeur entre les poteaux, quand ils sont utiles, et 3 mètres de hauteur sous les chapeaux de boisage, qu'on met toujours, pour faciliter le travail, quand on découvre la galerie (*Pl. XII, fig. 1, 2, 3*).

Les fonds des puits de charge sont munis de portes, que les hommes, qui suivent le chargement, peuvent ouvrir ou fermer à volonté.

Ordinairement, on ne charge qu'avec quatre ou cinq puits, et lorsque le chantier est en marche, voici à peu près le roulement, pour une rame de vingt wagons :

Abatage des talus	1 wagon.
Abatage des banquettes.	2 —
Abatage de ce qui reste des talus et charges en banquettes.	4 —
Ce qui sort du 1 ^{er} puits	4 —
— 2 ^e —	2 —
— 3 ^e —	2 —
— 4 ^e —	2 —
— 5 ^e —	1 —
Ce qui sort de l'avancement de la galerie	1 —
ENSEMBLE	<u>20 wagons.</u>

La voie est unique dans la galerie et il y a une demi-lune dans la tranchée, pour l'aiguillage de la machine, qui vient de la décharge, en queue du train. Lorsque les wagons vides sont sur la voie de garage, on aiguille la machine qui va s'atteler sur les wagons chargés et les amène sur cette même voie, où elle les laisse pour reprendre les wagons vides. Pendant l'arrêt, on a pu couper le train vide, selon la répartition à faire dans la galerie, dont les hommes ont nettoyé la voie; la locomotive lance alors ce dernier train et revient prendre celui des wagons chargés pour le conduire à la décharge.

Les hommes de la galerie arrêtent, au moyen d'un embarroir, les wagons qui leur sont destinés, et en peu de temps, le chargement est prêt à commencer, pour tout le monde.

Sous les puits, on ouvre les portes du ciel de la galerie et, généralement, un wagon se remplit immédiatement; puis on fait avancer le deuxième wagon, et ainsi de suite jusqu'au dernier. Ordinairement on arrange le travail des puits, lorsqu'ils ont un peu

de grandeur, pour faire tomber un bloc miné dans chaque wagon, et on complète avec des déblais de piochage.

Pour commencer, l'entonnoir du puits ne peut charger qu'un wagon, à cause du manque de place; un peu plus tard, on peut en charger deux, puis trois, enfin quatre, ce qui a paru la limite.

En général, le chargement d'une rame de 20 wagons demande 20 minutes, et il faut 40 minutes pour les manœuvres; on peut donc compter sur un rendement de 40 wagons ou 80 mètres cubes par heure. Nous avons souvent obtenu, par ce procédé, 4,000 mètres cubes de déblai, en 12 heures.

Dans l'exécution de ces travaux nous avons rencontré des hommes assez habiles pour creuser les puits en remontant, au lieu de les faire en descendant. Ils faisaient une cheminée partant du ciel de la galerie, s'élevaient à mesure qu'ils abattaient la terre, et sortaient à la surface du sol.

Les wagons employés à ces tranchées sont du type anglais, basculant sur l'essieu à la décharge, pour la formation du remblai du corps du chemin de fer.

Lorsque les circonstances l'ont exigé, on a pu mettre un plus grand nombre de wagons en charge et, de la sorte, augmenter la production journalière.

Exploitation des carrières.

L'exploitation des carrières est une variété de terrassement, qui consiste, surtout, à chercher des matériaux utilisables, tant par leur qualité que par leurs dimensions.

Nous avons exploité en Autriche, pour les travaux de la régularisation du Danube, deux carrières, situées à Hoflein et à Greifeinstein, dans lesquelles l'abatage a été fait par la rupture de piliers, laissés pour supporter le plafond de l'excavation.

On avait établi les voies à 6 mètres au-dessus du niveau ordinaire du Danube et traversé, avec des ponts, la route et le chemin de fer, qui existaient entre la carrière et la rive, de façon à pouvoir mettre les débris et les pierres, sur une grande hauteur, au bord du fleuve, sans avoir à se préoccuper de la circulation.

On nous prescrivit l'emploi exclusif de la dynamite, pour diminuer les projections de pierres isolées, alors qu'elle était encore peu employée en France.

La voie de charge était d'un mètre et les wagons avaient 2 mètres cubes de capacité. La disposition des voies était en éventail pour que l'encombrement d'une voie n'eût aucune influence sur le service des autres. Chaque chantier possédait une grue sur wagon, pouvant déplacer des blocs de 4 à 5,000 kilogrammes.

Ces carrières pouvaient produire ensemble, jusqu'à 600 mètres cubes, par jour, de matériaux de maçonnerie brute ou d'enrochement. Le transport par eau a été fait au moyen de chalands remorqués, qui portaient 150 mètres cubes chacun.

Pour les travaux de ports, où l'on doit employer de préférence de gros matériaux, on procède de la même manière pour l'abatage et le transport. On cherche les gisements les plus avantageux et on fait le soulèvement à l'aide de grandes mines et l'abatage en gros fragments, car les pierres ont d'autant plus de valeur et de résistance qu'elles sont plus volumineuses.

L'expérience de vingt années de travaux au port de Philippeville (Algérie) nous a fourni l'occasion d'apprécier, avec assez d'exactitude, les meilleures méthodes sur cette question.

Nous y avons remplacé les voies parallèles au front par des voies en éventail.

Nous avons installé de bonnes grues à vapeur, circulant sur la voie de 1 mètre, dont la stabilité est obtenue par une plate-forme extérieure qu'on cale très facilement sur le sol, à l'aide de coins, pour chaque position.

Pour les grandes mines, on se préoccupe de mettre la charge dans les parties de roches les plus compactes, vers lesquelles on conduit la galerie de direction qu'on con-

tinue, à droite et à gauche, au même niveau, par une traverse terminée aux deux bouts par les puits, qui doivent contenir la poudre. Cette disposition permet de faire deux fermetures dans des directions différentes et écarte le danger du débouillage.

On calcule la charge en raison de la ténacité de la pierre et de la masse à soulever ; l'expérience de ces opérations est indispensable pour fixer avec sûreté, la quantité de poudre à mettre dans chaque fourneau et pour prendre les précautions nécessaires, afin d'écartier les chances d'accident.

Les mines sont généralement allumées par l'électricité et les fils doivent être logés entre deux lattes en bois, ligaturées avec de la ficelle ou du fil de cuivre.

Dès que la poudre arrive dans les fourneaux, il est de règle que les mineurs ne laissent plus introduire dans les galeries, ni fer, ni cailloux. Ils sont simplement vêtus, marchent nu-pieds ou avec des sandales, et font la maçonnerie du bourrage, en plâtre, sans lumière, et avec des outils en cuivre, jusqu'à ce qu'on soit bien isolé de la charge. Le premier bourrage est étayé avec du bois préparé d'avance ; on fait un nouvel étayage à la bifurcation des galeries transversales et, après, on ne fait que maçonner.

Pour la réussite, ces mines, lors de l'explosion, ne doivent que soulever la masse rocheuse sans faire aucune projection ; elles produisent une secousse violente qui se transmet assez loin. A un kilomètre de distance, une mine de 2 à 3,000 kilogrammes de poudre remue les vitres et la vaisselle dans les habitations. A Philippeville on a chargé jusqu'à 12,000 kilogrammes de poudre pour une explosion qui a soulevé 120,000 mètres cubes de roche.

Dans les ouvrages de jetée, on fait généralement usage de gros blocs de maçonnerie ou de béton.

A Philippeville, ces blocs cubent 12^m,50 à 15 mètres et pèsent 2,700 kilogrammes le mètre cube ; soit 34 ou 40 tonnes à manœuvrer, charger, transporter, embarquer et jeter à l'eau.

Ces diverses manutentions ont été faites, à terre, à l'aide de presses hydrauliques et au large, au moyen d'un ponton muni d'une forte bique et d'un treuil à vapeur.

CHAPITRE IV

OUTILLAGE DES TRAVAUX PUBLICS

Pour mettre en mouvement de grandes masses de terre ou de matériaux de toutes sortes, la vapeur est, à présent, utilisée presque partout, alors qu'on ne l'employait qu'à titre exceptionnel, il y a encore vingt ans.

Les travaux de fondation, au moyen de l'air comprimé, à cause de la compression de l'air et des diverses manutentions de déblais et de matériaux, ne sont possibles qu'à l'aide de machines à vapeur. Il en est de même des dragages et de toutes les manutentions de transport ou de débarquement de leurs produits, du battage ou de l'arrachage des pieux ; des épaissements ; de l'élévation des matériaux par tous les moyens : plans inclinés, élévateurs, grues, etc. ; de l'éclairage des chantiers et de la transmission de force par l'électricité ou par l'air comprimé.

Ainsi, à la régularisation du Danube, pour un ensemble de travaux employant 3,500 ouvriers, il y avait 2,000 chevaux-vapeur d'utilisés, c'est-à-dire $\frac{2,000}{3,500} = 0,60$ de cheval-vapeur, par homme.

A Anvers, pour un ensemble occupant 1,200 hommes de toutes professions, on'avait réuni 1,430 chevaux, soit $\frac{1,430}{1,200} = 1,12$ cheval-vapeur par homme.

A Lisbonne, nous occupons actuellement environ 1,300 hommes et nous avons 2,500 chevaux-vapeur, soit $\frac{2,500}{1,300} = 2$ chevaux-vapeur, par homme.

Il est permis de penser que l'introduction de nouveaux procédés permettra d'augmenter encore l'importance de l'utilisation des agents mécaniques, qui deviennent, chaque jour, plus nécessaires, pour répondre aux besoins, sans cesse progressants, de l'activité humaine.

§ 1. Outillage pour l'emploi de l'air comprimé.

L'application de l'air comprimé, à la construction des fondations hydrauliques, a nécessité, dès le début, l'emploi de réservoirs fermés hermétiquement et ouverts seulement à leur partie inférieure: les tubes en fonte ou les caissons métalliques, en tôles et cornières, des piles de pont, remplissent ces conditions.

Récemment, quelques Ingénieurs ont critiqué l'interposition de la tôle du plafond, dans la maçonnerie, comme étant nuisible; d'autres ont pensé qu'il y aurait plus d'intérêt à faire le remplissage de la chambre de travail en maçonnerie au lieu de béton, pour assurer l'homogénéité de la construction.

Enfin, certains ont préconisé le fonçage des puits, havés par dragage ou par pompe, ou simplement par épuisement, comme étant plus économique que les fondations par caissons.

L'expérience que nous avons acquise, en cette matière, nous a fait croire, jusqu'ici, qu'il y a économie d'argent, et surtout plus de sécurité, à employer du métal pour la construction de la chambre de travail. En effet, cette disposition permet de conduire la fondation à sa profondeur, quoi qu'il arrive, même quand une paroi se déchire, ce que les autres moyens ne permettent pas avec la même sécurité; en outre, les ouvriers travaillent plus tranquillement.

Nous croyons même que, dans le plus grand nombre de cas, il ya intérêt à envelopper la partie supérieure des constructions dans des hausses métalliques, qui préservent la maçonnerie fraîche du contact de l'eau ou du sol.

Dans plusieurs cas particuliers, pour des caissons de quais, d'écluses, etc., nous avons fait usage de hausses mobiles, démontables, qu'on retire après le fonçage pour ne laisser au fond de l'eau que la plus petite quantité de métal possible.

Les caissons, construits en 1866, pour les ponts d'Arles (*Pl. I, fig. 4, 5, 6, 7 et 8*), sont, à présent, le type suivi par tous les constructeurs qui s'occupent de fondations à l'air comprimé; ils avaient 2^m,50 de hauteur sous le plafond; on se contente, à présent, de 2 mètres et on est descendu jusqu'à 1^m,90, pour les grands caissons de Toulon.

Les caissons de dimensions ordinaires, jusqu'à 100 mètres ou 150 mètres de surface, sont généralement construits en tôle de 5 à 6 millimètres d'épaisseur et en cornières de 70 millimètres d'aille: la cornière, près des tranchants, a 100 millimètres et celui-ci varie, suivant la nature du sol à traverser dans le fonçage, entre 180/15 millimètres et 220/20 millimètres.

Pour de plus grandes dimensions, il est utile de renforcer la base et, pour donner un exemple, nous décrivons complètement le caisson du bassin de radoub de Missiessy, qui a été exécuté deux fois et a reçu depuis, une nouvelle application à Saïgon.

Disposition des caissons métalliques des bassins de radoub de Missiessy, à Toulon.

Les caissons métalliques sont disposés de manière à envelopper toute la maçonnerie du bassin, pour l'isoler du contact de l'eau, pendant et même après la construction. Ils ont, en plan, la forme d'un rectangle, de 144 mètres de longueur et de 41 mètres de largeur, sauf l'extrémité postérieure qui est à pans coupés sur une longueur de 8 mètres ; la hauteur totale est de 19 mètres et le volume de 106,400 mètres cubes (*Pl. II, fig. 9 et 10*).

Ils sont séparés par un plafond, dans le sens de la hauteur, en deux parties principales distinctes :

1° La partie inférieure, au-dessous du plafond, est divisée, dans le sens de la longueur du caisson, en 18 compartiments, ou chambres de travail, destinés à l'emploi de l'air comprimé, pour permettre de nettoyer exactement le fond de la fouille. Ces compartiments sont isolés les uns des autres par une cloison transversale étanche.

2° La partie supérieure, au-dessus du plafond, forme une immense capacité d'une seule pièce, dans laquelle on a construit, à l'abri de l'eau, les maçonneries du radier et des bajoyers du bassin de radoub. Le poids de ces maçonneries a fourni la charge nécessaire pour l'enfoncement.

En résumé, les caissons métalliques sont composés de trois éléments bien distincts, à cause de leur importance et de leurs fonctions relatives ; ce sont : le caisson proprement dit, les hausses et le batardeau.

Le caisson contient toute la base de l'ouvrage, sur 7 mètres de hauteur ; il renferme les pièces rigides extérieures et intérieures, il est construit tout d'une pièce et forme la partie la plus importante de l'ouvrage.

Il est composé :

1° Comme éléments d'isolement de l'eau :

De la muraille verticale extérieure, en tôle, et d'un plafond horizontal sur toute sa surface ;

2° Comme éléments de résistance :

D'une grande poutre verticale, à double paroi, faisant tout le pourtour ; les parois extérieures sont pleines, celles de l'intérieur sont à claire-voie et complètement noyées dans la maçonnerie ;

De dix-sept poutres transversales, reliant les poutres extérieures ;
De deux poutres intermédiaires longitudinales, entretoisant les poutres transversales ;
Des poutrelles raidissant le plafond sur toute sa surface ;
De consoles sous le plafond, pour transmettre aux parois verticales les efforts de la partie supérieure et pour assurer la position rectiligne des parois inférieures, qui forment le couteau.

La disposition des murailles de la partie inférieure des poutres transversales au-dessous du plafond, forme les chambres de 4^m,90 de hauteur nécessaires pour l'emploi de l'air comprimé.

La poutre extérieure, qui compose le cadre d'ensemble, offre une grande résistance longitudinale, tant à cause de la dimension des fers de la base, formant tranchant, qu'à cause des plates-bandes longitudinales de la partie supérieure et de l'entretoisement. Les poutres transversales forment la charpente intérieure du caisson et réunissent les deux grandes parois. Les poutres longitudinales, intermédiaires, ont pour but principal de fortifier les poutres transversales, en les réunissant, au tiers de leur longueur, et d'atténuer, dans une certaine mesure, les effets des inégalités de charge dues au service des matériaux pendant la construction.

Les poutrelles, dont le travail est presque nul quand elles sont enveloppées de maçonneries ; ont pour principale fonction de soutenir la tôle du plafond pour permettre la flottaison, et la confection des maçonneries qui les enveloppent.

Les hausses sont la continuation des parois extérieures ; elles servent à isoler la maçonnerie du contact immédiat de l'eau.

Afin de rendre possible la pose de parois métalliques aussi considérables, il a été indispensable de construire, au-dessus des poutres transversales, sur toute la hauteur, de grandes consoles en fer, qui servent d'attache à de petites membrures horizontales, sur lesquelles sont fixées les tôles.

Les hausses étanches, en tôle, sont construites sur les deux grands côtés, à l'arrière et aussi, en retour, à l'avant, mais de manière à laisser libre l'entrée future du bassin. Cette partie de l'avant est isolée de la mer, d'une manière spéciale, par un batardeau métallique destiné à être enlevé d'une pièce, après la construction.

Il est construit dans le genre des bateaux-portes, qui sont affectés à la fermeture des bassins eux-mêmes, avec des dispositions spéciales nécessitées pour le montage et le démontage.

L'énorme charge d'eau à laquelle il est destiné à résister, à la fin de l'opération, et la nécessité d'un montage partiel, ont conduit à le diviser en tranches, soutenues par de grandes poutres horizontales (Pl. II, fig. 10).

Des aiguilles verticales, espacées de mètre en mètre, transmettent à ces poutres les charges qui leur sont afférentes. On a aussi utilisé, pour la résistance, le seuil des maçonneries, et on a obtenu une construction notablement plus légère que celle des bateaux-portes ordinaires.

Le revêtement est à double paroi, pour permettre la flottaison, au moment du montage, et la régularité de la charge, pendant l'immersion. Sur les deux côtés et au fond, on a ménagé une galerie pour desserrer les écrous des boulons de montage, qui servent à faire l'assemblage avec les hausses du caisson.

Le montage du batardeau à double paroi a été fait par parties successives, comme les hausses. La partie inférieure, contenant la galerie de boulonnage, a été posée tout d'une pièce sur les consoles du caisson et boulonnée; au-dessus, on a monté les aiguilles verticales jusqu'à la première poutre et mis le bordage en place; puis la première poutre; la deuxième partie des aiguilles; le bordage de cette deuxième partie; la deuxième poutre et enfin le complément de la hauteur.

Le joint, entre le batardeau et le caisson, a été fait avec des planches de bois de peuplier grisard, de 3 centimètres d'épaisseur, enveloppées de feutre pour permettre aux têtes de rivets et aux inégalités de surface de pénétrer dans le bois.

Le batardeau est fixé au caisson par des boulons de 25 millimètres, espacés de 25 en 25 centimètres; ces boulons sont démontés de l'intérieur de la galerie, au moment de l'enlèvement du batardeau,

Pour se rendre compte de la flexion des poutres du batardeau, due à l'augmentation de charge, on a tendu un fil de fer des deux extrémités et observé la flexion au milieu; le maximum a atteint 3 millimètres pour la poutre principale, qui a 26 mètres de portée, et deux millimètres pour la poutre supérieure.

Le poids total des fers entrés dans la construction d'un des bassins de radoub est d'environ 2,300 tonnes; mais la dernière tôle du haut et le batardeau, pesant ensemble 160 tonnes, ont été retirés. Ces quantités donnent 430 kilogrammes de métal employé, par mètre carré de surface, dont 400 kilogrammes sont restés définitivement en place, après l'enlèvement du batardeau.

Cheminées des caissons.

Les cheminées d'accès des caissons ont 1^m.05 de diamètre, et sont composées de tronçons munis chacun, à l'intérieur, d'une échelle verticale. Ces tronçons s'assemblent

indistinctement au bout l'un de l'autre, à l'aide de cornières de 70 millimètres, fixées dans l'intérieur, pour que le démontage soit facile et rapide. L'étanchéité des joints est obtenue par l'interposition de rondelles en caoutchouc.

Pour l'introduction du béton nous avons employé, à Anvers, des cheminées de 0^m,50 de diamètre et, à Toulon, des cheminées de 0^m,75. Ces dernières sont préférables parce que la masse du béton étant plus grande, par rapport à la résistance, due au frottement, sur la périphérie, la chute se produit mieux; il est quand même utile de mouiller les parois avant de mettre le béton.

La partie supérieure de ces cheminées, qui contient le clapet de fermeture et le robinet d'air, se démonte après le remplissage de la chambre de travail. Le tronçon inférieur et son clapet restent noyés dans le béton.

Écluses à air des caissons.

Les écluses à air ont pour but de permettre le passage de l'air ambiant, dans l'air comprimé ou vice versa. La capacité nécessaire pour leurs chambres et la facilité des manutentions sont les conditions principales à prendre en considération pour leur construction ; elles doivent aussi présenter toutes les dispositions nécessaires pour assurer la sécurité des ouvriers travaillant dans l'air comprimé.

L'écluse construite pour les caissons du pont de Kehl était cylindrique : elle avait 3 mètres de hauteur et 1^m,80 de diamètre. Les portes d'introduction et de sortie étaient placées sur les deux fonds ; on les manœuvrait avec un petit treuil. Les robinets d'introduction et de sortie avaient 15 millimètres de diamètre.

Ces écluses étaient utilisées seulement pour le passage des hommes, des outils et du béton de remplissage final.

L'écluse construite pour les tubes de fondation des ponts d'Argenteuil, d'Orival et d'Elbeuf remplissait les conditions précédentes et, en outre, servait à l'éclusage des déblais du fond.

Elle était composée de deux cylindres concentriques (*Pl. XIII fig. 1, 2*) dont l'extérieur avait 3^m,00 de diamètre et 2 mètres de hauteur, tandis que l'intérieur, constamment en communication avec le fond, avait 1^m,35 de diamètre et 2^m,30 de hauteur.

L'espace annulaire, formé par les deux cylindres, a été divisé, par une cloison métallique, en deux capacités distinctes, susceptibles d'être utilisées alternativement ou simultanément. Les portes ont 50 centimètres sur 40 centimètres ; elles sont placées dans les parois verticales. La disposition particulière des charnières en tôlerie brute et les garnitures en caoutchouc n'ont rien laissé à désirer.

Cette écluse, qui permettait de pouvoir descendre, à tout moment, a donné grande confiance aux travailleurs et a beaucoup facilité leur recrutement ; elle pesait 9,000 kilogrammes.

Pour élever les déblais, on a mis, sur le haut de l'écluse, une petite machine à vapeur dont l'arbre, muni d'une poulie, pénétrait à travers la paroi ; au moyen d'une courroie à tendeur, du genre des monte-sacs de moulin, on élevait les seaux de déblai, qu'on vidait dans le compartiment d'écluse.

Les robinets avaient 15 millimètres de diamètre, comme au pont de Kehl, et lorsqu'on descendait à plus de 20 mètres, on mettait, à l'intérieur, une petite rondelle métallique pour les réduire à 12 millimètres, afin d'éviter les inconvénients connus de la décompression.

L'écluse construite pour les caissons des piles d'Arles et de Rovigo est également à trois compartiments, comme celle d'Argenteuil, mais elle est notablement moins lourde (*Pl. XIII, fig. 3, 4*).

Le compartiment central en communication avec la cheminée est elliptique; ses axes ont 1^m,50 et 1^m,05 et sa hauteur est de 2^m,27.

Les deux compartiments latéraux ont pour base des surfaces circulaires de 1^m,40 de diamètre, permettant d'emmagasiner les produits du déblai de deux heures de travail environ.

Le montage des déblais était fait avec une transmission mise en mouvement par une locomobile. Un homme faisait la recette en haut, au moyen d'un treuil avec embrayage à friction, manœuvré à la main. Dans ces derniers temps, on a pris l'habitude d'élever les déblais avec un treuil placé à l'extérieur en faisant passer le câble de levage, en acier, de 8 millimètres de diamètre, dans une presse-étoupe. Cette dernière disposition débarasse l'intérieur de l'écluse des appareils de levage.

Pour la construction des bassins de Toulon et d'un grand nombre de petits ouvrages de fondation, nous avons étudié une écluse répondant aux mêmes besoins, mais plus petite que la précédente. Elle a 1^m,40 de diamètre, 2 mètres de hauteur et porte les mêmes engins de levage. Elle est munie, de chaque côté, de petites éclusettes de 20 centimètres de capacité, qu'on remplit alternativement de déblai (*Pl. XIII, fig. 5, 6*).

La même disposition a été adaptée aux cheminées des cloches à dérochement avec de plus grandes dimensions. Le montage et l'éclusage peuvent produire 2 à 3 mètres cubes par heure avec 2 éclusettes (*Pl. XIII, fig. 9, 10, 11*).

Dans toutes les dispositions d'écluses qui viennent d'être décrites, on a muni d'une soupape de sûreté, le compartiment du milieu, directement en communication avec la chambre de travail; cette soupape se règle avec un poids mobile, suivant la descente du caisson et la pression de l'air comprimé, de façon que la pression soit toujours suffisante pour empêcher l'eau de pénétrer dans la chambre de travail, en même temps qu'elle ne doit pas pouvoir augmenter au delà d'une limite où il y aurait danger pour les ouvriers, par suite du soulèvement du caisson.

Comme mesure de sécurité, on a aussi placé sur les écluses à air des manomètres indicateurs de pression.

En dehors de nous, on a fait des écluses à air de dispositions variées, mais peu sont aussi simples que les nôtres.

Siphonnement.

Le siphonnement de l'eau et des déblais est, pour ainsi dire, un éclusage continu.

Il s'opère comme le siphonnement des liquides avec cette particularité que la colonne ascensionnelle est composée partie de déblai, d'eau et d'air comprimé dans des proportions variables, suivant la densité du déblai et la hauteur de refoulement; mais le mélange doit être tel que le poids de la colonne soit inférieur à la pression dans la chambre de travail.

Il se fait en établissant la communication de la chambre de travail avec l'extérieur, au moyen d'un tuyau, dont l'extrémité inférieure est plongée dans l'eau ou la vase à expulser et la supérieure débouche sous l'eau ou au-dessus.

Pour activer la circulation dans le tuyau, et pour alléger la colonne d'eau plus ou moins chargée de terre ou de sable, on fait entrer de l'air comprimé dans le siphon, à un mètre au-dessus du fond, par un petit trou de 0^m,002 à 0^m,003 de diamètre. On siphonne généralement à la hauteur du dessous de l'écluse, au moyen d'un tuyau métallique, pendu dans la cheminée, et terminé, à sa partie inférieure, par un tuyau en caoutchouc, qui donne la flexibilité nécessaire. Quelquefois, on siphonne au sommet de la paroi du caisson; il faut alors que le robinet de communication soit posé avant la mise à l'eau du caisson. Dans tous les cas, les déblais doivent être liquéfiés et souvent on introduit, pour cet usage, de l'eau du dehors, dans un bac, comme on l'a fait à Anvers. Cependant, nous avons siphonné, sans addition d'eau, des couches de sable sec, pour le fonçage du caisson d'arrière-radier de l'écluse de chasse à Honfleur et aussi dans d'autres endroits.

Le siphonnement, avec l'air comprimé, nous a permis de faire très simplement l'épuisement de l'eau de pluie dans les caissons des bassins de radoub de Toulou pendant l'exécution des travaux; enfin nous enlevons fréquemment, par le même procédé, l'eau des chambres des batardeaux mobiles, pour leur déboulonnage.

L'appareil employé est une caisse fermée ayant un clapet à sa partie inférieure. Le tuyau d'ascension de l'eau arrive près du fond, celui d'amenée de l'air comprimé est à la partie supérieure. L'introduction de l'air comprimé ferme le clapet et chasse l'eau dans le tuyau d'évacuation. On ferme le robinet d'air comprimé, l'eau pénètre de nouveau dans la caisse et ainsi de suite.

Il suffirait de faire cet appareil à deux compartiments afin que le jet soit continu et de le muir d'un mouvement automatique pour avoir une pompe à air comprimé très simple.

Compresseurs d'air.

Beaucoup d'Ingénieurs se sont occupés de l'étude des compresseurs d'air et leur ont fait subir d'importantes améliorations, tant dans la facilité d'installation que dans le rendement.

Les premiers appareils construits marchaient très lentement, pour éviter l'échauffement, ce qui exigeait des dimensions considérables.

Les machines à piston hydraulique du tunnel du Mont-Cenis ont rendu de grands services, mais leur installation était trop coûteuse et leur fonctionnement n'était pas parfait.

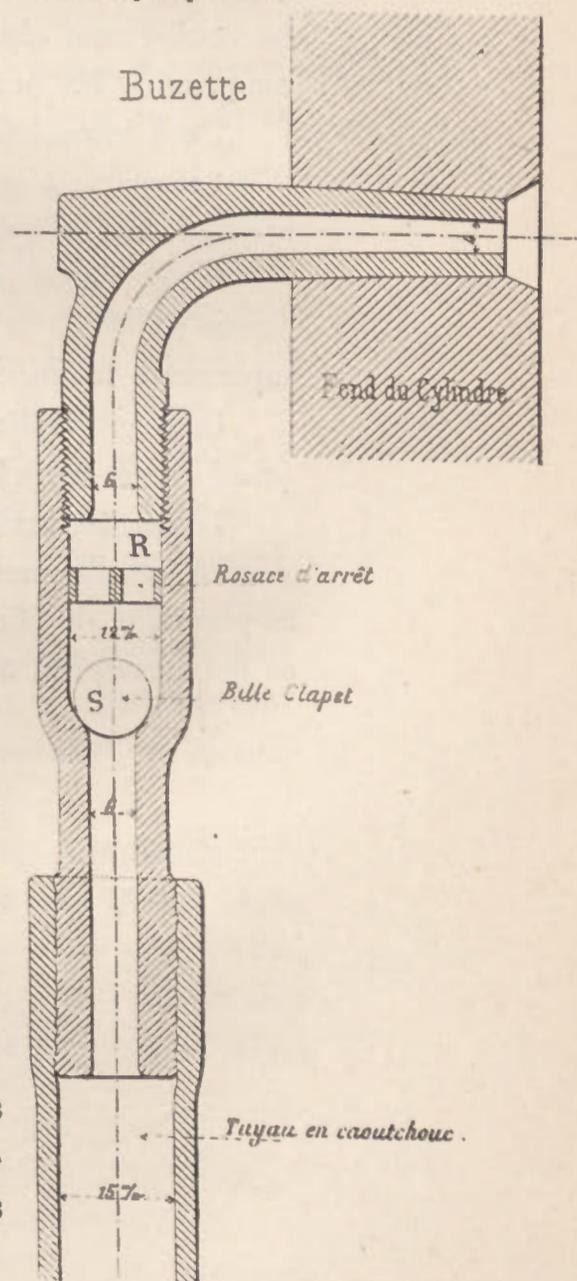
M. Colladon a fait établir, au Saint-Gothard, de nouvelles machines qui ont donné de bons résultats ; leur prix en était très élevé, et elles comportaient certains organes trop délicats pour en faire des machines d'un déplacement commode et d'un usage général pour des chantiers ambulants.

La circulation d'eau extérieure et l'injection sous des formes diverses, pour empêcher l'air de s'échauffer ont permis d'augmenter considérablement la vitesse et d'obtenir des machines de petite dimension, d'installation facile et d'un bon rendement en air comprimé.

Dans ce but, nous avons fait construire, d'après nos dessins, par la Société des Forges de l'Horme, à Saint-Chamond, une machine à deux cylindres horizontaux, de 0^m,30 de diamètre et 0^m,40 de course, montée sur un bâti unique en fer, pouvant être facilement posée et transportée sans danger d'avaries.

Les deux cylindres sont placés dans une bache d'eau froide. L'injection se fait à l'aide d'un petit filet d'eau, qui suffit pour lubrifier les cylindres. Elle a lieu pendant toute la durée de l'aspiration de l'air, et même pendant une partie de la compression, et consiste à introduire, dans les cylindres, une petite quantité d'eau comprimée recueillie, à cet effet, dans la conduite d'air de la machine.

Cette eau, qui s'est refroidie pendant la circulation, est amenée, à la partie supérieure des fonds des compresseurs, par quatre tuyaux en caoutchouc de 0^m,015 millimètres de diamètre, s'ajustant avec des tubulures métalliques qui se vissent sur les petites buzettes d'introduction. Le croquis en marge donne la forme des buzettes et des tubulures en grandeur naturelle.



La petite bille S fait office de clapet et peut se lever jusqu'à la rosace d'arrêt R, pour laisser passer l'eau pendant l'aspiration. Elle retombe sur son siège et ferme la conduite pendant le refoulement de l'air.

La buzette n'est pas taraudée avec le fond du cylindre; un peu de cône suffit pour la fixer.

Le fonctionnement de l'appareil est extrêmement simple. Dès que le piston aspire l'air, la pression initiale de l'eau, en communication avec l'air comprimé, lève la bille S et il se produit, dans la direction de la buzette, un jet d'eau, qui poursuit et vient frapper le piston dans sa course, se pulvérise et se mélange à l'air aspiré, dont la température est notablement abaissée. Le jet continue, au retour du piston, jusqu'au moment où la compression fait ouvrir le clapet de refoulement d'air.

L'eau introduite ainsi, à chaque coup de piston, dans la conduite d'air, se condense et est recueillie à la partie la plus basse B de la conduite, d'où elle est ramenée de nouveau dans le cylindre (*Pl. XIV, fig. 1, 2, 3*).

Cette disposition permet de faire marcher les pistons des compresseurs à une vitesse de 0^m,75 à 0^m,80 par seconde, sous une pression de 4^k,50, sans échauffement supérieur à 10 degrés.

Comme complément du refroidissement, nous faisons une petite injection d'eau comprimée dans la bêche à eau qui enveloppe les cylindres.

Le résultat immédiat le plus considérable du rafraichisseur, que nous venons de décrire, est d'augmenter sensiblement le rendement des machines et de donner, en outre, la possibilité de faire marcher les compresseurs plus vite, sans complication mécanique, ce qui correspond à une réduction notable du prix d'installation.

Batardeaux mobiles pour caissons semblables.

PORT D'ANVERS. — Pour construire la maçonnerie au-dessus de la chambre de travail, on s'est mis à l'abri de l'eau, au moyen de grands panneaux métalliques appelés batardeaux mobiles (*Pl. IV, fig. 6 et 7.*) Ces panneaux assemblés formaient une caisse rectangulaire dont les dimensions extérieures, à la base, étaient les mêmes que celles du caisson, c'est-à-dire 25 mètres de long sur 9 mètres de large; tandis qu'à l'intérieur, elles n'étaient que de 24 mètres de long sur 8 mètres de large. La hauteur totale était de 12 mètres.

Cette grande caisse, qui n'a pas de fond, est boulonnée sur le dessus du caisson, à l'aide de 360 boulons espacés de 0^m,20 les uns des autres, et l'étanchéité du joint est obtenue par l'interposition de bandes de caoutchouc.

À la partie supérieure, les batardeaux sont entretoisés, par 12 poutres de 3 mètres de hauteur, croisillonnées et contreventées, de façon à ne pas permettre les déformations.

Une galerie étanche, de 0^m,50 de large sur 1^m,50 de haut, règne sur tout le pourtour de la partie inférieure des batardeaux; elle est armaturée de toute part, par des fers à T et des cornières, pour résister aux pressions extérieures et intérieures.

On peut, en y envoyant de l'air comprimé, descendre par des cheminées verticales, pour poser ou enlever, sous l'eau, les boulons réunissant les batardeaux aux caissons.

Ces cheminées, au nombre de deux, ont 1^m,20 de largeur sur 0^m,50 de hauteur; elles sont munies d'écluses à air à la partie supérieure et d'échelles en fer pour la descente des hommes. Elles forment un cadre rigide, qui raidit les batardeaux dans tous les sens. Les batardeaux sont, en outre, renforcés par des poutrelles verticales, à croisillons, espacées de mètre en mètre, formant aiguilles et entretoisées, horizontalement, de distance en distance, par des poutrelles à treillis.

Les parois verticales, étanches, en tôle, de 0^m,012 d'épaisseur, à la partie inférieure, diminuent graduellement jusqu'au haut où elles n'ont plus que 0^m,006. Elles sont percées, de deux mètres en deux mètres, de trous rectangulaires, qui servent à l'introduction des matériaux destinés à la maçonnerie. Au fur et à mesure de l'enfoncement dans l'eau, on ferme ces trous au moyen de tampons métalliques et de joints en caoutchouc.

Echafaudage flottant (Port d'Anvers).

L'échafaudage flottant (*Pl. IV, fig. 6 et 7*), destiné à soulever le batardeau pour le mettre sur les caissons, à en guider l'enfoncement pendant la construction du mur, et à l'enlever, à la fin d'une opération, pour en commencer une nouvelle, sert aussi de chantier flottant pour toutes les opérations de maçonnerie et de fonçage.

On l'a aussi utilisé pour déplacer et échouer, à leur place, des tronçons de murs construits ailleurs à l'abri du batardeau.

Il contient tous les moyens de manutention utiles, pour faciliter le travail dans les caissons.

