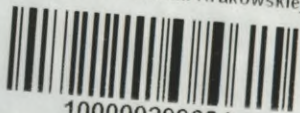


Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299681

15182
IX



5749

Les
J

DES ÉPÎQUES MARITIMES

ET DE LA POÉSIE MARITIME EN GÉNÉRAL

PAR M. DE LAUNAY

PARIS, CHEZ LA SOCIÉTÉ ANONYME D'ÉDITION

DE LA RUE DE LA HARPE, N. 105

EN 1845

DE LA SOCIÉTÉ ANONYME D'ÉDITION

DE LA RUE DE LA HARPE, N. 105

EN 1845

DE LA SOCIÉTÉ ANONYME D'ÉDITION

DE LA RUE DE LA HARPE, N. 105

EN 1845

100

DES PORTS MARITIMES

CONSIDÉRÉS

au point de vue des conditions de leur établissement
et de l'entretien de leurs profondeurs.

RAPPORT

FAIT A LA SUITE D'UNE MISSION EN
BELGIQUE, EN HOLLANDE & EN ANGLETERRE

Par MM. **STOECKLIN**, Ingénieur en Chef

et **LAROCHE**, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées.

ET AVEC QUINZE PLANCHES, CARTES, PLANS, ETC.

FÉVRIER 1878

2^{me} ÉDITION

HONORÉE DE LA SOUSCRIPTION
DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

1880

BOULOGNE-SUR-MER

Typographie & Lithographie SIMONNAIRE & C^o, rue des Religieuses-Anglaises

2165



II 8170

-

Akc. Nr. _____ 1460 / 52

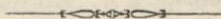
DES PORTS MARITIMES

CONSIDÉRÉS AU POINT DE VUE

DES CONDITIONS DE LEUR ÉTABLISSEMENT

ET DE

L'ENTRETIEN DE LEURS PROFONDEURS.



RAPPORT

FAIT A LA SUITE D'UNE MISSION

EN BELGIQUE, EN HOLLANDE ET EN ANGLETERRE

Par MM. **STÖCKLIN**, Ingénieur en Chef

et **LAROCHE**, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées.

FÉVRIER 1878

BOULOGNE-SUR-MER

IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE & LITHOGRAPHIQUE SIMONNAIRE & C^{ie}

5, Rue des Religieuses-Anglaises, 5

1880

15732
IX



TABLE DES MATIÈRES.

		NUMÉROS DES	
	Pages.	Planches.	
OBJET DE LA MISSION.....	1		
1^{re} Partie. — CRÉATION DES PORTS.			
CHAPITRE I. — PORT DE BOULOGNE.....	2	I et II	
CHAPITRE II. — PORT DE DOUVRES.....	22	III	
CHAPITRE III. — PORTS DIVERS D'ANGLETERRE, DE BEL- GIQUE ET DE HOLLANDE.....	38		
Anvers.....	41	IV	
Liverpool.....	45	V	
Nieuwe-Diep.....	50	VI	
Kingstown.....	55	VII	
Howth.....	59		
Greenore.....	61	VIII	
Nouveau Canal d'Amsterdam....	63	IX	
Hoek van Holland.....	65	X	
La Tyne.....	69	XI	
1 ^{re} Période : Rectification de la rivière et jetées.....	71		
2 ^e Période : Dragages.....	76		
CHAPITRE IV. — MODE DE CONSTRUCTION DES JETÉES...	86		
Jetées à claire-voie.....	87		
Jetées pleines.....	89		
2^{me} Partie. — ENTRETIEN des PROFONDEURS.			
CHAPITRE V. — ENTRETIEN DES PASSES.....	104		
Chasses.....	108		
Ostende.....	109	XII	
Prolongement des jetées.....	113		
Embouchure de l'Adour.....	113		
Système Bergeron.....	119		
CHAPITRE VI. — DRAGAGES.....	123		
Dunkerque.....	124		
La Clyde.....	126	XIII	
CHAPITRE VII. — CONCLUSION.....	135		

DES PORTS MARITIMES

CONSIDÉRÉS

au point de vue de leurs conditions d'établissement
et de l'entretien des profondeurs.

RAPPORT DE MISSION (*)

Objet de la mission. — Une décision du 31 août 1877 nous a chargés d'étudier en Angleterre et en Hollande les questions qui intéressent plus spécialement la création de nouveaux ports, et les moyens en usage pour maintenir la profondeur dans les passes d'entrée et dans l'intérieur des bassins.

Cette décision justifiait et précisait l'objet de notre mission par les considérations suivantes :

Après avoir constaté que les recherches poursuivies à Boulogne, en vue d'y établir un port en eau profonde, avaient fait ressortir les conséquences qu'on peut tirer, « pour la création d'ouvrages de « cette nature, de l'examen attentif de la situation « particulière des côtes, de la forme et de la nature « des plages sous-marines, ainsi que de la direction « et de la force des courants, » la décision ajoutait « qu'il serait désirable, dans l'intérêt des travaux « hydrauliques, de connaître les observations ana-

(*) La publication d'un simple rapport de mission ne comportait pas la reproduction d'un grand nombre de cartes marines; nous avons cru suffisant, pour faciliter la lecture du mémoire, d'y joindre quelques croquis rappelant les circonstances particulières que nous avons voulu signaler.

« logues qui ont pu être faites ailleurs, tant en France qu'à l'étranger. »

En conséquence, nous avons, dans le courant des mois de septembre et d'octobre, visité les ports principaux de la Belgique et de la Hollande, d'Ostende au Helder, et ceux d'Angleterre, d'Écosse et d'Irlande.

Le présent rapport a pour but de rendre compte des faits intéressants que nous avons pu recueillir, dans l'ordre d'idées que nous indiquait la décision du 31 août.

Ce rapport devait se composer essentiellement de deux parties, l'une relative à la création et à la forme des ports, l'autre relative aux mesures d'entretien.

PREMIÈRE PARTIE

CRÉATION DES PORTS

CHAPITRE I

PORT DE BOULOGNE

Le but de ce rapport, étant de fournir quelques indications pratiques pour les études que nécessitent la création de nouveaux ports et l'extension des ports anciens, il paraît naturel de résumer, en premier lieu, les études qui ont été faites pour Boulogne, et qui ont été la cause déterminante de notre mission.

Le port de Boulogne partage avec celui de Calais le privilège d'offrir la traversée la plus courte aux voyageurs qui vont d'Angleterre en France et sur le continent européen ; aussi, depuis quarante ans, un grand nombre d'ingénieurs et de capitaines français

ou anglais ont-ils cherché le moyen d'améliorer les conditions actuelles de ce port. En ce moment les paquebots qui font le service entre Boulogne et Folkestone, ou entre Boulogne et Londres, ne peuvent, malgré leurs faibles dimensions, entrer dans le port qu'à certaines heures, variables presque chaque jour. Quand on a vu tous les efforts que l'on fait en Angleterre, tous les sacrifices que l'on s'impose, soit pour activer les relations de l'Angleterre et de l'Écosse avec l'Irlande, soit pour faciliter la traversée des grandes baies de l'Humber, de la Severn, du Tay ou du Forth, on ne peut s'étonner de l'intérêt considérable que l'on attache, en Angleterre aussi bien qu'en France, à l'amélioration des ports de Calais et de Boulogne.

Des idées de diverses sortes ont été émises au sujet du port de Boulogne.

On a tour à tour songé au prolongement des jetées, à de grands brise-lames placés au large, à des enceintes plus ou moins fermées obtenues au moyen de jetées rattachées à la terre, à des ports restreints construits à une certaine distance de la côte et reliés au rivage par des estacades en bois ou en fer.

La plupart de ces projets sont restés à l'état d'idées vagues, et n'ont été l'objet d'aucune instruction. Le seul, qui, dans le passé, paraisse avoir été soumis à un examen complet, est celui d'une rade ouverte présentée en 1854 par M. l'ingénieur en chef Béguin. Nous en dirons quelques mots plus loin.

La question ne fut reprise sérieusement qu'en 1872, lorsque les représentants de la ville de Boulogne demandèrent la concession d'un port extérieur à créer au devant de Boulogne. Mais les plans présentés ne donnaient pas des indications suffisantes, pour dissiper les craintes d'ensablement qu'on était en droit de concevoir. Les apparences étaient

en effet défavorables à Boulogne. Il est passé presque en axiome, que, lorsqu'il y a sur une côte des transports de sable, les anses se comblent, et les jetées rattachées à la rive provoquent des dépôts qui contournent bientôt les musoirs. Or, le port de Boulogne est situé, non-seulement dans la grande anse qui existe entre le cap d'Alpreck et le cap Gris-Nez, mais encore dans le fond d'une anse secondaire entre la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche ; et l'on sait, du reste, qu'il y a au-devant de Boulogne un transport assez considérable de détritrus provenant des falaises de Normandie.

Mais une étude plus approfondie du régime de la côte sur ce point a conduit à penser que, malgré ces apparences défavorables, la situation de Boulogne se prêtait à l'établissement d'un port en eau profonde.

Nous nous proposons de résumer ici les résultats de cette étude, et les considérations sur lesquelles se fonde le projet qui vient d'être approuvé.

Régime de la côte à Boulogne. — Avant d'aborder l'étude d'un port, il est indispensable de déterminer, d'une façon précise, le régime de la côte. Ce régime est la résultante de la constitution géologique du sol, et des actions diverses qui s'exercent sur lui. (Voir Pl. I et II).

Constitution du sol. — Si l'on étudie les rives de la Manche au point de vue géologique, on constate, en allant vers le Nord, qu'après les falaises de Normandie qui se terminent au bourg d'Ault, il existe, d'abord, un golfe assez profond allant du bourg d'Ault au cap d'Alpreck, et ensuite, le large promontoire du Boulonnais qui va du cap d'Alpreck au cap Gris-Nez et au Blanc-Nez ; à partir de là, on rencontre, le long de la mer du Nord, les terrains bas

de la Flandre et de la Hollande, connus sous le nom de Wattringues et de Polders.

Peut-être le détroit s'est-il trouvé, à une certaine époque géologique, momentanément fermé (*); c'est un fait à discuter; mais il est bien certain du moins, que la communication entre la Manche et la mer du Nord ne se fait qu'à travers un canal étroit, et que par suite de la différence entre les régimes de ces deux mers, les parois de ce canal de jonction doivent être, et sont en effet, violemment corrodées. Aussi les côtes de France et d'Angleterre se présentent, dans le détroit du Pas-de-Calais, sous la forme de falaises à pic, et M. Larousse, dans les sondages qu'il a faits en 1875 et 1876 à travers le canal, a trouvé presque partout, au fond de la mer, dans des profondeurs de 40 à 70^m, le sol naturel débarrassé de tout dépôt.

La loi générale qu'on formule par ces mots, « les pointes se rongent, les anses se comblent, » s'est réalisée parfaitement ici. Le golfe compris entre le bourg d'Ault et le cap d'Alpreck s'est comblé, et il n'en reste plus d'autres traces, qu'une plaine absolument plate, quelques tourbières, et les estuaires de la Somme, de l'Authie et de la Canche. Le long de la mer on trouve une série de dunes et une plage de sable presque en ligne droite.

D'autre part, le promontoire du Boulonnais a été, et continue à être corrodé; mais comme il est formé de couches très-différentes, il se corrode irrégulièrement; les roches résistent plus ou moins suivant leur dureté, et forment des caps, tandis que les couches de tuf et d'argile se rongent plus facilement; c'est ce qui donne à la côte, du cap d'Alpreck au cap

(*) Cette hypothèse vient d'être reproduite avec une grande autorité dans le rapport de M. Lavalley (page 14 du compte-rendu relatif aux travaux d'étude du tunnel sous-marin, 2 mai 1877).

Gris-Nez, l'aspect d'une dentelure formée d'une série de pointes avec des rentrants intermédiaires.

Dans les environs immédiats de Boulogne, la côte présente deux pointes, la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche, formées toutes deux de la roche la plus dure, le *grès à ammonites gigas*, et entre les deux un rentrant relatif, correspondant à des couches plus tendres, Mais peut-on appliquer à cette anse, si tant est qu'on veuille lui donner ce nom, la loi précitée : « les caps se rongent, les anses se comblent » ? Nous ne le pensons pas. Cette loi s'applique en effet aux pointes et aux anses préexistantes, et non aux pointes et aux anses qui sont en formation; et pour s'en convaincre, il suffit de rappeler que la pointe de Dungeness avance tous les ans de 1^m,60 vers le large (*), et que la baie de Saint-Jean-de-Luz continue à s'élargir, malgré tous les obstacles qu'on a opposés à son extension.