L'échafaudage flottant, construit pour le port d'Anvers, se compose de deux bateaux de 26 mètres de long, 3^m,15 de large, 2^m,30 de haut, espacés l'un de l'autre de 10 mètres et surmontés de six fermes de 12 mètres de hauteur, réunies à la partie supérieure, qui les rendent solidaires l'un de l'autre; les deux fermes extrêmes sont entretoisées sur toute leur hauteur, tandis que les quatre fermes du milieu sont complètement libres, pour laisser la place du batardeau mobile et en permettre la montée et la descente. Cette opération se fait à l'aide de 12 palans à 5 brins chacun, attachés à l'extrémité supérieure de chaque ferme. Leurs garants sont actionnés par 12 treuils à noix, placés par moitié sur chaque bateau. Ils sont commandés par une seule machine et deux arbres de transmission, courant d'un bout à l'autre des bateaux. Le mouvement est transmis, de l'arbre placé dans le bateau de droite, à l'arbre du bateau de gauche, par deux chaînes Gall, ce qui oblige tous les treuils à marcher en même temps et à la même vitesse.

Il résulte de cette combinaison que chacun des treuils doit lever et soutenir $\frac{200'}{12}$ soit 16,666 kilogrammes.

Les chaînes doivent porter $\frac{16,666}{8} = 3,333$ kilogrammes: elles ont 0^m,023 de diamètre et sont aussi bien calibrées que possible.

Pour atténuer les différences de calibrage des chaînes et les effets de torsion, on a cru prudent de poser, à la partie supérieure des attaches des palans, des ressorts à cinq disques en caoutchouc, qui régularisent, aussi complètement que possible, la charge à porter entre tous les palans. Les palans sont amarrés, à leur partie inférieure, au batardeau mobile, en douze points correspondant aux attaches supérieures.

En outre des appareils de levage du batardeau, l'échafaudage flottant contient

toutes les machines et appareils nécessaires à sa mise en place, à la manutention des matériaux. etc... A cet effet, le bateau placé vers le fleuve renferme, dans sa cale, une machine à vapeur de 25 chevaux, qui actionne deux machines souffantes, pouvant fournir chacune 300 mètres cubes d'air à l'heure, et sur le plancher supérieur du pont, deux grues pour l'élévation et l'introduction des briques, pierres cassées, moellons piqués, etc., dans le batardeau. Le bateau placé vers terre possède une machine semblable, qui met en mouvement : les broyeurs à mortier installés sur le pont, les grues qui les desservent et la pompe aspirante et foulante qui fournit l'eau aux éjecteurs, pour l'expulsion des déblais de la chambre de travail. La différence de hauteur a rendu le service très facile en divisant les points d'arrivage des matériaux. Enfin, l'appareil est éclairé, la nuit, par quatre foyers Jablochhoff recevant l'électricité des machines placées à terre.

Cet échafaudage flottant a été la réalisation industrielle des expériences faites à Arles en 1866.

Batardeaux mobiles pour caissons différents.

ÉCLUSES DE SAINT-AUBIN. — Pour construire les maçonneries, au-dessous du niveau de l'eau, on a fait usage de batardeaux mobiles en fer, assez résistants, faciles à démonter et pouvant s'adapter sur tous les caissons, successivement, malgré leurs différentes dimensions (*Fig. 12, 13, 14, 15, 16, 17, Pl. VI.*)

Ces batardeaux, composés d'une paroi en tôle, armaturée de poutrelles verticales, en forme d'aiguilles, réunies entre elles, à la base, par un couloir rigide et, en haut, par une poutrelle armée et renforcée d'entretoisements, formaient des panneaux de 8^m,30 de hauteur sur des largeurs variables de 5^m,30 jusqu'à 13 mètres. Chaque extrémité et la partie inférieure sont munies de cheminées de 4^m50 de longueur ou de hauteur et 0^m50 de largeur, pour permettre de circuler et faire facilement le déboulonnage à la fin de l'opération. Le boulonnage se fait aussi au moyen de ces cheminées, mais toujours au-dessus du niveau de l'eau, tandis que le déboulonnage, dans la partie inférieure, s'exécute à 7 ou 8 mètres sous l'eau. Pour cette dernière opération, un petit époussetage à l'air comprimé a toujours suffi, et on n'a jamais éprouvé d'ennuis à ce sujet.

Le montage se faisant à sec, on obtient facilement l'étanchéité du joint horizontal, au moyen d'une bande de caoutchouc posée entre le fond du batardeau et les cornières supérieures des caissons.

Les joints verticaux, entre les batardeaux, ont été obtenus étanches par l'interposition d'un morceau de bois de 0^m,04 à 0^m,06 d'épaisseur, posé entre les parois métalliques, et d'un calfatage à l'étoupe. Ces dispositions fort simples ont toujours donné satisfaction.

Les surfaces intérieures étaient lisses, pour faciliter l'étayage, et les nervures extérieures ont protégé la tôle contre les chocs des corps flottants, qui pouvaient être la cause d'accidents regrettables.

Dans la pratique, l'étayage a été fait, pour les bajoyers comme pour les caissons d'écluse, en trois rangs successifs, à mesure de l'enfoncement, et on l'a modifié à mesure de l'élévation des maçonneries.

Généralement, les maçonneries ont suffi pour étayer, de suite, la partie inférieure des batardeaux, et donner de la rigidité à la construction métallique et aussi à rendre effectif l'appui du pied des aiguilles des dits batardeaux.

Pour les grands caissons, l'étayage des parois et l'inégalité de répartition des maçonneries ont donné lieu à un travail un peu plus compliqué; on a dû embarquer

comme lest, la plus grande partie des matériaux du radier et des buses ; et il a été nécessaire de ménager les emplacements pour la pose des pierres des chardonnets, qui pesaient de 10 à 12,000 kilogrammes, et dont la mise en place n'a pu être faite qu'après le remplissage du fond des chambres de travail.

Batardeaux mobiles pour pilier à poser sous l'eau.

PORT DE LISBONNE. — La construction des murs de quai de Lisbonne a nécessité l'étude d'un outillage et de moyens spéciaux, non encore employés jusqu'alors.

1° Pour foncer des piliers, à la profondeur utile, et les araser à 2 mètres au-dessous du zéro, on a dû surmonter chaque caisson de fondation d'un batardeau mobile pouvant être enlevé, à la fin de l'opération, pour servir plusieurs fois.

Ce batardeau, qui a intérieurement la dimension du pilier et la hauteur suffisante pour émerger au-dessus des plus grandes marées, après le fonçage, est boulonné sur le caisson qu'il surmonte, et l'étanchéité du joint est obtenue par l'interposition d'une bande de caoutchouc. Il est composé de parois métalliques renforcées par des nervures verticales et horizontales, selon la disposition du plan. (*Pl. XVI, fig. 4, 5, 6*).

La diminution de section de la partie supérieure a pour but de réduire le déplacement que produit la haute mer.

Le boulonnage et le déboulonnage du joint se font dans le couloir ménagé à la base du batardeau; on y a accès par les cheminées verticales des deux grands côtés, qui sont munies d'écluses à air à la partie supérieure, de façon à pouvoir faire cette opération, avec la plus grande facilité, même dans le cas où le couloir serait envahi par l'eau.

Ces batardeaux pèsent environ 35,000 kilogrammes, avec leurs accessoires d'étayement.

2° Pour faire la maçonnerie de la base des linteaux, et pour donner à cette maçonnerie 2^m,30 d'épaisseur, avant de la mettre en place sur deux piliers contigus, il est nécessaire de surmonter la caisse inférieure, destinée à rester avec la maçonnerie, d'un batardeau mobile, susceptible d'être utilisé plusieurs fois.

Ce batardeau, du genre de ceux employés à Anvers, mais d'une construction plus simple, est composé de quatre parois droites, entretoisées à la partie supérieure pour soutenir les aiguilles de renfort des parois verticales, et il est attaché, à la partie fixe inférieure, par des boulons qui peuvent être desserrés d'en haut. L'étanchéité du joint est également obtenue par l'interposition d'une bande de caoutchouc (*Pl. XVI, fig. 4, 5, 6*).

Échafaudages flottants (Port de Lisbonne).

Pour confectionner les maçonneries, près de chaque caisson, on a dû construire des échafaudages flottants contenant: les engins pour la fabrication du mortier, une soufflerie pour l'air comprimé, des treuils pour l'élévation des matériaux et un moteur à vapeur pour actionner le tout; enfin une machine électrique pour l'éclairage. (*Pl. XVI, fig. 1, 2, 3.*)

Chaque échafaudage, construit sur deux pontons parallèles, est disposé pour entourer un caisson surmonté de son batardeau et permettre le lestage en maçonnerie; il contient les treuils nécessaires pour la mise en place, avec exactitude, en distance et en alignement.

En raison de l'importance moins grande des caissons et des batardeaux, (leurs dimensions sont notablement plus petites qu'à Anvers), on a cru préférable de construire un appareil de levage indépendant, pour la manœuvre des batardeaux.

En outre, leur construction permet, en cas de mauvais temps, d'abandonner les piles en fonçage et de mettre les échafaudages à l'abri pour éviter des avaries.

Moyens de manutention.

L'exécution de ces travaux nécessite des moyens de manutention assez considérables, en dehors des grands engins spéciaux, décrits à propos du dragage et des produits dragués.

Dans beaucoup de cas on a recours à l'emploi des chaînes à godets pour l'élévation des matières nécessaires à la fabrication du mortier; dans d'autres, on établit des monte-charges verticaux, élevant les wagonnets pour faciliter la répartition des matériaux suivant les diverses destinations.

Sur les chantiers de terrassements et dans les carrières, les plans inclinés sont fréquemment employés pour l'élévation des wagons, à petite hauteur; enfin des grues à vapeur, fixes ou mobiles, sont souvent d'une grande utilité.

Pour les chantiers où la manutention fréquente de gros fardeaux indivisibles est nécessaire, notamment pour les chantiers de fonçage où on doit manutentionner les caissons de petites dimensions, les écluses à air, les cheminées, et sur les chantiers de pierre de tailler, on a intérêt à utiliser les grues roulantes. Ces grues peuvent prendre des dispositions et des proportions très variées suivant le travail qu'elles sont appelées à fournir; elles servent également à faire le levage des grandes fermes de charpente métallique, comme celles de l'exposition et des halles de chemins de fer.

Pour la manutention sur l'eau des batardeaux mobiles de l'écluse de Saint-Aubin, nous avons construit une petite bigue, montée sur deux pontons, susceptible de lever quinze tonnes au moyen d'un treuil à vapeur, avec une vitesse suffisante pour faire le montage du batardeau sur un caisson, en un jour. Cette bigue est représentée par un croquis (*Pl. XV, fig. 5 et 6*).

Pour lever les batardeaux de Lisbonne, qui pèsent de 35 à 40 tonnes avec les écluses, cheminées, etc., et les poser sur un autre caisson, nous avons construit la bigue flottante (*Pl. XVI, fig. 7, 8*) qui permet de boulonner le joint tout en maçonnant sur le plafond du caisson.

Cette bigue flottante est composée de deux bateaux de 25 mètres de longueur et 5 mètres de largeur chacun, entretoisés par des poutres en fer et espacés l'un de l'autre de 10 mètres, afin d'obtenir une grande stabilité.

L'un des bateaux porte la bigue de 25 mètres de hauteur, composée de deux poutres en fer, entretoisées et contrefichées, puis haubanées sur l'autre bateau qui contient la chaudière, la machine à vapeur et le treuil; il est, en outre, lesté suffisamment par la répartition, aussi uniforme que possible, des charges nécessaires.

Le pont est muni des treuils de manœuvre pour l'accostage, etc.

Pour la manutention des gros blocs naturels, ou artificiels de 30 à 40 tonnes, employés dans les ouvrages de défense des ports, on se sert de moyens divers :

Au port de Philippeville, nous avons fait usage de presses hydrauliques, montées sur une grue roulante actionnée par une machine à vapeur de 2 chevaux, pour lever les blocs et les charger sur wagon.

Pour soulever des blocs de 15 mètres cubes et les embarquer sur des pontons nous nous sommes servi d'une passerelle, à deux travées inégales, en charpente (*Pl. XV, fig. 3 et 4*), sur laquelle circule un chariot portant deux presses hydrauliques.

Les blocs posés sur des trucks sont amenés, à l'aide d'une voie normale au quai, sous la petite travée, tandis que le ponton vient accoster sous la grande. Les pompes sont mues à la main ; on ne fait que soulever les blocs du wagon pour les descendre sur le ponton, après la translation du pont roulant.

Pour la manutention des blocs à l'extérieur de la jetée et la pose de ceux qu'on a employés pour la formation des murs de quai, nous avons fait usage d'un ponton muni d'un treuil à vapeur, ayant une mâture à l'avant.

Cloche plongeante employée pour dérochements sous-marins.

La cloche à dérochement (*Pl. XVII, fig. 1, 2, 3, 4*) est une de celles qui ont servi à dégraser la roche « la Rose » ; à enlever les rochers qui nuisaient pour l'entrée du Bassin n° 5, à Brest ; à approfondir l'entrée du port de Cherbourg et à faire divers ouvrages analogues à Lorient et à Philippeville (Algérie).

DESCRIPTION. — La disposition spéciale de cet appareil permet de l'immerger à un endroit déterminé et de le faire flotter à volonté.

Il se compose essentiellement d'une grande caisse en fer, à angles arrondis, ayant pour dimensions 10 mètres de longueur sur 8 mètres de largeur et 7 mètres de hauteur. Cette caisse, fermée à la partie supérieure, est partagée en deux parties inégales par une cloison étanche horizontale ; celle d'en haut, complètement close, a 5 mètres de hauteur et constitue le *flotteur* ; celle d'en bas, ouverte à la partie inférieure, forme la chambre de travail.

Les écluses à air, pour le passage des ouvriers et des outils, sont installées immédiatement sur la chambre de travail ; on y accède par un escalier tournant, logé dans une cheminée centrale, qui a son origine sur la plate-forme supérieure, élevée de 3^m,75 au-dessus des plus hautes eaux. Deux autres cheminées, de dimensions moindres, placées latéralement, servent à l'extraction des déblais et portent des écluses spéciales, à leur partie supérieure. La plate-forme supérieure est munie des appareils nécessaires à l'extraction des déblais, tandis que celle du flotteur porte les treuils pour la mise en place.

La stabilité de l'appareil flottant est obtenue au moyen d'un lestage réparti convenablement, autour des parois, dans la chambre de travail et sur le plafond.

La construction métallique de la cloche et de la chambre de travail est analogue à celle des caissons de fondation ; les parois verticales de la caisse ont 0^m,008 d'épaisseur, sauf la dernière tôle, en bas, qui a 0^m,009 et est armée à son bord inférieur d'une ceinture en acier de 0^m,300 de hauteur et 0^m,022 d'épaisseur ; c'est sur cette partie de la cloche, nommée tranchant, que porte toute la charge, lorsque l'appareil repose sur le fond.

Le poids de la cloche immergée étant de 340 tonnes, la charge sur le tranchant, lorsqu'on ne travaille pas, est, par mètre linéaire, de 8 à 900 kilogrammes, répartis sur 22,000 millimètres carrés, ce qui produit, par millimètre carré, une compression insignifiante si la répartition est uniforme.

Il peut arriver que le caisson repose sur des pointes de roches et, par suite, que la répartition des charges soit complètement modifiée. Si nous supposons que tout le poids de 340.000 kilogrammes soit supporté sur 3 mètres de longueur de tranchant, la compression sera de 5 kilogrammes par millimètre carré; s'il reposait seulement sur un mètre de longueur, elle s'éleverait à 15 kilogrammes: même dans ce dernier cas, la solidité de l'appareil ne serait pas compromise.

Les parois verticales sont soutenues par des membrures, en tôles et cornières, espacées de mètre en mètre, et entretoisées par des cornières horizontales. Le plafond supérieur du flotteur est fait en tôle striée, avec une pente de 0^m,10 vers l'extérieur, pour permettre l'écoulement de l'eau, quand le flotteur est découvert. Il est contreventé par des membrures transversales de mêmes dimensions que celles des parois latérales; ces membrures sont reliées, dans le sens de l'axe longitudinal, par des entretoises verticales de 0^m,30 de hauteur intéressant la cheminée centrale et les cheminées d'extraction.

Le plafond et la construction de la chambre de travail, n'offrent pas ou peu de différence avec les caissons de fondation.

La cheminée centrale a 2^m,30 de diamètre et les épaisseurs des tôles vont en diminuant de la base au sommet; l'escalier a 0^m,60 de largeur avec marches en tôles striées. Les viroles composant la cheminée sont assemblées, extérieurement, par des cornières et ont la même hauteur que les viroles des cheminées d'extraction, ce qui permet de les allonger ou de les raccourcir suivant la profondeur à laquelle la cloche doit descendre au-dessous du niveau des plus hautes eaux.

Les écluses de communication avec la chambre de travail sont au nombre de trois, placées comme il a été dit précédemment, au bas de l'escalier, et directement sur le plafond. Cette disposition a été employée par les Américains, dans leurs caissons en bois, du pont de Brooklyn, et elle se rapproche beaucoup du type préconisé par M. Sadi Carnot, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Président de la République.

Outre l'avantage de monter et descendre à l'air libre, on réalise, par cette disposition une économie notable sur le volume d'air comprimé, que l'on doit maintenir à une pression constante. Au centre, se trouve une petite écluse circulaire, de 1^m,40 de diamètre, pour les passages les plus fréquents et la surveillance; les deux autres écluses correspondent aux deux moitiés de l'espace annulaire, qui règne entre l'écluse et la paroi de la cheminée centrale. Ces dernières peuvent contenir chacune 15 ouvriers; elles sont toutes fermées au moyen de portes horizontales à charnières, garnies de bandes de caoutchouc pour assurer l'étanchéité de la fermeture. Pendant le travail, les portes de communication des grandes écluses avec la chambre de travail sont constamment ouvertes,

pour offrir aux ouvriers un refuge facile pendant le tirage des mines, ou en cas d'accident. On descend dans les écluses, et de celles-ci dans les chambres de travail par des échelles volantes. L'éclusage se fait au moyen de deux robinets, l'un en communication avec le dehors, l'autre avec l'intérieur.

L'extraction des déblais est faite par les cheminées latérales, qui sont surmontées d'écluses spéciales établies sur la plate-forme supérieure, constamment au-dessus du niveau de l'eau et à laquelle on accède au moyen d'échelles métalliques extérieures.

Les écluses à déblais sont des cylindres de 4^m, 83 de hauteur et de 4^m, 78 de diamètre; une cloison en arc de cercle y sépare le compartiment nécessaire pour le passage des hommes, de l'air libre, à l'air comprimé. Elles sont munies de portes verticales et reçoivent la lumière par deux hublots boulonnés sur le plafond. Un tambour en tôle renferme le treuil et son embrayage; les arbres des treuils passent à travers des presse-étoupes, et leurs paliers sont à l'extérieur; ils sont réunis par des manchons, avec un arbre intermédiaire qui porte une poulie à gorge, commandée par le moteur à vapeur des pompes de compression, à l'aide d'une transmission téléodynamique.

Chaque écluse est, en outre, munie de deux sas à déblais; ce sont des tubes en tôle recourbés (*Pl. XII, fig. 9, 10, 11*), ayant 0^m,25 de capacité chacun. L'ouverture supérieure de ces éclusettes est placée dans le bas de l'écluse, ce qui permet d'y verser le contenu des bennes sans beaucoup de fatigue; elles sont fermées par un tampon mobile en tôle, à charnière, garni de caoutchouc. L'ouverture inférieure, qui débouche au dehors, est fermée à l'aide d'une calotte en tôle, à charnière, que l'on manœuvre au moyen d'un petit treuil; cette calotte emboîte l'extrémité du sas et s'y trouve maintenue par un fort étrier s'appliquant sur une surface circulaire inclinée pour obtenir une fermeture énergique; le joint est rempli par une couronne en caoutchouc. L'un des sas est en remplissage, pendant que l'autre est en vidange, de sorte que le travail est continu.

L'air comprimé est fourni par un compresseur à deux cylindres, installé à terre et mis en mouvement par une machine à vapeur de 20 chevaux. La conduite d'air flotte sur l'eau; elle est composée de tuyaux en fer, maintenus entre des madriers, et reliés les uns aux autres par des tuyaux en caoutchouc, qui lui assurent la flexibilité nécessaire, pour suivre les oscillations de la mer. On emploie deux compresseurs, au commencement de chaque opération, afin de refouler l'eau plus rapidement et de compenser les pertes; mais un seul compresseur suffit, lorsque le travail a pris sa marche normale.

STABILITÉ. — La stabilité de l'appareil, lorsqu'il repose sur le sol, est assurée, au moyen d'un excédent de poids de 40 à 80 tonnes, suffisant pour l'empêcher d'être déplacé, même par de fortes houles. On a obtenu ce résultat en maçonnant dans l'intervalle des

poutres du plafond de la chambre de travail, ainsi que dans l'espace resté libre entre une partie des contre-fiches et la paroi extérieure; et on a ajouté, en outre, des gueuses en fonte, afin d'arriver aussi exactement que possible à se tenir dans les limites données par le calcul.

Le lest étant mis à la partie inférieure de la cloche, le centre de gravité de l'eau déplacée se trouve être au-dessus du centre de gravité de l'appareil, lequel flotte convenablement droit, lorsqu'il est levé.

Les charges sont réparties comme suit :

Chambre de travail jusqu'au plafond : métal et lest.	Kilog.	400.000
Plafond et écluses : métal et lest.		190.000
Chambre de flottaison et cheminée.		35.000
Cheminées au-dessus du flotteur, plate-forme		15.000
DÉPLACEMENT TOTAL.		Kilog. 340.000

Lorsque le flotteur est vide, le déplacement produit par la cloche et la maçonnerie de lest des parois de la chambre de travail, est de 430,000 kilogrammes. Il en résulte que le flotteur émerge d'environ 1^m,30 et que la cloche en suspension dans l'eau flotte avec un tirant d'eau de 5^m,30, ce qui permet de l'amener à l'endroit désigné, à marée haute, quand la profondeur de l'eau est suffisante.

On a plusieurs fois opéré des dérochements dans des endroits où le tirant d'eau était insuffisant; dans ce cas, on a eu recours à un ponton-bigue pour alléger l'appareil et le poser à sa place.

Lorsque l'appareil est immergé, le déplacement de la chambre de travail et du lest en maçonnerie, sur le plafond, devient égal à. Kilog. 220.000

Le déplacement de l'écluse, des cheminées centrale et d'extraction, sur 12 mètres de haut, est de 92.000
 Kilog. 312.000

Ce qui fait 28,000 kilogrammes de charge sur le tranchant quand on travaille, et en réalité 340 tonnes quand on ne travaille pas encore.

Le moment critique, pour la stabilité, est celui du levage ou de l'immersion, et tant que le flotteur n'est pas complètement rempli d'eau, on doit prendre quelques précautions, pour éviter que cette eau ne se déplace trop brusquement, par suite des différences de charges qui produisent les inclinaisons de la cloche en descendant, comme en montant. On a, en partie, remédié à cet inconvénient, en divisant le flotteur en six compartiments au moyen de cloisons verticales.

Dans la pratique, on est parvenu à maintenir l'équilibre stable pendant l'immersion et le levage, en faisant déplacer deux ou trois des hommes de la manœuvre des treuils. Généralement, on a opéré la mise en place, qui est plus délicate, au moment du jusant.

Comme moyen de sécurité, contre un soulèvement subit de la cloche, par l'accumulation de l'air comprimé provenant de petites fuites, on a mis à la partie supérieure du flotteur une soupape constamment ouverte pendant le travail, et qu'on ferme seulement au moment de vider l'eau du flotteur pour lever l'appareil.

CHANGEMENTS DE POSITION DE LA CLOCHE. — Pour immerger la cloche, on laisse pénétrer l'eau dans le flotteur en ouvrant deux vannes de 0^m,15 sur 0^m,18, placées juste au-dessus du plafond, au milieu de deux parois opposées, et on ouvre, en même temps, la soupape pour la sortie de l'air contenu dans le flotteur. Pour lever la cloche, lorsqu'elle repose sur le sol, on ferme la soupape supérieure et on introduit l'air comprimé de la chambre de travail dans le flotteur, et pour hâter l'opération, on y ajoute directement celui produit par les compresseurs, jusqu'à ce qu'il sorte par les vannes inférieures, qu'on ferme alors pour éviter des rentrées d'eau.

TRAVAIL DANS LA CLOCHE. — La cloche peut contenir 20 à 24 ouvriers, en marche normale, 4 ouvriers dans les écluses pour le levage des déblais et 7 à 8 dehors, pour la manutention des déblais et les ouvrages accessoires. On travaille à deux équipes par poste de 6 heures et aussi à trois équipes par poste de 8 heures; en général, pour la durée du travail, on tient compte des usages des ouvriers.



Pour le travail du fond, on procède par poses successives de cloche, à des distances qui laissent un espace à décaper entre elles, suivant le croquis en marge, et par tranches horizontales d'environ 1 mètre d'épaisseur. Pour les positions 1 et 2, on commence par dégrader, sous le tranchant, pour dresser la cloche, et on fait à la partie inférieure, un joint avec de l'argile; puis on exploite le rocher au moyen de mines, comme dans le fond d'un grand puits. Les déblais sont enlevés par les cheminées spéciales, et à la fin de l'opération, le sol est bien dressé. La cote du fond est déterminée par un coup de niveau sur la cloche.

Pour la troisième position, on fait descendre les parois qui posent sur le rocher aussi bas que possible, et on exploite le rocher à sec, dans la partie centrale.

Lorsqu'on rencontre des terres susceptibles d'être siphonnées, ou de l'eau, dans le cas de fonçage sous le tranchant, on fait marcher le siphon comme pour le fonçage des caissons.

L'éclairage de la chambre de travail a été fait d'abord avec des bougies de stéarine, puis avec des lampes électriques à incandescence, qui sont de beaucoup préférables.

Le tir des mines est opéré dans la chambre de travail, comme dehors, en exagérant la charge, en raison de la pression de l'air, qui est l'équivalent de la colonne d'eau. Après des essais divers, on a écarté l'emploi de la poudre de mine ordinaire, à cause de la grande quantité de fumée, de la dynamite à cause du grand dégagement de gaz nitreux, et on a donné la préférence au fulmicoton. Les cartouches ont toujours été préparées dehors, et introduites au moment de charger; elles sont de diverses dimensions en raison de la profondeur des trous et de la dureté du rocher, et uniformément composées de rondelles percées, au milieu, au moyen d'un poinçon en bois pour y introduire la mèche avec la capsule détonante. Le tout est enfermé dans un cylindre en papier collé, ficelé en bas et aussi au-dessus, sur la mèche, qui est imperméable; puis le tout est plongé dans un bain de suif et de résine fondue, de façon à obtenir une enveloppe bien isolante et flexible, qui a donné de bons résultats, car on n'a eu que très peu de ratés. Le bourrage est généralement fait avec du sable.

Lorsqu'on tire les mines, les hommes se retirent dans les écluses à air; il est quelquefois arrivé que les éclats de pierres ont déchiré le plafond de la chambre de travail; mais cela n'a que peu d'inconvénient: on ferme la fissure avec du suif ou plus souvent avec de la terre glaise, jusqu'à ce qu'on puisse faire la réparation.

Les déblais sont chargés dans des bennes que l'on enlève à l'aide de treuils à embrayages à friction, commandés extérieurement, du rivage, par des câbles téléodynamiques; ces bennes circulent dans deux cheminées cylindriques de 0^m,75, qui traversent le caisson et se prolongent jusqu'à la plate-forme supérieure sur laquelle sont installées les écluses à déblais. Ces cheminées sont formées de viroles en tôle de 0^m,008 d'épaisseur et de même hauteur que celles de la cheminée centrale.

Les travaux importants de Brest, Cherbourg, Lorient, ont été exécutés par des ouvriers du pays qui, en général, n'ont pas subi les inconvénients observés sur les travailleurs dans l'air comprimé, quoique on ait dû y faire travailler des mineurs à la masse couple; nous avons attribué ce résultat à l'obligation, pour chaque homme, de monter l'escalier de 12 à 13 mètres de hauteur entre l'écluse et l'air ambiant, ce qui détermine une réaction atténuant le refroidissement causé par la décompression de l'air.

Le prix payé par l'Administration de la marine, pour ces ouvrages, est d'environ 60 francs par mètre cube de rocher massif, dérasé à la cote exacte.

Le même appareil a servi à déraser des radiers sous l'eau, et à faire des maçonneries qui ont émergé, en le relevant successivement; mais, sous cette dernière forme,

nous ne croyons pas que l'emploi de la cloche soit préférable à l'exécution des travaux de fondations, dans un caisson ordinaire, ni plus économique, bien que aucune partie de métal ne reste engagée dans la maçonnerie.

Une de ces cloches est utilisée, en ce moment, dans le port de Philippeville, au dérasement du rocher, pour poser des blocs artificiels de murs de quai.

§ 2. Dragues.

Les dragues sont devenues des outils courants pour l'exécution des travaux publics. On en a construit de divers types, que l'expérience a fait modifier pour satisfaire à des besoins généraux ou particuliers.

M. Castor a publié, dans son recueil de machines employées dans les travaux publics, plusieurs dessins de ces appareils : une drague à deux élinde inclinées placées à l'extérieur d'un bateau carré, à l'arrière; une drague à élinde verticale, et aussi la drague qui a exécuté les dragages durs de Boulogne-sur-Mer, en 1862.

Depuis, on a à peu près abandonné la drague à deux élinde et concentré tout le travail sur une élinde unique, placée à l'arrière du bateau; on a amélioré le type de la drague de Boulogne en le développant.

Dans l'état actuel de l'organisation du travail de dragage, on peut classer les dragues en plusieurs catégories :

1° Celles qui opèrent dans les rivières ou dans les canaux et qui déblaient en avant le terrain nécessaire à leur navigabilité. — Drague à élinde inclinée à puits ouvert.

2° Celles qui approfondissent et chargent le produit de l'extraction dans les bateaux. — Dragues verticales ou à élinde inclinée et à puits fermé.

3° Celles qui se chargent elles-mêmes et transportent leurs produits.

4° Pompes à sable portant leur déblai ou non.

Lorsque nous avons eu à organiser le matériel de l'isthme de Panama, nous avons dû faire un examen des diverses dragues en usage et choisir les types convenables pour commencer les travaux, afin de connaître, par expérience, ceux qu'il serait préférable d'employer ultérieurement.

Nous avons mis en parallèle des dragues de 80 et de 150 à 200 chevaux, avec attaque directe, ou avec machine compound et transmission à chaîne Gall, et nous nous sommes arrêté au type avec machine compound de 80 chevaux et transmission à chaîne Gall, pour quatre dragues d'essai, qui ont été construites pour permettre de les utiliser à long couloir, avec ou sans surélévation.

Nous avons admis les mêmes dispositions, pour les dragues marines, afin d'utiliser la même machine que celle du propulseur. Mais, lorsque nous avons construit nos dragues de la Charente et de Saïgon, qui avaient une destination bien définie, nous avons préféré

des machines verticales, à attaque directe, dans lesquelles le choc des inégalités du sol arrive au cylindre par le chemin le plus court, et nous n'avons pas eu à le regretter.

Afin de desservir les dragues avec la vitesse nécessaire, pour ne pas diminuer leur rendement, on a imaginé diverses combinaisons qui permettent de transporter les produits du dragage et de les manutentionner économiquement.

- a. Transport à distance et immersion immédiate au moyen de bateaux à clapets, ou porteurs à clapets à vapeur.
 - b. Transport à distance et débarquement par des moyens divers.
 - c. Débarquement par dragages dans les bateaux.
 - d. Transport direct des produits sur berge, au moyen d'un long couloir avec addition d'eau.
 - e. Transport à distance du produit dragué au moyen de tuyaux ou de couloirs ouverts.
 - f. Transport à distance en bateaux fermés, et débarquement au moyen de pression d'air comprimé.
 - g. Reprise par succion des déblais précédemment immergés et transport à distance dans des tuyaux.
-

Drague à une seule élinde inclinée.

La drague à une seule élinde inclinée, passant dans un bateau découpé en fourche, permet de draguer en avant, et d'ouvrir le chenal qui sert à la flottaison de l'appareil et des bateaux de transport des déblais. Cette disposition permet aussi de creuser un chenal en déversant les produits du dragage au moyen d'un long couloir, de les déposer assez loin pour n'en être pas incommodé, et de creuser un caual jusqu'à des profondeurs assez grandes. (Dragues construites pour la régularisation du Danube, à Vienne.)

Dans ces derniers temps, nous avons construit deux sortes de dragues un peu différentes : celle qui a été utilisée au creusement de la darse de Missiessy, à Toulon, pour draguer du terrain dur, jusqu'à 18 mètres de profondeur (*Pl. XVIII, fig. 6, 7, 8*), et celles de Panama, dont nous avons deux exemplaires : à Rochefort, sur la Charente, et à Saïgon (Cochinchine) (*Pl. XIX, fig. 1, 2, 3, 4, 5*).

Nous avons, en outre, construit une toute petite drague inclinée, qui a servi au curage des canaux de dessèchement du syndicat de la Dives et qui, par ses petites dimensions et les services qu'elle a rendus est très intéressante (*Pl. XX, fig. 1, 2, 3*).

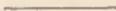
Drague verticale.

La drague verticale est certainement le type le plus économique, lorsqu'il s'agit d'extraire du fond de l'eau, même à une grande profondeur, des terrains graveleux ou du sable; en général, on n'emploie les dragues verticales que dans les terrains qui s'éboulent facilement, comme le gravier.

Les godets qui ont ordinairement 200 litres de capacité, sont entraînés par des tourteaux à cames, à huit pans.

L'élinde des godets, est posée quasi libre, dans des colliers, en haut de la charpente; elle est retenue, dans le puisard, par une sorte de parallélogramme avec galets, et porte, à la partie inférieure, un rouleau en fonte servant de poulie de retour assez lourd pour faire pénétrer les godets dans le sol.

La longueur de la chaîne dragueuse limite la profondeur du dragage.



Drague de Boulogne (1862).

A Boulogne, il s'agissait d'approfondir le chenal du port, de 4^m,80 à 2^m,50, sur toute sa largeur. Le déblai à extraire était une roche calcaire assez dure, recouverte, par place, de marne très compacte, contenant quelques coquillages; on a extrait avec cette drague beaucoup de rognons calcaires de 0^m,50 à 1 mètre de volume.

Nous pensâmes, après examen, que le meilleur moyen d'exécuter ce travail serait de construire une drague spéciale composée d'organes très résistants et d'opérer lentement.

Cette drague n'a qu'une seule élinde inclinée; elle est disposée de manière à pouvoir faire l'eau utile à la flottaison du bateau, tout en permettant de draguer jusqu'à la profondeur de 9 à 10 mètres. (*Pl. XVIII, fig. 1, 2, 3.*)

La coque du bateau a 27 mètres de long sur 6^m,50 de large et 2^m,45 de creux; elle est en tôle de fer de 0^m,005 à 0^m,008 d'épaisseur, renforcée par des membrures en cornières de 0^m,080 de côté.

La chaîne à godets, qui se compose de godets de 200 litres, environ, montés sur deux chaînes parallèles armées de griffes aciérées pour désagréger la roche, est actionnée par une machine à condenseur de la force de 60 chevaux.

Les treuils sont commandés par une autre machine de la force de six chevaux, installée, ainsi que la précédente, au fond du bateau.

La chaudière, timbrée à 5 kilogrammes, enveloppée d'un fourneau en briques, est à foyer intérieur et retour de flamme, avec un bouilleur intérieur et deux bouilleurs extérieurs.

La transmission du mouvement est faite au moyen d'engrenages; un pignon à friction atténue les plus grands chocs.

Une petite grue, mue à bras, pouvant soulever des charges de 1,500 à 2,000 kilogrammes, sert au débarquement et à l'embarquement de toutes les pièces et en même temps à enlever les grosses pierres amenées par les godets.

A Boulogne, dans la roche, cette drague produisait de 20 à 400 mètres cubes par jour; en dragage de terrain ordinaire, elle pouvait fournir 120 mètres cubes à l'heure; elle est l'une des premières qui aient été montées avec des godets évasés tout en tôle d'acier.

Dragues de Vienne (1870).

Ces dragues sont de force moyenne (environ 50 chevaux), à une seule élinde inclinée, pouvant creuser à des profondeurs d'eau atteignant 7 mètres, et même au delà. Elles sont assez hautes pour charger directement les wagons avec l'addition d'un tablier porteur ou d'une roue élévatoire à godets.

Cette dimension moyenne de drague a été préférée, pour les travaux de la régularisation du Danube, eu égard au prix d'établissement, comparé au rendement, et aussi, à cause de la dimension moins grande des pièces, qui rend leur manutention plus commode et les réparations moins coûteuses.

Sans vouloir faire ici la description complète de ces dragues, il peut être intéressant d'en indiquer les dimensions principales : (*Pl XVIII, fig. 4, 5, 6.*)

Coques en bois ou en fer :

Longueur, 27 mètres.

Largeur, 6 mètres.

Hauteur, 2^m,40.

Tirant d'eau, 1^m,20.

Machinerie :

Chaudière timbrée à six atmosphères, à foyer intérieur, entouré de maçonnerie, 55 mètres de surface de chauffe et machine verticale sur le côté.

Diamètre du piston, 0^m,40, course, 0^m,90.

Arbre du carré :

0^m,180 de diamètre ; rapport du pignon à la roue 1/7.

Godets en acier :

Capacité, 250 litres.

Maillons en fer nerveux :

0^m,80 de longueur, 90/45 de section pour ceux fixés aux godets, 90/25 pour les autres.

Boulons :

En acier Bessemer, 0^m,045 de diamètre.

Les dragues ont été employées de plusieurs manières à la régularisation du Danube :
1° A charger directement les wagons sur une voie latérale à la fouille, soit avec

l'addition d'un tablier-porteur, qui servait à déplacer latéralement le produit du dragage pour le déverser sur des wagons, soit au moyen d'une roue élévatrice, remplissant le même but que le tablier-porteur;

2° A charger les dragages en bateaux pour les transporter et les débarquer ensuite en remblai à des emplacements divers.

Dans cette situation, une drague est plus libre de ses mouvements, peut charger les bateaux alternativement des deux côtés, et fournir une plus grande production journalière; mais on doit débarquer le dragage amené par les bateaux de transport.

Les dragues de la régularisation du Danube ont produit un travail important; elles ont atteint 4,000 mètres cubes par jour, en moyenne, lorsqu'elles chargeaient des wagons avec tablier-porteur, et ont dépassé 4,400 mètres cubes, lorsqu'elles chargeaient des bateaux pour le débarquement.

Dragues chargeant les wagons.

Nous croyons intéressant de décrire les moyens employés pour charger des wagons, quoique ce ne soit qu'une solution spéciale relative à la nature du sol.

Le tablier-porteur est installé sur le côté de la drague; il est formé d'une poutre d'environ 14 mètres de longueur, servant de guide et de support à une toile sans fin, composée de plateaux d'acier contigus, réunis les uns aux autres par les maillons qui leur servent de base et roulent sur des galets, à l'aller comme au retour.

La drague déverse ses produits sur les plateaux qui sont mis en mouvement par une machine à vapeur spéciale et indépendante, de 6 chevaux; les déblais sont alors transportés par le tablier qui va les déverser directement sur les wagons.

L'ensemble de l'engin est posé, d'un bout, sur le pont de la drague et suspendu, de l'autre à une chèvre assez haute, dont les pieds sont posés dans un petit bateau *ad hoc*, accolé contre la drague, de façon que l'équilibre de l'outil principal ne soit point troublé.

Cet appareil a rendu de bons services et doit être surtout employé dans des terrains ayant de la consistance, comme le gravier du Danube.

Les dragues ont produit beaucoup de travail avec cet accessoire, tant que la disposition du terrain a permis le transport direct.

Après l'essai du tablier-porteur, dont l'emploi fut très apprécié, on pensa qu'avec une grande roue à godets, on pourrait obtenir le même résultat et une économie sur les dépenses d'entretien.

Une de nos dragues a été munie d'une grande roue en fer de 6 mètres de diamètre, garnie de godets qui reprennent le produit du dragage, l'élèvent en le déplaçant latéralement, pour le verser dans un couloir qui le conduit dans les wagons. Les godets de la roue élévatoire sont fixés sur la circonférence de la roue, et portent chacun un bout de couloir pour guider le gravier à sa sortie. Cette disposition a été moins employée que le tablier-porteur.

Ces moyens de charger les wagons directement, qui sont excellents, ne permettent pas aux dragues de produire toute l'extraction dont elles sont susceptibles, tant à cause de la perte de temps entre les trains que des exigences du chargement en wagons; du reste, les dragages ne comportent pas toujours ce mode de transport direct sur wagons; ce sont donc des problèmes spéciaux qu'on pourra résoudre autrement, suivant les cas.

Les dragues de Vienne sont les premières où l'on ait fait usage de grands tambours

placés sous l'élinde pour supporter les godets vides. Cette disposition extrêmement intéressante, qui était inconnue en Angleterre, y a été très appréciée et y est généralement employée maintenant; elle permet de draguer sensiblement plus bas avec la même longueur d'élinde et diminue notablement le poids de la chaîne de godets; comme conséquence, le travail et l'usure des boulons et des maillons sont moins importants, ce qui est une grande amélioration.

Dragues du canal de Gand à Terneuzen.

Les deux dragues employées à l'exécution de ces travaux sont semblables; elles sont installées sur une coque en fer de 27 mètres de long, sur 6 mètres de largeur et 2^m,40 de creux, l'élinde a 12 mètres de longueur (comme à la régularisation du Danube), elle est inclinée et passe au milieu de l'avant du bateau; les godets sont ceux qui ont déjà servi à Vienne, la charpente du beffroi est plus élevée, l'axe du carré d'entraînement de la chaîne à godets est à 8 mètres au-dessus du plan d'eau.

Cette grande élévation des matières draguées est nécessitée par les différents modes employés pour le transport du dragage.

Dragues à long couloir.

En s'inspirant des beaux résultats obtenus, au canal de Suez, par l'emploi du long couloir appliqué aux transports directs, on a combiné une disposition beaucoup plus simple, qui permet de déverser les sables et vases jusqu'à une distance de 40 et quelquefois 48 mètres de l'axe de la drague, et à une hauteur de 4 mètres au-dessus du plan de flottaison.

Les matières draguées tombent dans le couloir concave placé 2 mètres plus bas que le tourteau, là elles sont délayées sous l'action de l'eau projetée par une forte pompe dont le jet débouche à l'extrémité du couloir et elles sont alors entraînées sous forme de vase liquide.

Le couloir peut être ouvert ou fermé, sa pente est généralement de 0^m,03 par mètre, mais dépend surtout de la nature du sol à transporter.

On contre-balance le poids du couloir sur l'autre côté de la drague, à l'aide du bateau contenant la locomobile et la pompe pour l'élévation de l'eau.

Ce bateau est suspendu à la drague, de la même façon que le couloir, au moyen d'une bigue (les têtes des deux bigues sont elles-mêmes réunies par un fort câble).

Le débit et la pente minima dépendent de la facilité de désagrégation du sol et de la quantité d'eau qui entre dans le mélange. Les proportions ordinairement employées sont trois parties d'eau pour une de sable.

Lorsqu'on rencontre dans le dragage des couches d'argile compacte qui ne se délaye pas ou presque pas sous l'action de l'eau, des moellons de moyenne grosseur ou des gazons, ils sont généralement entraînés par l'eau mais avec moins de vitesse que le sable. Le couloir est plus chargé et la drague balance un peu.

Les moellons d'enrochement suivent le même chemin sans difficulté.

Toutefois, ce dernier fait ne se présente qu'accidentellement, le sol dragué étant, en général, composé de sable fin mélangé d'un peu d'argile qui se prête bien à ces diverses manipulations. Les dragages demi-liquides, comme les vases des ports et des canaux, coulent avec d'autant plus de facilité qu'ils sont moins solides et de moindre densité.

La mise en dépôt des produits de dragages ainsi manipulés nécessite un travail préparatoire spécial, assez important, qui consiste à former des bassins de décahation dont les digues sont élevées successivement à mesure que s'élève le dépôt des terres amenées avec l'eau. Ce travail n'est toutefois possible que lorsque le remblai doit être déposé près de la fouille à draguer.

Dans le cas où les remblais doivent être faits sur des points tels que leur éloignement ne permet pas l'emploi direct du grand couloir, on doit charger les produits du dragage dans des chalands, qui sont amenés, ensuite, sous un débarquement fixe ou flottant.

Drague de Toulon (1875)

Les dimensions de la coque en fer sont :	mètres
En longueur	33.00
En largeur	6.50
Creux	2.60
Tirant d'eau	4.20

La machine à vapeur motrice développe environ 60 chevaux de force; elle est à haute pression, à détente et à condensation par surface. La chaudière alimente, en même temps, une machine de 6 chevaux pour la manœuvre des treuils.

L'élinde, de 25 mètres de long, peut permettre le dragage jusqu'à 49 mètres; elle est posée librement contre une traverse dans le puisard et peut être mise dans une position presque verticale, sans que les godets puissent se rapprocher du couloir du haut, grâce à la présence d'un tambour placé dans le puisard qui éloigne les godets d'une manière constante, quelle que soit l'inclinaison de l'élinde. Par suite de cette disposition, déjà employée à Vienne, on peut draguer, sous différentes inclinaisons, sans que le déversement des godets soit modifié, de plus, la tension de la chaîne dragueuse est beaucoup allégée par son passage sur ce rouleau.

Le tambour du bas, qui sert de poulie de retour aux godets, est à six pans pour tenir ceux-ci plus longtemps en contact avec le sol et leur permettre de mieux se charger.

Cette drague porte des godets de 250 litres de capacité et un groupe de treuils.
(Pl. XVIII, fig. 6, 7, 8.)

Dragues de Panama, Rochefort et Saïgon (1882).

La coque en fer a 33 mètres de long, 6^m,50 de large et 2^m,30 de creux. Le tirant d'eau, en charge, est d'environ 4^m,30. La fente du bateau a 42^m,50 de long et 4^m,60 de large. (*Pl. XIX, fig. 1, 2, 3, 4, 5.*)

L'étréme en fer est attachée à la charpente; le mode de suspension comporte un peu d'élasticité, pour éviter ou atténuer les chocs qui résultent du dragage.

La machine à vapeur à un seul cylindre, quoique moins économique que les machines compound, donne, pour cet usage, de très bons résultats, à cause de la facilité avec laquelle on peut la manœuvrer et l'installer. Le pignon de l'arbre de la machine attaque directement la roue de commande du carré d'entraînement. Le pignon est en fer taillé et la roue en fonte; le petit nombre d'organes permet aux résistances accidentelles de se répercuter directement sur le cylindre à vapeur, sans trop de préjudice, pour la machine.

La machine est posée sur le pont et la tige du piston, prolongée dessous, permet d'attaquer, sans complication, les pompes du condenseur à surface; on a ainsi une machine assez économique et très simple.

Cette machine peut produire 80 chevaux et actionner dans des terrains de consistance moyenne des godets de 350 litres, ce qui permet d'atteindre facilement 150 à 200 mètres cubes de production par heure. Dans les terrains difficiles, cette production ne saurait être atteinte; mais l'emploi de grands godets est quand même préférable pour les dragages de pierrailles ou de racines parce qu'ils peuvent contenir des objets d'un assez gros volume, sans déranger la régularité de la marche. On a plusieurs fois amené, sur les godets, des pierres mesurant un mètre cube ou ayant 1^m,20 à 1^m,30 dans la plus grande dimension.

Les godets sont tout en tôle d'acier, renforcée d'une bande de 0^m,160 sur 0^m,016, rivée sur le bord qui doit pénétrer dans le sol; ils sont montés sur des maillons, en bon fer, de 0^m,80 de longueur d'axe en axe, ayant 0^m,100 sur 0^m,045 dans la partie la moins fatiguée et un peu plus partout ailleurs. La forme et la disposition de ces godets, qui ont été expérimentés dans les travaux de la régularisation du Danube, en 1870, ont été bonnes, car il y a encore, en service, des godets de cette époque, qui n'ont presque pas cessé de fonctionner.

Depuis longtemps, nous avons proscrit, de nos combinaisons, les transmissions par engrenages coniques, qui dépensent beaucoup de force et causent des arrêts. Mais nous avons employé des machines compound à Panama, et transmis le travail à l'arbre du carré au moyen de chaînes Gall.

Avec l'emploi de la machine compound, nous avons fait une transmission à friction, à rainures, ou simplement à poulies plates, pour donner la vitesse nécessaire au carré. Ces transmissions fonctionnent bien et sans bruit, mais ne sont pas bonnes pour les travaux difficiles qui occasionnent des chocs sur les chaînes de Gall et déterminent des creux sur les poulies de friction.

Pour les manœuvres diverses des dragues, avancement, levage et abaissement de l'élinde, traversiers, nous avons étudié un groupe de treuils actionnés par une petite machine verticale de huit chevaux qui peut les attaquer tous ensemble ou séparément au moyen de poulies à friction (*Pl. XXI; fig. 1, 2, 3, 4*). Deux de ces treuils sont à deux tambours sans enroulement, pour l'avancement et la manœuvre de l'élinde; les deux autres sont des poupées qui entraînent les traversiers. Sur les axes des tambours et des poupées sont calées des roues à engrenage hélicoïdal, commandées par des arbres filetés, dont les extrémités portent des poulies à friction, qui embrayent, par contact, avec celles de la machine motrice. Le contact est obtenu à l'aide de coussinets excentrés qu'on fait tourner dans leurs paliers avec les leviers d'embrayage et, en raison de la grande variabilité de ce contact, on peut employer tout ou une partie quelconque du travail de la machine. Toutes les chaînes de service sont emmagasinées dans la cale, pour ne pas causer d'encombrement sur le pont. Pour compléter les manœuvres, il y a, en outre, sur l'avant, quelques treuils actionnés à la main.

Les dragues de Rochefort et de Saïgon ont fourni un bon travail. Celle de Saïgon a pu extraire des bancs de roche (appelée Bien-hoa) en couches de différentes épaisseurs et de duretés diverses; on en a rencontré de 2^m,50 d'épaisseur qu'on a dû casser au moyen d'explosifs pour en permettre le dragage.

Celle de Rochefort a eu à enlever les bancs calcaires de Soubise et de Martron dans des conditions très difficiles. Ce travail ne s'est pas fait sans avaries.

Drague d'approfondissement, à élinde inclinée (1882).

Les dragues employées le plus souvent à l'approfondissement sont celles dont on se sert pour le creusement, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur des ports.

Le type de ce genre le plus répandu est la drague marine, qui ne diffère de la drague décrite au paragraphe précédent, qu'en ce qu'elle est montée sur une coque notablement plus forte pour supporter la houle et qu'en général elle peut être déplacée par ses propres moyens. Le puisard qui contient l'élinde est fermé et nous donnerons la description sommaire des machines construites, sur nos plans, à Renfrew, chez MM. Lobnitz et C^o, pour la Compagnie universelle de Panama.

La longueur totale de la coque est de 53^m,64, la largeur 9^m,14, le creux 3^m,66 en charge ; le tirant d'eau est de 2^m,50. Le puisard, de forme rectangulaire, a 14 mètres de longueur et 2 mètres de largeur.

La machine développe 250 chevaux indiqués ; il n'y a qu'un générateur de forme cylindrique, et un générateur de secours pour permettre la marche des machines accessoires, pendant l'arrêt de la machine principale. Une machine spéciale compound attaque l'hélice pour la propulsion du bateau, et une autre machine identique sert de moteur à l'appareil du dragage, qui est composé de godets très forts à fonds et maillons d'une seule pièce d'acier fondu ; le dos est en tôle, et le tranchant en acier d'une grande résistance.

Ces godets, qui ont la même capacité que ceux des dragues de 80 chevaux, pèsent 500 kilogrammes chacun, tandis que ceux de Rochefort et de Saïgon ne pèsent que 250 kilogrammes.

En raison du poids des godets, tous les organes de l'élinde, des transmissions et de la suspension sont plus forts ; la force dépensée est aussi sensiblement plus grande, sans que le rendement soit augmenté. Le prix de revient est donc un peu plus élevé avec ces appareils.

Sur le pont sont installés les treuils à vapeur, pour le halage et pour toutes les manœuvres.

Ces dragues peuvent extraire assez facilement, par heure, 200 mètres cubes de vase plus ou moins solidifiée.

Elles sont assez marines pour avoir fait, dans de bonnes conditions, la traversée de Renfrew, sur la Clyde, jusqu'à Colon et Panama ; le matériel était arrimé dans la cale. les travail, lorsqu'on veut rentrer dans un port, on largue les amarres sur des bouées pour En retrouver, puis on lève l'élinde et on est ainsi appareillé pour la route, en peu de temps.

Dragues porteuses.

Dans ces derniers temps, on a construit pour le dragage de hauts fonds, dans des parties de rivière ou de mer où la houle rend difficile l'accostage des chalands de transport, notamment pour la Clyde, des dragues qui comportent l'appareil dragueur d'approfondissement et, en outre, des cases à clapets assez grandes pour loger le produit du dragage. Ces machines n'ont d'intérêt que lorsque la capacité du chargement atteint 200 mètres cubes et que les distances de transport ne sont pas trop grandes pour que les voyages correspondent à un travail suffisamment important, mais elles présentent un très grand avantage pour le creusement de l'entrée des ports, parce qu'elles peuvent travailler en encombrant moins les passes et qu'elles peuvent se garer sans difficulté quand c'est utile. Elles fonctionnent presque à la manière des pompes à sable.

Draguette.

Il n'y a pas que les grands outils qui rendent des services. Nous avons construit pour carer les canaux du Syndicat de la Dives, aux environs de Troarn (Calvados), une petite drague installée sur un bateau de 10 mètres de longueur, 2^m,50 de large et 1^m,80 de creux, qui pouvait papillonner et faire l'eau nécessaire à sa navigabilité dans des canaux de dessèchement qui n'ont que 4 à 5 mètres de large (*Pl. XX, fig. 1, 2, 3*).

L'élinde inclinée est placée suffisamment à l'arrière pour qu'en prenant la position oblique, elle puisse creuser la largeur utile.

La locomobile de 12 chevaux qui servait de moteur faisait contrepoids au beffroi et à l'élinde.

Le produit du dragage était déversé, à volonté, au moyen du couloir, directement à droite ou à gauche, pour donner, à chaque riverain, la part de vase qu'il réclamait pour faire de l'engrais.

Cette petite drague a produit jusqu'à 200 mètres cubes par jour, et son travail de curage n'a coûté qu'environ 60 centimes par mètre cube, malgré qu'on ait dû la démonter plusieurs fois pour passer sous des ponts, ou inversement, démonter des ponts en bois pour la laisser passer.

C'est un outil d'agriculture qui ne manque pas d'intérêt.

Pompes à sable.

Lorsque les déblais qu'on doit extraire sont du sable, comme à Dunkerque et à Calais, etc., on peut employer avec avantage des pompes à sable pour l'extraction et pour charger des porteurs, ou, mieux encore, charger le bateau lui-même qui devient un véritable porteur de déblais.

Au port de Lisbonne, nous employons des bateaux-pompeurs. Ces bateaux, construits en Hollande, ont 38^m,50 de longueur, 8 mètres de largeur, 3^m,50 de creux, du pont sous la quille, et chargent environ 250 mètres cubes dans leurs compartiments à clapets.

Une seule machine compound de 200 chevaux actionne alternativement : la pompe, pour le chargement, ou l'hélice pour la propulsion, au moyen d'embrayages à cames enclanchées.

La pompe à sable est un appareil fort simple, composé d'une caisse en tôle d'acier fortement armaturée, dans laquelle se meut un batteur à deux bras cintrés qui ont un jeu suffisant pour ne pas toucher les parois.

L'aspiration arrive au centre de la caisse et le mouvement rotatif fait sortir le produit à la périphérie; l'orifice de sortie de la pompe est à 2^m,50 de hauteur environ au-dessus du niveau de l'eau. Le tuyau d'aspiration a 0^m,50 de diamètre; il sort du bateau au niveau de la flottaison et est continué par un coude à 90 degrés qui est l'attache d'un tuyau en caoutchouc de 1^m,90 de longueur, allongé d'un tuyau en tôle d'acier de 12 mètres, manœuvré, pour la descente et la montée, au moyen d'un treuil à vapeur.

La partie inférieure du tuyau d'aspiration est garnie de barreaux de grilles qui forment crépine, mais il n'est pas rare que la pompe aspire de gros cailloux et même des boulets en fonte de 0^m,10 de diamètre, ce qui cause quelquefois des avaries.

Le chargement d'un clapet de 240 à 250 mètres cubes peut être fait en 20 ou 30 minutes quand le sable est abondant et homogène. Le mélange d'eau et de sable aspiré contient environ 15 à 20 0/0 de sable. L'utilisation du travail mécanique est très faible puisque dans les circonstances les plus favorables on déplace utilement, en 20 minutes, 250 mètres cubes de sable ou 375 tonnes à 2^m,50 de hauteur ou 937 tonnes à 1 mètre, ce qui représente environ 10 chevaux-vapeur. Le reste est dépensé par l'eau et les frottements.

Dans ces conditions, et malgré leur faible rendement, les pompes à sable ont un véritable intérêt parce que la machine, qui a travaillé à l'extraction, est immédiatement

utilisée pour le transport et que le personnel est réduit au minimum, en même temps qu'il y a peu de perte de temps pour la mise en place.

Lorsqu'il s'agit de creuser un chenal, on mouille dans la direction reconnue convenable, on descend le tuyau d'aspiration et on fait un trou pour remplir le bateau. Le courant ou la houle se chargent de remplir à nouveau ce trou, aux dépens des hauteurs voisines, alors le chenal se creuse avec les pentes normales du sable.

Ces bateaux peuvent aussi remorquer des chalands chargés, mais la meilleure utilisation qu'on en puisse faire consiste à les charger seuls.

§ 3. — Transport des produits dragués.

On est parvenu, assez facilement, à faire produire aux dragues des quantités importantes de déblais, soit comme approfondissement des chenaux et des passes, soit comme déblais d'emprunt, pour faire des terre-pleins; mais il n'a pas toujours été aussi simple de débarrasser les bateaux chargés, du dragage.

Le travail à la main, qu'on employait dans les commencements, est bientôt devenu impraticable à cause de la difficulté de réunir un nombre d'hommes suffisant, ayant les aptitudes nécessaires, et, tant que cela a été possible, on a utilisé les bateaux à clapets, qui permettent de rejeter à l'eau dans les parties profondes ce qu'on a extrait pour abaisser les hauts-fonds.

Divers modes de transport des déblais dragués.

a. *Transport des déblais au moyen de clapets.* — Le transport par clapets paraît être le moyen le plus simple, quand il est possible, et c'est à cause de sa simplicité qu'il est presque seul usité pour le curage des ports. On a construit une grande variété de bateaux à clapets, destinés à être remorqués selon les besoins de chaque localité. Pour les ouvrages importants on a employé des porteurs munis de propulseurs à vapeur qui chargent jusqu'à 250 mètres cubes de dragages (*hopper barges*). Ces bateaux, lorsqu'ils sont bien occupés, permettent de faire un travail à bon marché, mais leur prix d'établissement est trop élevé pour être mis en usage pour des ouvrages de peu d'importance.

b. *Debarquement par moyens élévatoires.* — Lorsque les produits des dragages doivent être déposés à terre pour former des terre-pleins, du ballast, etc., on a, depuis longtemps, abandonné le travail à la main comme trop coûteux et surtout parce qu'il est insuffisant pour permettre la marche normale des dragues.

On a employé avec succès, pour les grands travaux de remblai exécutés à Lyon, et pour divers chemins de fer, des machines élévatoires fixes, du genre des machines de mines, qui élevaient des caisses chargées à la drague, qu'on posait ensuite sur des trucks. On a également fait usage pour des travaux de rive, de grues à vapeur, fixes ou montées sur des pontons. Ces appareils ont donné l'idée des grues à transbordement, employées dans les ports, notamment à Rouen.

Enfin, des plans inclinés ont été établis, pour sortir des wagons chargés dans des bateaux, ou seulement des caisses remplies à la drague.

Dans tous ces procédés l'emploi des caisses entraîne une grande réduction de la capacité de chaque bateau et rend le transport plus cher.

c. *Débarquement par dragage dans les bateaux* (1). — Pour supprimer les difficultés de transport et de manutention de caisses contenant du dragage, nous avons conçu et appliqué, à Vienne, pour les travaux de la régularisation du Danube, en 1871, un moyen de débarquement notablement plus simple et plus économique qui consiste à draguer le déblai dans les bateaux mêmes qui le portent. Cette disposition peut être fixe ou flottante et, depuis qu'elle a été mise en pratique, elle a eu beaucoup d'imitateurs, car elle a résolu un gros problème.

Débarquement fixe sur une rive. — Pour draguer dans les bateaux, on a dû, tout d'abord, se préoccuper de leur forme intérieure afin que les matériaux pussent être enlevés facilement par les godets du débarquement. Dans ce but, on a adopté une forme de bateaux à double fond, l'un formant la capacité de déplacement, et l'autre la capacité de chargement; ces deux fonds sont sans communication pour que la vase et les autres produits du dragage ne puissent pénétrer dans la capacité de déplacement.

Le débarquement est formé d'une drague fixe, montée sur un échafaudage; l'élinde permet aux godets de se charger dans les bateaux et d'élever les produits à une hauteur suffisante pour les déverser dans les wagons. Ce travail se fait avec une vitesse égale à celle du dragage; voici comment on procède :

Lorsqu'un bateau arrive chargé, on l'engage sous l'échafaudage, et on amarre l'avant à une corde dont l'autre extrémité est fixée à un treuil, installé spécialement pour produire le mouvement d'avancement du bateau, à mesure que le débarquement s'effectue; cette amarre empêche, par sa tension, le mouvement de recul que produisent les godets, en mordant dans le gravier à débarquer. L'élinde étant abaissée, la machine est mise en mouvement et les déblais sont élevés du bateau dans le wagon amené sous le couloir du débarquement.

Quand le wagon est chargé, on ferme une porte à bascule, qui est placée à la partie inférieure du couloir; l'écoulement du déblai s'arrête pendant qu'on enlève le wagon chargé et qu'on met, à sa place, un wagon vide, ce qui ne demande que quelques secondes, puis on lève de nouveau la porte du couloir, et le chargement continue.

Sur la plate-forme de chargement se trouvent deux voies ferrées, l'une pour les wagons vides, l'autre pour les wagons chargés; elles sont réunies à leurs extrémités, en

(1) A été communiqué à la Société d'Encouragement en 1873.

arrière du couloir, par un pont roulant qui permet de prendre successivement chaque wagon vide pour l'amener derrière le wagon en charge et, finalement, le faire passer sous le couloir du débarquement.

La machine du débarquement fonctionne sans interruption, le déchargement de chaque bateau, dure 6 à 8 minutes environ; et le temps déposé pour lever l'élinde, sortir le bateau vide, engager un nouveau bateau chargé, est d'environ deux minutes, ce qui fait 10 minutes, pour décharger un bateau de 35 mètres cubes environ ou 25 à 30 minutes pour 80 mètres.

Pendant le déchargement du bateau, un petit mouvement transversal est utile pour que les godets passent sur toute la surface du fond; on l'obtient en poussant et en tirant du bateau sur l'échafaudage; c'est le marin de l'embarcation qui fait ce travail de peu d'importance, d'ailleurs.

Le travail du débarquement peut facilement desservir les produits d'une drague et élever de 4,000 à 4,800 mètres cubes par journée de 10 heures, en chargeant de grands wagons.

Depuis, on a modifié cette disposition en augmentant les proportions; cela a permis d'employer des bateaux-porteurs de 130 mètres cubes et d'arriver à débarquer par jour plus de 2,000 mètres cubes de déblais appropriés.

Débarquement flottant. — Le débarquement flottant est installé sur deux bateaux, espacés de 6^m,50, et reliés par une charpente en fer sur laquelle est établi le beffroi du tourteau d'entraînement de la chaîne à godets; la machine motrice, avec son système de transmission se trouve dans l'un des bateaux et, dans l'autre, est installée la pompe et sa machine.

Le couloir, dont le point de départ est à 2 mètres au-dessous du tourteau, a 50 mètres de longueur au plus et 50 centimètres de diamètre; il est ouvert à la partie supérieure et supporté par plusieurs câbles métalliques attachés à une chèvre, posée sur le côté du bateau et reliée au beffroi. La pente est ordinairement de 10 centimètres par mètre, au départ, et est réduite ensuite à 5 centimètres, pour que l'extrémité soit aussi haute que possible.

Ainsi organisé, cet appareil peut être conduit facilement aux différents dépôts d'un même chantier; il ne souffre, du reste, en rien du changement de niveau des eaux, puisque son couloir est entièrement porté par les bateaux.

Il arrive souvent que la forme des dépôts nécessite des transports à de grandes distances, jusqu'à 3 ou 400 mètres, du débarquement. On fait, dans ce cas, déboucher le couloir de l'appareil dans un autre couloir, également métallique, ouvert et simplement

posé sur le sol, avec une pente d'un centimètre par mètre. Dans ce cas, les produits marchent encore avec suffisamment de vitesse pour entraîner les matières solides, sans nuire au travail produit par l'appareil élévateur.

Quelquefois, de gros blocs d'anciennes maçonneries, des gazons ou des enrochements des rives, sont entraînés; tant qu'ils sont en mouvement, on n'a pas à s'en préoccuper, mais, si par hasard ils s'arrêtent, l'eau, débordant des couloirs, produit des affouillements, qui dérangent la marche du chantier. Un homme, spécialement chargé d'enlever ces blocs, à leur sortie du couloir, surveille le fonctionnement de l'appareil, et fait les petites réparations utiles pour qu'il ne résulte pas d'arrêt, ni de ralentissement dans la production. Les argiles vont mieux avec de petites pentes que les sables.

Les dépôts qui ont été ainsi formés ont pris une pente naturelle d'écoulement d'environ un centimètre par mètre. Il est intéressant de faire remarquer que les remblais formés de sables lavés n'ont presque pas eu de foisonnement.

Les résultats obtenus dans la pratique autorisent à dire que la pente des couloirs doit être d'autant plus grande que les matières à transporter sont d'une plus grande densité, et qu'il faut d'autant plus d'eau que les fragments des matières à entraîner sont plus gros.

Bateaux de transport. — Pour recevoir les produits du dragage, on emploie des bateaux spéciaux, construits en fer, à deux fonds, et insubmersibles.

Les bateaux construits, pour le canal de Gand à Terneuzen, sont en fer et à double paroi; l'enveloppe extérieure, qui mesure 25 mètres de longueur, sur 4^m,50 de largeur et 50 centimètres de creux, sert au déplacement, et ses formes ont été étudiées pour que ces bateaux soient commodes pour la navigation. L'enveloppe intérieure sert uniquement à contenir la matière draguée; elle est construite de façon que les godets du débarquement par dragage puissent facilement enlever tout son contenu sans détériorer les parois en tôle. Pour que les compartiments à air soient bien fermés, les ouvertures servant à la visite sont munies d'autoclaves. Ces bateaux, parfaitement étanches, n'ont point besoin de nettoyage, ni d'extraction d'eau; ils portent le maximum de charge utile dont ils sont susceptibles, sans aucune variation, ce que ne permettraient pas des bateaux en bois. Depuis, l'expérience a permis de les faire sensiblement plus grands et de leur donner une capacité de 130 mètres cubes, qui n'est pas encore la limite qu'on peut atteindre.

d. Lorsque les déblais du dragage peuvent être déposés sur la rive du creusement, il est possible d'employer le long couloir adapté directement à la drague.

Cette disposition a été pratiquée pour le canal de Gand à Terneuzen, en 1875 et, plus récemment, pour le creusement du canal de Marans au Brault (*Pl. XVIII, fig. 9 et 10*).

Le long couloir est un demi-cylindre de 30 centimètres de diamètre construit, en tôle d'acier de 4 millimètres d'épaisseur, surmonté de 20 centimètres de hauteur de tôle droite bordée de cornières, et entretoisée à la partie supérieure afin d'obtenir la rigidité et la résistance nécessaires pour la suspension.

Il est supporté par une série de haubans en câbles d'acier, amarrés à la tête d'une bigue de 16 à 20 mètres de hauteur. Cette bigue est posée sur un ponton spécial, rigoureusement lié à la coque de la drague; elle est haubanée, surtout, sur le ponton placé du côté opposé, qui porte la pompe et son moteur.

La drague est ainsi intercalée entre le ponton de la bigue et celui de la pompe; mais rien ne s'oppose à ce que sa coque soit plus forte et même suffisante pour porter la pompe et la bigue, comme l'a fait la Société Huerne, Slaven et C^o, pour le canal de Panama.

Le couloir a son point de départ à environ 2 mètres au-dessous de l'axe de l'arbre d'entraînement des godets, avec une pente de 0^m,40 par mètre, qui se réduit à 0^m,03 pour la plus grande longueur. Le produit de la pompe est projeté dans le sens de la direction du couloir et contribue à l'accélération de vitesse au départ.

A Marans, où l'on draguait de l'argile compacte, il n'était pas rare de voir se succéder, dans le couloir, des blocs de 0^m,30 à 5 secondes l'un de l'autre, sans déterminer de balancement nuisible à tout l'attirail flottant.

Les déblais déversés par le long couloir contiennent environ trois volumes d'eau pour un volume de matières solides; aussi pour empêcher leur retour direct au canal, on leur oppose une banquette entretenue avec soin, puis on les dirige, à peu de distance, dans des bassins de décantation, qui permettent de ramener au canal les eaux qu'on y a empruntées, après qu'elles se sont clarifiées. Pour rendre plus efficace l'action du long couloir, on élève ordinairement le tourteau d'entraînement, surtout, lorsqu'on a une drague où la chaîne à godets est actionnée au moyen de chaînes Gall.

Le long couloir qui s'applique facilement à la drague est encore plus facile à installer avec le débarquement flottant, qui peut déverser ses produits sur le remblai ou les diriger, avec une pente qui ne dépasse pas 0^m,04 par mètre, jusqu'à plusieurs centaines de mètres de distance, rien qu'avec un peu de surveillance et d'entretien de la conduite.

e. La translation, à distance, du produit des dragages, telle que nous l'avons pratiquée à la coupure de Selzaète, pour le canal de Gand à Terneuzen, décrite page 144, et aussi à Trouville pour le curage du bassin à flot, donnerait de bons résultats si on n'était exposé à des arrêts multiples pour le nettoyage des grilles et des pompes.

Ce travail a été pratiqué pour les canaux de Hollande, avec addition d'une pompe, et aussi en France, à quelques installations, dont nous ne connaissons pas les résultats pratiques, ni économiques, mais dont la réussite dépend essentiellement de la nature du terrain.

f. On a essayé, en Angleterre et aussi en France, de transporter des vases demi-liquides dans des pontons fermés; pour les débarquer à terre on fermait l'orifice et on introduisait de l'air comprimé à une pression suffisante, en suivant le principe du siphonnement qu'on pratique dans l'air comprimé.

Lorsque les vases sont suffisamment liquides, le travail va bien; mais si elles se solidifient dans le transport, on doit les agiter de nouveau avant d'introduire la pression.

g. Une autre méthode, qui a été quelquefois pratiquée pour des travaux spéciaux, consiste à apporter les déblais, au moyen de bateaux à clapets, de les déposer dans une enceinte presque fermée et de les aspirer à nouveau, au moyen d'une pompe, pour les conduire, par un tuyau, jusqu'à 4 et 500 mètres de distance. Ce procédé peut devenir économique, si l'on a du sable à transporter, et nous l'avons employé à Lisbonne pour les travaux d'emprise du chemin de fer de Cascaës.

Outillage pour terrassements.

L'outillage pour terrassements consiste particulièrement dans les appareils de transport; dans le choix judicieux du type de wagons et la disposition de la voie ferrée.

En Amérique, où la main-d'œuvre est notablement plus chère qu'en Europe, on a fait des outils pour ouvrir les tranchées de chemins de fer. Ce sont, en général, de grandes cuillères en fer et acier, mises en mouvement; par un moteur à vapeur, installé sur wagon. L'appareil tourne pour pouvoir puiser sa charge au front de la tranchée, en un point quelconque, et charger son produit dans le wagon.

Ces machines, fort ingénieuses, ont été décrites par M. Malézieux, dans son rapport de mission; on en a fait usage en Europe, mais elles n'ont pas donné les résultats économiques, ni le rendement journalier, qu'on avait annoncés. Il ne semble pas qu'on en ait fait un grand emploi.

Au contraire, l'excavateur inventé par M. Couvreur, notre associé de Vienne et d'Anvers s'est développé et a reçu de nombreuses applications.

Cet excavateur est une sorte de drague montée sur chariot roulant, qui circule, pour plus de stabilité, sur une voie à trois rails. Comme les dragues, il a une élinde servant de support et de guide à une chaîne sans fin, munie de godets, et passant autour d'un rouleau à la partie inférieure. Une machine d'environ 20 chevaux agit sur le tourteau, à 6 pans et à cames, qui entraîne, à la partie supérieure, la chaîne à godets, avec le contenu de l'extraction. Une autre machine de 4 chevaux fait avancer l'appareil sur sa voie, selon les besoins du travail.

Les godets, qui enlèvent le sol, s'emplissent en grattant le talus dans leur course, de bas en haut, sous l'élinde; ils sont en tôle de fer ou d'acier, mais, en tous cas, garnis d'acier et montés sur deux maillons de chaîne Gall, qui servent à l'entraînement.

Les deux chaînes sont entretoisées par les godets et passent, en montant, sur une poulie folle placée à la hauteur de la voie et qui sert de support aux godets chargés sous l'élinde. Cette disposition diminue notablement les frottements en évitant une trop grande tension de la chaîne. Cette poulie folle a aussi pour effet d'éloigner les godets de la voie et de lui ménager un peu plus de solidité.

Les godets chargés, montant par-dessous, se vident par un déplacement automatique du fond, qui se produit par la disposition des attaches du godet et du fond sur la chaîne.