L'anse de Boulogne est, elle aussi, une anse en formation, dont la flèche est fonction de la distance des pointes qui la limitent, de la nature du sol et des actions maritimes qui s'exercent sur elle. Et pour faire bien comprendre notre pensée, nous croyons pouvoir dire que, si l'on coupait 400^m, par exemple, de chacune des deux pointes de l'Heurt et de la Crèche, l'anse rentrerait elle-même de 400^m dans les terres; ou bien encore que, si le sol était formé de vase ou de sable fin plus facile à désagréger que le sol existant, l'anse prendrait une courbure beaucoup plus prononcée vers les terres.

Régime des marées et des courants.—Au point de vue du régime de la mer, deux faits caractérisent, d'une façon spéciale, les parages de Boulogne, la

(*) Elle a avancé de 90 yards en 52 ans; (voir le Report upon the subject of harbours of refuge, Londres 1845, page 9).

grande élévation des marées, et l'existence d'un courant alternatif, dont les variations sont en discordance avec les variations de la marée. Les marées se sont élevées en effet à Boulogne de 9^m,15 aux vives eaux d'équinoxe, le 1^{er} mars 1877, tandis qu'elles n'étaient ce jour-là, que de 6^m,75 à Cherbourg, de 7^m,15 à Calais, de 6^m,10 à Dunkerque.

D'autre part, le courant alternatif qui existe au-devant de Boulogne ne concorde pas avec le mouvement de la marée; car le courant montant (du Sud au Nord) ne commence que 3^h après l'heure de la basse mer, et persiste 3^h après la haute mer; son maximum de vitesse, qui dépasse 3 nœuds ou 1^m,50 par seconde, correspond à peu près à l'étale de haute mer; pour le courant descendant (du Nord au Sud), le maximum de vitesse, qui est de 2 nœuds ou 2 nœuds 1/2, correspond à l'étale de basse mer. De sorte qu'un navire, à l'ancre au-devant de Boulogne, évite au moment de mi-marée montante et de mi-marée baissante (*). De plus, MM. Gaussin et Estignard, et M. Ploix, ont constaté devant Boulogne, que ce courant est *un courant de masse*, c'est-à-dire qu'il s'exerce sur toute la hauteur de l'eau; et les résultats obtenus par M. Larousse prouvent que le même effet se produit sur toute la longueur du détroit.

(*) « Dans son rapport du 24 juin 1877, relatif au projet du « nouveau port de Boulogne, M. Stœcklin a fait remarquer, qu'en « superposant la courbe des marées de Calais à la courbe des marées « de Boulogne (Voir Pl. XIV, fig. I), après avoir fait coïncider les « lignes de niveau moyen pour les deux ports, on pouvait se « rendre facilement, et assez exactement, compte de toutes les « circonstances relatives à ces courants alternatifs du détroit. Il « est évident, en effet, que lorsque l'eau est plus haute à Boulogne « qu'à Calais, il doit y avoir déversement de la Manche de la mer « du Nord; et qu'au contraire il y a déversement de la mer « du Nord dans la Manche, lorsque l'eau est plus basse à Boulogne « qu'à Calais. Il est évident aussi, que la vitesse du courant est « proportionnelle à la différence des deux cotes à Boulogne et à

A l'action des courants s'ajoutent celle de la marée et celle des lames. Ces deux dernières actions sont prépondérantes sur l'estran et dans la partie avoisinant la laisse de basse mer jusqu'aux profondeurs de 4 à 5^m ; au-dessous de ce niveau, l'action des lames perd de plus en plus de son intensité, et c'est l'action des courants qui prédomine. Le courant attaque le fond et les berges sous-marines du chenal qui existe entre la Bassure de Baas et la terre, tandis que le mouvement des lames a pour résultat d'aplatir et de niveler l'estran.

Le courant entre la côte et la Bassure de Baas agit comme un grand fleuve. — Dans ses traits généraux, la côte au droit de Boulogne se comporte comme la rive concave d'un grand fleuve, rive que l'on aurait fixée au moyen de deux grands épis, la pointe de l'Heurt et la pointe de la Créche.

En effet, ces caps sont accores ; le fond du lit laisse voir partout le sol naturel ; le talus de la plage est brisé en plusieurs points, surtout vers la profondeur de 7 à 8^m, et l'on retrouve, en haut, le talus du lit majeur avec une inclinaison descendant jusqu'à 1 ou 2 millimètres par mètre, et, en bas,

-
- « Calais. La comparaison des deux courbes superposées fait voir,
« comme l'ont constaté tous les hydrographes,
« Que le courant montant (du Sud au Nord) commence 2 heures
« 1/2 ou 3 heures après la basse mer ;
« Qu'il dure 5 heures 1/2 ou 6 heures ;
« Que son maximum correspond à peu près à l'étale de flot ;
« Que le courant descendant (du Nord au Sud) commence 3 heures
« ou 3 heures 1/2 après la haute mer ;
« Qu'il dure 6 heures ou 6 heures 1/2 ;
« Qu'il est plus faible que le courant montant ;
« Que son maximum correspond à peu près à l'étale de jusant ;
« Que les courants sont moins forts en morte eau qu'en vive eau ;
« Que la force du courant est très-sensiblement influencée par la
« direction et la force du vent, puisque tel vent, par exemple celui
« du Sud-Ouest, pousse et gonfle l'onde de la Manche, en même
« temps qu'il arrête et déprime celle de la mer du Nord. »

le talus du lit mineur avec une inclinaison dix ou quinze fois plus forte, et qui va, en certains points, jusqu'à 7 ou 8 centimètres. A la suite des épis se trouve un rentrant, et, comme le courant va alternativement dans chaque sens, le rentrant existe de chaque côté de l'épi ; et il en résulte, vers le milieu, un renflement relatif.

Les courbes de niveau se pressent autour des caps, autour de la pointe de l'Heurt surtout ; les eaux gonflées en amont se partagent ; les unes coulent entre la Bassure et la terre ; les autres se déversent vers le large, et produisent ainsi cette dépression que M. Ploix a constatée en ce point de la Bassure. Entre ces deux courants, il se produit un calme relatif, qui explique la formation et le maintien du banc, ou mieux du haut-fond de la Bassure : non-seulement le sable s'y arrête plus facilement ; mais le sol lui-même y est moins fortement attaqué.

Le courant montant étant plus fort que le courant descendant, il y a ce que l'on a appelé *gain de flot*, c'est-à-dire que les sables voyagent du Sud au Nord ; et, comme à partir de l'étranglement du Gris-Nez, la côte se dérobe, et que la section augmente dans une large proportion, ces alluvions se déposent, et vont former et alimenter cette série de bancs entrecoupés de chenaux, que l'on rencontre devant Dunkerque.

Sur l'estran les courants se font également sentir ; mais leur action est modifiée par l'action des lames qui prend ici la prépondérance. L'action des lames a pour effet de corroder les couches d'argile et de tuf, et de niveler ensuite avec du sable les creux qui se produisent entre les bancs de roche. Mais malgré la présence de ce sable, la plage de Boulogne est loin d'être ce qu'on appelle une plage de sable ; quand on la suit entre la pointe de l'Heurt et

celle de la Crèche, on rencontre à chaque pas des arêtes de roche ou de tuf, et les forages exécutés par M. Legros, en 1872 autorisent à penser, que la chemise de sable n'a nulle part une épaisseur supérieure à 2^m. Si on pouvait enlever cette chemise, on retrouverait partout la falaise, se comportant sous l'eau comme elle se montre au-dessus, et produisant, par suite des couches très-différentes dont elle est formée, les plateaux signalés par M. Ploix, et les irrégularités que l'on rencontre dans les fonds, et qu'il serait absolument impossible d'expliquer avec une plage de sable.

Concordance de la théorie avec les faits observés. — La théorie que nous venons d'exposer, a été confirmée par l'observation des faits. Une reconnaissance hydrographique des parages de Boulogne, a été faite avec un soin extrême dans le courant de 1876, sous la direction de M. E. Ploix, ingénieur hydrographe de la marine. En comparant les résultats de cette reconnaissance hydrographique avec ceux des reconnaissances faites dans les mêmes parages, en 1835 par Beautemps-Beaupré, en 1855 par MM. Gaussin et Estignard, M. Ploix est arrivé à cette conclusion, qu'il n'y a pas eu de modifications appréciables de la plage, en général, de 1835 à 1855, et de 1855 à 1876, que la falaise continue à reculer; que les grands fonds sont restés les mêmes, et que les courbes, à partir de celles de 5^m, n'ont pas varié sensiblement. Les dépôts de sable provoqués par les jetées de Boulogne construites en 1835, et par la jetée du Portel faite en 1867, ont eu fort peu d'importance, et n'ont exercé aucune influence sur les fonds de plus de 5^m. Ces dépôts n'ont rien de contraire à la théorie indiquée ci-dessus, et ne sont pas de nature à compromettre l'avenir du nouveau port.

Conséquences de la théorie précitée relativement à la nature des ouvrages à faire. — Cette théorie une fois admise, il était relativement facile de se rendre compte de ce que produiraient des ouvrages nouveaux établis sur la plage, et dès lors de se diriger dans le choix du système auquel il faudra donner la préférence.

Tout ouvrage dont la saillie n'atteindra pas la limite d'action des pointes de l'Heurt et de la Crèche, n'aura aucun effet sensible sur les grands fonds, et ne produira sur le haut estran que des relèvements de peu d'importance.

Tout ouvrage qui atteindra les grands fonds à partir de la courbe de 5^m, agira comme un épi et devra produire les mêmes effets. Or, on sait (voir l'intéressant mémoire de MM. Legrom et Chaperon, annales de 1838, 1^{er} semestre, page 360) qu'un épi (dont l'effet n'est pas, bien entendu, annulé ou contrarié par des épis voisins), provoque d'une part, des remous ou contre-courants qui corrodent les rives à une certaine distance en amont et en aval, et d'autre part produit des bancs, surtout du côté aval. Ici la même cause produirait les mêmes effets ; seulement ces effets seraient modifiés, dans une certaine mesure, par l'alternance des courants et par la superposition de l'action des lames ; les contre-courants continueraient à se produire le long des rives à une certaine distance, mais les bancs dérasés continuellement par le mouvement des lames n'atteindraient probablement pas une grande hauteur. De plus, surtout du côté du vent régnant, c'est-à-dire du côté du Sud-Ouest, le sable s'accumulerait dans l'angle formé entre l'ouvrage et la côte.

1° Jetée unique. — Une jetée unique, quelles que soient du reste sa longueur et sa direction, aurait donc pour conséquence fatale de provoquer des

ensablements des deux côtés, et par conséquent dans la rade que l'on voudrait créer et au-devant de l'entrée du port actuel. On ne peut échapper à ce danger certain, qu'en créant un port fermé, dont l'ensemble formerait l'épi, et repousserait les dépôts au dehors de l'enceinte générale.

Deux autres systèmes s'accorderaient, il est vrai, avec notre théorie, et ont été, en effet, préconisés. C'est le système des brise-lames au large, et le système des jetées prolongées jusqu'aux grandes profondeurs.

2° Prolongement des jetées.—Ce dernier système avait été défendu, vers 1840, par M. l'ingénieur en chef Marguet. Nous pensons que ce système pourrait donner en effet une embouchure profonde. Mais il serait impossible avec les seules chasses, et difficile avec les dragues, d'obtenir cette profondeur dans toute la longueur du chenal ; et si même on pouvait l'obtenir, il n'en faudrait pas moins, pour tirer de cette augmentation de profondeur tout le profit possible, refaire presque tous les ouvrages du port. Mais alors, ne vaut-il pas mieux, au lieu de refaire ces ouvrages dans les conditions les plus difficiles et les plus onéreuses, utiliser ce que l'on a, et employer les fonds nouveaux, à faire à l'extérieur, des ouvrages additionnels ?

Il est vrai que les défenseurs de cette solution ne paraissent pas avoir d'autre ambition que d'obtenir 1^m ou 1^m,50 d'eau, sur la barre, par basse mer de vive eau. Ce serait certainement là une amélioration sur l'état actuel, puisque la barre est aujourd'hui à 1^m au-dessus des basses mers. Néanmoins, en tenant compte du mouvement spécial du port de Boulogne, on peut se demander, si cet avantage suffirait pour compenser les inconvénients qui résulteraient du prolongement des jetées, savoir : la difficulté de

louvoyer et de s'éviter dans un chenal de 1.500 à 1.600^m de longueur, — le danger d'une passe étroite portée dans les grandes profondeurs, au milieu de courants rapides, — la propagation de la houle recueillie, pour ainsi dire, là où elle n'a pas encore été amortie par les bancs, — la dépense considérable. Et si déjà le système des jetées prolongées ne paraît pas présenter un avantage bien marqué sur le maintien de la situation actuelle, il ne peut surtout pas être mis en concurrence avec le système d'un port fermé, qui non-seulement supprime ces divers inconvénients, mais encore procure une rade et des installations nouvelles.