Lorsque le godet s'engage sur une face du tourteau d'entraînement, le fond s'appuie sur une autre face contiguë; il en résulte une ouverture qui permet au déblai élevé de tomber dans un couloir incliné, au moyen duquel il est conduit dans le wagon, sur une voie latérale, à proximité de celle de l'excavateur.

Nous insistons beaucoup sur cette remarquable disposition des godets, qui donne de très beaux résultats, surtout dans les terrains de gravier, parce que chaque godet se vide exactement pendant la rotation qu'il fait autour du tourteau d'entraînement, et que, sitôt revenu dans la direction rectiligne, il se ferme exactement pour se remplir de nouveau en montant.

Par sa disposition, l'excavateur peut creuser une fouille à côté et en contre-bas de la voie, qui lui sert de support et de guide, pour déposer les déblais de l'autre côté, soit à terre, pour former directement un remblai continu, soit dans des wagons, pour le transporter.

Il peut également prendre les déblais au niveau de la voie et au-dessus; mais, dans ce cas, on lui met d'autres godets et il fonctionne à la manière des dragues; les godets descendent vides au-dessous de l'élinde, et remontent chargés au-dessus. Cette disposition, peu usitée jusqu'à présent, conviendrait pourtant bien pour charger sur wagons le ballast d'entretien des chemins de fer, et, par la légèreté relative qu'elle donne à l'excavateur, elle en fait un engin très pratique.

Les ripages successifs de la voie sur laquelle circule l'excavateur, et aussi de celle sur laquelle viennent se placer les wagons à charger, permettent d'élargir la fouille et de faire un travail continu, à la condition d'avoir une longueur de charge suffisante.

Les excavateurs employés à la régularisation du Danube, à Vienne, ont fourni 4,300 mètres cubes, par jour de 13 heures; ils étaient desservis par 2 locomotives, et le terrain était propice.

On a construit, depuis cette époque, plusieurs types d'excavateurs, mais la forme donnée par M. Couvreur est demeurée la bonne. Le canal de Panama en a reçu un grand nombre.

Une forme particulière d'excavateur, destiné à ouvrir une tranchée de chemin de fer, a été étudiée et construite pour le canal de Panama, elle consiste en un wagon à large voie supportant un appareil dragueur, monté sur une plate-forme tournante, qui permet d'attaquer la tranchée de front, comme les excavateurs américains, avec cette différence que l'appareil est à mouvement continu, au lieu d'être à mouvement alternatif.

On a également construit une série d'excavateurs, chargeant latéralement le déblai pris au niveau de la voie, auxquels on a pu appliquer des tabliers-porteurs de diverses dimensions.

Enfin, on a construit de grands tabliers-porteurs mus par la vapeur, ayant pour but

de déposer, jusqu'à 400 mètres, le produit du dragage des excavateurs. Ces porteurs sont formés d'une longue passerelle qui sert d'appui à une bande de caoutchouc sur laquelle on déverse les déblais, elle repose sur plusieurs voies ferrées, parallèles à celle de l'excavateur, dont l'appareil suit le mouvement.

On doit être circonspect, sur l'emploi de ces outils, dont la dépense d'installation est considérable et qui ne sont susceptibles de grand rendement que dans les terrains appropriés. Le résultat est quelquefois négatif, quand on rencontre des difficultés de détail qui en embarrassent le fonctionnement. Jusqu'ici, c'est le chargement des wagons en galerie, quand il a été possible, qui a permis de faire les grandes tranchées de chemin de fer avec la plus grande rapidité et la plus grande économie.

VOIE. — Le choix de la voie dépend du volume à déplacer et de la distance à parcourir.

Pour les petites distances, le wagonnet, avec la voie portative de 0^m,40 à 0^m,50, est tout indiqué. Les wagonnets, qui peuvent avoir une capacité de 0^m,50 donnent des résultats économiques intéressants et sont très employés.

Pour les distances dépassant 500 mètres et les volumes dépassant 500 mètres cubes par jour, il est généralement préférable d'employer la voie d'un mètre, et des wagons dont la caisse a 2 mètres cubes de capacité; lorsque la distance du transport dépasse un kilomètre, on a généralement intérêt à faire la traction par locomotives.

Le wagon, à la voie d'un mètre, est très employé et répond à de grands besoins, il est souvent préféré au véhicule à la voie normale pour l'exploitation des carrières, parce qu'il peut circuler sur des voies de plus petit rayon et être, quand même, chargé de 5 à 6 tonnes, lorsqu'il est renforcé.

Pour les tranchées importantes de chemins de fer, pour desservir les excavateurs et autres dispositifs de chargement, on doit employer la voie normale, qui, seule, permet d'obtenir de gros trains et d'augmenter aussi les unités de mouvement et de charge. Il faut même, pour cela, employer des wagons d'une grande capacité, sans quoi, on a des pertes de temps importantes. A Vienne, le wagon employé pour desservir les excavateurs et les débarquements avait une capacité de 4 mètres cubes, et on le chargeait en une ou deux minutes; dans le même ordre d'idées, nous avons construit, pour Panama, des wagons d'une capacité un peu plus grande, basculant pour la décharge. Nous indiquons (*Pl. XII, fig. 4 à 11*) les types de wagons employés dans les ouvrages que nous avons exécutés :

Wagons à voie de 1 mètre pour terrassements et pour carrières.

—	4 ^m ,50	—	(basculant sur l'essieu).
—	4 ^m ,50	—	(versant de côté, Vienne).
—	4 ^m ,50	—	(Panama).



TABLE DES MATIÈRES

	Page
Préface	3
Introduction	5
Liste des principaux ouvrages auxquels M. Hersent a participé, ou qu'il a exécutés comme entrepreneur	7
Récompenses reçues	12

CHAPITRE I

Travaux exécutés au moyen de l'air comprimé.

Considérations générales sur l'emploi de l'air comprimé pour l'exécution des travaux publics.	14
Description succincte des fondations du pont sur le Rhin, à Kehl (1859-1860).	18
Fondation des ponts sur la Seine, à Argenteuil, Orival et Elbeuf.	22
Fondation des ponts sur le Rhône, à Arles et Saint-Gilles, et sur l'Adige, à Rovigo, en 1865.	24
Pont route sur le Rhône, à Arles.	26
Batardeau démontable pour le port de Brest.	29
Quais des ports de Bône et de Brest.	33
Fondation du pont sur le Doubs, à Molay.	34
Arrière-radier parafouille de l'écluse de chasse de Honfleur, 1875.	35
Bassins de radoub de Missiessy, construits pour le port de Toulon.	37
Piles du viaduc du Val Saint-Léger, près Saint-Germain-en-Laye (1878).	53
Puits filtrants.	56
Installations maritimes du port d'Anvers.	58
Construction des écluses de Saint-Aubin, près Elbeuf.	86
Construction d'un bassin de radoub, à l'arsenal de Saïgon.	91
Écluse du Carnot.	101
Travaux du port de Lisbonne.	103

CHAPITRE II

Travaux de dragages et dérochements.

	Page
Amélioration de l'outillage	117
Régularisation du Danube, à Vienne	120
Canal de Gand à Terneuzen	143
Dérochements sous-marins à Brest, Cherbourg et Lorient	146
Canal de Marans au Braulif	149
Amélioration de la Charente maritime	150
Travaux du canal de Panama	153
Emprise sur le Tage, d'Alcantara à Belem, pour la construction du chemin de fer de Lisbonne à Cascaes	155

CHAPITRE III

Terrassements et exploitation de carrières.

Terrassements	157
Tranchées exécutées en cunettes	158
Tranchées en galerie	158
Exploitation des carrières	160

CHAPITRE IV

Outillage des Travaux publics.

§ 1. — Outillage pour l'emploi de l'air comprimé	164
Disposition des caissons métalliques des bassins de radoub de Missiessy, à Toulon	166
Cheminées des caissons	169
Écluses à air des caissons	170

Siphonnement.	172
Compresseurs d'air	173
Batardeaux mobiles pour caissons semblables. — (Port d'Anvers)	175
Échafaudage flottant. d°	176
Batardeaux mobiles pour caissons différents. — Écluses de Saint-Aubin.	178
Batardeaux mobiles pour piliers à poser sous l'eau. — Port de Lisbonne	180
Échafaudages flottants d°	181
Moyens de manutention.	182
Cloche plongeante employée pour dérochements sous-marins	184
§ 2. — Dragues.	191
Drague à une seule élinde inclinée	193
Drague verticale	194
Drague de Boulogne (1862).	195
Drague de Vienne (1870).	196
Dragues chargeant les wagons	198
Dragues du canal de Gand à Terneuzen	200
Dragues à long couloir.	201
Dragues de Toulon (1875).	203
Dragues de Panama, Rochefort et Saigon (1882)	204
Dragues d'approfondissement, à élinde inclinée (1882).	206
Dragues porteuses.	207
Draguette	207
Pompes à sable.	208
§ 3. — Transports des produits dragués	210
Divers modes de transport des déblais dragués.	210
Outillage pour terrassements, excavateurs, voies, wagons.	216

NOMENCLATURE DES PLANCHES

CHAPITRE I

Travaux exécutés au moyen de l'air comprimé.

- Pl. 1. — Caissons.
- Pl. 2. — Construction de deux bassins de radoub dans la darse de Missiessy, à Toulon.
- Pl. 3. — Puits filtrants, pour eau potable, ville de Chambéry.
- Pl. 4. — Nouvelles installations maritimes d'Anvers.
- Pl. 5. — Nouvelles installations maritimes d'Anvers.
- Pl. 6. — Ecluse de Saint-Aubin, près d'Elbeuf, sur la Seine.
- Pl. 7. — Construction d'un bassin de radoub, dans l'arsenal de Saïgon.
- Pl. 8. — Ecluse du Carnet. — Canal de la Besse-Loire.
- Pl. 9. — Port de Lisbonne.

CHAPITRE II

Travaux de dragage et dérochement.

- Pl. 10. — Régularisation du Danube, près Vienne.
- Pl. 11. — Dérochement de la roche « la Rose », à Brest.

CHAPITRE III

Terrassements et exploitation de carrières.

- Pl. 12. — Tranchées exécutées en galeries et wagons de terrassement et de carrière.

CHAPITRE IV

Outillage.

- Pl. 13. — Écluses à air des caissons et des cloches à dérochements.
- Pl. 14. — Compresseur d'air avec rafraîchisseur automatique.
- Pl. 15. — Appareils de manutention.
- Pl. 16. — Appareils de manutention des travaux du port de Lisbonne.
- Pl. 17. — Cloche à plongeur employée au dérochement des roches sous-marines.
- Pl. 18. — Dragues.
- Pl. 19. — Dragues de Rochefort et Saïgon.
- Pl. 20. — Draguette pour le curage des canaux.
- Pl. 21. — Treuil de drague.
- Pl. 22. — Débarquement flottant et bateaux de transport.

CAISSONS

Caissons des piles du Pont sur le Rhin, à Kehl.

Fig. 1. Coupes: sur l'axe d'une cheminée d'extraction. | sur l'axe du chemin de halage.

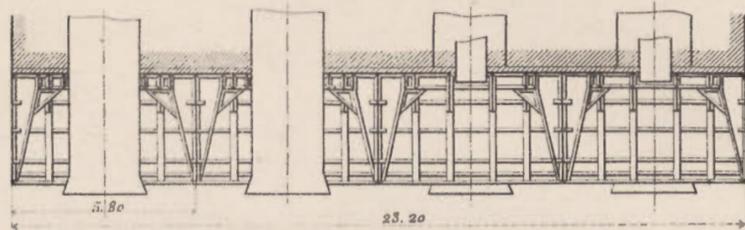


Fig. 2. Coupe transversale.

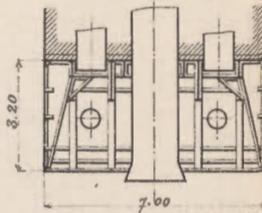
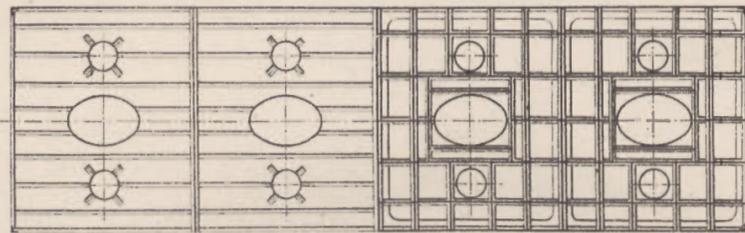


Fig. 3. Plans: sur le plafond. | sous le plafond.



Caissons des piles du Pont du Chemin de fer sur le Rhône, à Arles.

Fig. 4. Coupe longitudinale.

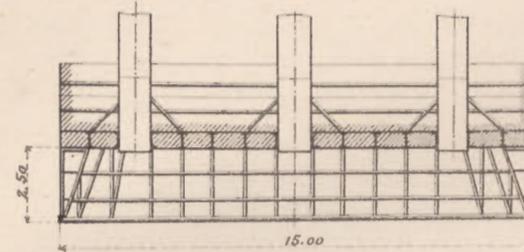


Fig. 5. Coupe transversale.

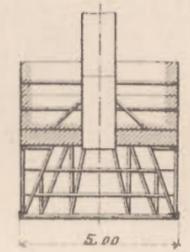
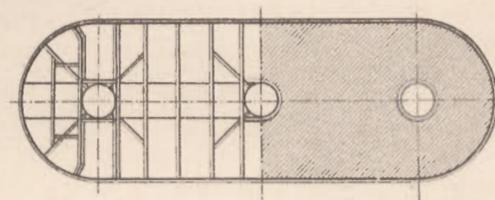


Fig. 6. Plans: sur le plafond. | sous le plafond.



Caissons des murs de quai de la darse du Port de Bône.

Fig. 10. Coupe longitudinale.

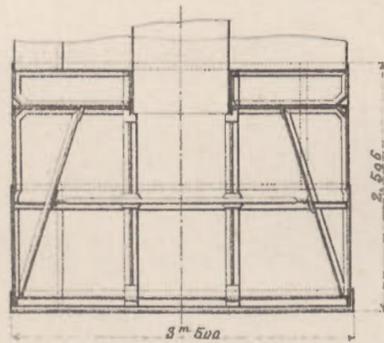


Fig. 11. Elévation transversale.

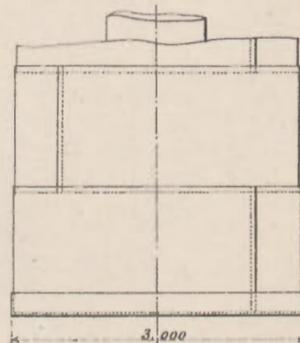
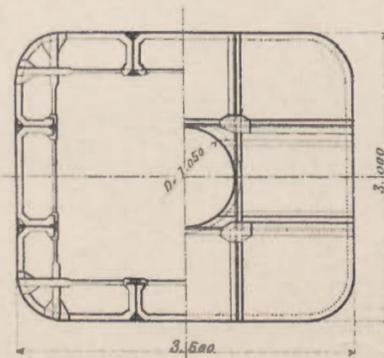


Fig. 12. Plan.



Echelles:

Fig. 1 à 9: 5 m/m par mètre.
Fig. 10 à 12: 15 m/m par mètre.

Caissons des piles du pont route sur le Rhône à Arles.

Fig. 8. Coupe transversale.

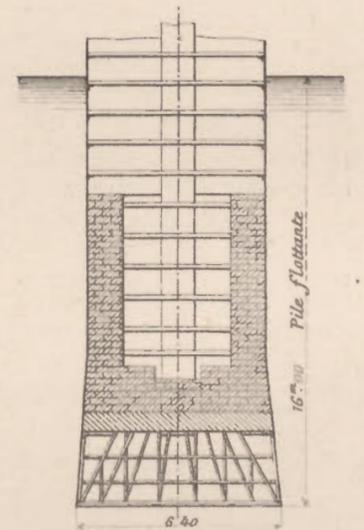


Fig. 7. Coupe longitudinale.

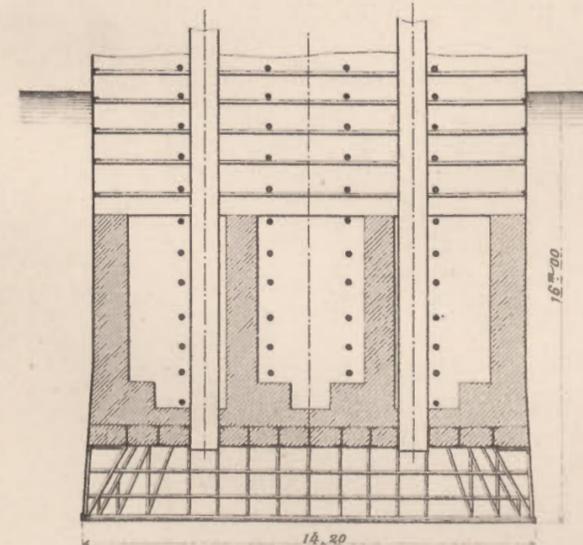


Fig. 9. Plans: sur les maçonneries | sur les poutres.

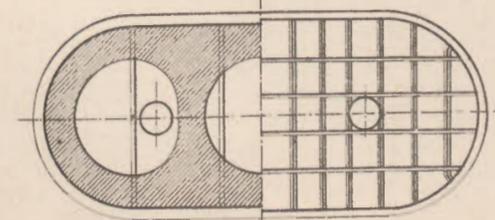
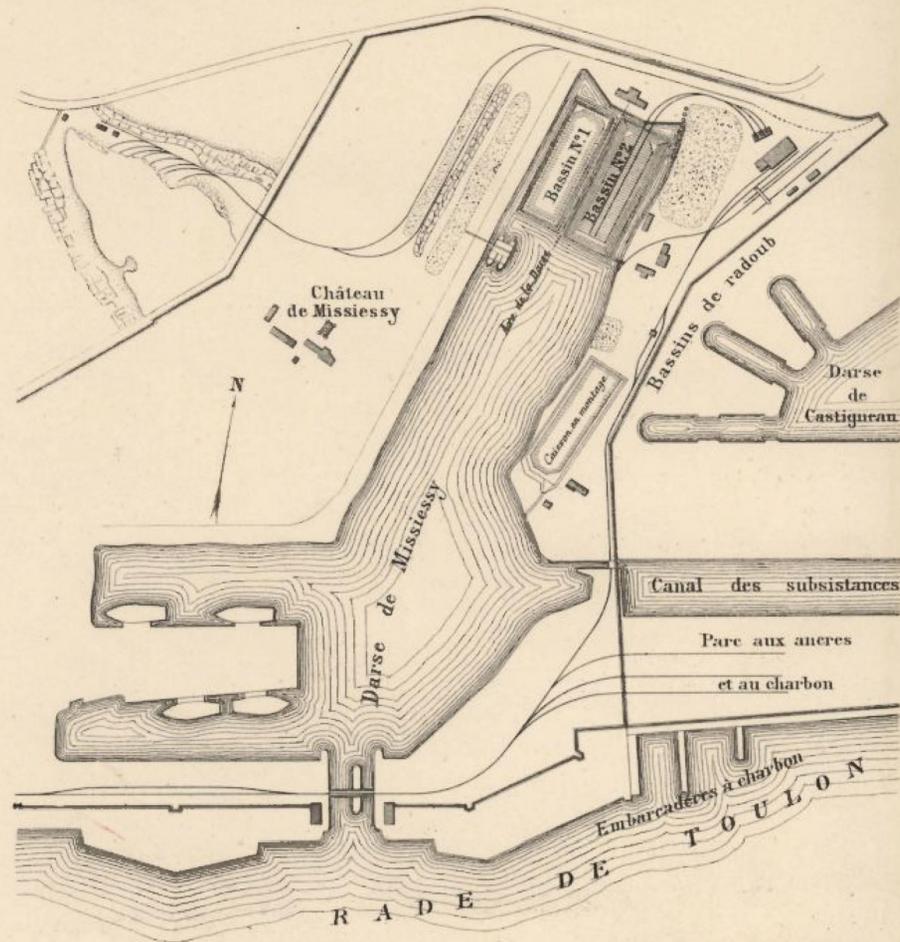


Fig. 1. Plan général de la Darse.

Installation des Chantiers.



PORT DE TOULON - CONSTRUCTION DE DEUX BASSINS DE RADOUB DANS LA DARSE DE MISSIESSY

Fig. 2. Disposition d'ensemble d'un Bassin de Radoub.

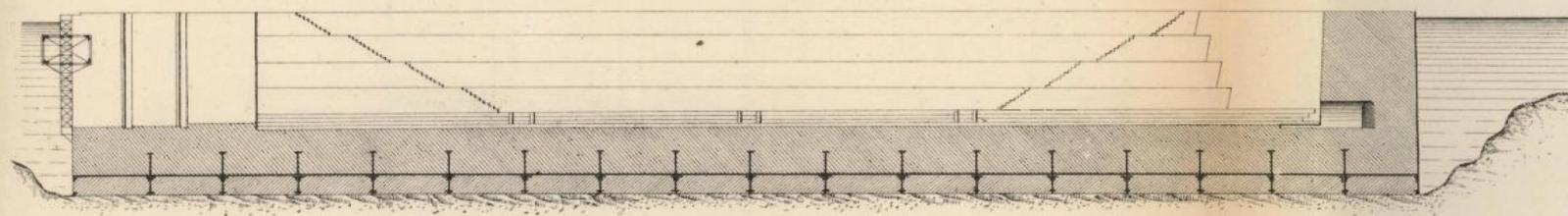


Fig. 3.

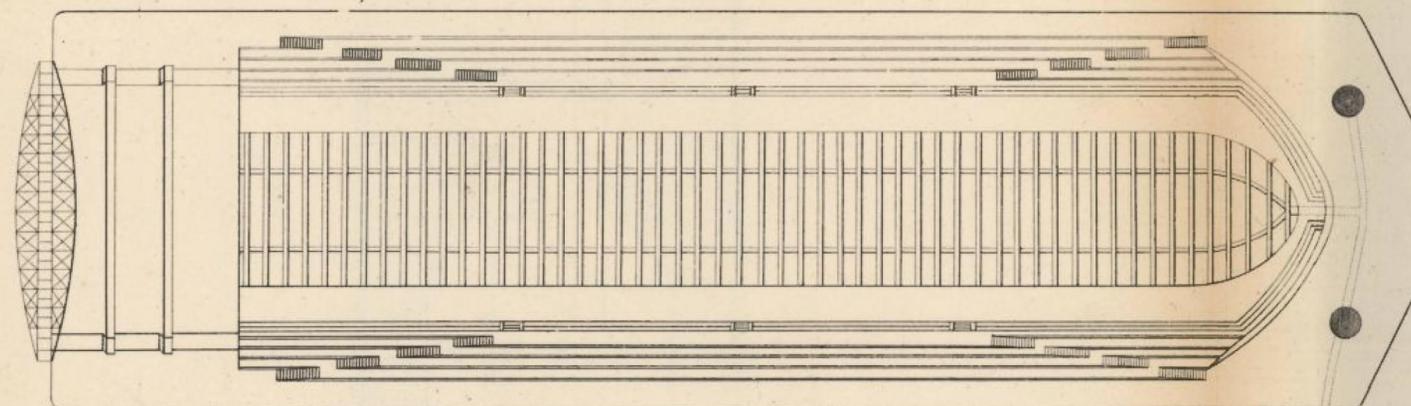
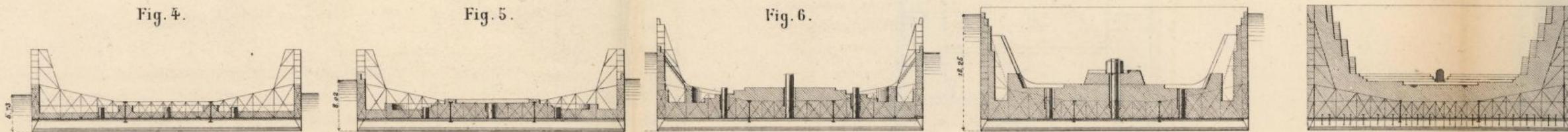


Fig. 7.

Fig. 8.



Echelles:

- Fig. 1. — 0^m00017 par mètre
- Fig. 2 à 8 — 0^m002 par mètre
- Fig. 9 à 11 — 0^m005 par mètre

Fig. 9. Détails des caissons métalliques.

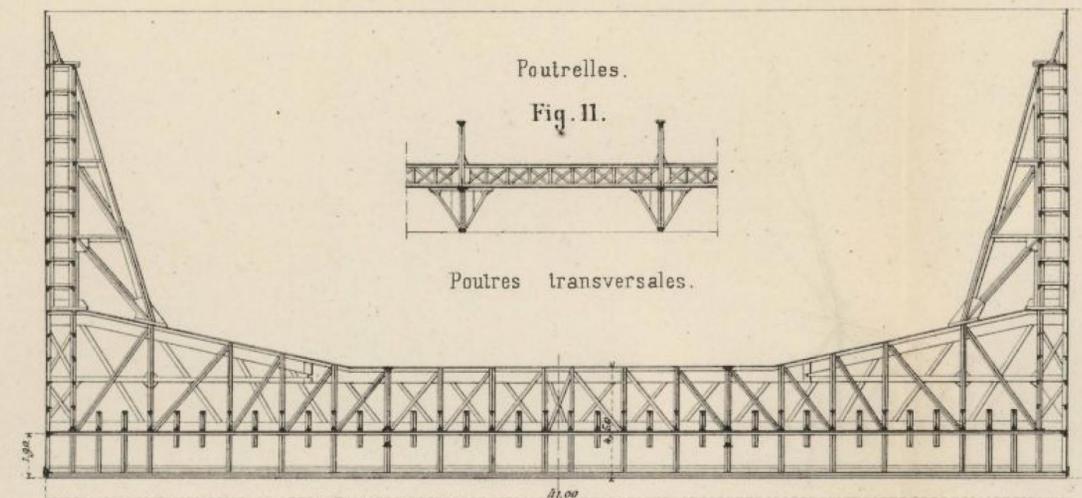


Fig. 10. Batardeau de l'entrée.

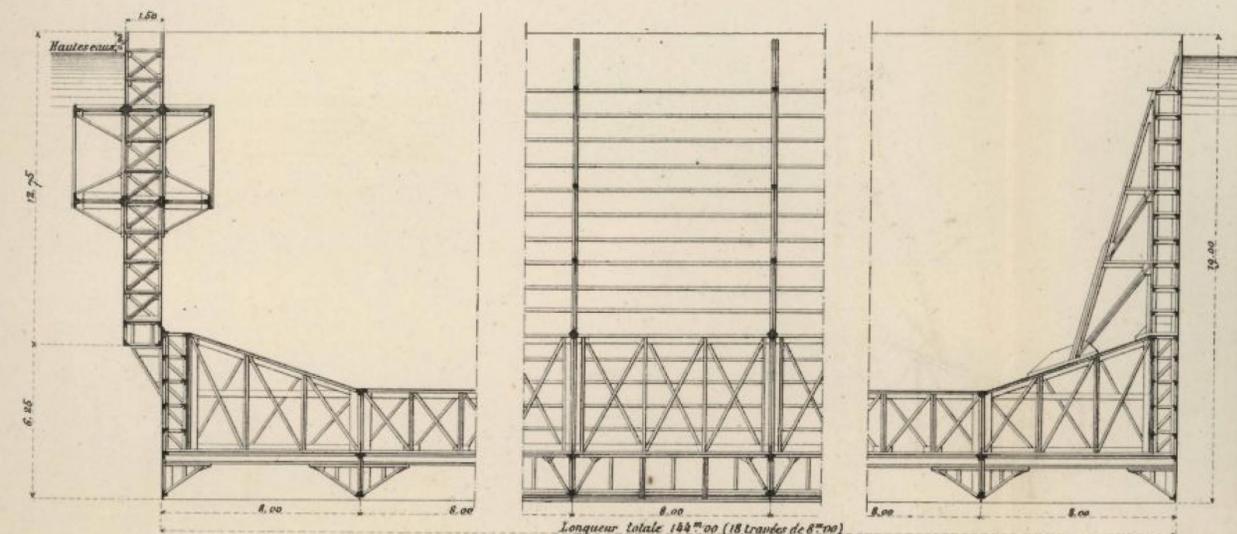
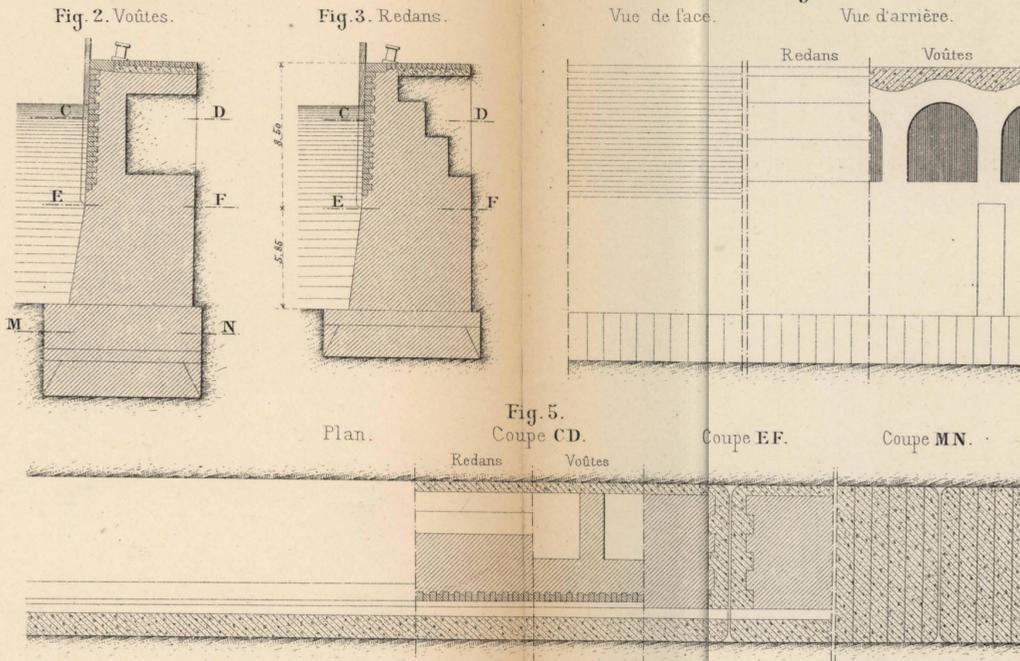


Fig.1. Plan Général.



NOUVELLES INSTALLATIONS MARITIMES D'ANVERS.

Murs de Quai.



Enclave avec embarcadère flottant de 100^m sur 20^m.

Fig. 2. Elévation à marée basse.

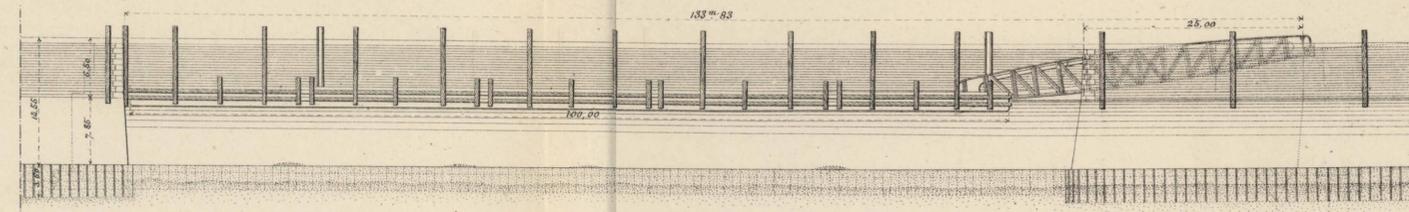


Fig. 9. Coupe CD à marée haute.

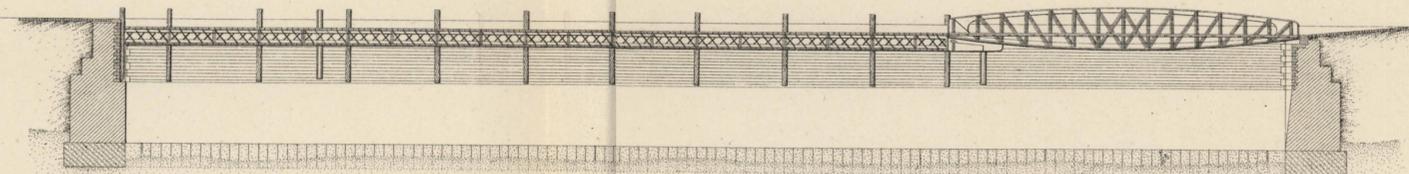


Fig. 10. Plan.

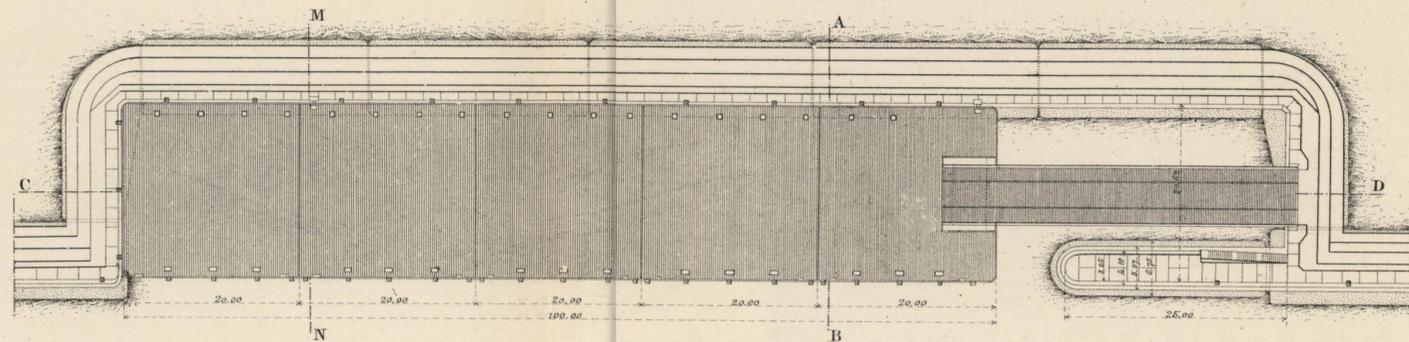


Fig. 11. Coupe AB.

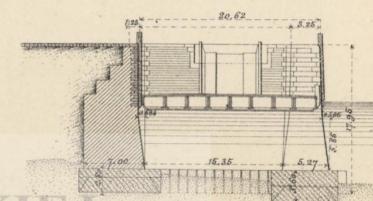
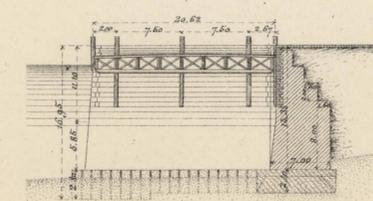


Fig. 12. Coupe MN.



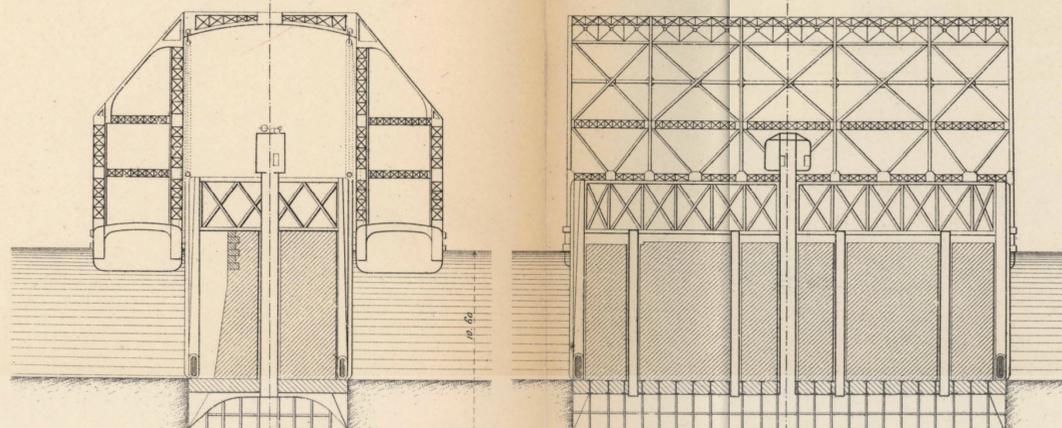
Echelles:

- Fig. 1 — 0^m008 par mètre
- Fig. 2 à 7 — 0^m004 par mètre
- Fig. 8 à 12 — 0^m002 par mètre
- Fig. 13 — 0^m005 par mètre
- Fig. 14 et 15 — 0^m025 par mètre
- Fig. 16 — 0^m010 par mètre

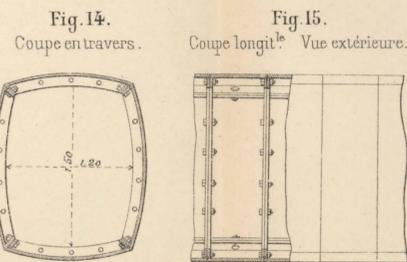
Echafaudage flottant, Batardeau mobile.

Fig. 6. Coupe transversale.

Fig. 7. Coupe longitudinale.



Détails des conduites en fonte.



Echelles

Fig. 16.

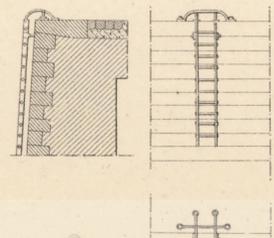
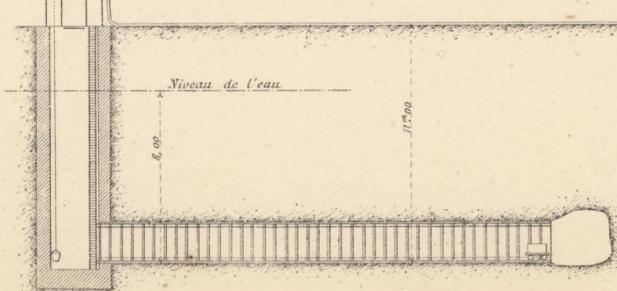


Fig. 13. Galerie souterraine construite au moyen de l'air comprimé.



Ecluse .Mur de quai du bassin de batelage et digues de raccordement.

NOUVELLES INSTALLATIONS MARITIMES D'ANVERS.

Caisson de 40^m sur 23^m pour la fondation de l'écluse (Tête aval)

Fig.2. Coupe longitudinale par l'axe.

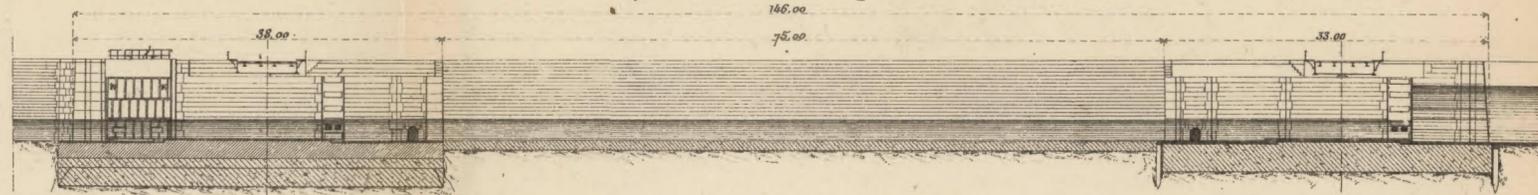
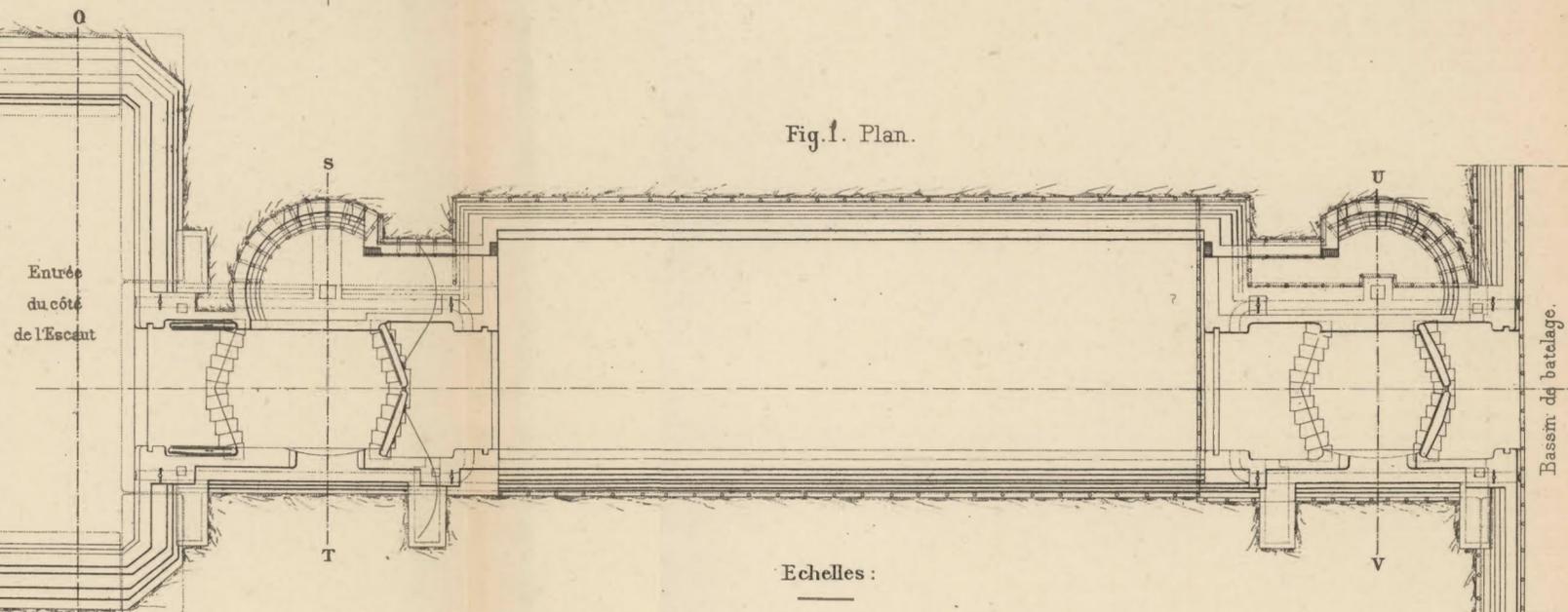


Fig.1. Plan.



Echelles :

- Fig. 1 à 6 . 0^m002^m par mètre.
- Fig. 7 à 9 . 0^m005^m par mètre.
- Fig. 10 à 13 . 0^m004^m par mètre.

Fig.6.

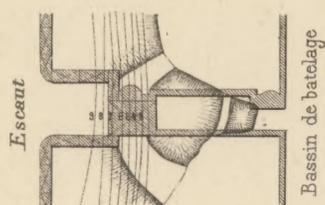


Fig.3. Coupe ST.

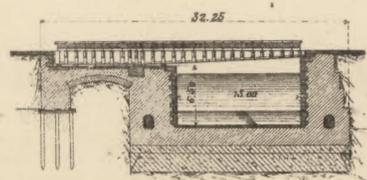


Fig.4. Coupe UV.

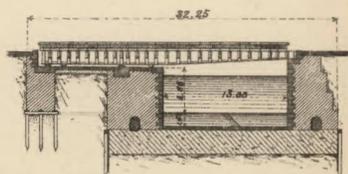


Fig.5. Vue de face et coupe O P.

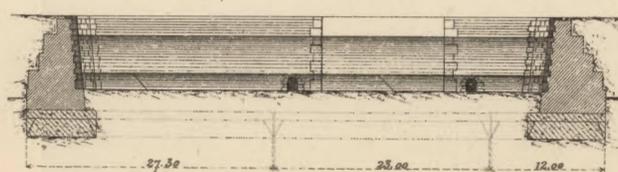


Fig.7. Mur de quai du bassin de batelage.

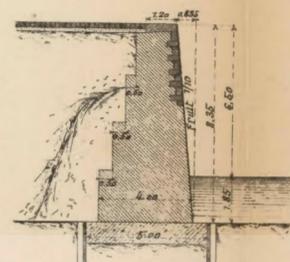


Fig.10. Coupe longitudinale ABCD.

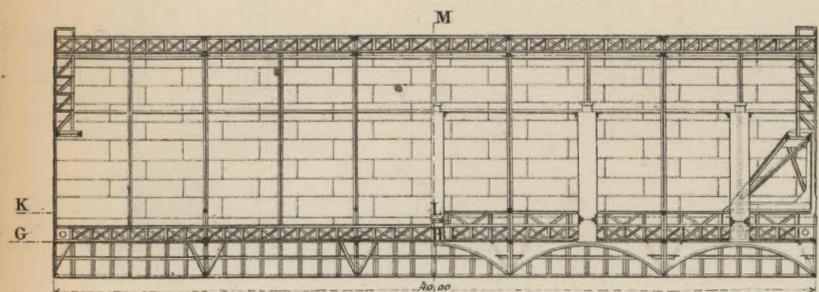


Fig.11. Plan.

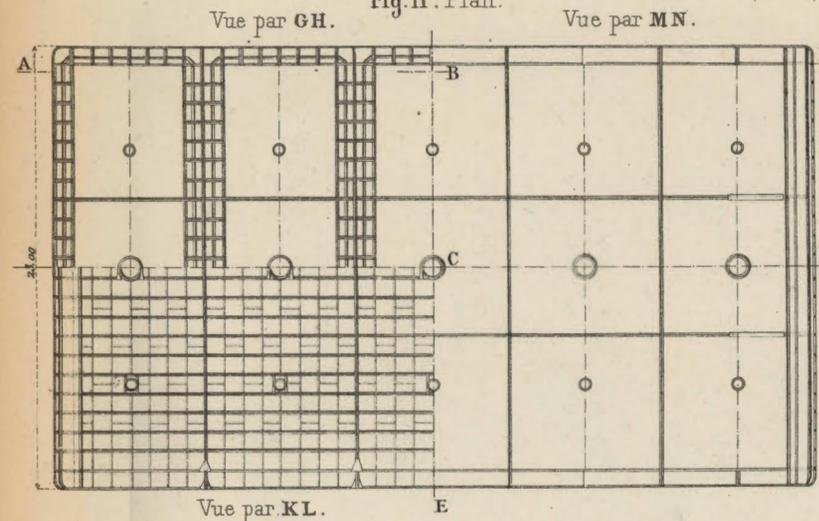


Fig.12. Coupe transversale ECDF.

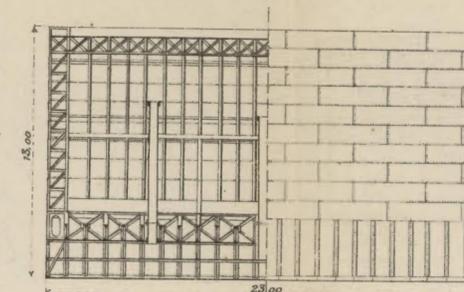
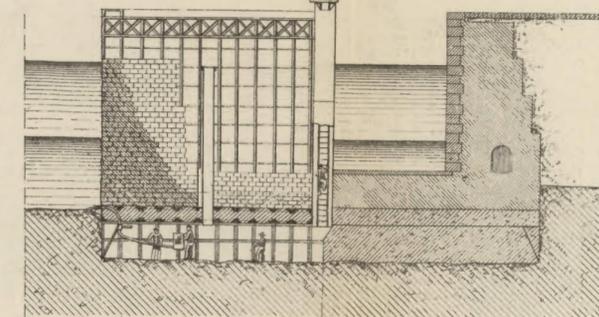


Fig.13.

1/2 Coupe exécution du travail. 1/2 Coupe travail terminé.



Digues de raccordement.

Fig.8. Coupe en travers.

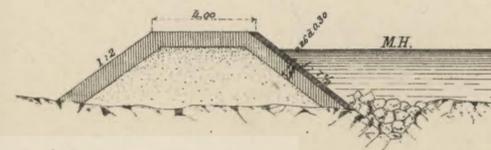


Fig.9. Coupe en travers.

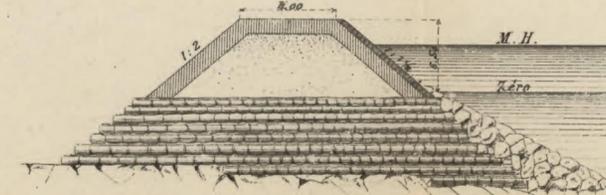
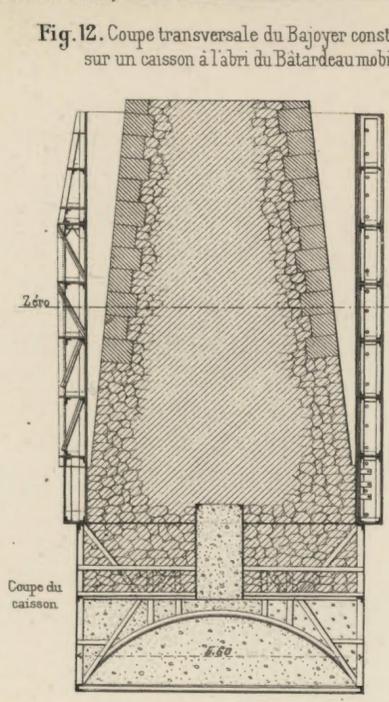
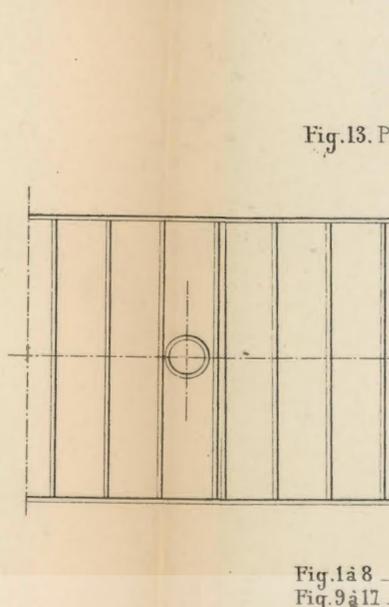
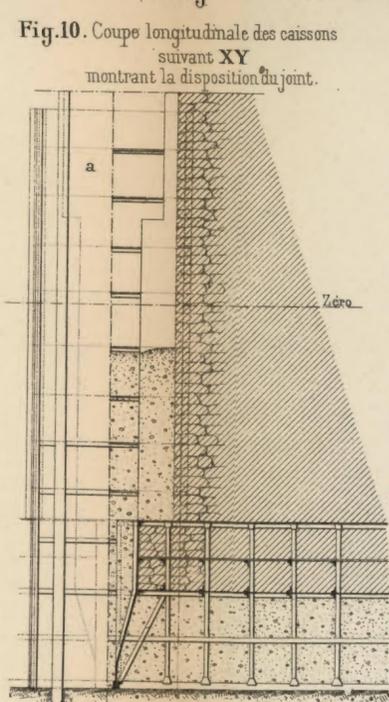
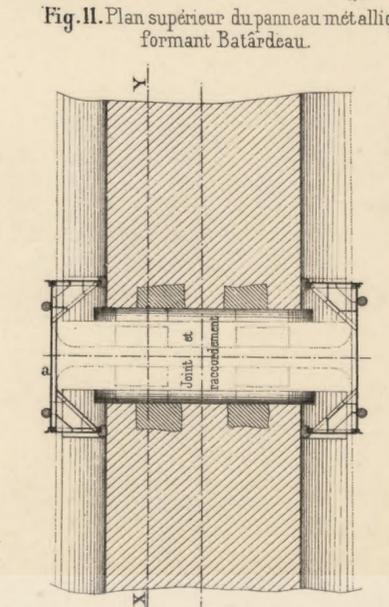
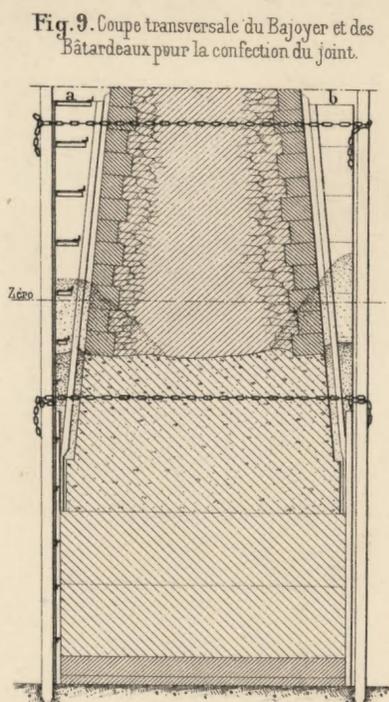
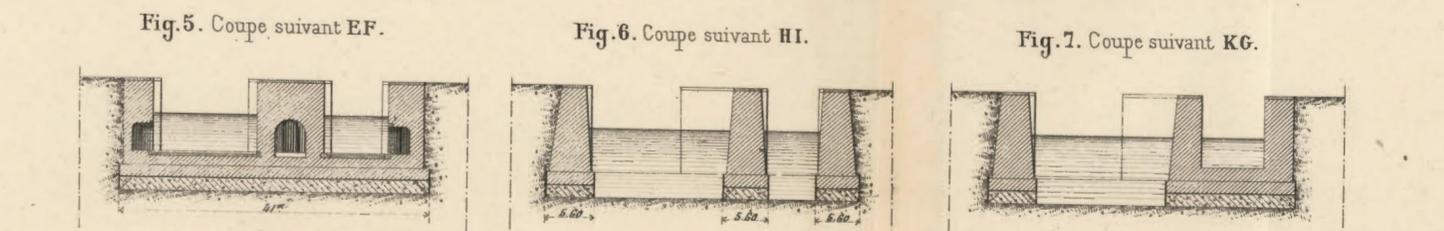
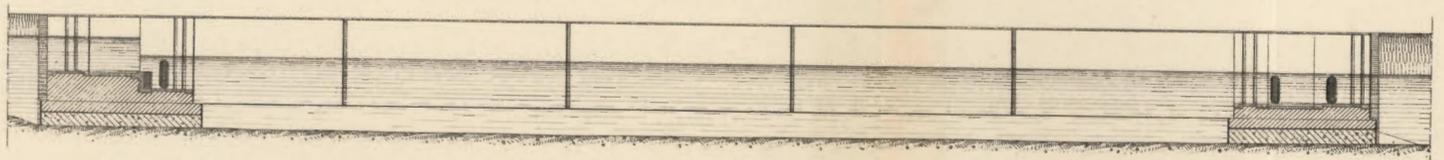
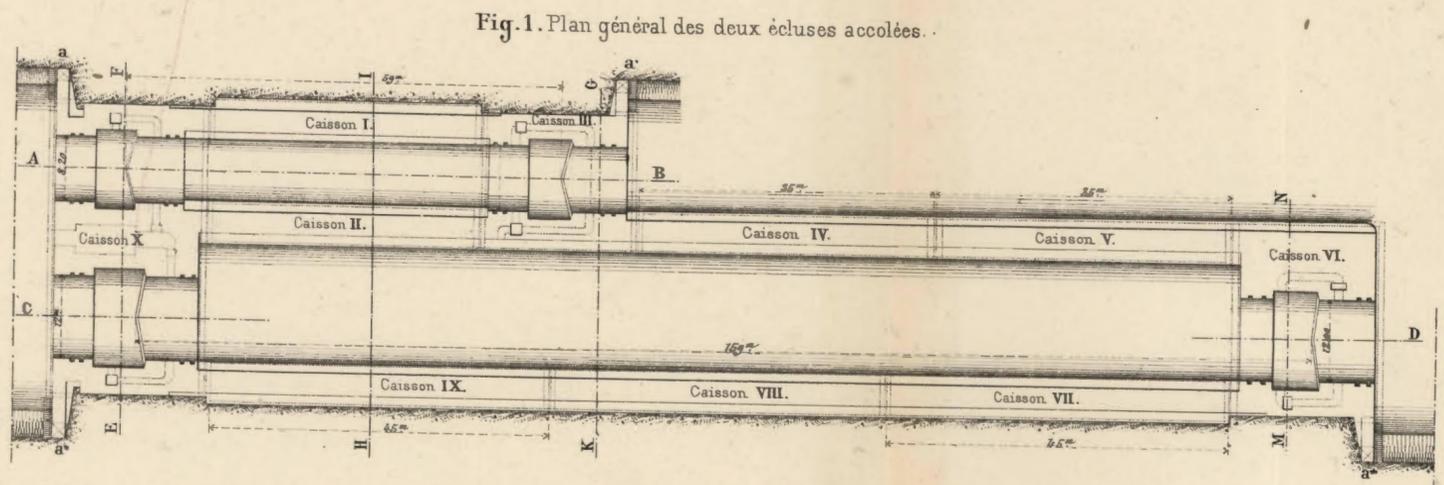
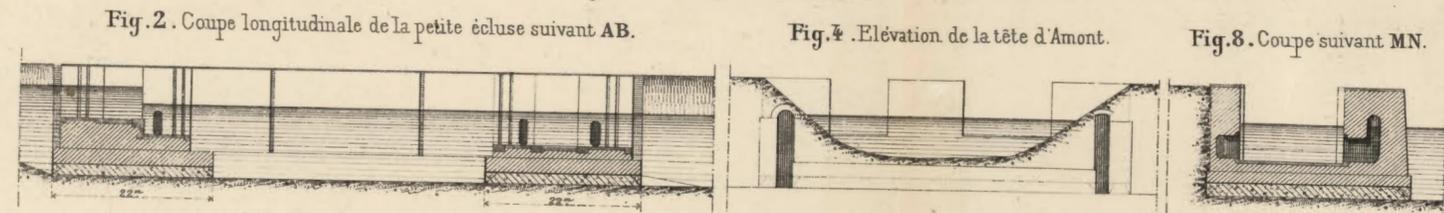


Fig.1à8. Plans d'ensemble.

ECLUSES DE S^T AUBIN, PRÈS D'ELBEUF, SUR LA SEINE.

Fig.9à17. Détails des caissons, des batardeaux et des joints.



Echelles:
 Fig.1à8 — 0^m0015 par mètre.
 Fig.9à17 — 0^m001 par mètre.

ECLUSE DU CARNET.

Canal de la Basse-Loire

Fig.1. Elevation-coupe suivant GHIJKL.

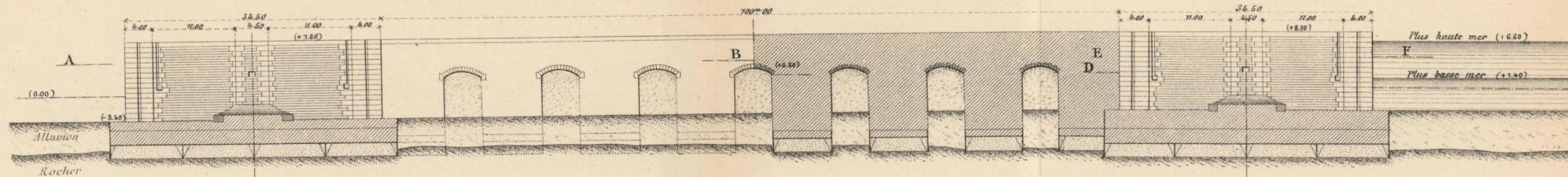
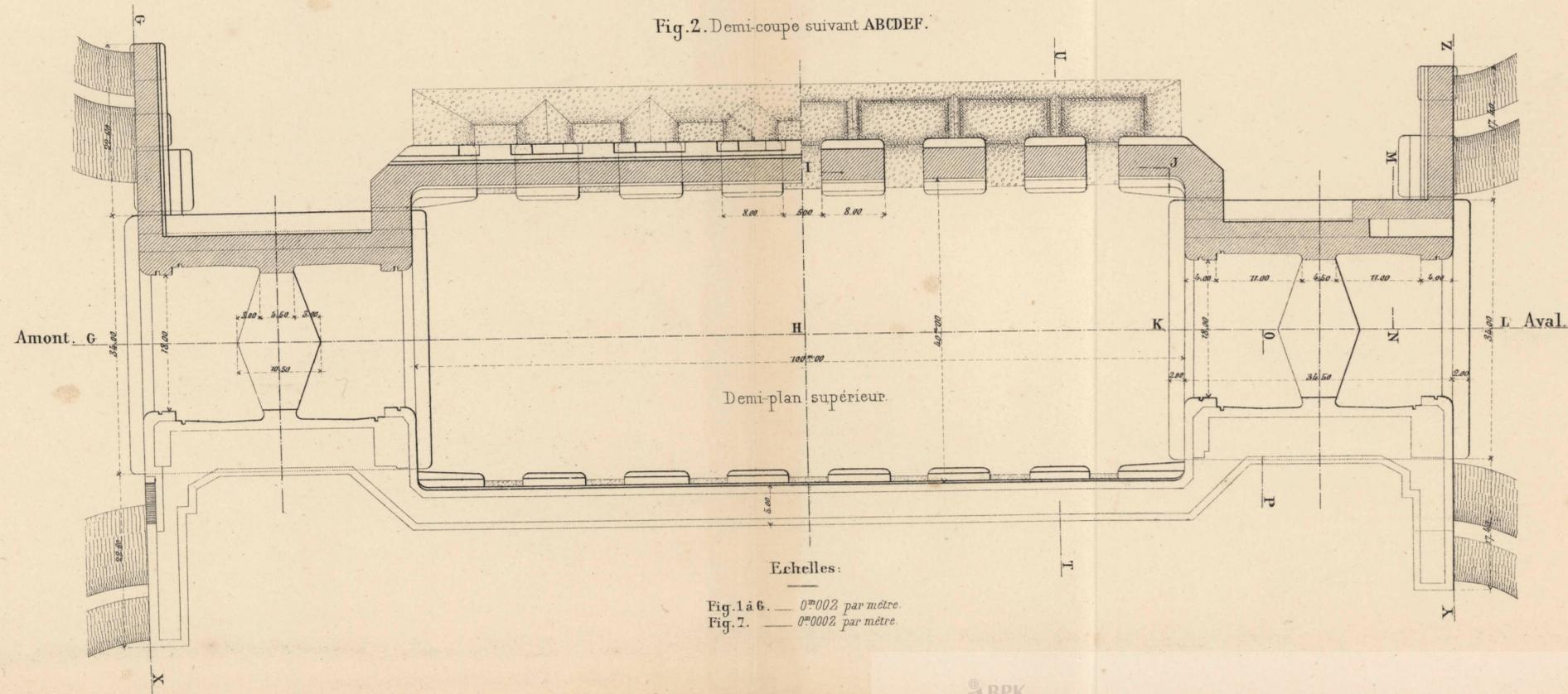


Fig.2. Demi-coupe suivant ABCDEF.



Echelles:
 Fig. 1 à 6. — 0^m002 par mètre.
 Fig. 7. — 0^m0002 par mètre.

Fig.3. Coupe suivant MNOP.

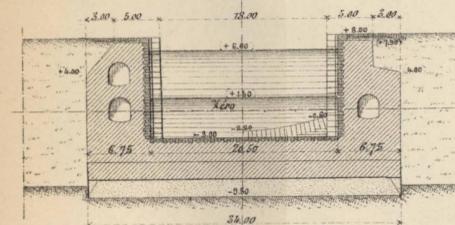


Fig.4. Coupe suivant UT.

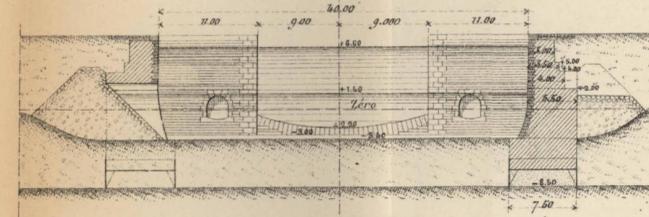


Fig.5. Elevation de la tête amont. Coupe suivant GH.

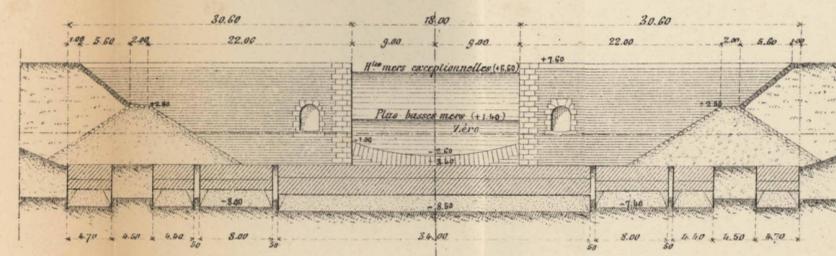


Fig.7. Abords de l'écluse.

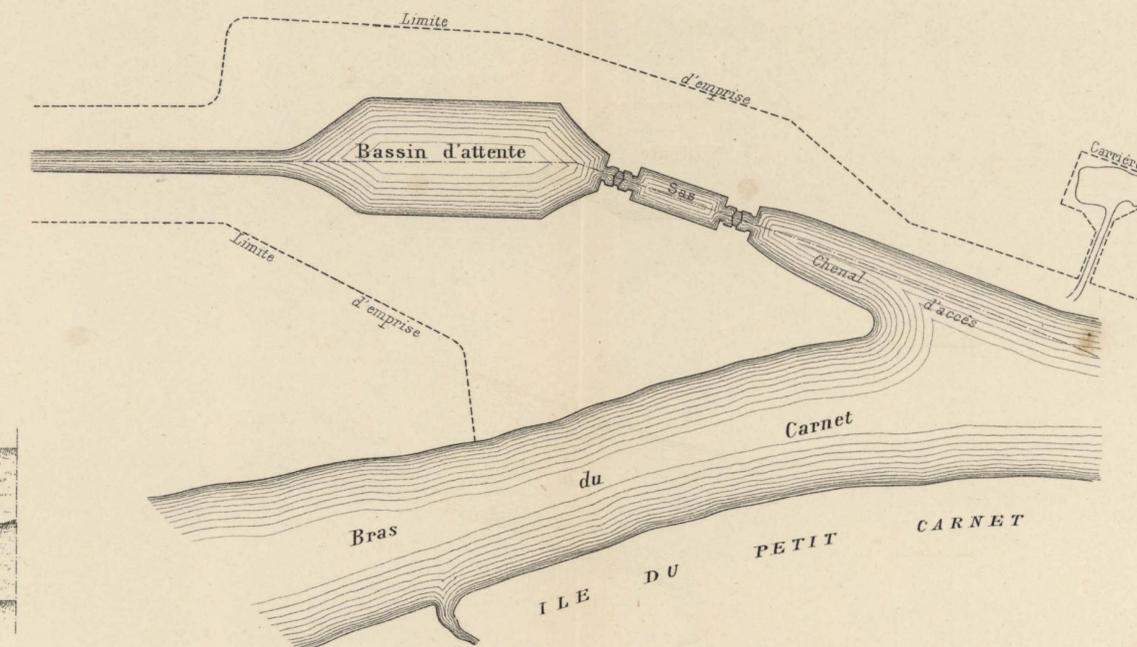
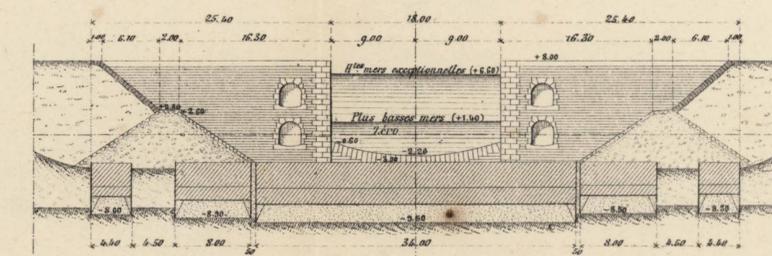
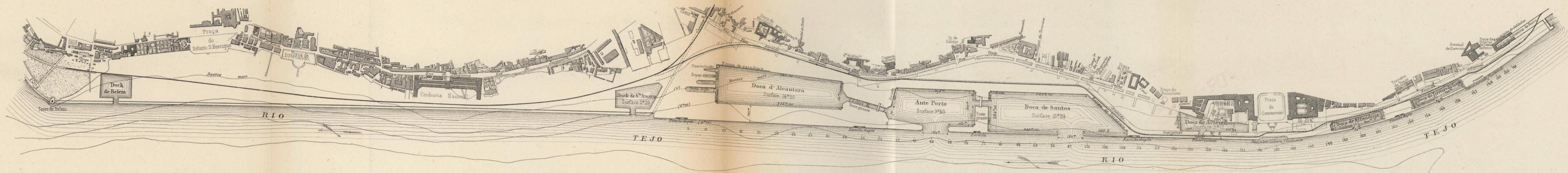


Fig.6. Elevation de la tête aval. Coupe suivant YZ.



PORT DE LISBONNE

Fig. 1. Plan général des dispositions du Port.



Disposition des murs de Quai à 10^m00 sous zéro.

Fig. 2. Coupe transversale.

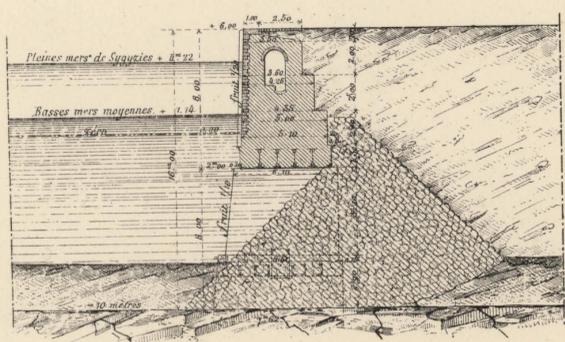


Fig. 3. Elévation.

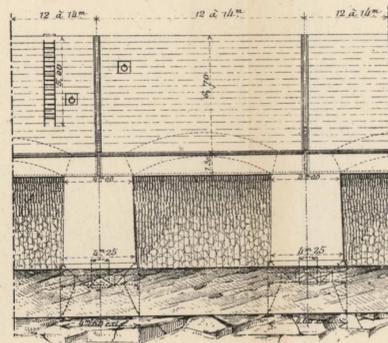
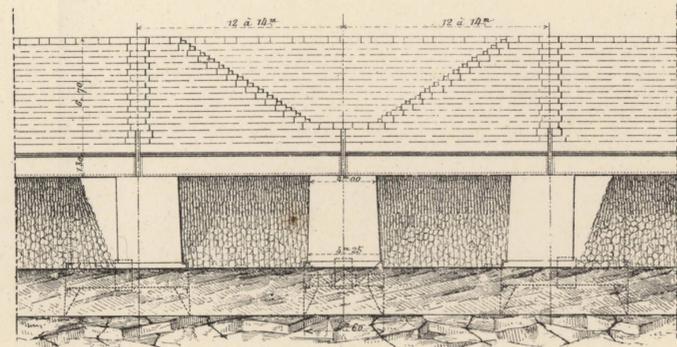
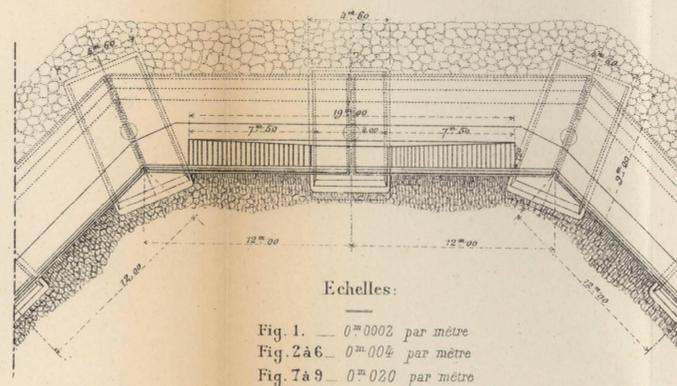


Fig. 4. Elévation.



Escaliers.

Fig. 5. Plan.



Echelles:

Fig. 1. — 0^m0002 par mètre
 Fig. 2 à 6. — 0^m004 par mètre
 Fig. 7 à 9. — 0^m020 par mètre

Disposition des bollards.

Fig. 7. Coupe.

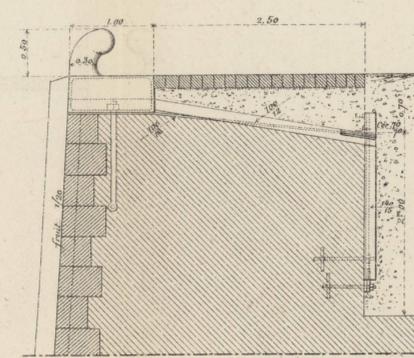


Fig. 8. Plan.

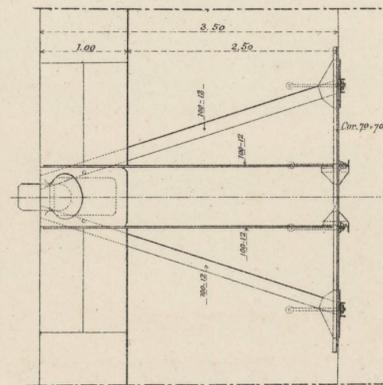
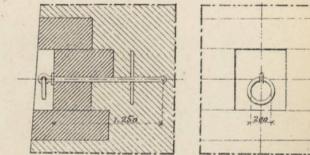


Fig. 9. Organeaux.



RÉGULARISATION DU DANUBE, PRÈS VIENNE.