3° Brise-lames isolé. — Quant au système des rades ouvertes, constituées par un seul brise-lames, système qui a été préconisé en 1854 par M. Béguin et par MM. Gaussin et Estignard, et qui a été indiqué par M. Ploix, il soulève, lui aussi, des objections sérieuses. En effet, si on place le brise-lames sur la Bassure de Baas, il faut lui donner un développement considérable pour le rendre efficace ; (en 1856, le Conseil des travaux de la marine et le Conseil d'amirauté avaient déclaré qu'il faudrait donner à ce brise-lames un développement de 12.000^m, ce qui devait exiger, aux prix d'alors, une dépense de 177.500.000 fr.) Si on le place plus près de terre, il présentera encore de grands inconvénients, en sus de la dépense qui est toujours considérable pour un ouvrage de ce genre. Ce qui constitue pour Boulogne une situation exceptionnelle, c'est précisément l'existence de ce courant, de ce fleuve qui coule entre la Bassure de Baas et la côte. Il faut donc, à notre avis, toucher le moins possible à cette situation, et ne rien faire qui puisse gêner ce courant en encombrant son lit. En tout cas, nous partageons complètement les craintes, qu'exprimait déjà le Conseil général des

Ponts-et-Chaussées, à la date du 1^{er} avril 1856, « de
« voir les sables remplir peu à peu le chenal compris
« entre le brise-lames et la côte, lorsque ce chenal
« aura été soustrait en partie, par la construction du
« brise-lames, à l'action des vagues, et peut-être
« même à l'action des courants. »

En outre le calme que l'on obtiendra en arrière, est très-incertain, et pourrait bien ne pas suffire pour établir des wharfs ou des quais d'accostage.

4° Port fermé. — L'étude approfondie du régime de la côte conduit donc à cette conviction, que l'idée d'un port en eau profonde est réalisable, et que la meilleure solution est celle d'un port fermé, placé au Sud, et englobant l'entrée du port actuel. C'est dans ce système qu'est conçu le projet approuvé récemment par le Conseil Général des Ponts-et-Chaussées.

Objections émises. — Deux objections capitales avaient été opposées au projet :

- 1° L'ensablement des passes ;
- 2° L'envasement intérieur.

Ensablement des passes. — Si le régime de la côte est bien celui que nous avons cherché à décrire plus haut, on doit admettre, sans hésitation, que les passes ne seront pas ensablées. Il est permis de croire, en effet, que si l'on réunissait par une digue en ligne droite ou légèrement concave, la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche, cette digue serait plutôt affouillée par les courants qu'ensablée.

Le même effet se produira pour un élément de cette digue ; l'ensemble du port, s'il ne reste pas en arrière de la courbe déterminée par ces deux pointes, formera épi, et il se produira un affouillement à la tête de cet épi, comme il s'en produit un à la pointe de l'Heurt. Des relèvements se produi-

ront, sans aucun doute, au Sud et au Nord; mais ces relèvements qui ne seront, du reste, pas dangereux pour le port, n'atteindront probablement pas une grande hauteur, parce que l'action directe de l'épi se trouvera contrariée par l'action des lames.

Envasement intérieur.— Cette seconde question a été beaucoup plus controversée que la précédente, et il est, en effet, plus difficile de prévoir ce qui se produira. Toutefois ces dépôts ne paraissent pas devoir exiger des dragages hors de proportion avec ce que pourra comporter un port de cette importance.

Voici, en effet, comment on peut se représenter ce qui arrivera. Le nouveau port ne pourra recevoir que trois sortes de dépôts : les sables lourds qui, roulant sur le fond, seraient entraînés dans le port par les courants de remplissage et qui y formeraient des bancs; les sables fins mis en suspension par les lames, et qui se déposeraient dans une eau relativement calme; enfin les vases amenées soit par la mer, soit par la Liane. Les sables lourds charriés par le courant longitudinal suivront la direction de ce courant, et auront certainement plus de tendance à descendre qu'à remonter le talus assez raide qui se trouvera devant les passes. Le peu qui pourrait être entraîné dans l'intérieur par les courants ou par les lames, resterait près de la porte, et serait en grande partie ramené au dehors par le courant de vidange.

Pour ce qui concerne le sable fin, il semble difficile d'admettre qu'il puisse, sans être soutenu par une matière étrangère, être maintenu en suspension pendant un temps assez long, et se mouvoir horizontalement, comme le disaient MM. Gaussin et Estignard. Sous l'action des lames, le sable peut être soulevé momentanément à une certaine hauteur,

et retomber à une certaine distance ; mais cette action n'est sensible que sur des plages, et pour de faibles profondeurs. Quand, du haut de la falaise, on regarde une mer agitée, on peut apprécier la hauteur de l'eau par sa couleur : l'eau prend la teinte jaune du sable sur l'estran ; puis cette teinte pâlit et passe au vert laiteux et au vert foncé. Lorsque les entrées du nouveau port seront reportées dans des profondeurs de 7 à 8^m par basse mer, le fond de sable ne sera plus guère agité à cette profondeur, et l'eau qui viendra remplir le port, ne sera plus que fort peu chargée de sable.

Quant à la vase provenant soit de la mer, soit de la Liane ou des égouts, voici ce qu'on observe à Boulogne. Sur toute sa large plage, même dans les coins les plus reculés, on ne voit pas trace de vase, bien que la falaise et le sol naturel de l'estran soient formés, en grande partie, de couches d'argile, et que cette plage reçoive les déjections de la Liane et des égouts de la Ville. Lors des crues de la Liane ou au moment des chasses, l'eau sort du port fortement colorée en jaune ou en noir, et cette teinte se prolonge en mer sur une très-grande longueur ; souvent, à la marée suivante, les eaux sont encore troubles en rentrant dans le port ; et cependant on ne constate aucun dépôt de vase sur les plages voisines. Et ce qui se passe à Boulogne, se passe tout le long de la côte du Boulonnais ; quoiqu'on rencontre, en allant vers le Sud, des rivières bien autrement puissantes que la Liane (*), et quoique les troubles de ces rivières, la Somme, l'Authie, la Canche, soient tous poussés vers le Nord, la plage ne contient partout que du sable absolument pur.

On ne peut trouver à ces faits, qui, à première

(*) La Liane n'a pas quatre mètres de large à Pont-de-Briques, à moins de 6 kilom. de Boulogne, et devient, bientôt après, un simple ruisseau.

vue, paraissent contradictoires, qu'une explication rationnelle. Il doit arriver fort peu de vase par la mer ; et, quant à la Liane et aux égouts, il faut admettre qu'ils laissent déposer, dans leur partie supérieure, les matières lourdes qu'ils charrient ; leurs eaux achèvent de déposer dans le port actuel ce qu'elles contiennent encore en excès, et celles qui sortent du port, bien que fortement colorées quelquefois, ne gardent plus que ce qu'elles peuvent tenir en suspension, en se mêlant en mer à des eaux considérables et fortement agitées. Ces eaux troubles sont entraînées ensuite dans le grand courant, et vont engraisser les bancs de la Belgique et de la Hollande.

Les dépôts provenant de cette source continueront à se faire dans le port actuel, comme ils s'y font aujourd'hui ; quand des eaux exceptionnellement troubles arriveront dans le port intérieur au moment de la basse mer, elles laisseront déposer ce qui dépassera leur point de saturation ; quand elles y arriveront par haute mer, la diminution de vitesse se trouvera compensée en partie, par la grande masse d'eau dans laquelle elles seront dilués. En un mot, lorsqu'il y aura sursaturation des eaux, le dépôt se fera dans le port actuel ; lorsqu'elles arriveront dans le port extérieur, et que leur volume se trouvera décuplé, souvent centuplé, il n'y aura plus de sursaturation possible, et les dépôts seront d'autant moins importants, que le nouveau port sera loin d'avoir le calme du port d'échouage actuel. L'exemple du port de Kingstown est du reste là pour nous rassurer : on n'y drague par an qu'une dizaine de mille mètres cubes ; et cependant le port de Kingstown ne nous paraît pas être dans une situation plus avantageuse que celle où se trouvera le nouveau port de Boulogne ; car si d'une part il reçoit

moins de déjections provenant des terres, d'autre part il est plus abrité, les courants y sont moins régulièrement dirigés au-devant des passes qu'à Boulogne, et l'on trouve dans son voisinage immédiat le grand estuaire vaseux de la Liffey, qui doit souvent troubler l'eau jusqu'au-devant de Kingstown.

Il paraît bien difficile de fixer *à priori* des quantités ; mais il semble qu'on fera une large part à l'imprévu, en adoptant, comme maximum, la moitié du chiffre trouvé par le capitaine Washington pour la rade de Douvres. Au point de vue des dépôts, Douvres se rapproche des conditions où se trouve Boulogne. Là aussi il y a une rivière, le Dour, et des égouts, qui fournissent des apports ; et d'autre part, les expériences du capitaine Washington ont été bien autrement nombreuses et suivies, que n'ont pu l'être les quelques observations faites à Boulogne, puisqu'il est resté dans la rade de Douvres, de février à septembre 1845, avec un navire de l'État, et pour ce but unique. Le capitaine Washington a trouvé que, si toutes les matières en suspension dans l'eau se déposaient, le dépôt serait par an de 3 pouces ou 0^m,0762, de vase solide. Le dépôt correspondrait donc pour Boulogne, à une épaisseur de 0^m,038, ou à un cube de 380^m par an et par hectare.

En dehors de ces deux grandes objections qui sont d'ordre général, on en avait fait deux autres plus spéciales à Boulogne. Nous croyons devoir également en dire quelques mots, parce que dans toute étude de port, on se heurtera à des difficultés semblables.

Envasement de la plage des bains. — On a parlé d'abord du danger de voir la plage des bains, à l'est de Boulogne, se couvrir de vase et devenir impraticable pour les baigneurs. Mais nous croyons que ces craintes ne sont pas fondées.

S'il n'y a pas de vase sur la plage actuelle des bains, malgré l'existence de la jetée de l'Est et de la digue basse qui lui fait suite, et malgré les troubles de la mer et les apports de la Liane, on doit en conclure qu'il existe des causes naturelles qui empêchent ces dépôts de vase de se produire. Ces causes sont sans doute l'action des courants et des lames qui lavent incessamment la plage, la quantité restreinte et la grande ténuité de la vase en suspension dans l'eau, et cette sorte d'appel qu'exerce le courant longitudinal. La création du nouveau port n'aggravera aucune de ces conditions. Si donc l'estran se relève près de terre, ces apports nouveaux ne pourront être que du sable ; et toute la plage au-dessous du niveau des hautes mers continuera à être lavée, comme elle l'est aujourd'hui, par les lames et par les courants. Les pointes de l'Heurt et de la Crèche avancent plus vers le large que n'avancera le port nouveau ; et cependant on ne trouve de vase, ni en amont ni en aval de ces pointes. La création du nouveau port extérieur apportera au contraire, un élément nouveau favorable à la plage des bains. Actuellement les eaux troubles sortant du port sont poussées vers cette plage, dès qu'elles ont dépassé le musoir de l'Ouest. Une fois le nouveau port construit, ces eaux troubles seront portées directement jusque dans le grand courant ; et comme elles sont surtout chargées de vase vers la fin du jusant, lorsque la plage est à sec, ces eaux troubles seront emportées au loin, avant que la mer, en montant, puisse les repousser vers la plage.

Convenance de reporter le nouveau port à quelque distance de Boulogne. — Une objection d'un autre ordre, a été produite également dans le cours de l'instruction. On disait :

Puisqu'il y a hésitation sur les effets que pro-

duiront les ouvrages projetés, pourquoi englober le port actuel, et ne pas reporter ces ouvrages à une certaine distance dans le Sud ou dans le Nord ?

En admettant même que cette hésitation dût persister après les études nouvelles, qui ont fait connaître d'une façon plus précise les conditions d'existence de la plage de Boulogne, on pouvait réfuter cette objection par des arguments de diverses natures.

Il est évident, d'abord, que s'éloigner plus ou moins de Boulogne, serait sacrifier plus ou moins cette ville ; or ce n'est pas sans des motifs très-graves, motifs qui n'existent pas ici, que l'on peut songer à déshériter une ville de cette importance.

De plus, et en considérant la question au point de vue purement technique, on a fait ressortir plus haut, que l'ensemble du nouveau port devra constituer un épi, et qu'il se produira, tant au Sud qu'au Nord de cet épi, des bancs de sable. Éloigner l'établissement de la position projetée, ce serait donc risquer de provoquer un relèvement de la plage, au-devant même de l'entrée du port actuel.

En second lieu, le nouveau port placé ailleurs qu'au-devant de Boulogne serait sans communication avec le port actuel, et ne lui servirait pas de vestibule ou de rade foraine. Il ne pourrait également, à cause de la hauteur des falaises, être mis que fort difficilement en communication avec le chemin de fer.