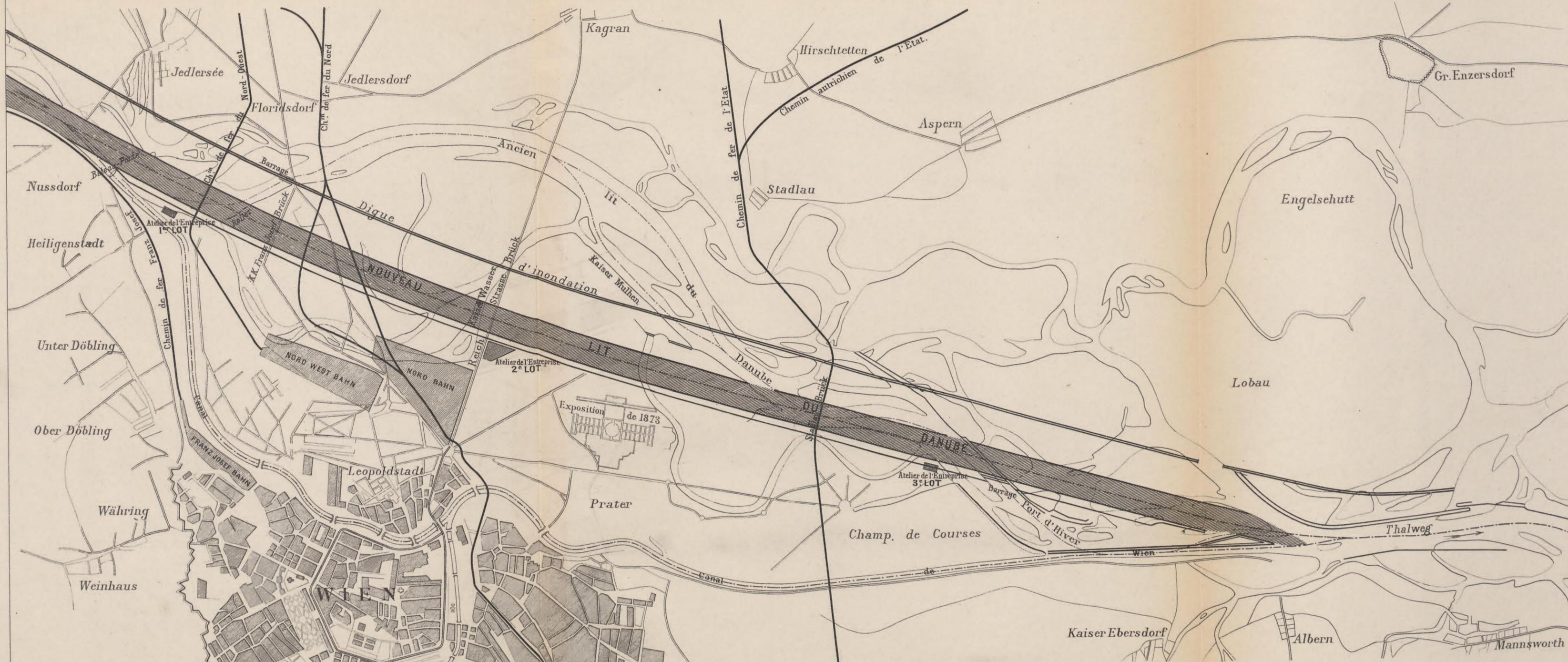
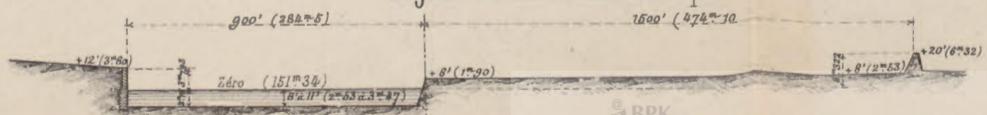


Fig.1. Profil normal avec quai.



Echelles:

Plan: 28/800
Fig.1 et 2: 0^m0002 par mètre

Fig.2. Profil normal.

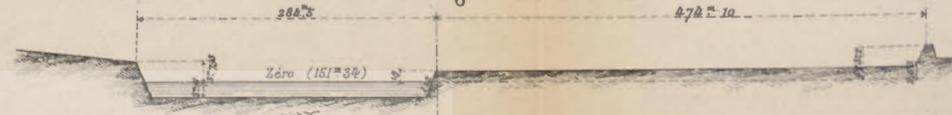


Fig.1.
Cartouche de dynamite.

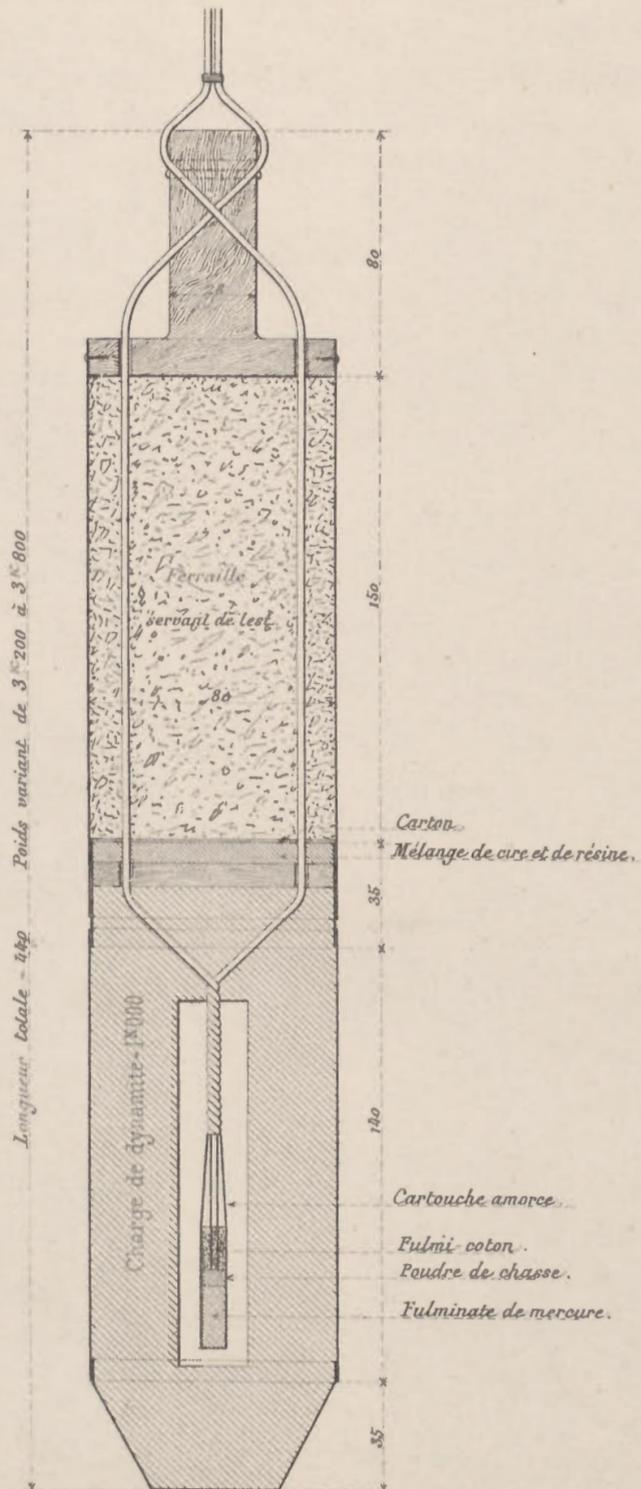
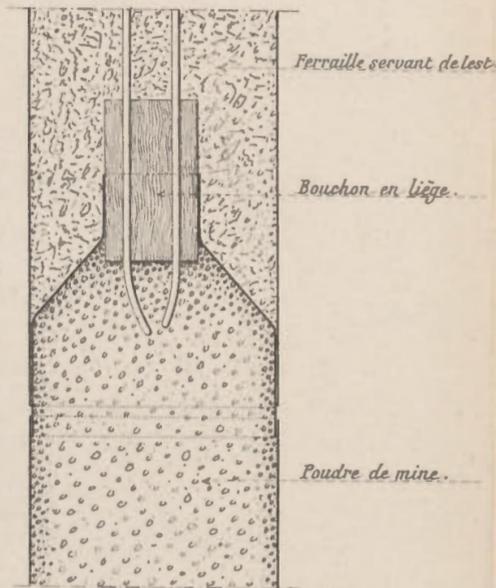


Fig.2.
Cartouche de poudre.



Echelles:

- Fig.1 et 2. 1/2 grandeur
- Fig. 3. 0,0003 p.mètre.
- Fig 4. 1^m/m p.mètre.

Dérochements de la roche "la Rose".

Fig.3.

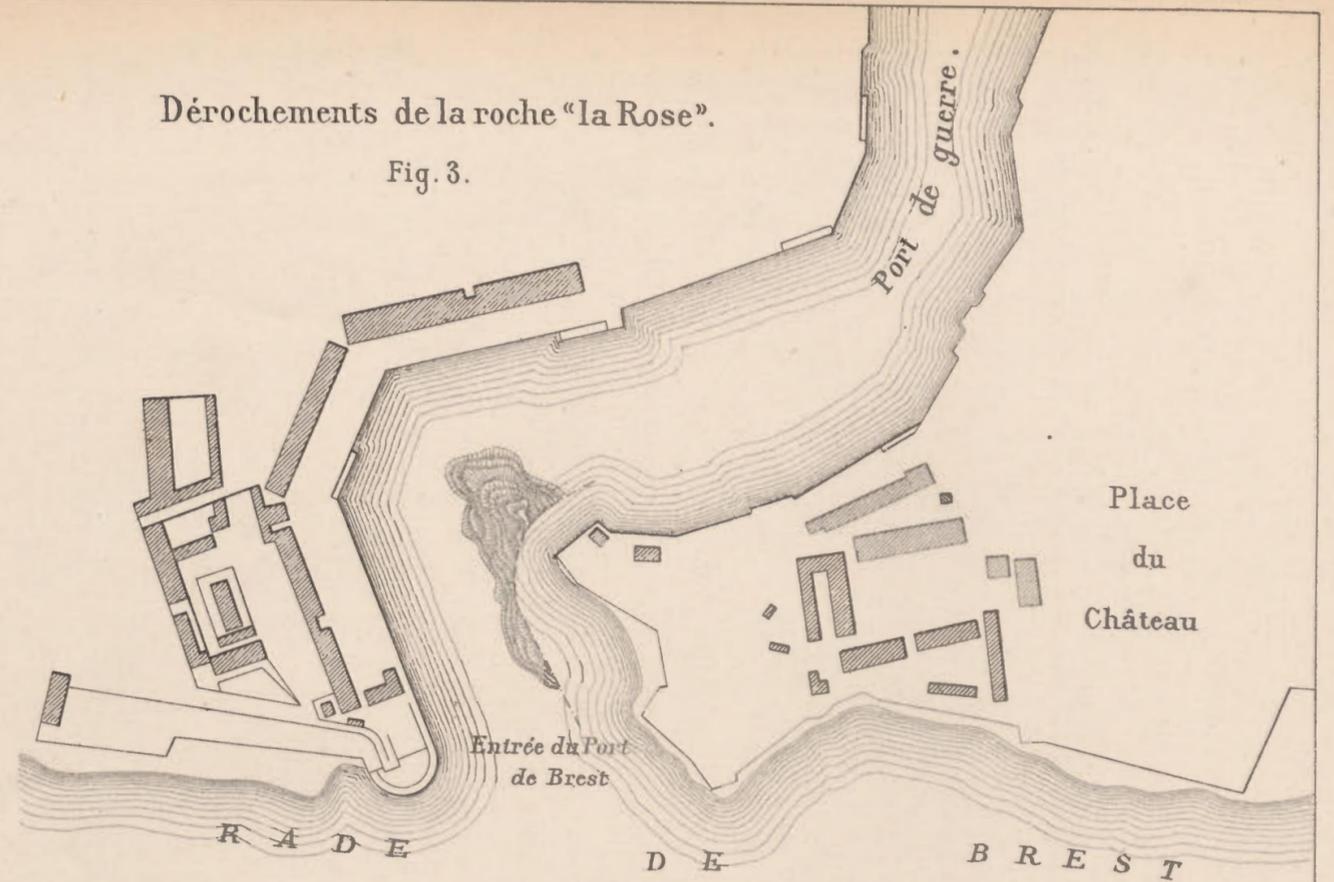
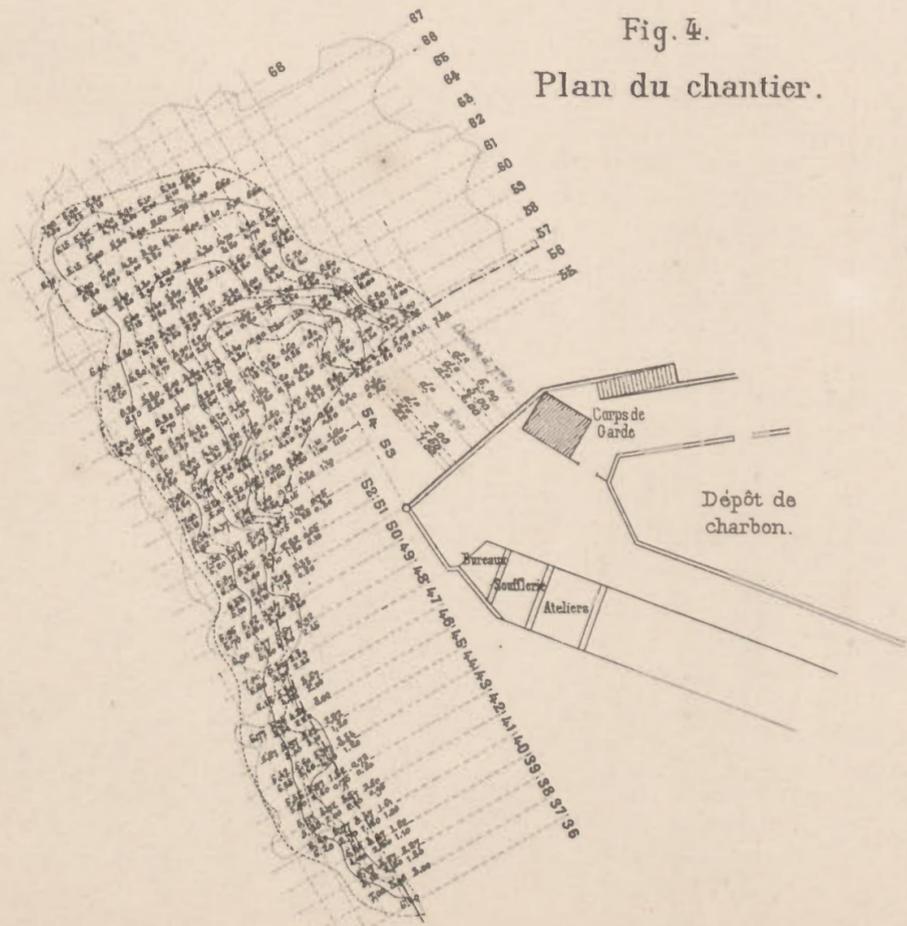


Fig.4.
Plan du chantier.



Tranchée exécutée en galerie.

Fig.1. Coupe transversale.

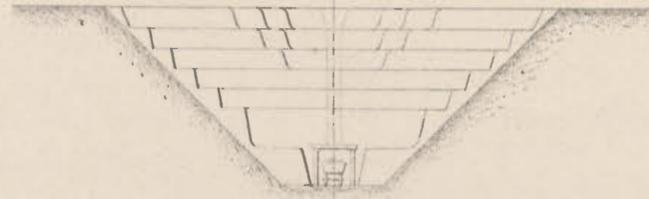


Fig.2. Coupe longitudinale.

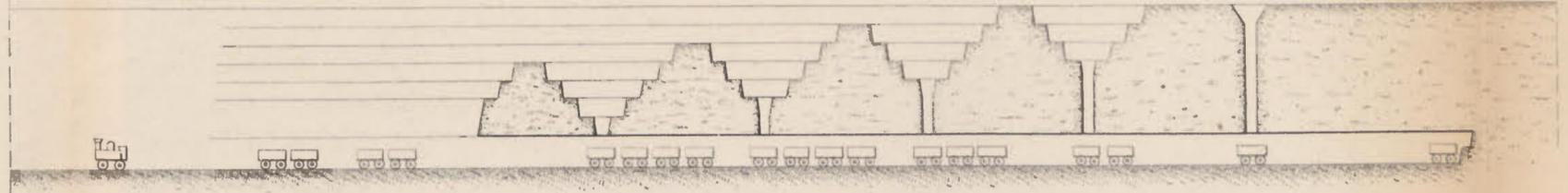
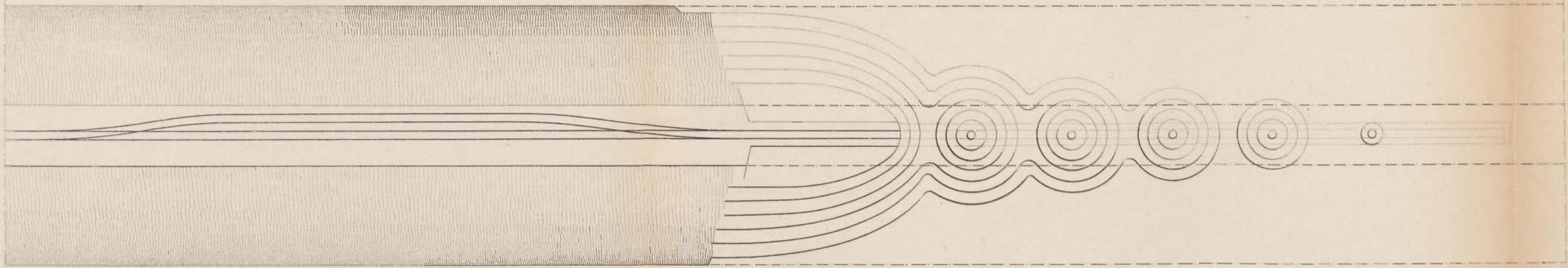


Fig.3. Plan.



Wagon basculant sur l'essieu, voie de 1^m50.

Fig.4. Coupe longitudinale.

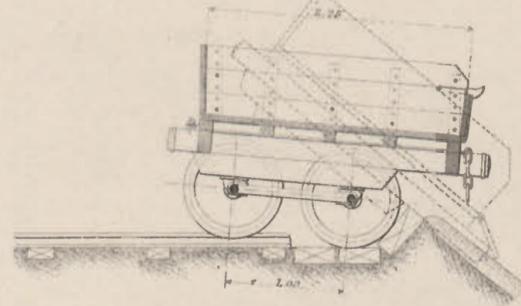
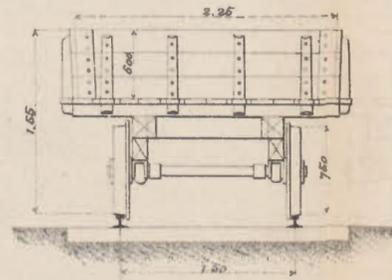


Fig.5. Elévation.



Wagon versant de côté, voie de 1^m50. (Vienne).

Fig.6. Elévation.

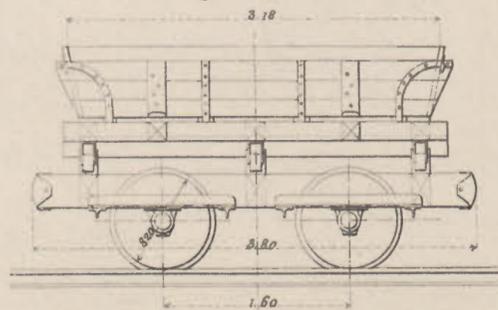
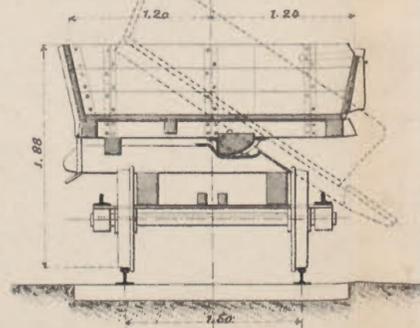


Fig.7. Coupe transversale.



Wagons de terrassement et de carrières

Wagon à voie d'un mètre.

Fig.8. 1/2 Coupe longitudinale 1/2 Elévation

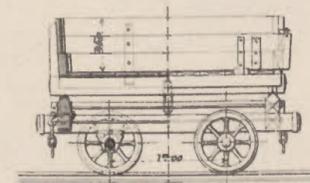
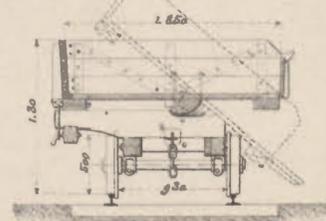


Fig.9 Coupe transversale.



Echelles :

Fig.1,2,3 - 0^m002 par mètre.

Fig.4 à 11 - 0^m020 par mètre.

Wagon versant de côté, voie de 1^m57 (Panama)

Fig.10. 1/2 Coupe longitudinale.

1/2 Elévation.

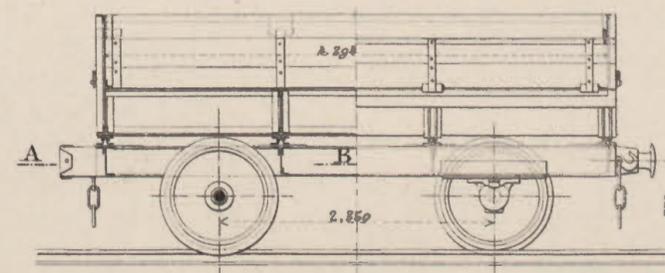
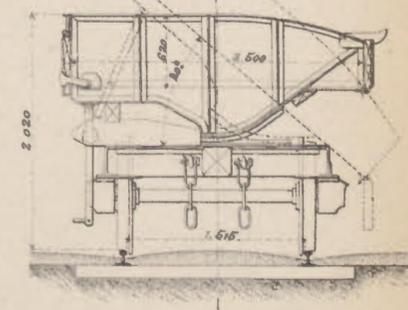


Fig.11. Elévation transversale.



ECLUSES A AIR DES CAISSONS.

Ponts d'Argenteuil, d'Orival et d'Elbeuf.

Fig. 1.

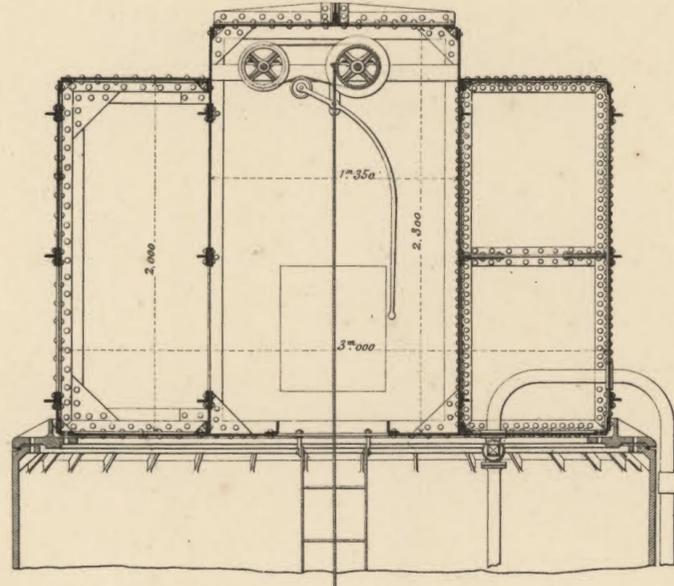
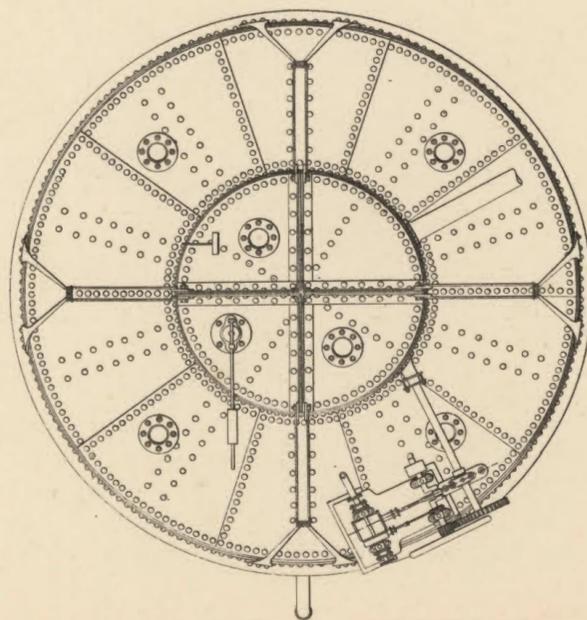


Fig. 2.



Ponts d'Arles et de Rovigo.

Fig. 3.

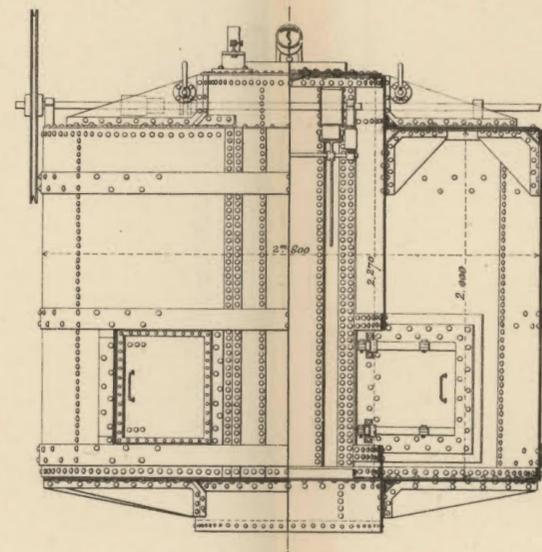
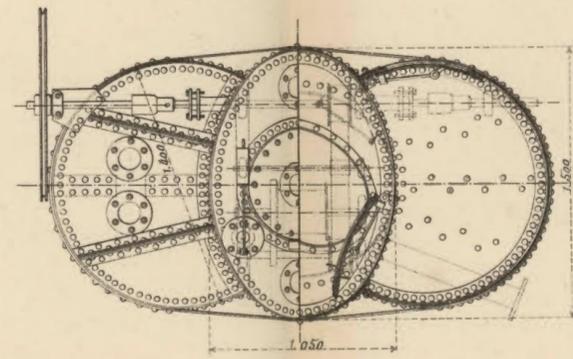


Fig. 4.



Echelle 1/2

CLOCHES A DÉROCHEMENTS.

Ecluses de communication.

Fig. 7. Coupe transv^{le} suiv^t C.D.

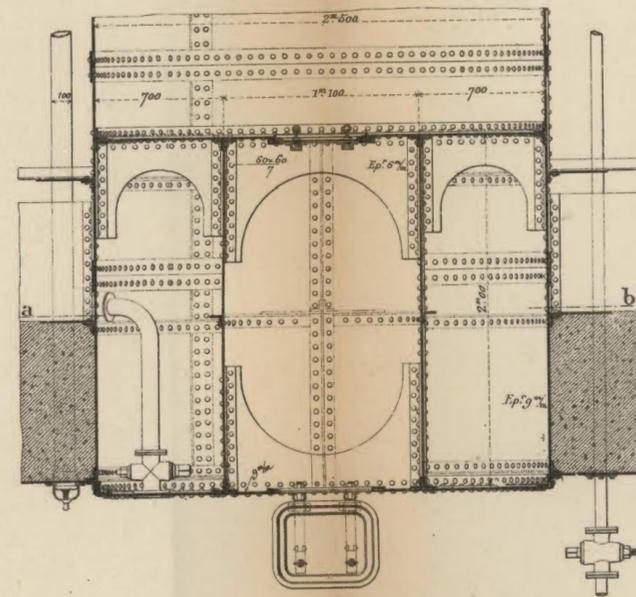
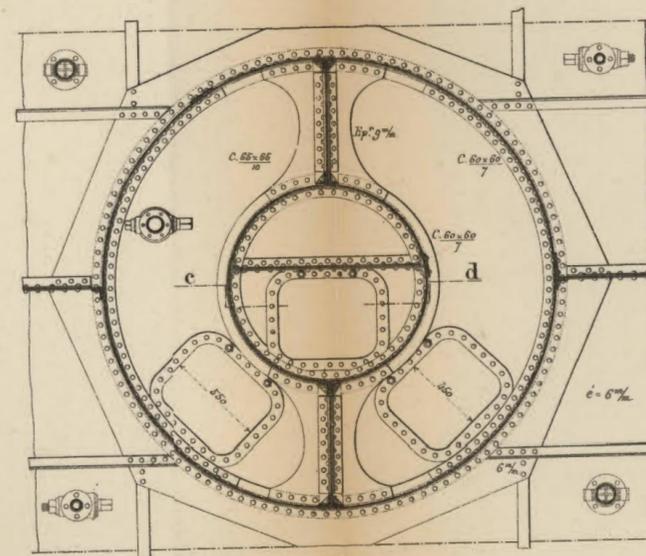


Fig. 8. Coupe horizontale suiv^t ab.



Ecluses d'extraction et éclusettes à déblais.

Fig. 9. Elévation et coupe suivant gh.

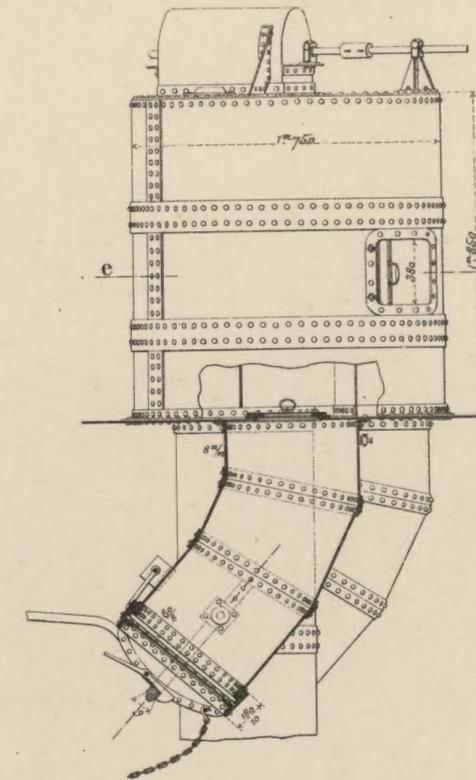


Fig. 11. Coupe suivant ef.

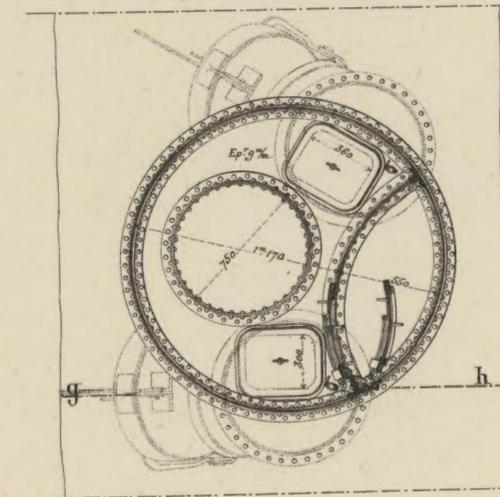


Fig. 10. Coupe verticale.

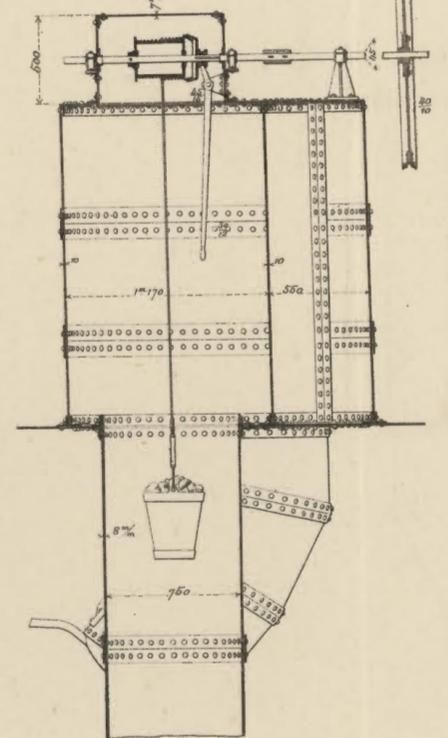


Fig. 12. Coupe verticale d'un hublot.

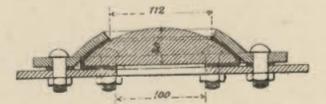
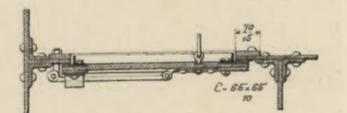
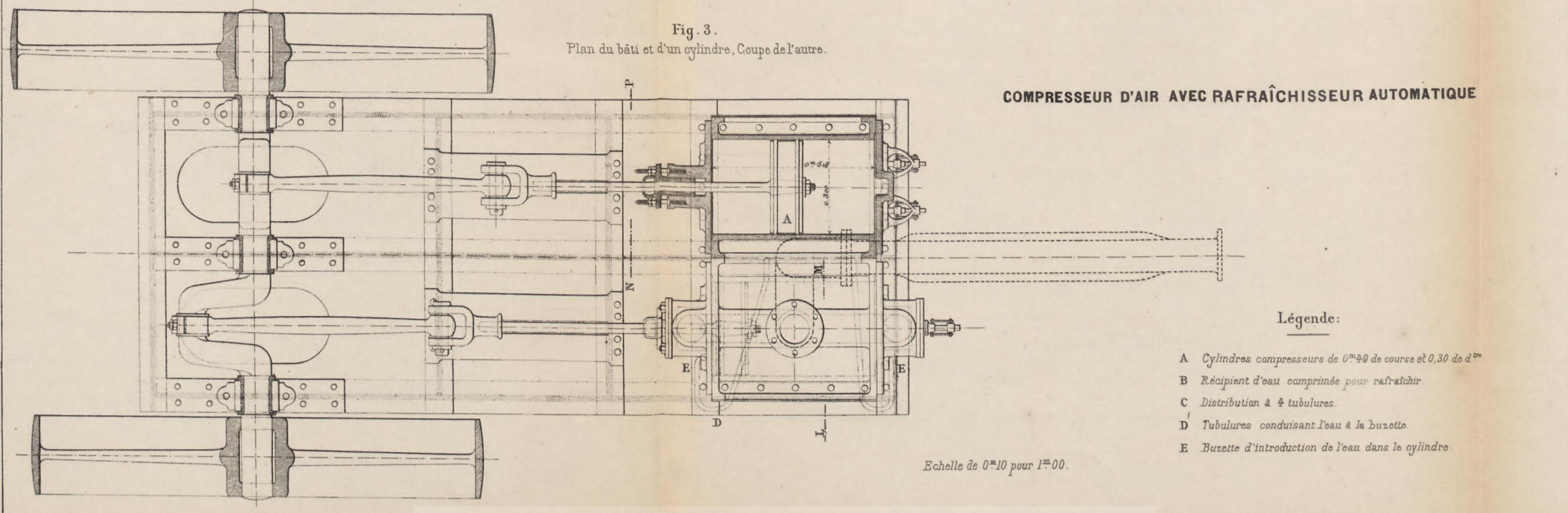
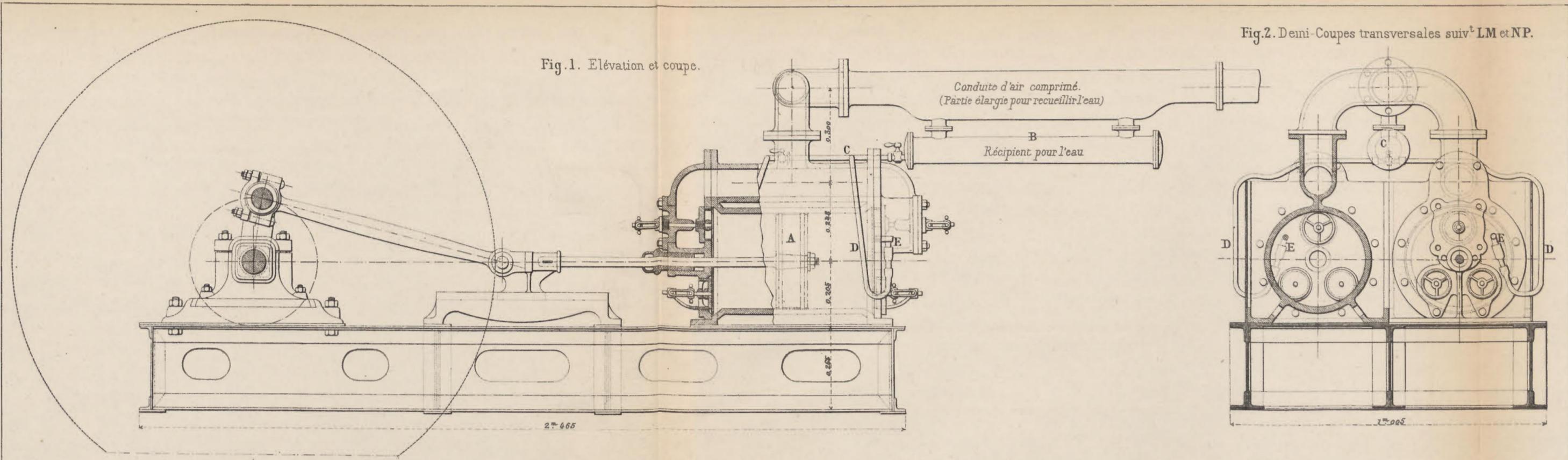


Fig. 13. Coupe d'une porte.