Enfin, si l'on s'approche de l'Heurt, on tombe dans les rochers, et l'on passe brusquement des profondeurs de 2^m à celles de 12 à 14^m ; si l'on se porte au Nord de Boulogne, on est condamné à englober, et par conséquent à annuler, l'établissement des bains de mer, et l'on se trouve en même temps placé sur un plateau en partie rocheux, sans talus bien nettement déterminés vers les grands fonds, tandis qu'en

se plaçant à Boulogne, on reste en grande partie dans la dépression qui forme la vallée de la Liane, et où les dragages seront plus faciles ; et l'on rencontre, vers les profondeurs de 7 à 8^m, un talus relativement raide, au bord duquel on peut se placer, en gardant derrière soi un vaste espace pouvant servir de rade.

Telles sont, en résumé, les considérations générales sur lesquelles est basé le projet, quant à ses dispositions d'ensemble.

En ce qui concerne les profils des jetées, nous n'en dirons ici que peu de mots.

Nous avons passé en revue et discuté au chapitre IV, p. 86 de ce rapport, les divers systèmes de jetées adoptés actuellement en France, en Angleterre et en Hollande. Il ressort pour nous de cette discussion que le meilleur système pour Boulogne paraît être celui des jetées mixtes, c'est-à-dire des jetées composées d'une fondation en enrochements naturels et artificiels, surmontée d'une muraille.

Le système des jetées tout en enrochements, comme celle de Plymouth, est sujet à de continuelles avaries, et exige un cube énorme de matériaux qu'il serait difficile de se procurer à Boulogne. Le système de la muraille s'appuyant sur le fond de la mer, comme aux jetées de Douvres et de Tynemouth, présente des difficultés considérables d'exécution, et entraîne à des dépenses très-élevées de temps et d'argent. La jetée de l'Amirauté de Douvres n'a pas coûté moins de 1,000 livres ou 25,000 fr. le mètre, et l'on n'a pu exécuter, en moyenne, que 30 à 35^m de jetée par an.

Ce sont là des conditions d'exécution que l'on n'accepte plus guère à notre époque.

CHAPITRE II.

—
PORT DE DOUVRES

(Voir Pl. III)
—

Parmi les études qui ont été faites dans un but semblable, il n'y en a pas, à notre avis, qui offrent plus d'intérêt que celles qui concernent Douvres, par suite de la proximité de ce port des côtes de la France, et des analogies que sa situation présente avec celle de Boulogne. Nous nous en occuperons donc d'une façon spéciale.

Le port de Douvres est peut-être celui de toute l'Angleterre, qui a donné lieu au plus grand nombre de projets et aux discussions les plus fréquentes et les plus approfondies. Douvres se trouve, en effet, au point le plus étranglé du détroit du Pas-de-Calais, et dans le voisinage de la grande rade des Dunes ; il renferme en outre des établissements militaires considérables. Aussi les projets concernant Douvres ont donné lieu, à plusieurs reprises, à des enquêtes officielles, dont les procès verbaux ont été imprimés. Nous essaierons d'extraire de ces procès-verbaux les renseignements les plus intéressants pour l'étude qui fait l'objet de ce rapport.

Les enquêtes les plus importantes sont celles de 1844, de 1846 et de 1875.

Enquête de 1844. — En 1844, la Commission présidée par l'amiral Byam-Martin avait pour mission spéciale, de rechercher dans le canal (the British Channel, portion de la Manche comprise entre la presqu'île du Cotentin et le détroit du Pas-de-Calais), le point, ou les points, où il serait possible d'établir

des ports de refuge, susceptibles de recevoir non-seulement les navires du commerce, mais encore les vaisseaux de la Marine militaire.

Dans son rapport du mois d'août 1844, la Commission plaça Douvres en première ligne, et proposa d'y créer une vaste rade fermée, ayant la forme d'un trapèze, d'une contenance de 520 acres (210^h) à partir de la laisse de basse mer, avec une entrée de 700 pieds (213^m50) sur le front Sud (vers le large) et une passe de 150 pieds (45^m70) dans la jetée en retour de l'Est. La jetée de l'Ouest devait partir de l'ancien éperon appelé Cheeseman Head, et atteindre les profondeurs de 7 fathoms (12^m80).

Enquête de 1846.— Le rapport de cette Commission ayant été adopté en principe, les ingénieurs furent invités à présenter leurs projets, et une nouvelle Commission, également présidée par l'amiral Byam-Martin, fut chargée, à la fin de 1845, de donner son avis sur les divers projets présentés. Dans son rapport daté du 28 janvier 1846, et après une enquête très-minutieuse, elle se prononça comme suit, sur la question de l'étendue du port, de la position des passes, et des objections émises au sujet du transport du galet et de l'envasement intérieur.

« *Etendue.* — Sauf une seule exception, tous les
« ingénieurs proposent une étendue plus grande
« que celle qu'a proposée la Commission de 1844.
« Nous estimons que cette étendue de 520 acres
« doit être considérée comme un minimum pour un
« port de refuge à Douvres. »

« *Forme.* — Nous estimons que la forme doit peu
« différer de celle qui a été proposée en 1844, et
« que la partie Sud de la digue doit se rapprocher
« le plus possible de la direction du courant de flot,

« et se trouver dans une profondeur de 7 fathoms à
« basse mer ; enfin que les branches Est et Ouest
« peuvent être placées à peu près perpendiculaire-
« ment à la rive. »

« *Passes.*— La question des passes entraîne avec
« elle l'étude des inconvénients provenant du char-
« riage des galets et des envasements. Après avoir
« étudié la question à tous les points de vue, nous
« pensons que, bien qu'au point de vue nautique il
« y aurait eu avantage à ménager des passes dans
« les digues en retour de l'Est et de l'Ouest, il est
« préférable de n'en point laisser, et de ne maintenir
« que deux passes placées toutes deux dans la
« digue Sud, une vers chaque extrémité.

« Nous n'avons pas perdu de vue, que le galet
« est une des grandes objections que l'on oppose à
« la création d'un port dans la baie de Douvres ;
« et les efforts infructueux faits jusqu'à ce jour pour
« empêcher son entrée dans le port actuel, viennent
« corroborer cette crainte ; mais le résultat de notre
« enquête sur ce sujet est que cette crainte n'est
« pas bien fondée ; et la majorité des ingénieurs
« affirme que le mouvement du galet le long d'une
« côte, peut être arrêté quand on le veut.

« Nous ne croyons pas nécessaire de nous étendre
« sur ce sujet ; nous ne pouvons que renvoyer au
« témoignage de plusieurs ingénieurs éminents, et
« nous exprimons l'opinion formelle, que l'appré-
« hension du galet ne doit pas être une objection
« qui empêche la création du port de Douvres.

« La question des vases présente un obstacle bien
« plus formidable, et cet obstacle, quoique moins
« apparent, constitue la principale difficulté pour
« arrêter un projet.

« Les expériences faites, sur la demande de la
« Commission de 1844, pour déterminer la quantité

« de vase en suspension dans l'eau de la baie de
« Douvres, ont eu lieu de février à septembre 1845.

« Peu de ports échappent à l'inconvénient des
« dépôts, et, si la possibilité d'un envasement devait
« être une objection à la création des ports artifi-
« ciels, il faudrait renoncer à en créer en un point
« quelconque des côtes de l'Angleterre. Nous ne
« voulons donc pas poursuivre l'impossible, puis-
« qu'il arrivera toujours que la plus grande partie
« des matières en suspension dans l'eau entrant
« dans un port, se déposera avec plus ou moins de
« rapidité, suivant le plus ou moins de calme du
« port, et puisqu'une portion seulement des matières
« légères susceptibles de rester en suspension sera
« entraînée en dehors par le jusant.

« Nous avons donc cherché les meilleurs moyens
« de remédier à cet inconvénient bien connu.

« Les deux remèdes qui semblent les plus effi-
« caces, sont :

« 1^o De permettre au courant de marée de circuler
« librement à travers le port ;

« 2^o De n'admettre dans le port que la quantité
« d'eau strictement nécessaire pour établir le niveau,
« sans provoquer un courant sensible dans l'inté-
« rieur.

« Dans le premier système, on avait proposé, soit
« une large ouverture à chaque extrémité, soit plu-
« sieurs passes moins grandes dans les branches
« Est et Ouest.

« Toutes les personnes éminentes que nous avons
« consultées, sont d'avis qu'un courant de marée
« ne pourrait être maintenu avec une série de pas-
« sages étroits ; mais aux passes larges on objecte
« que le mouillage reste ainsi exposé aux vents
« régnants et à la grosse mer, là où l'on aurait le

« plus besoin de calme, et que le port ne serait dès
« lors guère meilleur qu'une rade foraine.

« Nous avons été amenés alors à étudier le second
« remède, et ici nous avons eu l'avantage de pouvoir
« nous baser sur un exemple, qui a donné jusqu'ici
« de bons résultats. Le port artificiel de Kingstown,
« dans la baie de Dublin, construit il y a une
« vingtaine d'années, est formé de deux bras par-
« tant presque normalement de la côte, et sa passe
« unique, qui est du côté du large, se trouve dans
« la direction du courant de marée. Dans son voisi-
« nage immédiat, se trouvent les bancs de sable
« nombreux et bien connus qui encombrant l'es-
« tuaire de la Liffey. Et cependant, après une expé-
« rience de vingt ans, le port de Kingstown reste
« libre de tout dépôt permanent ; et l'ingénieur qui
« en est chargé depuis huit ans, attribue ce fait à
« l'heureuse position de l'entrée, placée directement
« dans le sens du courant de marée.

« Nous pensons, en conséquence, que le même
« principe doit être adopté à Douvres ; qu'aucune
« ouverture ne doit être laissée dans les branches
« Est et Ouest de la digue ; et que la marche du
« galet et la tendance au dépôt des vases exigent
« toutes deux, que les passes ne soient placées que
« sur le côté Sud, dans le sens direct du courant de
« marée. Nous pensons aussi que ces passes doivent
« être assez larges pour permettre le remplissage
« du port, sans y produire de courant trop sensible,
« et pour qu'il n'entre dans le port que la quantité
« d'eau nécessaire pour maintenir son niveau. Deux
« passes de 700 pieds chacune suffiront pour ce but ;
« elles seront assez larges pour permettre l'entrée
« et la sortie des navires.

« La tendance au dépôt par diffusion, provenant
« de ce que l'eau plus chargée à l'extérieur tend à

« rétablir l'équilibre avec l'eau moins chargée de
« l'intérieur, ne doit pas être négligée, bien que nous
« soyons d'avis que ce dépôt ne présentera pas
« grande importance.

« Après avoir étudié la question à tous les points
« de vue, nous sommes convaincus, que la crainte
« de l'envasement ne doit pas être considérée comme
« un obstacle à la construction du port projeté,
« pourvu que les passes soient placées au Sud,
« comme nous l'avons recommandé.

Après s'être prononcée sur ces questions fondamentales, la Commission de 1846 discute le mode d'exécution des jetées ; elle indique sommairement l'avis des principaux ingénieurs intervenus dans l'enquête ; elle rappelle les accidents arrivés aux brise-lames en pierres perdues, existant en Angleterre, et elle se prononce en faveur d'une muraille à peu près verticale partant du sol. Enfin, tout en déclarant qu'elle ne peut donner son approbation entière à aucun des projets, elle exprime une préférence marquée pour le projet de M. Rendel.

A la suite de ce rapport, la jetée de l'Amirauté a été commencée en 1847, et prolongée successivement sur une longueur de 600^m environ, jusqu'aux profondeurs de 13^m50.

Arrivé à ce point, et effrayé peut-être par la dépense excessive de cette digue et par le temps considérable qu'a exigé sa construction, le Gouvernement anglais sentit le besoin de se renseigner ; un Comité formé de l'amiral Bethune et des capitaines Bedford et Calver, fut chargé, en 1865, de constater l'état des lieux ; et à partir de ce moment, le Gouvernement paraît avoir renoncé à prolonger la jetée ; cet ouvrage fût même remis par l'Amirauté au Ministère du Commerce. Mais les compagnies de navigation élevèrent des réclamations très-vives, et

firent des offres directes. Un projet dressé en 1872 par Sir John Hawkshaw, et présenté en leur nom, fut rejeté. Mais en même temps le Gouvernement chargea Sir J. Hawkshaw et le colonel Sir Andrew Clarke d'étudier s'il ne serait pas possible de trouver une solution, donnant satisfaction à la fois aux besoins du commerce et aux besoins militaires. Il y avait, en effet, en présence à Douvres, deux intérêts en complète contradiction. Si l'on ne se préoccupait que des communications internationales, on pouvait réduire les dimensions du port et par conséquent la dépense ; mais alors on perdait le concours financier de l'État. Si au contraire on donnait au port nouveau des dimensions assez vastes pour les besoins de la marine militaire, on augmentait la dépense dans une proportion considérable, et les compagnies de navigation refusaient de prendre à leur charge la part de dépense qu'on voulait leur imposer.

Enquête de 1875. — Le projet de MM. Clarke et Hawkshaw fut soumis, en 1875, à une enquête très-approfondie, dans laquelle on a pu, en discutant sur la suite à donner aux ouvrages déjà faits, tenir compte des résultats obtenus et de l'expérience acquise.

C'est une bonne fortune pour les ingénieurs, d'avoir sous la main un ensemble de documents constituant une instruction aussi complète. Tous ces documents sont instructifs, et il serait intéressant d'en donner une analyse détaillée ; mais cette analyse dépasserait les limites étroites de ce rapport. Nous nous contenterons d'en passer en revue les points essentiels, et d'en tirer quelques conclusions pratiques.

Rappelons d'abord les principales conditions du port de Douvres.

Douvres se trouve placée au fond d'une baie peu

profonde, au droit de l'embouchure de la rivière, le Dour, et au milieu d'une côte abrupte, composée de falaises de craie, analogues aux falaises de Normandie.

La plage est formée, dans sa partie supérieure, de galets silicieux, qui sont transportés de l'Ouest vers l'Est.

Au-dessous du galet, on retrouve le gravier de plus en plus fin, puis le sable, et sur quelques points le sol naturel de craie ; les cartes hydrographiques n'indiquent que très-exceptionnellement de la vase ; mais l'eau, qui a souvent une teinte laiteuse, entraîne avec elle des limons calcaires ou argileux.

Par suite de sa situation dans le détroit, situation assez semblable à celle du cap Gris-Nez en France, Douvres est exposée à presque tous les vents qui soufflent habituellement dans ces parages, depuis le Nord jusqu'au Sud-Ouest, en passant par l'Est et par le Sud. Les vents dominants sont ceux de l'Ouest-Sud-Ouest au Sud-Ouest ; les fortes tempêtes viennent du Sud-Ouest et quelquefois du Nord-Est.

Douvres se trouve également dans la zone où se produisent, avec le plus d'intensité, les courants spéciaux et alternatifs (voir page 7 de ce rapport), auxquels donne lieu l'étranglement du détroit. — Le courant de flot atteint une vitesse de 3 nœuds en vive eau, 1 nœud 1/2 en morte eau. Le courant de jusant commence 4^h 1/4 après la pleine mer, et finit 1^h 3/4 avant l'heure de la pleine mer suivante.

La mer monte de 5^m80 en vive eau ordinaire, de 3^m35 en morte eau.

Galet. — La première objection qui a été soulevée contre le projet de port à Douvres, a été celle du galet. On sait que les falaises crayeuses qui constituent la plus grande partie de la côte anglaise dans

le détroit, renferment, comme celles de Normandie, des couches de silex. Ces falaises, attaquées en haut par les influences atmosphériques, dans le bas par l'action des lames, se dégradent et s'éboulent ; les parties molles de ces éboulis se délavent, tandis que les rognons de silex, roulés par les vagues, s'arrondissent et forment le galet. Ce galet, trop pesant pour être sérieusement influencé par les courants, est au contraire remué violemment par les lames ; (*) quand les lames frappent obliquement la plage, le galet subit un mouvement de transport très-marqué. Si, à un moment donné, on oppose un obstacle à cette marche, le galet s'accumule en amont de cet obstacle, et comme le galet qui se trouvait en aval de l'épi, continue sa marche, et n'est plus remplacé, la plage s'appauvrit en même temps à l'aval.

C'est cette accumulation du galet qu'on redoutait à Douvres. Ici le galet se meut de l'Ouest à l'Est, et quelques personnes affirmaient que ce galet retenu

(*) Ce fait, que le galet n'est influencé que par le choc des lames et non par les courants, a été constaté par plusieurs marins et ingénieurs ; il nous paraît être mis hors de doute par la façon dont le galet se distribue sur les plages. Le plus gros galet se trouve dans le haut du talus, parce que toute la masse des matériaux qui constituent la plage, est poussée en haut par le choc de la lame, et que l'eau, en redescendant le long du talus de la plage, trie le galet et emporte au plus loin, et par conséquent dans les parties inférieures, les parcelles les plus ténues ; si le galet était remué surtout par les courants, ses divers éléments se grouperaient comme se groupe le sable dans un verre qu'on agite, c'est-à-dire que les plus gros morceaux se placeraient dans le bas. Les faits spéciaux que M. Chevalier cite dans le mémorial de la marine (1860, 3^e livraison, page 183), savoir, *l'existence de galets gros comme la tête, à l'aval du Chesil Bank près de Portland, et dans le bas de la partie qui assèche* : ces faits, ne nous semblent pas être en contradiction avec la théorie que nous venons d'énoncer : car on doit admettre qu'il y a une limite de poids au-dessus de laquelle les lames ne peuvent plus soulever les cailloux jusqu'au haut du talus, et ne leur font subir qu'un mouvement en zigzag peu prononcé, qui se traduit en un transport lent effectué au pied même du talus.

par la digue projetée au Cheeseman Head, contournerait bientôt cette jetée, et engorgerait la passe du nouveau port et le port lui-même. Mais nous croyons que c'est avec raison que la Commission de 1846 ne s'est pas laissé effrayer par cette perspective, et qu'elle n'a pas craint, dans son rapport du 28 janvier 1846, « d'exprimer l'opinion formelle, que « l'appréhension du galet ne doit pas être une « objection qui empêche la création du port de « Douvres. »

Certainement la quantité de galet qui se trouve accumulée au pied des falaises, est considérable, à peu près partout où le galet se rencontre, parce que cette quantité représente le produit d'une longue suite de siècles. Mais l'apport de chaque année paraît être de peu d'importance. Nous ignorons si l'on a fait déjà des expériences ou des observations, pour déterminer cette quantité avec quelque précision, soit en calculant, pour une longueur de falaise donnée, la masse de silex qui se trouve dans la tranche éboulée chaque année, soit en observant l'accroissement progressif d'un banc nettement délimité, comme l'est par exemple le Chesil Beach, banc de galet dont la marche vers l'Est se trouve arrêtée par la presqu'île de Portland. Ce serait là un point intéressant à éclaircir. Mais en l'absence de ce renseignement, divers faits bien connus semblent prouver que cette production est très-lente. Au Havre, à Dieppe et sur d'autres points encore, on a dû défendre de prendre le galet pour le lestage des navires, parce que la consommation dépassait la production, et que la plage commençait à s'appauvrir et à se manger ; et cependant le cube enlevé annuellement n'atteignait pas un gros chiffre.

D'autre part, sur les points où le galet s'arrête ou s'accumule, à la baie de Somme en France, au

Chesil Beach et à Dungeness en Angleterre, l'accroissement des bancs est en réalité fort lent. Il a suffi de l'éboulement produit en 1843 au Round Down, au moment de la construction du chemin de fer de Folkestone, pour arrêter jusqu'à ce jour l'arrivée du galet à Douvres.

On doit admettre aussi, que l'usure du galet est relativement très-rapide ; car le galet ne s'étend jamais loin de la côte qui l'a produit ; et celui qu'on trouve sur les plages, ne se compose que de cailloux très-durs, toutes les roches moins résistantes que le silex étant promptement usées par le frottement continu qu'elles subissent par l'action des lames.

Mais ce qui, à notre avis, est surtout de nature à inspirer confiance, c'est que le galet ne peut, par suite de la manière spéciale dont il est transporté, contourner facilement les obstacles qu'on oppose à sa marche. Comme nous l'avons dit plus haut, le galet est presque uniquement mis en mouvement par le choc des lames, plus puissantes que la seule force des courants. Dès lors il ne doit se trouver que sur le haut des plages, et se mouvoir seulement suivant une ligne en zigzag. Soit, en plan (Voir Pl. XV, fig. 1), ab la ligne de la plage, cd la direction des lames ; si cette lame cd saisit un galet e , elle l'entraînera avec elle en d , puis l'eau, en redescendant, suivant la ligne de plus grande pente, l'emmènera en e' , d'où il sera repris pour être lancé en d' , et ainsi de suite. Si l'on construit un obstacle bh , les éléments e s'accumuleront dans l'angle abh et la ligne de la plage prendra bientôt la forme $MNRH$ comme on peut s'en assurer partout où il existe des épis. Mais jamais le galet ne forme une ligne MNP , contournant l'obstacle bh , pourvu que ce dernier ait une saillie suffisante, et s'avance par des profondeurs assez grandes. L'exemple du Chesil Beach est

là pour le prouver ; le galet s'arrête dans l'angle, et le banc s'engraisse presque en ligne droite sur toute sa longueur de 17 kilomètres. Les lames épuisent leur force dans l'angle ; elles poussent le galet jusqu'à une hauteur de 13^m au-dessus des hautes mers de vive eau ordinaire, et le ramènent jusqu'à 15^m au-dessous du niveau de basse mer de vive eau (voir le Mémorial de la Marine, 1860, 5^e livraison, page 182). La pointe de Dungeness, qui est formée de galet sur toutes les faces, ne prouve rien contre cette théorie, parce que la raison d'être de cette pointe et son accroissement continu proviennent de ce que les lames, venant du Sud à l'Ouest, poussent les galets vers l'Est, tandis que d'autres lames, presque aussi fortes et aussi fréquentes, venant de la direction du Nord-Est, repoussent ces galets vers le Sud. A la rencontre de ces deux actions contraires, il y a un arrêt relatif et par conséquent dépôt du galet (*). Dans des conditions normales, comme celle du Chesil Beach, l'accumulation du galet se fait en long, à peu près parallèlement à la côte, au lieu de se faire normalement à celle-ci. Et l'on comprend, dès lors, qu'il faudrait à Douvres des siècles, pour que le galet pût atteindre le bout d'une jetée de 600^m de long, lorsqu'il existe à l'amont un vaste développement de côte presque en ligne droite, qui a, jusqu'à Folkestone seulement, 13 kilomètres de longueur, et qui se continue bien au-delà de cette ville.

Il est vrai que l'on aurait à craindre, de voir la

(*) Nous croyons, du reste, que la théorie peut expliquer ces faits dans une certaine limite. Si l'on se réfère, en effet, à la manière dont le galet se transporte, on voit que si un galet *e* (Voir Pl. XV, fig. II), se trouvait au-delà du point *K*, où la courbe *MN* est normale à la direction des lames *c d*, *c'K*, ce galet suivrait le chemin *efg*, et remonterait le sens ordinaire de son mouvement. La ligne *MN* ne pourra donc jamais dépasser une courbure peu prononcée.

jetée surmontée à son point d'encastrement, puisque, dans l'angle que fait le Chesil Beach avec la presqu'île de Portland, le galet s'est élevé jusqu'à 13^m au-dessus de la haute mer de vive eau. Mais c'est là un danger contre lequel il est facile de se défendre, et l'on conçoit que, pour être à l'abri de toute inquiétude pour l'avenir, il suffirait que l'on exploitât dans une proportion convenable le galet de la plage Ouest de Douvres, soit pour l'industrie, soit pour l'entretien des routes, ou pour la fabrication du béton.

L'expérience est venue, en partie du moins, donner raison aux Commissions de 1844 et de 1846; car bien que la jetée de l'Amirauté ait été commencée en octobre 1847, et que, dès octobre 1854, elle eût atteint une longueur de 244^m, on a constaté dans l'enquête de 1875 que la plage de galet, à l'Ouest de Douvres, ne s'était pas sensiblement modifiée. Sir John Hawkshaw avait même affirmé, dans sa déposition du 7 mai 1875, que la côte est rongée entre Folkestone et Douvres, et que le chemin de fer pourrait être compromis sur certains points, si l'on ne prend des mesures de préservation. Les travaux de défense que la Compagnie du South-Eastern a dû exécuter depuis lors, ont donné pleinement raison à ces prévisions.

Ensablement et envasement. — La question de l'ensablement et de l'envasement a été plus vivement controversée que la question du galet. La Commission de 1846 en a été sérieusement préoccupée; mais elle a néanmoins conclu, « que la crainte
« de l'envasement ne doit pas être considérée comme
« un obstacle à la construction du port projeté. » Elle avait eu soin de dire dans les considérants, comme nous l'avons relaté plus haut, qu'elle ne voulait pas poursuivre l'impossible, et qu'elle ne prétendait pas qu'il n'y aurait pas de dépôts, mais

seulement que cet inconvénient, auquel aucun port fermé ne pouvait être soustrait d'une façon absolue, ne devait pas être considéré comme un motif pour ne rien faire.

Après avoir constaté ces inconvénients inévitables, la Commission cherche les moyens d'y parer ; elle indique comme le meilleur remède, de n'admettre « dans le port, que la quantité d'eau strictement « nécessaire, pour établir le niveau sans provoquer « un courant sensible dans l'intérieur. » Dans ce but, elle propose de ménager dans le brise-lames du Sud, deux passes de 700 pieds (213^m50) chacune.

Il nous paraît inutile de reproduire toutes les longues discussions qui ont eu lieu à ce sujet dans les enquêtes de 1844 et de 1846 ; on ne pouvait alors raisonner que sur des hypothèses et sur des exemples le plus souvent peu concluants. Chaque point de la côte a, en effet, sa façon d'être spéciale ; et il pourrait se faire que l'exemple de Kingstown qui s'envase fort peu, ne fût pas plus concluant en faveur de Douvres, que les exemples des ports de Howth et de Ramsgate qui s'envasent beaucoup, ne sont concluants en sa défaveur.