COMPRESSEUR D'AIR AVEC RAFRAÎCHISSEUR AUTOMATIQUE

Légende:

- A Cylindres compresseurs de 0^m 40 de course et 0,30 de d^{re}
- B Récipient d'eau comprimée pour rafraîchir
- C Distribution à 4 tubulures.
- D Tubulures conduisant l'eau à la buzette
- E Buzette d'introduction de l'eau dans le cylindre

Echelle de 0^m 10 pour 1^m 00.

APPAREILS DE MANUTENTION.

Pont roulant pour le bardage des pierres de taille.

Fig.1. Elevation.

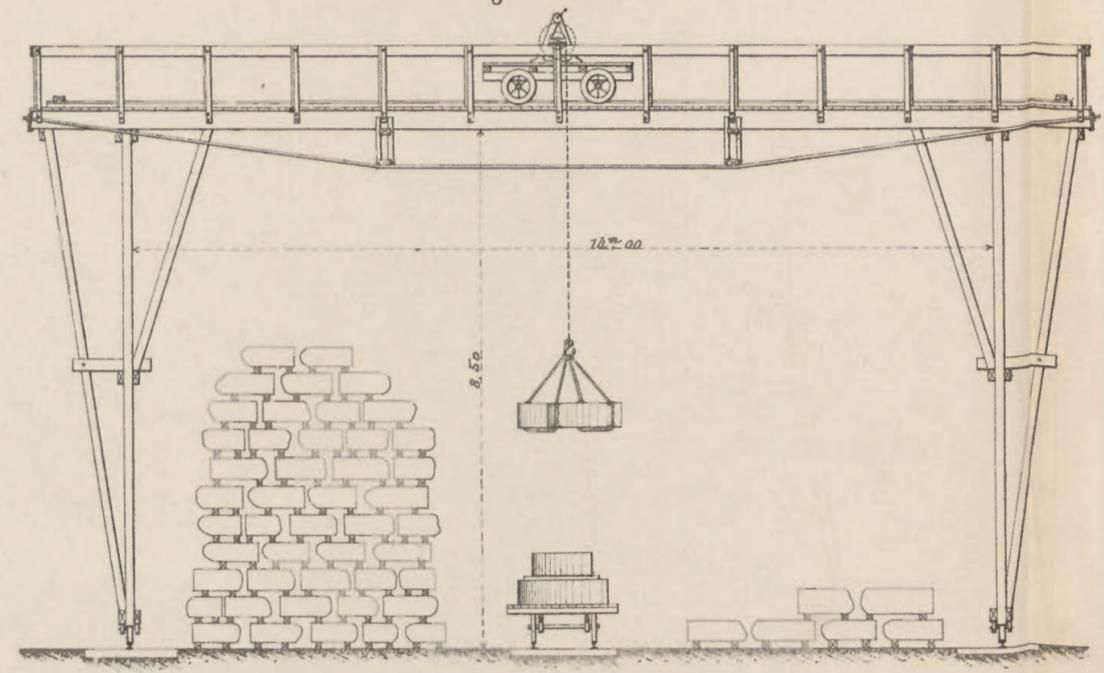
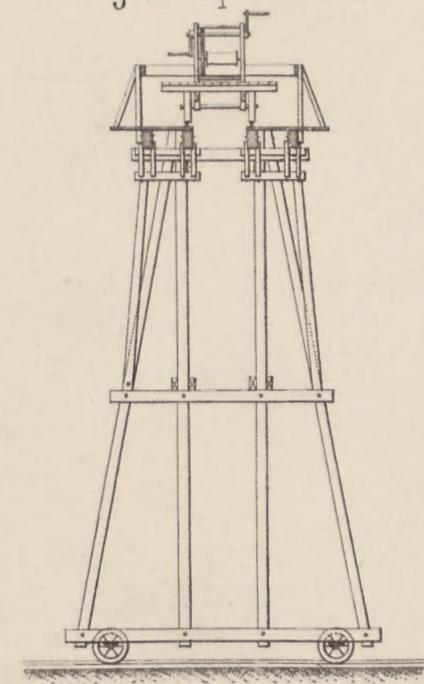
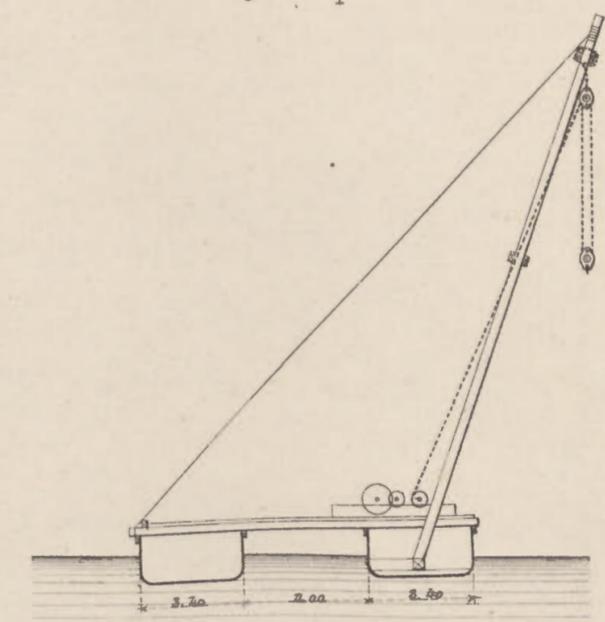


Fig. 2. Coupe transversale.



Bigue flottante de 15 tonnes.

Fig. 5. Coupe transversale.



Appareil pour le levage et l'embarquement des blocs du port de Philippeville.

Fig. 3. Coupe a b.

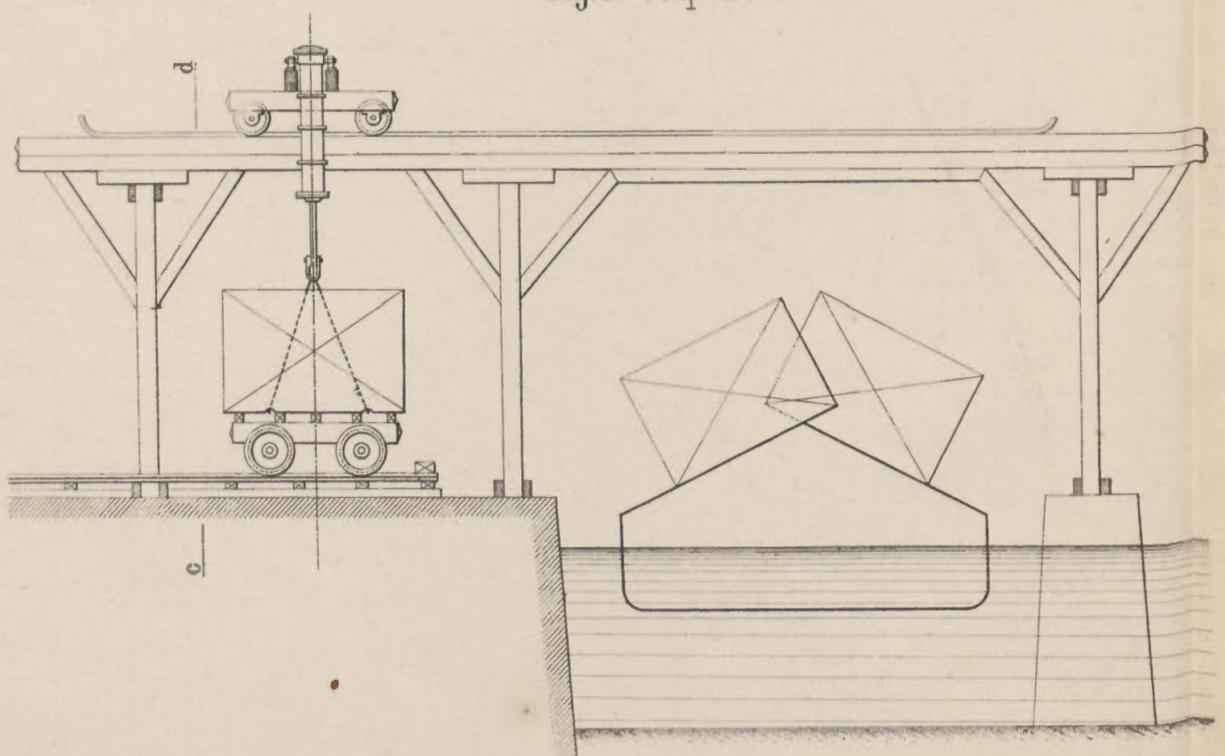


Fig. 4. Coupe c d.

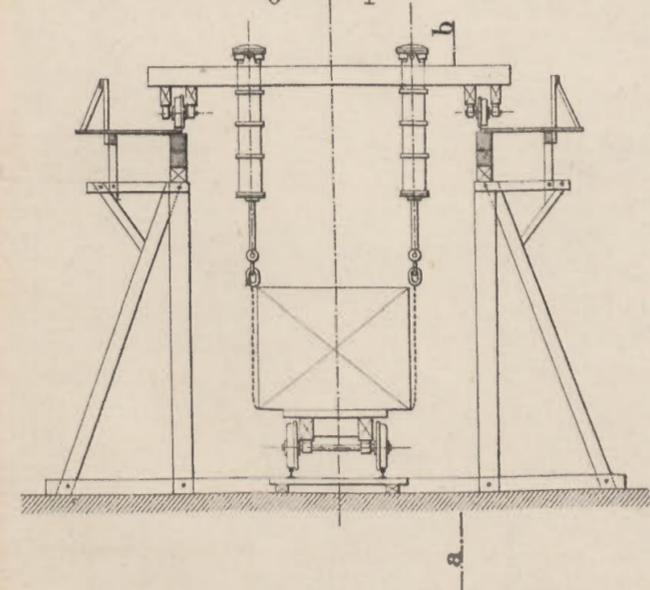
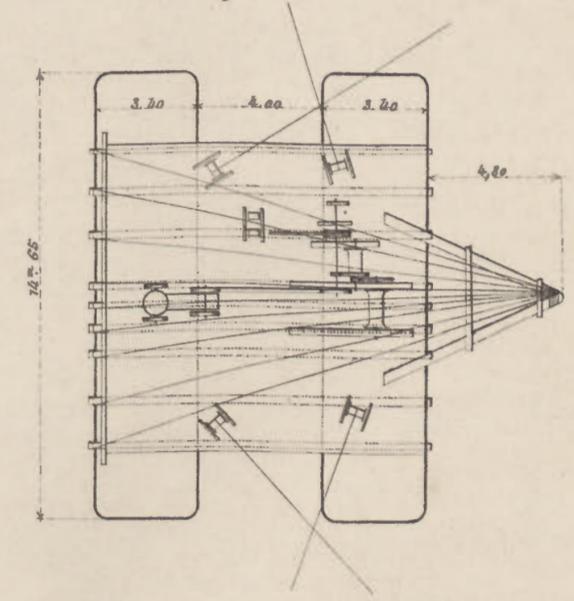


Fig. 6. Plan.



Echelles:

Fig. 1 à 4. 0^m 01 par mètre
 Fig. 5 et 6. 0^m 005 par mètre

PORT DE LISBONNE. — APPAREILS DE MANUTENTION.

Echafaudage flottant et batardeaux des caissons.

Fig. 1 — Elévation.

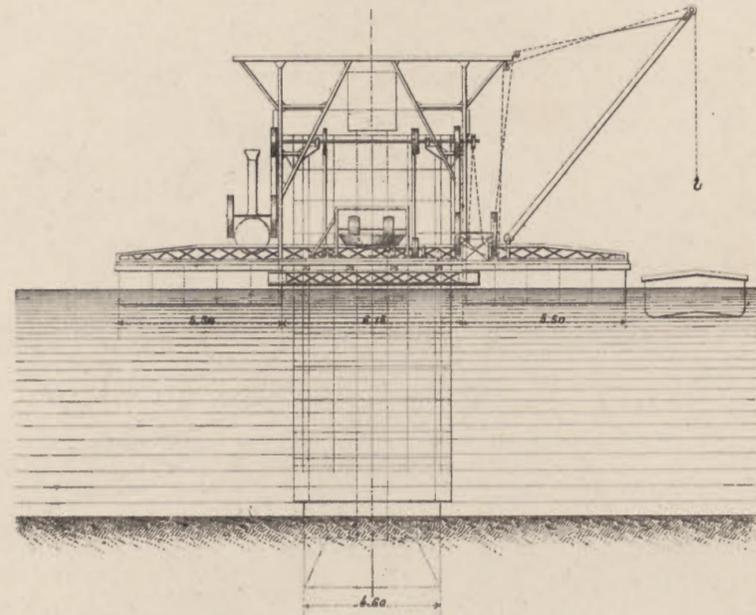
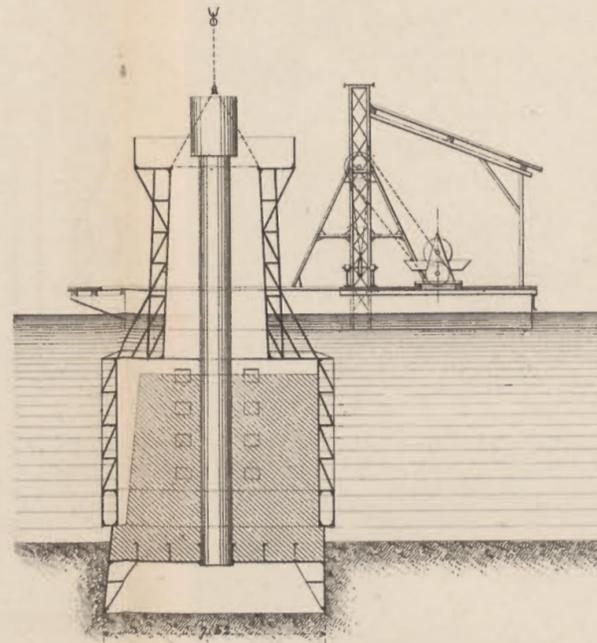
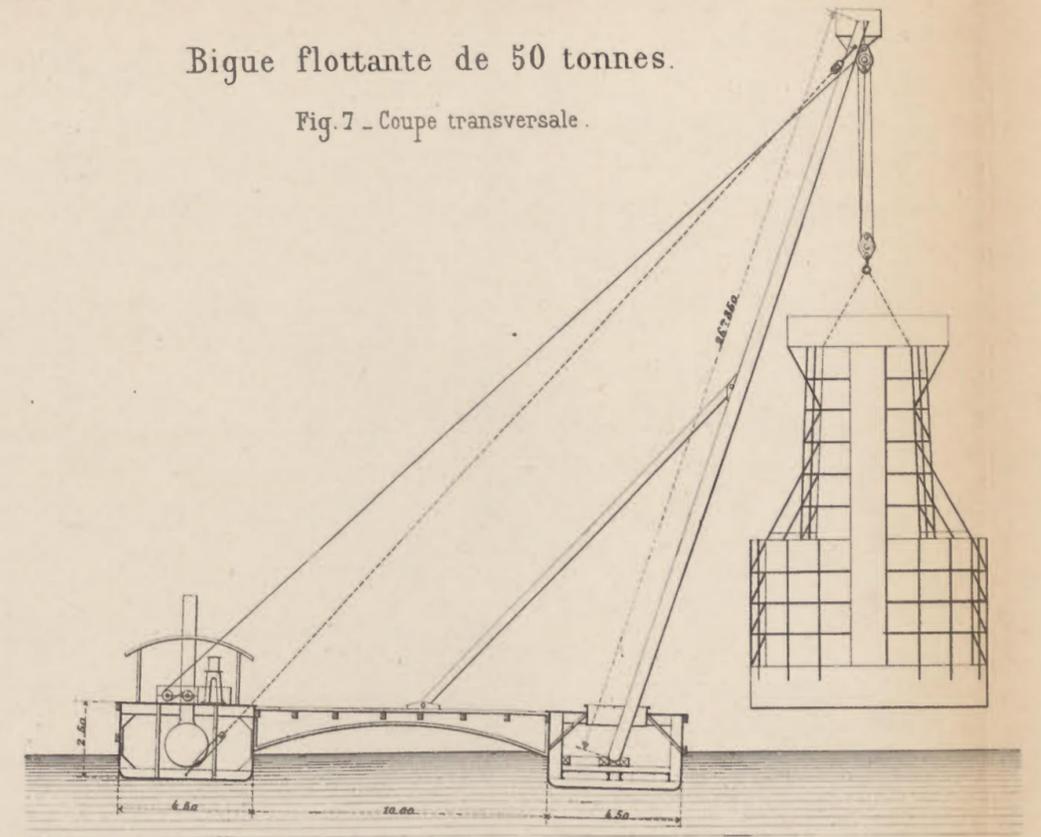


Fig. 2 — Coupe longitudinale.



Bigue flottante de 50 tonnes.

Fig. 7 — Coupe transversale.



Batardeaux des linteaux

Echelle 0^m005 par mètre

Fig. 4.

1/2 Coupe longitudinale 1/2 Elévation

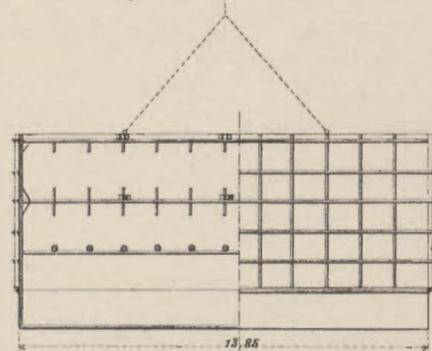


Fig. 5.

Coupe transversale.

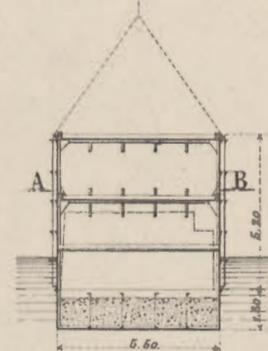


Fig. 6 — Plan Coupe AB.

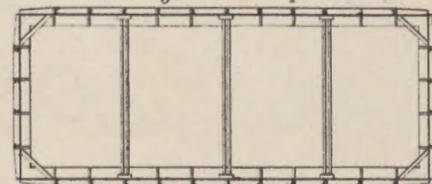


Fig. 3 — Plan

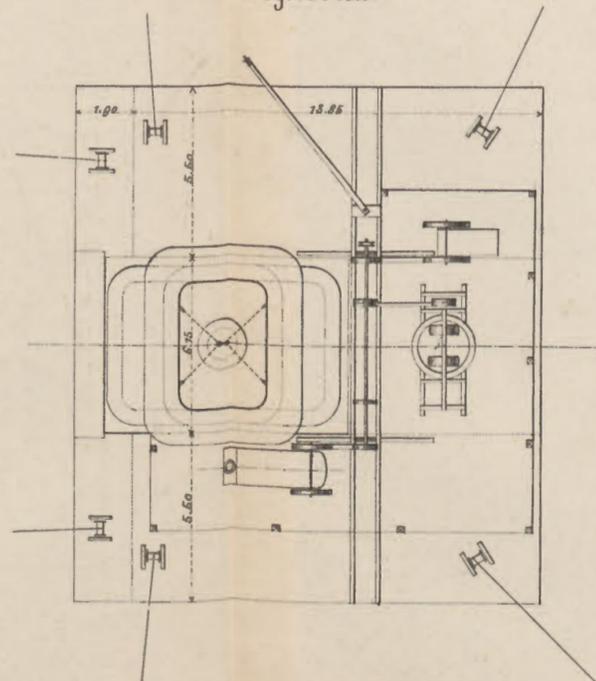


Fig. 8 — Plan

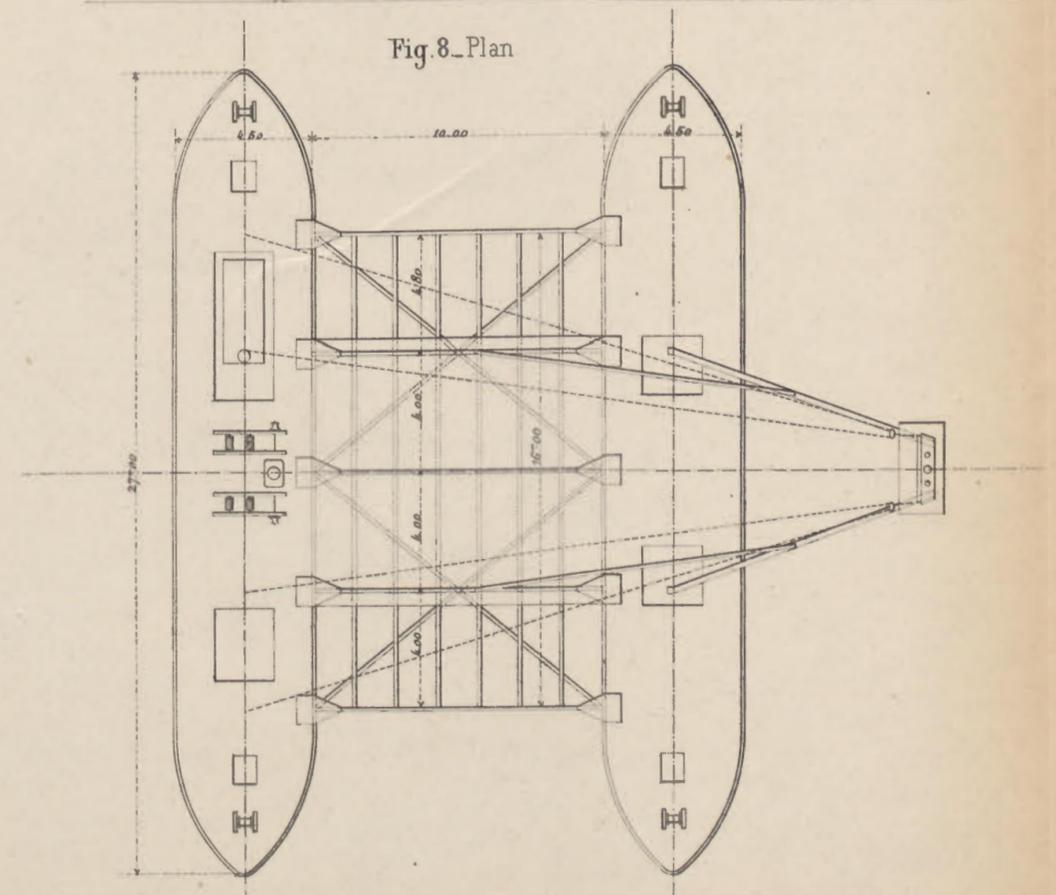


Fig. 1. Elevation.

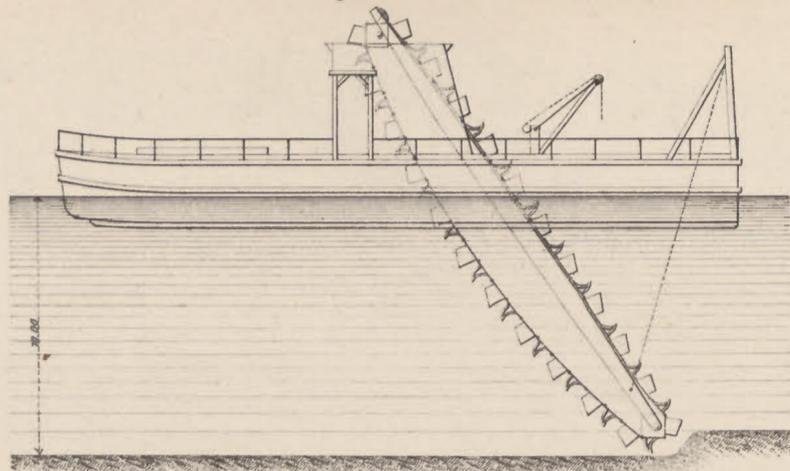
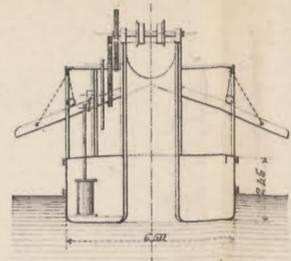


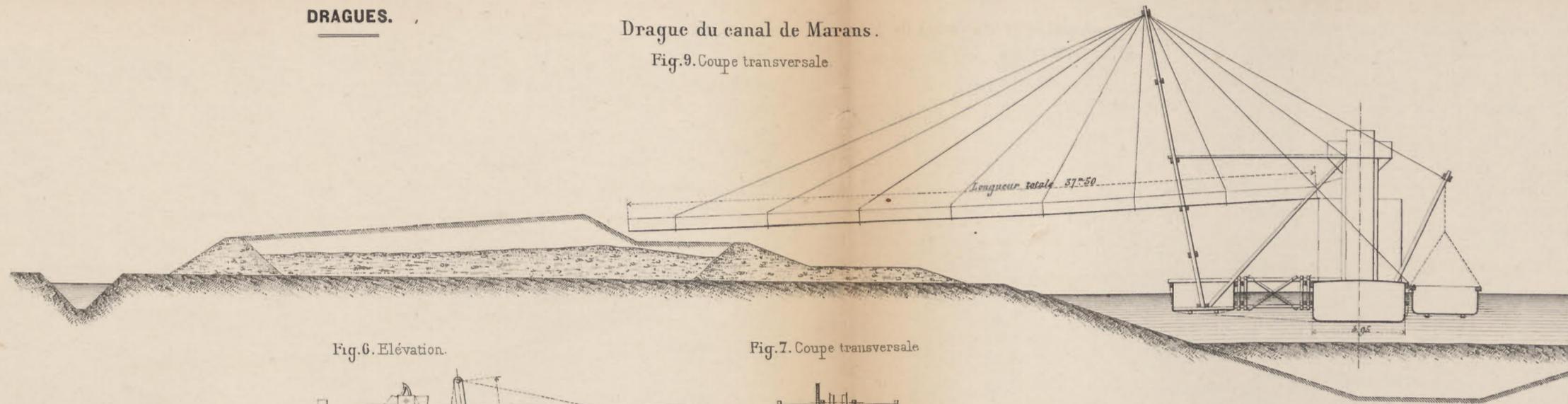
Fig. 2. Coupe transversale



DRAGUES.

Drague du canal de Marans.

Fig. 9. Coupe transversale



Drague du port de Boulogne.

Fig. 6. Elévation.

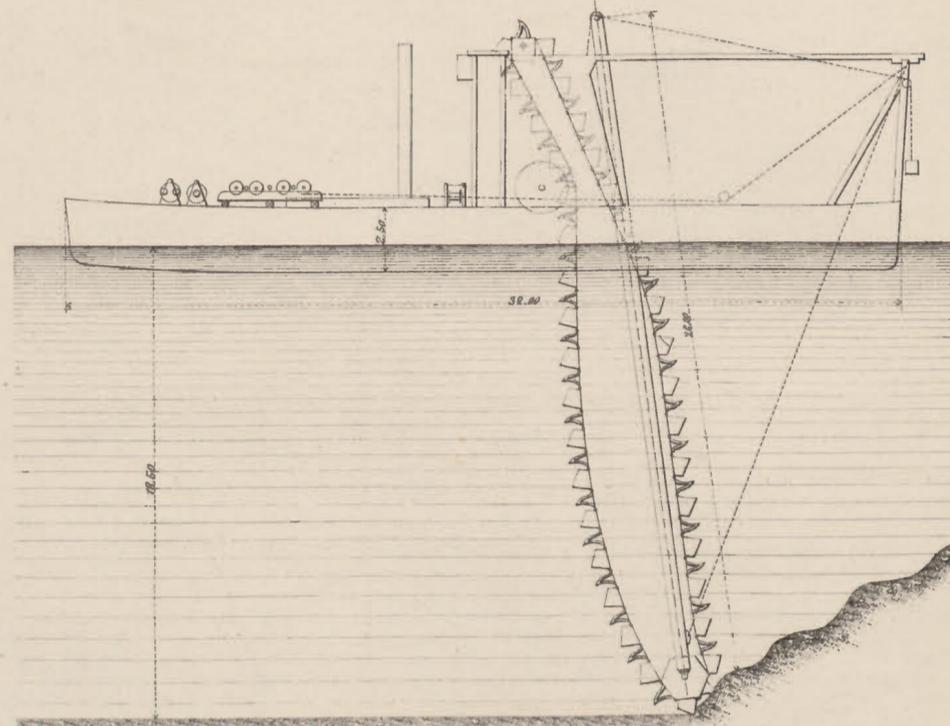


Fig. 7. Coupe transversale

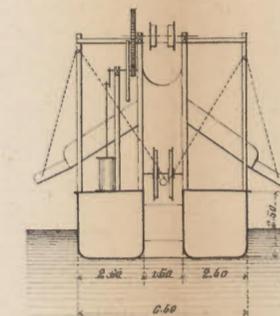
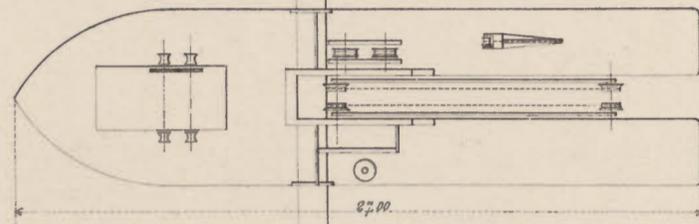


Fig. 3. Plan



Drague de la régularisation du Danube, à Vienne.

Fig. 4. Elévation

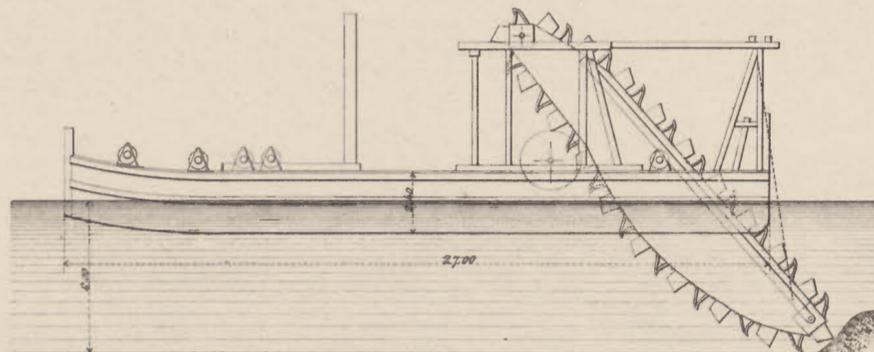


Fig. 5. Coupe transversale

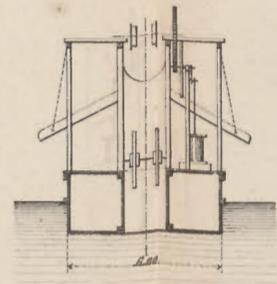


Fig. 6. Plan

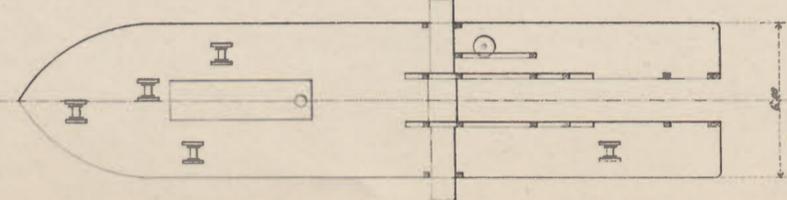
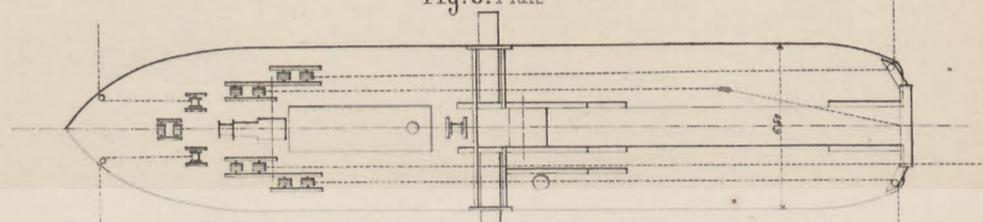


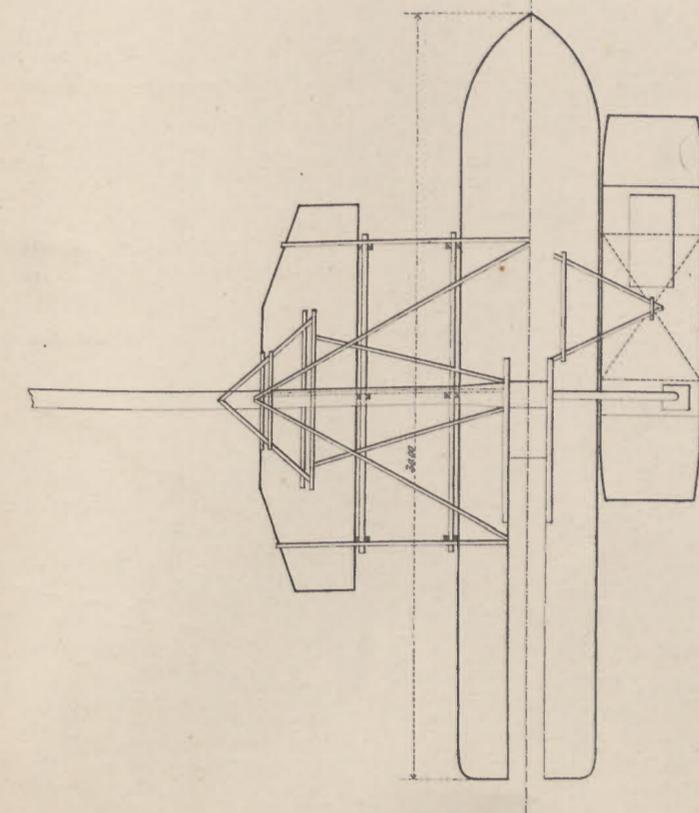
Fig. 8. Plan



Drague du port de Toulon.

Echelle 0.005 par mètre.

Fig. 10. Plan



DRAGUES A VAPEUR DE ROCHEFORT ET SAIGON.