Aujourd'hui il est possible de se rendre compte des effets produits par la construction de la jetée. Malheureusement ces résultats ne sont pas d'un grand secours pour notre étude. Comme le disait Sir John Hawkshaw dans l'enquête de 1875, « la jetée de Douvres ne constitue pas un port ; c'est un ouvrage inachevé, incomplet. » On n'a construit, en réalité, qu'un épi de 600^m de longueur, et cet ouvrage a donné les résultats que produisent partout les épis. Les courants qui sont parallèles à la côte et qui vont alternativement de l'Ouest à l'Est et de l'Est à l'Ouest, ont été repoussés vers le large, et le talus de la plage s'est engraisé à une certaine distance de la jetée.

Dans les environs immédiats de celle-ci, il semble n'y avoir eu qu'un simple déplacement de matériaux ; car tandis qu'il se déposait des bancs au centre des boucles que formaient les courants de remous, le sol se creusait à l'extrémité de la jetée, devant l'entrée du port intérieur, et en plusieurs points de la côte, où il a fallu établir de nouvelles défenses. Le chenal au large de la jetée s'est plutôt creusé que remblayé. Ces effets qu'il était aisé de prévoir, ne contredisent donc en rien l'opinion que Sir John Hawkshaw exprimait en 1875, quand il disait que, si le port avait été terminé comme il le projetait, les passes du large seraient restées libres, comme la tête de la jetée est libre actuellement, et que les amoncellements qui se sont faits dans la rade par l'effet des remous, auraient été reportés en dehors de l'enceinte.

Nous partageons entièrement ce sentiment, et nous pensons, que si un port fermé à Douvres eût gardé ses passes libres, cette confiance est mieux justifiée encore pour Boulogne, parce qu'ici le chenal est nettement délimité du côté du large par la Bassure de Baas, et parce qu'il existe, à l'Heurt et à la Crèche, des épis naturels qui ont, depuis des siècles, fixé la plage sur ce point, tandis qu'à Douvres la création d'un épi de 600^m de saillie a modifié tout-à-coup, d'une façon très-sensible, les conditions d'équilibre de la côte.

L'exemple de la jetée de Douvres prouve également les dangers que peut faire naître la construction d'une jetée unique, et justifie le choix fait pour le nouveau port de Boulogne, d'une enceinte fermée comme celle de Kingstown.

Jetées et passes. — Deux autres questions ont été également discutées avec beaucoup de soin dans les Commissions de 1844, de 1846 et de 1875 ; ce sont celles qui concernent, d'une part, la direction

des jetées, d'autre part la position et la largeur des passes.

Sur la première question on a été presque unanime à admettre que la meilleure solution était celle d'un port fermé ; et la Commission de 1846, comme celle de 1844, a pensé, « que la branche Sud devait se rapprocher le plus possible de la direction du courant de flot, et se trouver dans une profondeur de 7 fathoms (42 pieds anglais ou 12^m,80) à basse mer ; et que les branches Est et Ouest pouvaient être placées à peu près perpendiculairement à la rive. »

Sur la deuxième question, on s'est montré, en général, contraire à l'établissement d'une passe dans la jetée Ouest, parce que cette passe donnerait beaucoup d'agitation dans le port, et laisserait le passage libre au sable et au galet.

Mais on a beaucoup discuté au sujet de la passe Est. La Commission de 1844 avait proposé une passe de 700 pieds (213^m,50) dans la jetée du large vers son extrémité Ouest, et une passe de 150 pieds (45^m,70) vers le milieu de la jetée Est. Mais la Commission de 1846, tout en reconnaissant qu'il y aurait des avantages, au point de vue nautique, à laisser des passes dans les jetées Est et Ouest, proposa de n'en maintenir que deux de 700 pieds chacune, et toutes deux dans la branche Sud, afin de les placer comme est placée la passe du port de Kingstown, dans le fil même du courant de marée (in the fair set of the tidal stream).

Mode de construction des jetées. — Enfin on a discuté très-longuement le mode de construction des jetées. Mais nous ne parlerons pas ici de cette importante question, que nous traiterons à part au chapitre IV, page 86 du rapport.

CHAPITRE III.

PORTS DIVERS D'ANGLETERRE,
DE BELGIQUE ET DE HOLLANDE

Les études concernant les ports de Boulogne et de Douvres présentent certainement un intérêt spécial, et c'est pour cela que nous avons cru utile d'y insister. Mais Boulogne et Douvres sont tous deux des ports en projet ; on n'a pu discuter encore que sur des hypothèses. Il eût été intéressant de trouver pour les ports nouveaux créés en Hollande et en Angleterre, des documents publics, fournissant d'une façon aussi complète que nous venons de le faire pour Boulogne et pour Douvres, les discussions techniques auxquelles a donné lieu la création de ces ports, afin de pouvoir comparer les résultats acquis avec les prévisions des projets.

Malheureusement les documents de cette nature sont très-rares.

En Angleterre, on a depuis trente ans développé dans une large proportion les ports anciens, et l'on en a créé plusieurs nouveaux. L'activité commerciale et la production des matières premières, de la houille surtout, sont telles, que l'on paraît avoir pris pour règle d'établir un port partout où le besoin s'en fait sentir. Il en résulte parfois des ouvrages dont nous n'avons guère l'idée en France, et qui paraissent, à première vue, peu rationnels au point de vue technique. Ainsi, sur les rives de la Severn et de l'Humber, on a créé les ports de Cardiff et de Grimsby, au milieu d'un océan de vase, et ces ports sont très-prospères ; ainsi encore sur la rive gauche

de la Tyne, en aval de Newcastle, on décape un terrain assez élevé pour établir à sa place des docks ou bassins à flot. Les Anglais semblent convaincus que le génie de l'homme et ses moyens d'action sont assez puissants pour créer et maintenir artificiellement des ports, là où la nature n'en avait point mis. Il est vrai que la Grande-Bretagne est singulièrement favorisée par la forme tourmentée de ses côtes, et par les baies nombreuses et profondes que l'on rencontre tant en Angleterre qu'en Écosse et en Irlande. Ces conditions naturelles si favorables, les ressources pécuniaires si puissantes dont les Anglais disposent, dès qu'ils voient quelque chose d'utile à créer, et surtout l'absence en Angleterre d'un corps hiérarchisé d'ingénieurs de l'État, dont les projets suivent une longue filière de formalités et de discussions avant de pouvoir aboutir, font que le nombre d'enquêtes approfondies, comme celles qui concernent Douvres et Boulogne, est loin d'être en proportion avec le nombre des ports que possède la Grande-Bretagne. Quand une Ville ou une Compagnie veut faire un port ou des docks, elle choisit un ingénieur qui ne relève que du Conseil local, et à qui on réclame surtout une grande activité dans l'exécution. Le Gouvernement intervient d'une façon moins directe qu'en France; et il est assez difficile, quelquefois impossible, de se procurer les procès-verbaux des enquêtes. Toutefois, en dehors des documents qui concernent le port de Douvres, et que nous venons de mettre à profit, nous avons pu, pendant notre mission, réunir des renseignements instructifs pour plusieurs autres ports, Tynemouth, Liverpool, Kingstown, etc., etc.

En Hollande, les ports artificiels, ou créés de main d'homme, sont moins nombreux; mais les exemples que nous avons pu étudier à Nieuwe Diep, au nou-

veau canal d'Amsterdam, et au nouveau canal de Rotterdam, sont des plus intéressants et des plus caractéristiques pour l'étude que nous poursuivons. Et si les deux derniers exemples que nous venons de citer, ne sont pas absolument concluants, par la raison que les ouvrages ne sont pas terminés, et n'ont pas pu produire encore toutes leurs conséquences, ils n'en témoignent pas moins, que des ingénieurs aussi distingués que le sont MM. Caland et Conrad, et Sir J. Hawkshaw, n'ont pas craint de s'appuyer sur les mêmes principes que nous proposons d'appliquer à Boulogne, et que ces principes méritent dès lors d'être pris en très-sérieuse considération.

Avant de parler de ces devers ports, nous croyons devoir rappeler que l'objet de notre mission était restreint. Nous n'aurons donc à traiter dans ce mémoire que les questions spéciales rentrant dans le cadre qui nous avait été prescrit.

Une des questions que nous avons dû étudier en Belgique, en Hollande et en Angleterre, est celle du maintien des profondeurs devant l'entrée des ports.

Par les renseignements donnés précédemment au sujet de Boulogne et de Douvres, on a pu voir que les ingénieurs français et anglais ont été amenés, chacun de leur côté, à invoquer des considérations analogues, pour justifier l'opinion que ces deux ports, tels qu'ils sont projetés, auront leur entrée libre. Mais ce n'est là qu'une présomption, et on doit se demander s'il existe réellement des ports jouissant de ce privilège, et si on y rencontre les circonstances spéciales qu'on a fait valoir pour Boulogne et pour Douvres.

Au nombre de ces conditions particulières on a signalé notamment l'existence de courants rasant

l'entrée, et d'une vitesse suffisante pour balayer les dépôts qui tendraient à se former en avant.

Nous commencerons par citer des exemples de ce cas simple, qui nous aidera à traiter ensuite la question plus complexe des barres.

Or il y a toute une classe de ports à marée, et des plus importants, où l'on observe ce régime de courants ; nous voulons parler des ports situés dans les rivières.

Ils consistent en quais et en bassins établis le long des rives. Les bassins débouchent, ou directement dans le chenal quand l'amplitude de la marée n'est pas trop grande, ou par l'intermédiaire d'écluses dans le cas contraire.

Dans les rivières à marée, les chenaux sont, il est vrai, le plus souvent instables ; mais quand ils sont fixés, soit naturellement, soit artificiellement, leurs rives sont soumises à un régime fluvial.

Le jeu des marées détermine bien des alternatives dans la hauteur et dans la vitesse des eaux, le courant va tantôt dans un sens, tantôt dans le sens diamétralement opposé ; mais l'effet produit sur les rives reste le même que celui qu'on observe dans le cours d'un fleuve.

Si un port débouche sur une rive ayant une tendance à être constamment déblayée par les courants qui la rasant, il ne se fera naturellement pas de dépôts en avant de l'entrée.

Anvers (voir Pl. IV). — Le port d'Anvers se trouve précisément dans une de ces situations privilégiées.

Le chenal de l'Escaut, devant Anvers, est fixé par les digues de protection des terrains conquis sur ses bords ; il est en courbe ; et Anvers est assise sur la rive concave.

A une très-petite distance, en avant des quais, existent des profondeurs de 8 à 14^m au-dessous des plus basses mers. Ce qui indique assez la grande vitesse des courants qui y règnent.

Le port d'Anvers communique avec l'Escaut par un chenal éclusé, dont l'entrée est rasée par ces courants et se trouve, par suite, entretenue à une profondeur permanente. Le seul travail d'entretien consiste dans le curage du court chenal d'accès, en retraite sur la rive, qui offre aux eaux un calme exceptionnel, et où elles déposent une partie de leur limon.

On se débarrasse par des dragages de ces dépôts, qui ne paraissent pas excéder 25 à 30,000 mètres cubes par an.

Bien que, d'une manière générale, la rive de l'Escaut, devant Anvers, ait une forme concave, cette concavité n'est cependant pas régulière.

Les quais de la ville y forment, dans une certaine partie, une sorte de saillant; le quai de marée, notamment, où accostent les paquebots à service rapide, s'avance d'une façon très-sensible dans le lit de la rivière, et détermine un affouillement qui entretient une grande profondeur à son pied.

Les courants sont déviés plus ou moins irrégulièrement dans le voisinage de cette saillie, et ne donnent pas, le long de tous les quais, la profondeur qu'on y pourrait avoir.

C'est pour remédier à cette situation, qu'on va entreprendre à Anvers un travail de rectification d'une véritable grandeur. On doit construire, sur trois kilomètres et demi de long, un quai vertical s'étendant depuis l'aval de l'entrée des bassins actuels jusqu'au-delà de la ville vers l'amont.

Ce quai, dont la forme en plan aura une courbure régulière, présentera, à son pied, sur toute sa

longueur, une profondeur d'eau de 8^m au moins au-dessous des plus basses eaux.

Pour réaliser ce projet, dont l'exécution sera particulièrement difficile, on fait disparaître une partie des quais actuels et toute une zone de la ville, la plus avancée vers la rivière.

La dépense n'est pas estimée à moins de 60 millions, et on ne doute pas cependant qu'une pareille dépense ne doive être rémunératrice dans un avenir prochain.

C'est là un des exemples de la hardiesse et de l'intelligence, dont Anvers a fait preuve, pour attirer et conserver chez elle le mouvement commercial.