Fig.1. Coupe longitudinale suivant l'axe de la drague

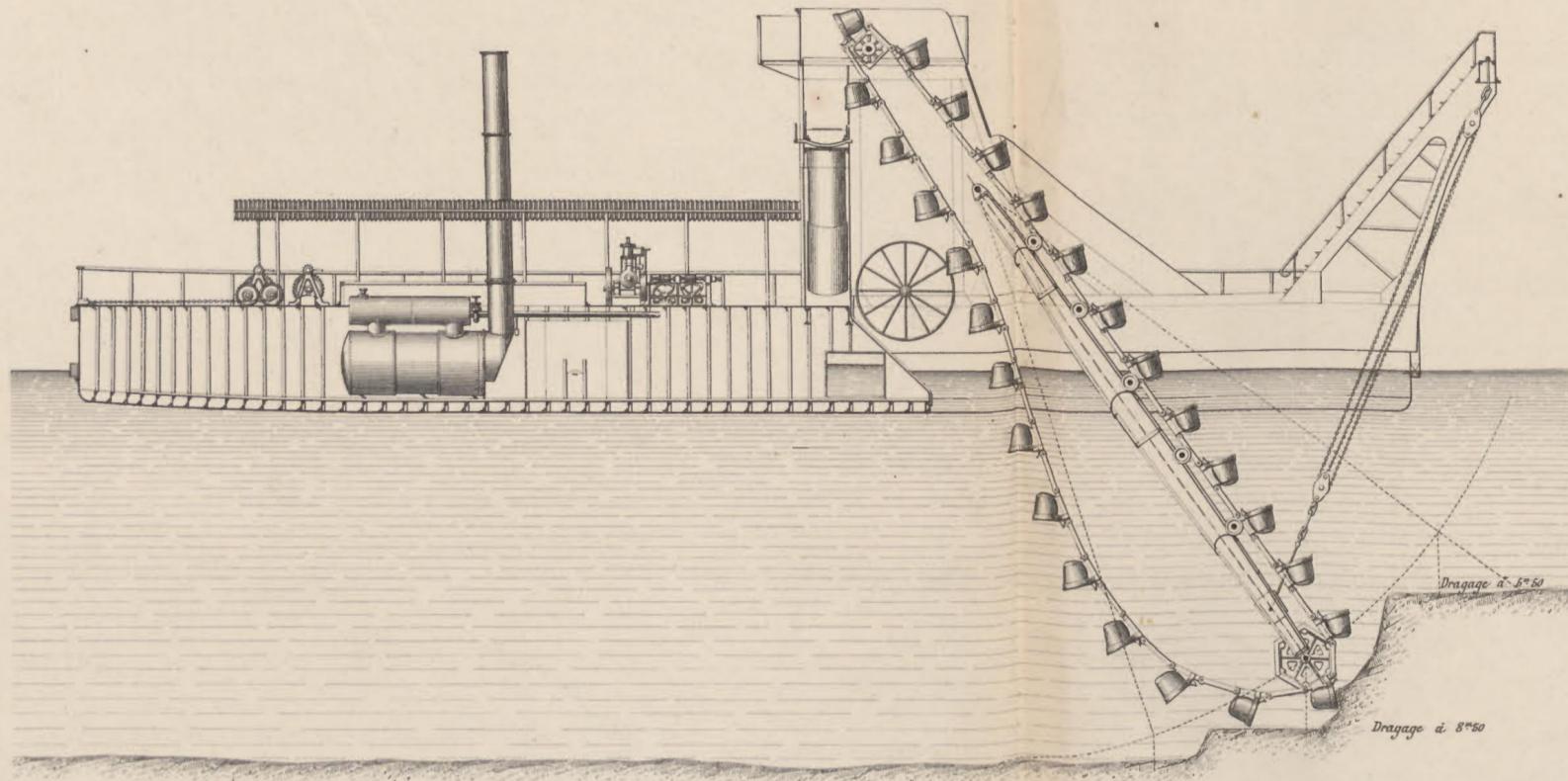


Fig.3. Coupe longitudinale suivant l'axe de la machine

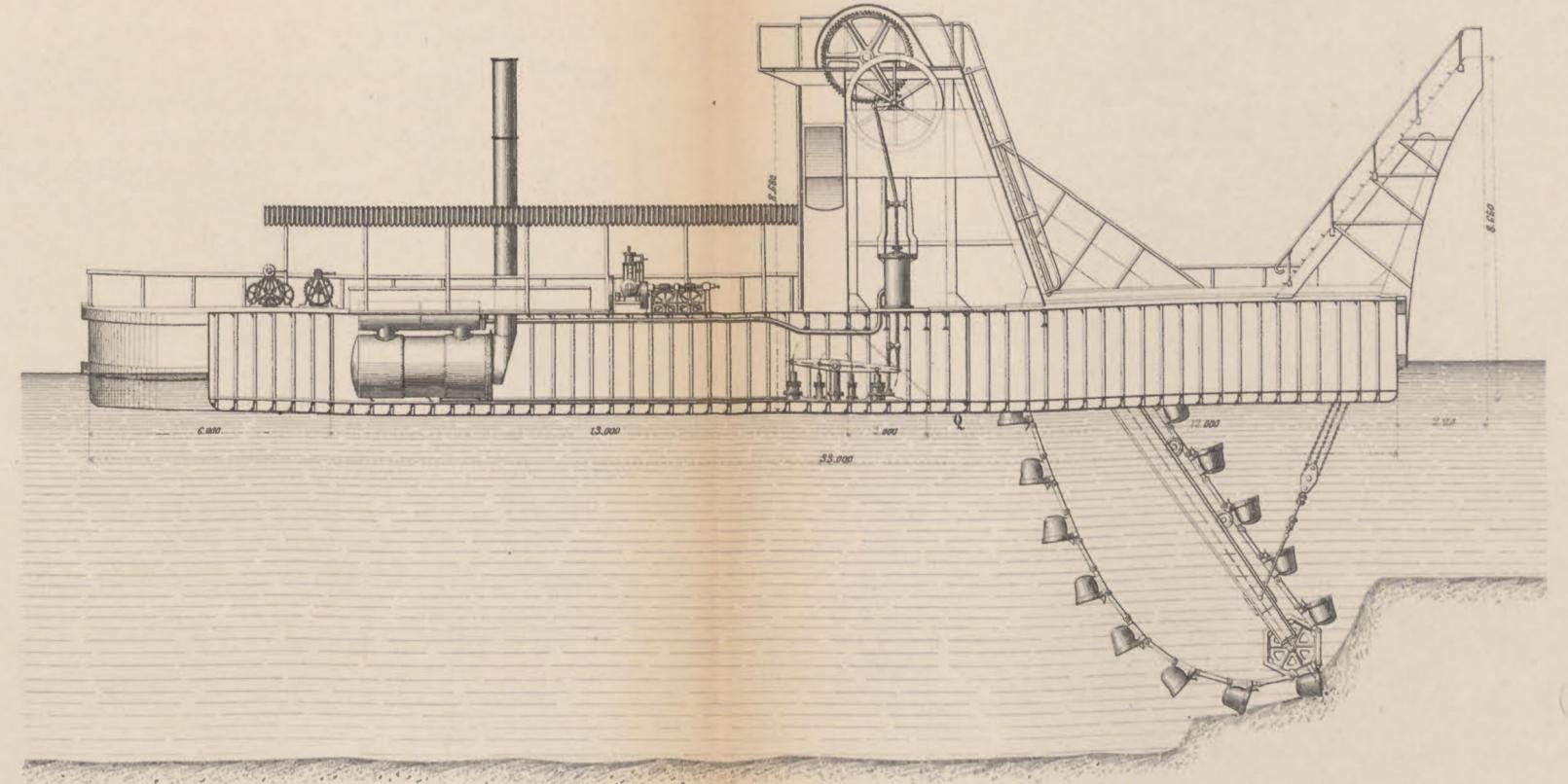


Fig.2. Plan.

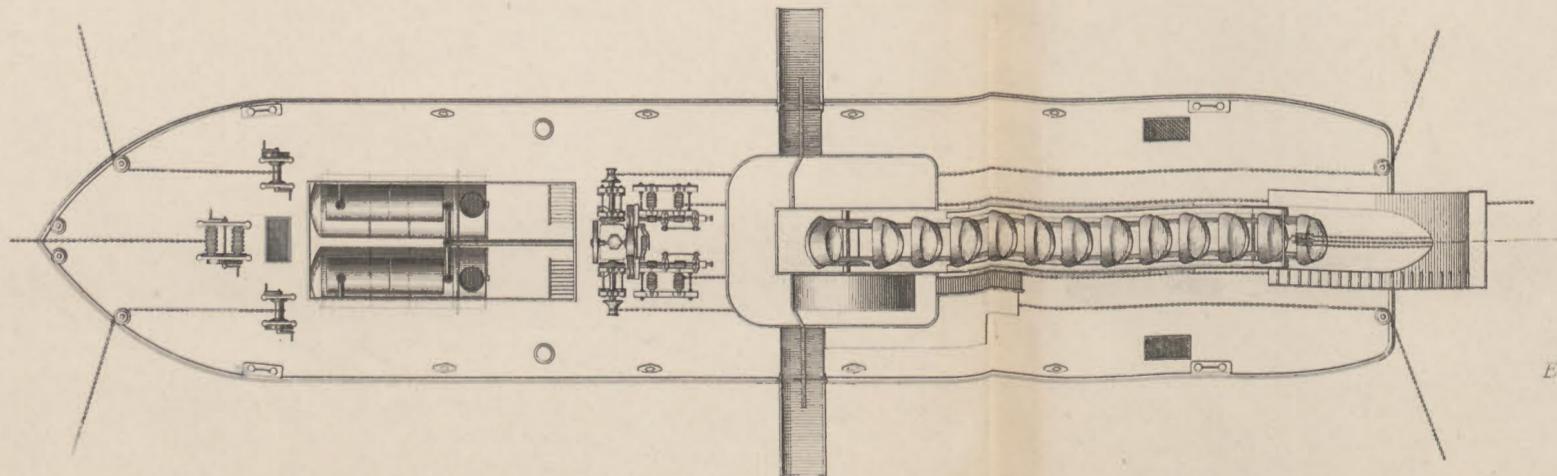


Fig.4. Vue de face avant.

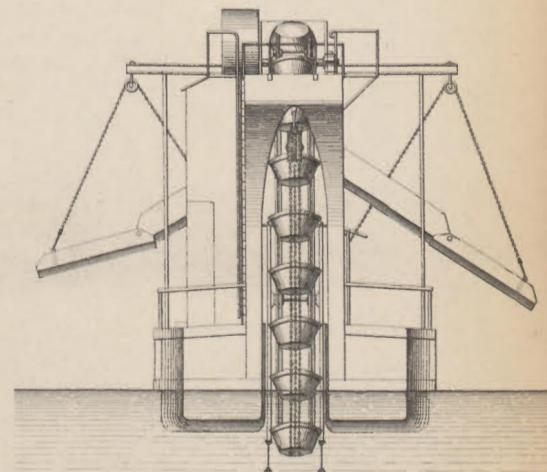
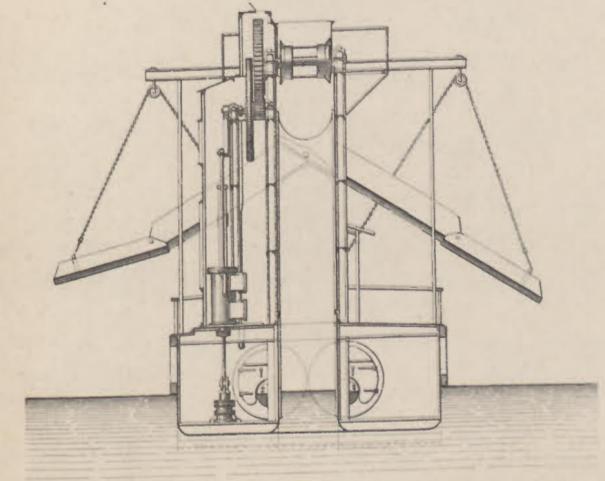


Fig.5. Coupe transversale.



Echelle de 0^m.008 par mètre

DRAGUETTE POUR LE CURAGE DES CANAUX

Fig.1. Coupe longitudinale.

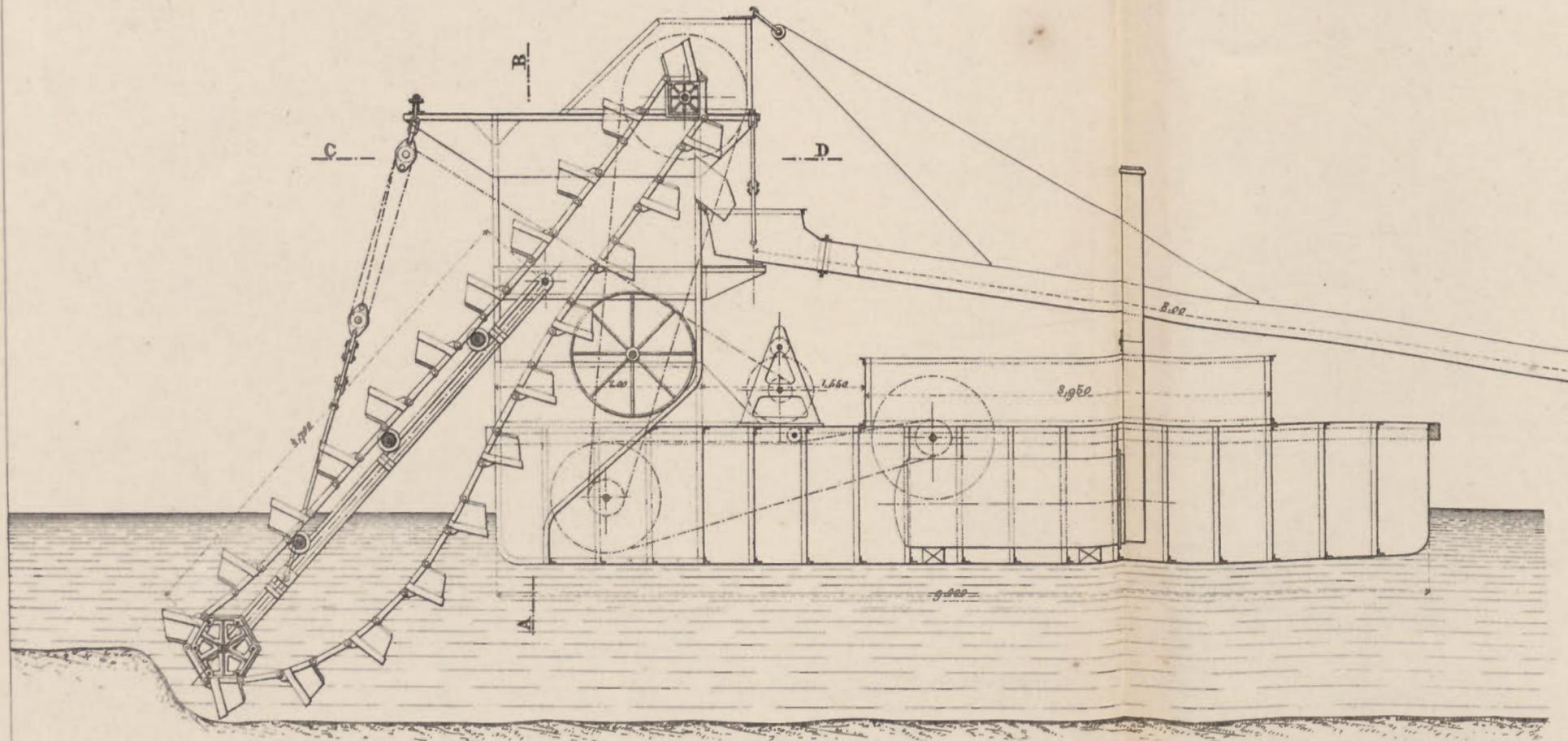


Fig.2. Coupe suivant AB

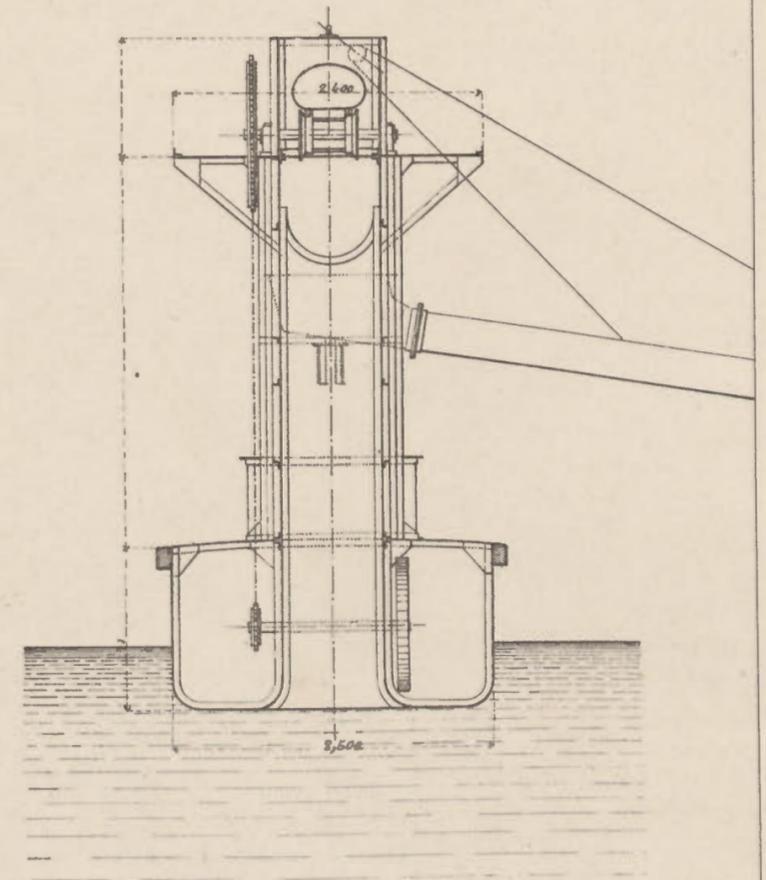
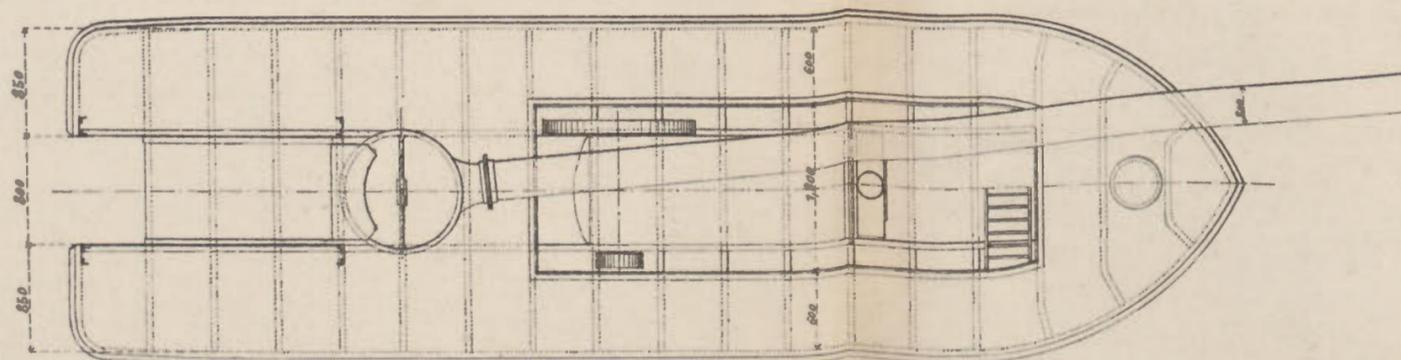


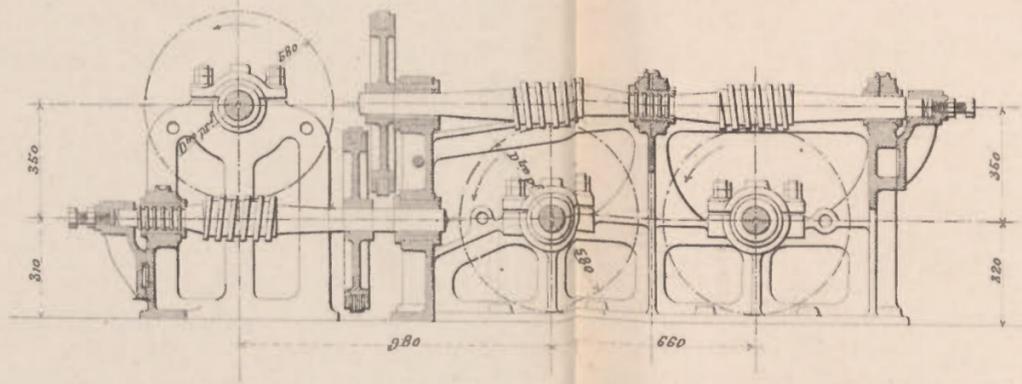
Fig.3. Plan-Coupe suivant CD



Echelle 0^m02 par mètre

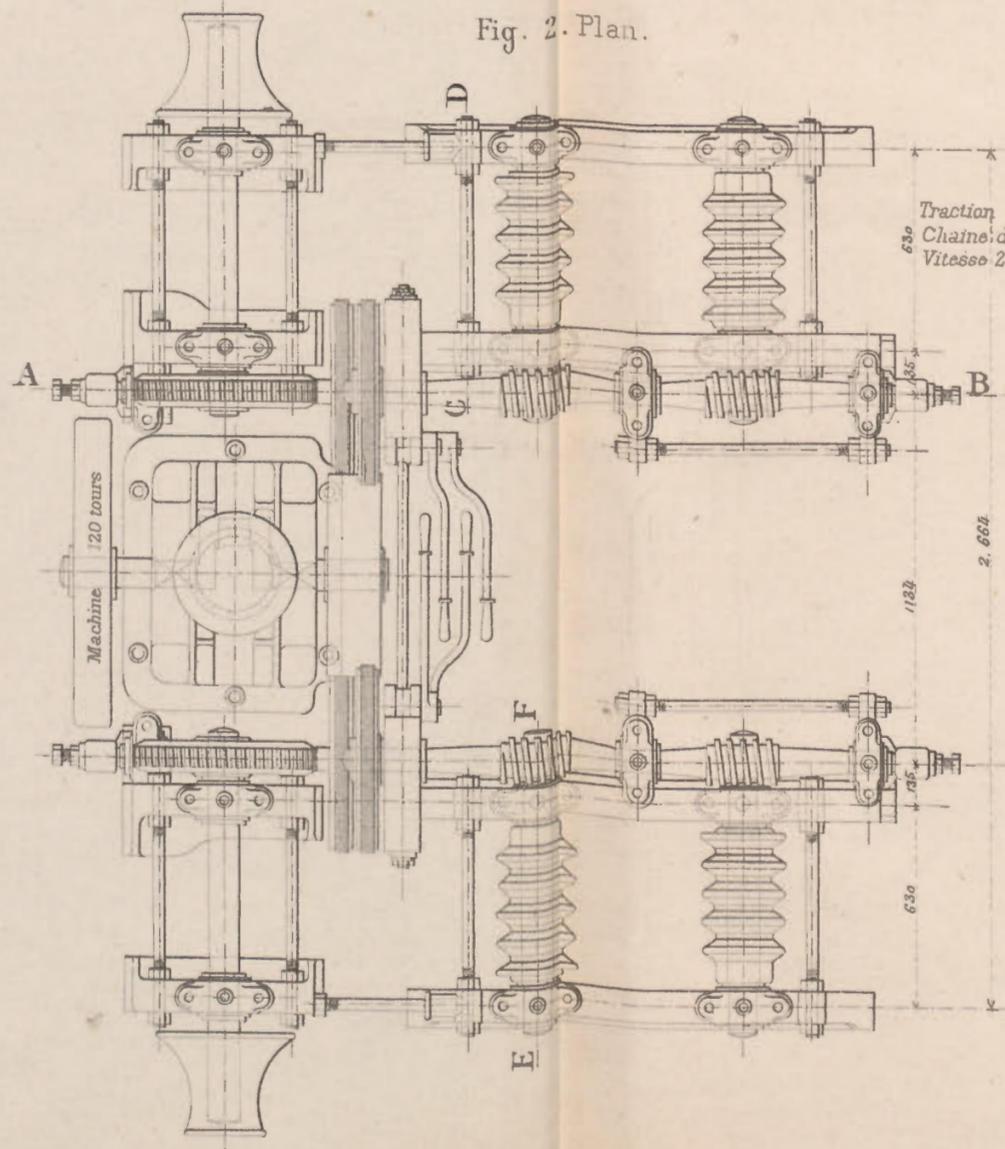
TREUIL DE DRAGUE .

Fig. 1. Coupe suivant AB



Echelle 0^m.08 par mètre .

Fig. 2. Plan.



Traction 5.000 Kilos
Chaine de 20^m/m.
Vitesse 2.500 - 3 tours 33.

Fig. 3.

1/2 Coupe C.D.

1/2 Coupe E.F.

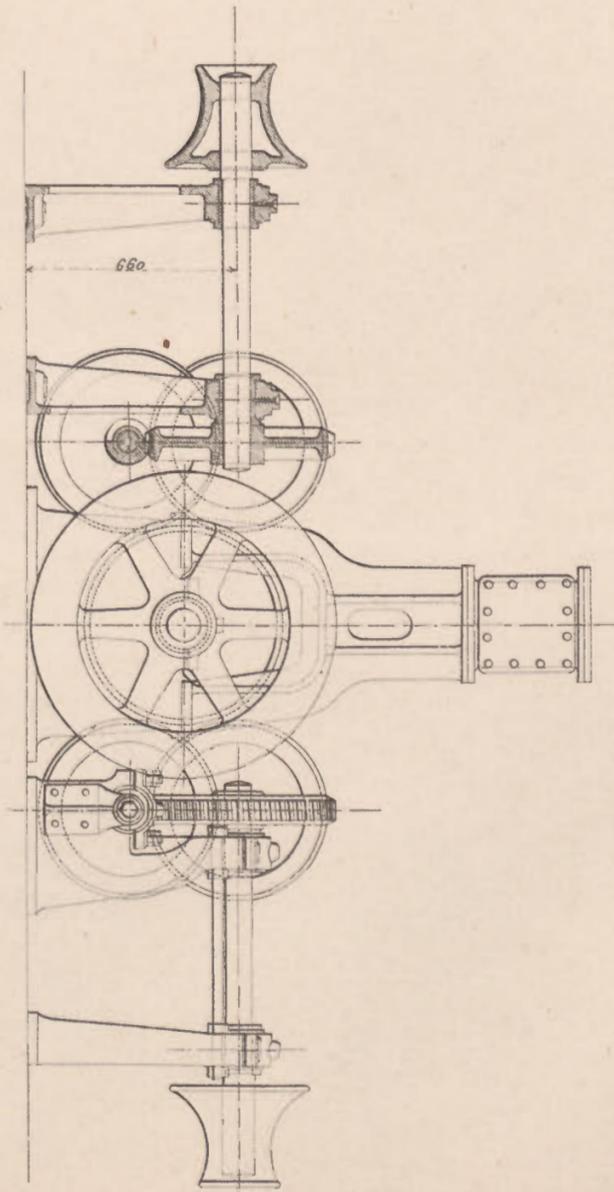
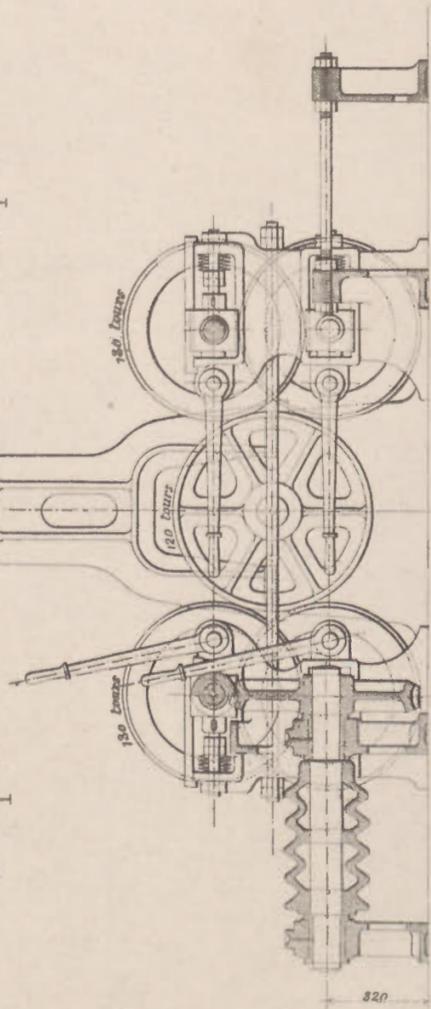


Fig. 4. Vue de face.

DÉBARQUEMENT FLOTTANT ET BATEAUX DE TRANSPORT.

Fig. 1.

Elévation et Coupe longitudinale suivant AB.

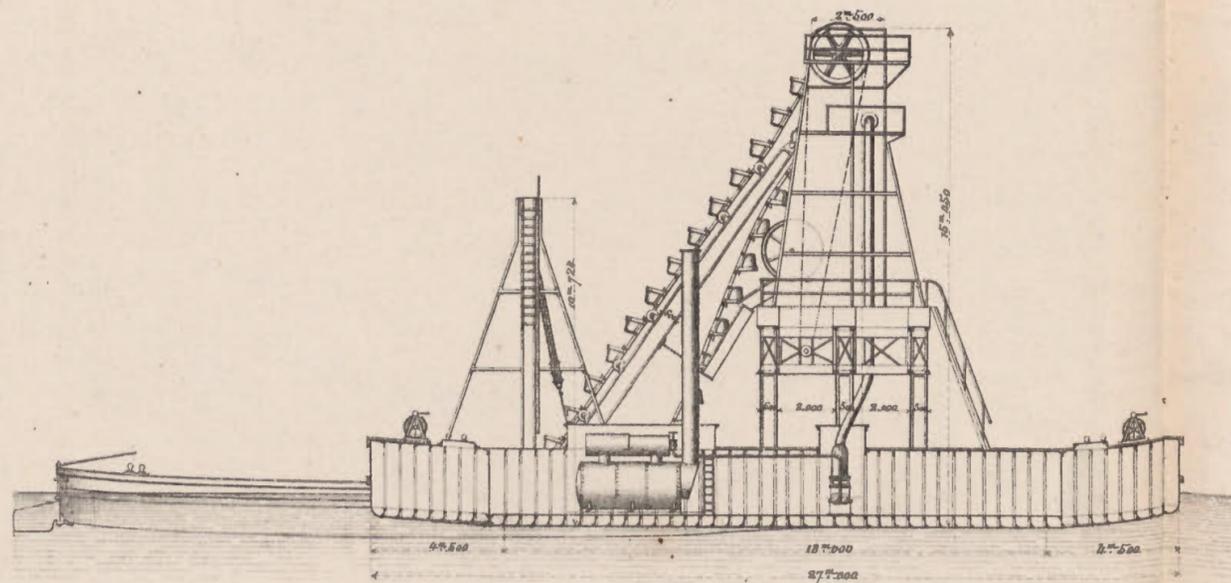


Fig. 2.

Coupe sur l'axe du bateau porteur

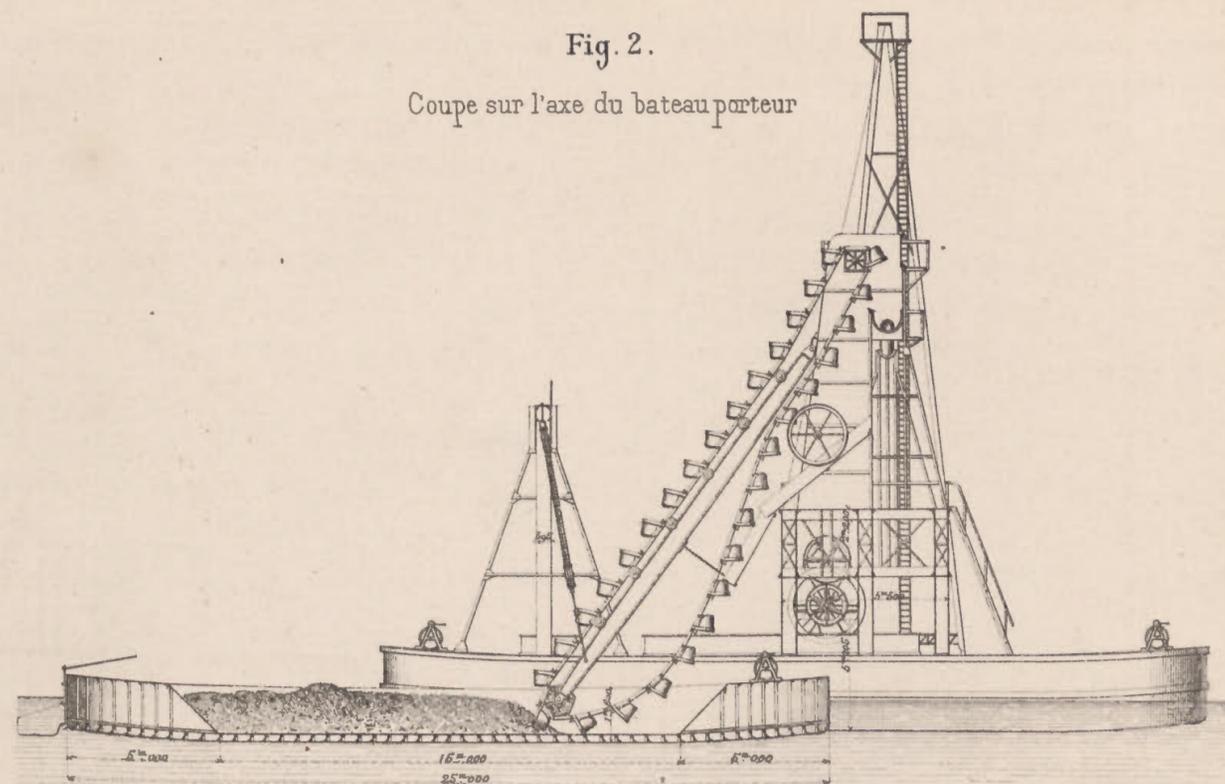


Fig. 3. Plan.

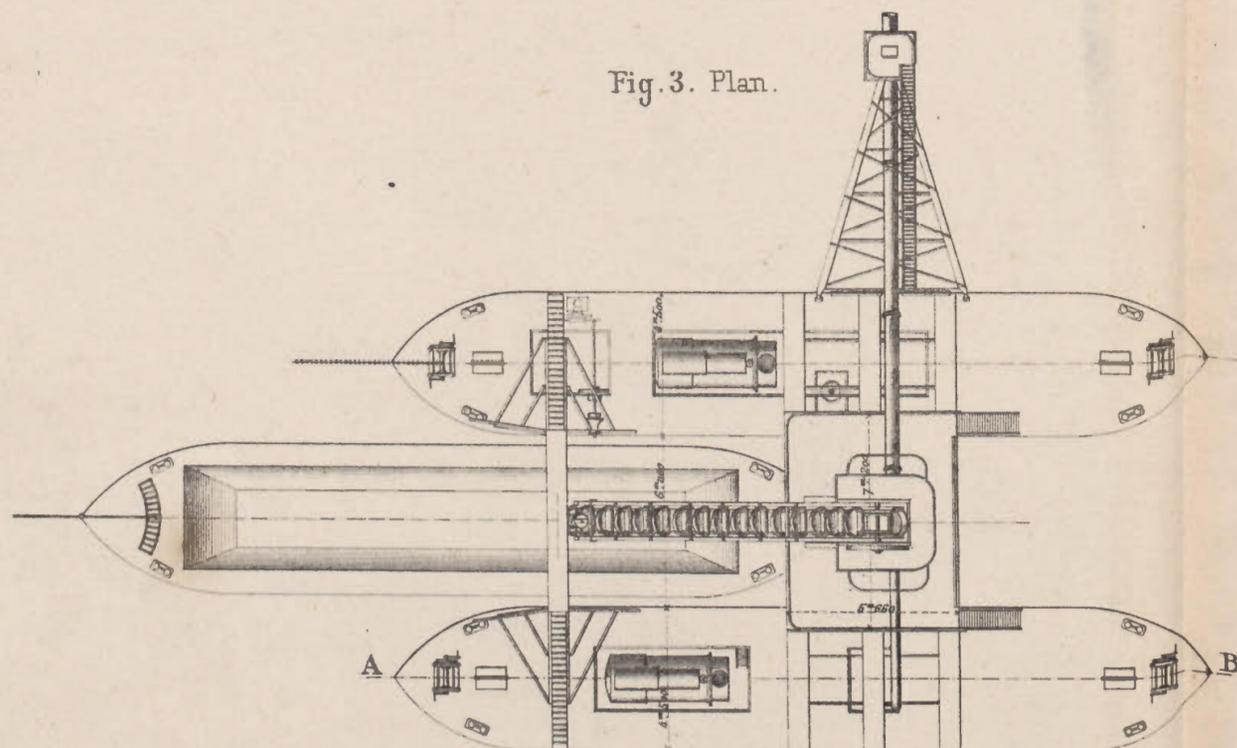
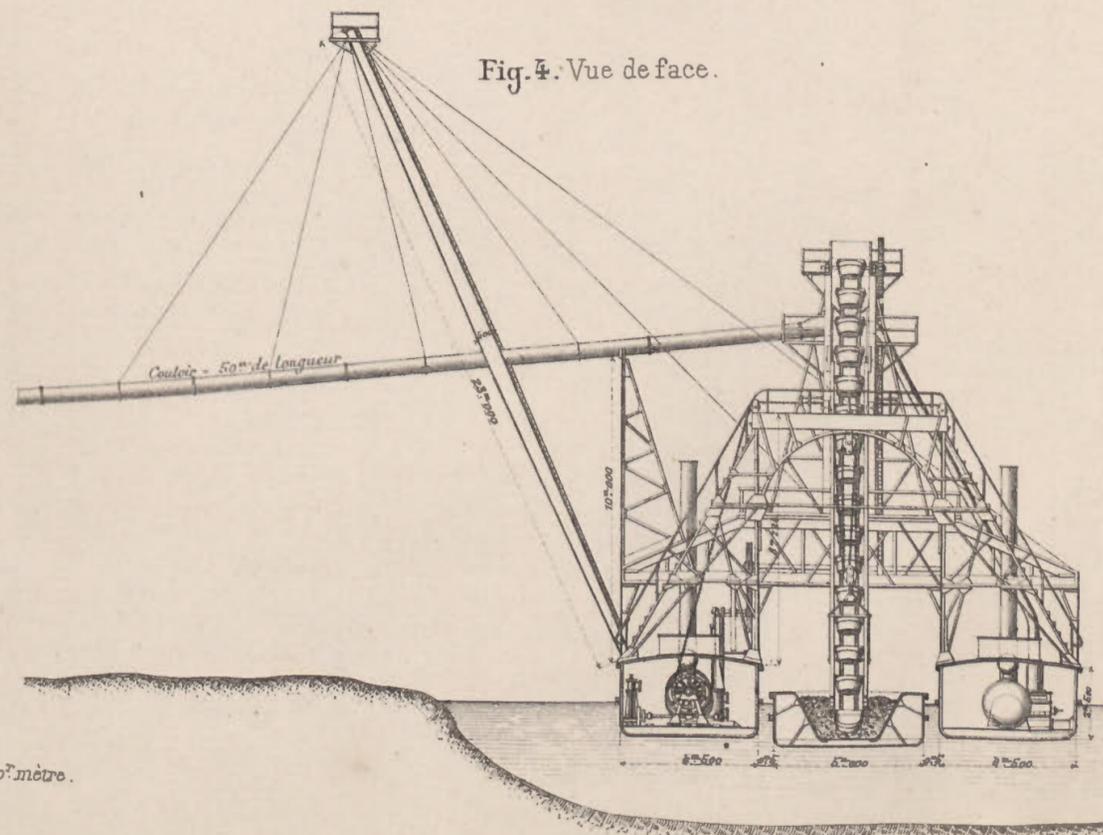


Fig. 4. Vue de face.



Echelle de 0^m005 p^rmètre.