Anvers jouit certainement d'avantages naturels considérables.

La rivière forme, devant la Ville, une rade à la fois vaste, sûre et profonde.

De la mer à Anvers, l'Escaut offre une voie navigable ayant partout, à mer basse, des profondeurs plus que suffisantes pour le tirant d'eau actuel de la plupart des grands navires. Le seul point où existe un minimum de profondeur, a encore 5^m60 à basse mer de vive eau, et l'amplitude de la marée y est alors, c'est-à-dire en vive eau, de 4^m60.

Mais Anvers doit aussi sa prospérité aux soins qu'elle prend pour maintenir sa situation, et aux efforts qu'elle fait pour l'améliorer.

Elle développe incessamment ses bassins, ses quais, ses terre-pleins, ses entrepôts, ses formes de radoub, son réseau de voies ferrées affectées au service du port; elle multiplie les engins mécaniques pour le chargement et le déchargement des marchandises, pour la manœuvre des wagons, des écluses, des ponts tournants, etc. Elle facilite au commerce toutes ces opérations secondaires, qui trop souvent le rebutent dans certains ports, et s'efforce de lui épargner toute perte de temps.

C'est grâce à cette préoccupation constante qu'Anvers a pu conserver et augmenter sa clientèle, malgré la concurrence d'autres places qui peuvent sembler, à première vue, plus favorisées qu'elle à certains égards.

Ainsi à Flessingue, située à l'embouchure de l'Escaut, les profondeurs sont plus grandes qu'à Anvers. Le nouveau port a été établi récemment de toutes pièces, dans les conditions les plus larges, avec la possibilité d'un développement ultérieur très-économique et presque indéfini ; on a combiné toutes choses en profitant des leçons de l'expérience et des progrès de la science ; et cependant les bassins de Flessingue sont déserts, tandis que ceux d'Anvers créés successivement, sans plan d'ensemble, dans un espace restreint, sont remplis de navires. C'est qu'il ne suffit pas d'avoir un bon port pour avoir du commerce, tandis que là où l'on fait beaucoup de commerce, il est presque toujours possible de faire un bon port.

Nous avons dit que le régime des courants, dans le chenal fixe d'une rivière à marée, était assimilable à celui qu'on observe dans les rivières ordinaires ; mais cette analogie ne doit pas être entendue d'une façon absolue.

Les phénomènes ne sont comparables que quand les courants de flot ou de jusant sont bien définitivement établis.

Ils sont au contraire très-différents pendant la période de temps qui, en chaque point de la rivière, comprend la fin du jusant et le commencement du flot.

Durant cette période intermédiaire, la masse d'eau comprise dans une section de la rivière peut continuer à descendre vers la mer, bien que la marée ait commencé à monter dans cette section.

Dans ce cas, l'eau marche en sens contraire de la pente qu'elle rencontre devant elle.

Ainsi encore l'eau de la surface peut couler vers l'aval, et celle du fond remonter vers l'amont.

Enfin il peut y avoir courant de jusant sur la rive concave d'une courbe, et en même temps courant de flot le long de la rive convexe.

Ce sont là des accidents momentanés, produisant sans doute des phénomènes très-importants à prendre en considération dans certaines études ; toutefois, ils n'infirmement pas les faits généraux observés quand les courants de flot et de jusant sont dans toute leur force, seul cas qu'il faille considérer pour les questions qui nous occupent.

Liverpool (voir Pl. V.)— Liverpool offre un autre exemple spécial du maintien de la profondeur devant l'entrée des bassins, par des courants rasants d'une vitesse convenable.

La forme de la Mersey peut être assimilée à celle d'une bouteille, dont le goulot évasé en forme d'entonnoir (l'embouchure de la rivière), se contracte en un col étroit (entre Liverpool et Birkenhead), et dont la panse est représentée par le large estuaire, à l'amont duquel pénètrent deux cours d'eau douce.

L'amplitude de la marée à Liverpool atteint jusqu'à..... 32 pieds.

Elle est en moyenne de..... 21 pieds.

Et descend en morte eau jusqu'à.. 12 pieds 1/2.

L'onde de marée, à Liverpool, est due à la réunion des deux ondes qui pénètrent dans le canal d'Irlande, à 1^h 1/2 d'intervalle, la première par le Sud, l'autre par le Nord. Chacune de ces deux ondes n'a que 4 pieds d'amplitude en vive eau. L'intumescence produite par leur rencontre, et augmentée par la forme du golfe au fond duquel débouche la Mersey, donne naissance à la grande onde de Liverpool.

La marée montante, après avoir traversé la barre dont la passe principale offre une profondeur minima de 10 à 12 pieds (3^m à 3^m60) d'eau à basse mer, est forcée de s'écouler par la section rétrécie de la rivière, pour aller remplir le grand réservoir à l'amont.

Au jusant, la masse énorme d'eau ainsi emmagasinée dans l'estuaire supérieur, balaie de nouveau le chenal entre Liverpool et Birkenhead.

Ce mouvement, directement alternatif, des eaux dans un canal relativement étroit y entretient des profondeurs de 45 à 60 pieds (13^m,50 à 18^m) au-dessous des plus basses mers.

La nature avait dessiné elle-même les traits généraux de la forme de la rivière, dont la section étranglée a été creusée par les eaux dans le sol rocheux naturel de grés rouge ; mais les travaux de l'homme ont contribué à améliorer ces conditions naturelles.

Les docks de Liverpool et ceux de Birkenhead ont été, en effet, établis sur des parties de la rivière que la mer baignait autrefois, et ont ainsi réduit encore la largeur du chenal, dont la profondeur a été, par suite, augmentée sous l'action des chasses dues au jeu de la marée.

Malgré la permanence d'aussi grandes profondeurs dans le thalweg du chenal, les entrées éclusées de presque tous les docks assèchent dans les plus basses mers de vive eau ; et on peut se demander pourquoi on n'a pas profité du voisinage de ces grands fonds, pour y établir les quais extérieurs des docks.

Il y a certainement à cela divers motifs de natures différentes. Ainsi on ne peut entrer dans la Mersey, ou en sortir, que lorsque la marée a donné une hauteur d'eau suffisante sur la barre ; il n'y a donc pas nécessité d'entrer dans les docks ou d'en sortir

à toute heure de marée, et notamment à marée basse. De plus, le chenal de la Mersey, entre Liverpool et Birkenhead, forme une magnifique rade où les navires peuvent attendre le moment propice pour leurs manœuvres.

Mais il y a en outre un motif tout spécial, et qui tient aux conditions légales dans lesquelles se trouve l'Administration chargée de la conservation de la Mersey.

Les commissaires de la " Mersey Conservancy " ont en effet le devoir d'empêcher les empiètements sur le lit de la rivière, " en dedans de la laisse des hautes eaux d'une marée non influencée par le vent, et s'élevant à 21 pieds au-dessus du seuil du vieux dock de Liverpool, ce qui correspond à une marée d'environ 30 pieds d'amplitude". (Ce dock, le premier de Liverpool, et, dit-on, le plus ancien de toute l'Angleterre, fut construit en 1709; il a été comblé en 1826 après qu'on eut repéré le niveau de son seuil). Il a donc fallu une autorisation spéciale pour pouvoir établir les quais de Liverpool sur la laisse des basses mers.

Ceci nous amène à dire quelques mots de la constitution assez complexe des diverses Commissions, qui se partagent en Angleterre l'administration locale d'un service comme celui de la Mersey.

Les conservateurs de la Mersey sont les gardiens légaux de la rivière, et ont seuls le pouvoir d'empêcher les empiètements sur son lit. Ils ont été créés en 1842. Ces conservateurs sont le premier lord de l'Amirauté, le chancelier du Duché de Lancastre et, depuis 1872, le président du Board of Trade.

La Commission dite " The Mersey Docks and Harbour Board, " est chargée du balisage et de la préservation des chenaux maritimes à travers l'estuaire d'entrée de la rivière.

La Compagnie dite “ Bridgewater Navigation Company ” est chargée du même service pour la partie supérieure de la Mersey en amont de Liverpool.

Les propriétaires des docks de Garston et d’Ellesmere (situés dans la Mersey supérieure) balisent les abords de ces docks.

La Commission déjà citée “ The Mersey Docks and Harbour Board ” a été instituée en 1857 par acte du Parlement, gardienne des docks de Liverpool et de Birkenhead pour leur construction et leur entretien.

Elle comprend 28 membres, dont 24 sont nommés par les contribuables, et 4 par la Couronne.

Cette Commission a pris charge des devoirs et acquis les droits qui appartenaient, pour la Mersey inférieure, à la corporation de Liverpool.

Cette corporation, dont le Comité était composé en partie de contribuables et en partie de personnes choisies par elle-même, avait à l’origine tout le contrôle des docks de Liverpool, et le droit de lever des taxes. En 1865, les administrateurs de la Mersey supérieure rachetèrent à la corporation de Liverpool le droit de lever les taxes locales sur les navires fréquentant la Mersey au-dessus de Liverpool. Ces administrateurs représentent les différents intérêts commerciaux le long de la Mersey au-dessus de Liverpool, et ont à leur tête le président de la Bridgewater Navigation Company. Leur droit de lever des taxes ne s’applique que dans une région définie par une limite en ligne droite, tracée idéalement un peu au-dessus de Liverpool.

Une grande partie de la somme due à la corporation de Liverpool pour le rachat des taxes par les administrateurs de la Mersey supérieure, a déjà été soldée ; et avant longtemps la Mersey supérieure sera affranchie de toutes taxes à l’exception de celles d’éclairage, payées au “ Mersey Docks and Harbour Board. ”

Le balisage du chenal de la Mersey supérieure, dont le cours change perpétuellement, est fait gratuitement par la “ Bridgewater Navigation Company ” qui a le plus grand intérêt au bon entretien de cette partie de la rivière ; mais, en 1876, le Parlement a été saisi d'un projet de loi, pour créer une Commission ayant pouvoir d'éclairer, de baliser et d'améliorer la Mersey supérieure, ainsi que de lever des taxes à cet effet.

En présence des résultats vraiment grandioses, obtenus par cette répartition d'attributions spéciales entre des Commissions différentes pour le service d'une seule et même rivière, on ne peut contester les avantages de cette espèce de division du travail, où les initiatives individuelles et les intérêts particuliers trouvent un champ ouvert à leur activité.

Mais les inconvénients d'un pareil système, au point de vue purement technique de l'ingénieur, sont évidents, par suite du défaut d'ensemble dans l'étude et l'exécution des travaux.

Ainsi l'existence du banc de Pluckington, à l'amont de Liverpool, paraît due à ce que la rivière, dans la région qui avoisine ce banc, n'a pas été convenablement aménagée.

Quoi qu'il en soit, il est absolument certain que les profondeurs devant les entrées des docks, profondeurs dont le commerce et la navigation se contentent aujourd'hui, n'ont pas varié depuis 50 ans. Elles se sont même améliorées par suite des travaux exécutés à Liverpool et à Birkenhead, et cela, grâce à l'action naturelle de courants rasants, directement alternatifs et d'une vitesse suffisante.

On s'est servi, jusqu'en 1875, des courants rapides du milieu du chenal, pour se débarrasser des curages qu'on enlevait des docks.

L'eau de la marée est notablement chargée, surtout

durant les tempêtes, de matières en suspension qui sont entraînées et se déposent dans les docks de Liverpool, situés précisément sur la rive exposée à ces vents violents dont la direction dominante est de l'Ouest.

Les docks sont constamment en curage à tour de rôle, au moyen de dragues à vapeur, et le poids des dragages ainsi versés dans la rivière, qui était de 113,000 tonnes en 1843, s'est élevé à 450,000 tonnes en 1875.

Depuis 1876 on a cru plus sage de conduire ces dragages en mer, au-delà des bancs de l'entrée de la rivière.

Liverpool est le second, sinon le premier port d'Angleterre, par rang d'importance au point de vue du tonnage général; et cependant ce n'est que depuis 1825, qu'on a attaché de l'importance à l'amélioration de la navigation de la Mersey. Le premier plan exact et complet de la rivière, remonte à 1821 seulement.

Nieuwe Diep (voir Pl. VI).—Anvers et Liverpool sont situées sur des cours d'eau naturels, et on pourrait croire qu'il n'est possible de bénéficier des avantages du régime fluvial, que pour l'entrée des ports établis dans des rivières mêmes.

Il existe pourtant, en Hollande, un exemple de ce que peut l'industrie humaine, à la faveur de certaines circonstances locales, pour réaliser ce régime spécial, le long du rivage de la mer, là où il n'existait pas naturellement.

Nous voulons parler du port de Nieuwe Diep.

Le port de Nieuwe Diep est situé sur le Zuiderzée à l'Est de la pointe du Helder.

Les eaux de flot qui entrent dans le Zuiderzée, paraissent avoir une tendance à remonter d'abord vers le Nord en s'appuyant sur l'île de Texel; mais les eaux de jusant qui sortent du Zuiderzée en venant

du Sud, ont au contraire une tendance à suivre, au moins en partie, le côté Est de la pointe du Helder, là précisément où se trouve aujourd'hui le port de Nieuwe Diep.

Le courant de jusant avait creusé en ce point un chenal de 4 ou 5 pieds de profondeur, praticable pour les petits bateaux seulement.

Telle était la situation en 1782, quand on eut l'idée de forcer une plus grande quantité d'eau de jusant à passer par ce petit chenal, afin de l'approfondir. Dans ce but on construisit une digue à peu près parallèle à la courbe concave de la côte ; puis au Sud de celle-ci, et obliquement à sa direction, une autre digue fondée sur un banc de sable s'étendant dans le Sud-Est vers le Zuiderzée.

On créa ainsi une espèce d'entonnoir, dont la large ouverture, formée par la digue transversale, interceptait une grande masse d'eau de jusant, et la forçait à passer entre la côte et la digue longitudinale.

Pour empêcher la corrosion de la côte, on fit un talus de défense parallèle à la digue longitudinale.

Enfin, en aidant l'action d'affouillement des courants, en désagrégant au moyen de hermes les matières du fond.

En 1783, on avait obtenu déjà 5 à 6^m de profondeur dans le port ; aujourd'hui, le point le moins profond a encore 8^m d'eau au-dessous du niveau de la basse mer, et la profondeur moyenne est de 9^m,40 à basse mer.

La digue longitudinale avait d'abord 1,200^m de long, et la digue transversale 2,260^m ; plus tard celle-ci fut allongée de 1,000^m, et la première fut prolongée au Sud du point de jonction.

Le sommet des deux digues avait été arrasé au niveau de la pleine mer ; mais on reconnut la néces-

sité d'exhausser la digue longitudinale de 2^m,30 pour assurer le calme dans le port, et de relever aussi de 0^m,30 la digue transversale sur 1,250^m, pour mieux capter les eaux du jusant. L'amplitude de la marée n'est que de 1^m,20 à 1^m,40.

Les digues sont faites en terre avec un revêtement de fascines et d'enrochements.

Le port de Nieuwe Diep a 110^m de large, et débouche dans le grand et profond chenal qui longe la pointe du Helder ; on trouve plus de 16^m au-dessous de basse mer à son embouchure.

C'est dans le port de Nieuwe Diep, que s'ouvrent les écluses de l'arsenal maritime et du grand canal de navigation d'Amsterdam à la mer, connu sous le nom de canal de la Nord-Holland.

On a donc donné, par des travaux de main d'homme, aux courants littoraux devant Nieuwe Diep, le régime de courants fluviaux ; on y a ainsi créé des profondeurs permanentes, entretenues désormais par le mouvement naturel des eaux, et on a pu y faire déboucher deux bassins, dont les entrées sont maintenues libres de tout dépôt, ce qui n'eût certes pas été le cas, s'ils avaient dû déboucher sur le rivage même du Zuiderzée. Dans ces travaux ingénieux réalisés par les moyens les plus simples, on a mis à profit, d'une façon tout-à-fait rationnelle, les circonstances locales dans ce qu'elles avaient de plus favorable.

Anvers, Liverpool et Nieuwe Diep sont bien certainement exposés à l'action de fortes vagues pendant les tempêtes ; mais il est incontestable que l'effet produit par ces vagues sur les matières du fond n'y est pas comparable à celui des lames à l'entrée des ports qui débouchent directement en pleine mer.

De plus, les entrées des docks et bassins qui

ouvrent sur ces chenaux naturels ou artificiels, ne livrent point passage à des mouvements d'eau qu'on puisse comparer à ceux de la plus petite rivière.

De sorte que les exemples précités, s'ils justifient le rôle attribué aux courants, de direction et de vitesse convenables, pour balayer certains dépôts, paraissent n'avoir qu'un rapport assez éloigné avec les cas qui préoccupent le plus les ingénieurs ; nous voulons parler des ports qui ont une barre.

Existe-t-il des ports, en mer, sans barre, et s'il en existe, pourquoi n'ont-ils point de barre ?

Le port de Nieuwe Diep va nous permettre de faire une première réponse affirmative, et de connaître les circonstances auxquelles il doit ce privilège.

Le fait que l'entrée de Nieuwe Diep dans le chenal du Helder n'a point de barre, est incontestable. Le port intérieur a une profondeur moyenne de 9^m,40 à basse mer, et son embouchure sur le chenal du Helder offre 13^m au moins également à basse mer.

Dans le Nieuwe Diep passent, à chaque marée et surtout pendant le jusant, des masses d'eau considérables qui affouillent le port, et rejettent en mer les matériaux qu'elles ont arrachés.

La pointe du Helder est exposée, pour ainsi dire, à tous les vents et à toutes les lames.

Les conditions voulues pour la formation d'une barre devant l'entrée de Nieuwe Diep sont ainsi amplement remplies ; et cependant il n'y a pas de barre.

Il y a donc ici des causes qui empêchent la formation d'une barre.

Ces causes, on en a la notion instinctive, quand on examine le chenal du Helder.

Le courant de marée qui se produit alternativement dans l'étranglement formé par la pointe du Helder et la pointe Sud de l'île du Texel, soit pour

remplir le Zuiderzée, soit pour le vider dans la mer du Nord, acquiert dans cet étranglement une grande vitesse.

Il corrodait énergiquement la pointe du Helder, qu'il a fallu et qu'il faut encore défendre incessamment au moyen d'enrochements. Le courant, en s'appuyant sur ces enrochements, en a affouillé le pied, et y a formé, à une centaine de mètres du rivage, des profondeurs de 25 à 30^m. On a ainsi, devant la côte du Helder et parallèlement à cette côte, un chenal très-profond entretenu par le jeu de courants alternatifs directement opposés, d'une grande vitesse et rasant son talus.

Or le port de Nieuwe Diep débouche précisément sur ce talus ; on comprend donc que son entrée soit déblayée de toutes les matières meubles qui tendraient à s'y déposer.

D'un autre côté les profondeurs au pied du talus sont tellement grandes, qu'évidemment l'action propre des lames sur les sables du fond se trouve à peu près complètement annihilée.

Ainsi l'absence de barre devant l'entrée du Nieuwe Diep tient à différentes causes que nous allons résumer.

Ce port débouche sur la rive affouillée d'un chenal maritime fixe, où des profondeurs permanentes sont entretenues par des courants alternatifs assez rapides qui rasant l'entrée.

Ces circonstances sont celles que nous avons déjà rencontrées dans certains ports de rivières à marée. Mais il y en a une autre qui se présente ici. C'est la profondeur de la mer devant le port, profondeur assez grande pour que l'action des lames sur les matériaux de la plage sous-marine soit incomparablement plus faible que celle des courants littoraux.

Kingstown (voir Pl. VII). — Les conditions spéciales du port de Nieuwe Diep pourraient faire penser, qu'il ne s'agit, en somme, ici que d'un cas tout-à-fait exceptionnel.

Les ports à marée débouchant en pleine mer et n'ayant pas de barre, sont en effet extraordinairement rares ; nous en connaissons cependant un second exemple qui n'est pas moins intéressant : c'est Kingstown en Irlande.

Le port de Kingstown est un port artificiel construit vers 1825 au Sud et à l'entrée de la baie de Dublin. Tout le fond de la baie est envahi par les bancs de sable et de vase de l'estuaire de la Liffey.

En face et un peu au large de la baie, se trouve le haut fond de Burford. Plus au large et parallèlement à la direction générale de la côte, existe encore un autre long banc de sable. La surface de la plage sous-marine est presque partout de sable dans ces parages.

A chaque marée il entre dans le port de Kingstown, et il en sort, un volume d'eau considérable. Sa surface est d'environ 100 hectares, et l'amplitude moyenne des marées de vive eau est de 4^m.

Enfin les vents et les lames de tempête entrent directement dans la baie, et cependant le port de Kingstown n'a pas de barre.

Quelle peut être l'explication de ce fait ?

Si on examine la carte hydrographique de cette partie de la côte d'Irlande, on remarque devant la baie de Dublin, un chenal maritime profond, presque rectiligne, parallèle à la corde de l'arc que dessine la baie.

Ce chenal est fixé dans sa position par les pointes rocheuses de Dalkey et de Bailey à l'Ouest, et par le banc de Burford à l'Est. Dans ce chenal fixe, les courants de flot et de jusant sont directement

opposés, le premier allant vers le Nord, le second vers le Sud, et ils ont une vitesse suffisante pour donner dans le milieu du chenal une profondeur de 14 à 15 brasses à basse mer de vive eau (84 pieds ou 25^m,20, 90 pieds ou 27^m).

La plage sous-marine de la baie de Dublin peut donc être considérée comme le talus de ce chenal, dont le thalweg est maintenu dans une position et à une profondeur constantes.

L'inclinaison du talus étant elle-même fonction des forces naturelles qui agissent sur lui, et son pied s'appuyant sur la ligne fixe du thalweg, la plage sous-marine de la baie de Dublin doit être dans un état d'équilibre à peu près stable.

Cette explication paraît trouver sa confirmation dans un fait qui a vivement frappé l'attention des ingénieurs anglais. Il se rapporte à l'effet produit par la construction des jetées de la rivière de Dublin. La grande jetée Sud de la Liffey n'avait pas à elle seule amélioré la barre, sur laquelle on ne trouvait que 6 pieds 1/2 d'eau (1^m,95) à mer basse. En 1820 on construisit la jetée Nord, qui forme avec la jetée Sud un système convergent en forme d'entonnoir. Dès que la jetée Nord fut achevée, on obtint 14 pieds d'eau (4^m,20) sur la barre à mer basse.

Ce résultat est signalé par M. l'ingénieur Stoney, comme un des exemples les plus remarquables de l'approfondissement d'une barre extérieure par l'action seule des courants.

N'est-il pas à croire que, si la plage de la baie de Dublin en avant des musoirs des jetées n'avait pas été dans des conditions d'équilibre telles qu'elle ne pût pas s'exhausser notablement, n'est-il pas à croire, disons-nous, que la barre se serait reformée en avant de l'entrée à une hauteur peu différente de celle qu'elle avait auparavant ?

Quoi qu'il en soit de cette explication, il est certain que les profondeurs de 4 à 5 brasses (7^m,20 et 9^m) au-dessous de basse-mer dans la baie sont entretenues d'une façon permanente par des causes naturelles.

Or le port de Kingstown débouche précisément par ces profondeurs, soit par 4 brasses 1/2 environ (8^m).

De plus, l'entrée du port est orientée de telle sorte qu'elle est rasée par le courant de marée, soit qu'il entre dans la baie pour la remplir, soit qu'il en sorte.

Enfin les lames du large qui pénètrent dans la baie, passent directement devant l'entrée avant de s'être infléchies vers le rivage.

Nous retrouvons donc encore à Kingstown les circonstances que nous avons déjà rencontrées ailleurs.

Le port débouche sur le talus à peu près invariable d'un chenal maritime fixe, où de grands fonds permanents sont entretenus par des courants rapides directement alternatifs.

L'entrée est rasée par les courants de flot et de jusant.

La mer devant le port est assez profonde (8^m à mer basse), pour que l'action des lames sur les matières meubles du fond y soit notablement atténuée.

Kingstown présente en outre cette condition favorable, que les lames du large ne viennent pas se rabattre sur son entrée, mais filent devant elle sans s'y infléchir d'une façon sensible.

Il faut noter d'ailleurs, que le courant des eaux de jusant sortant du port doit avoir pour effet de balayer les quelques dépôts qui pourraient tendre à se former devant l'entrée.

Le port de Kingstown, déjà si remarquable parce fait qu'il n'a pas de barre, ne l'est pas moins à un autre point de vue.

Malgré le voisinage des sables et des vases de l'estuaire de la Liffey, ce port ne s'ensable ni ne s'envase, ou du moins il ne le fait que dans des proportions extrêmement restreintes.

Les dragages d'entretien paraissent se réduire à l'enlèvement d'une dizaine de mille mètres cubes de sable, sur un banc en dedans et à l'Ouest de son entrée. La formation de ce banc doit sans doute être attribuée aux remous du courant de flot, à son entrée dans le port, et peut-être aussi un peu au rejet des sables mis en suspension par le ressac le long des ouvrages du large et contre les musoirs.

A l'appui de ce que nous venons de dire, nous croyons utile de citer encore l'opinion de l'amiral Washington sur les causes auxquelles il faut attribuer la bonne tenue du port de Kingstown.

« Ces causes, dit-il dans son rapport de 1875 au
« sujet du projet de Douvres, sont, sans aucun doute,
« l'heureuse position de son entrée exactement dans
« la direction des courants de flot et de jusant ; la
« proportion de cette entrée avec l'espace qui se vide
« et se remplit à chaque marée, et par laquelle il
« n'entre et ne sort qu'un courant insensible ; sa
« forme circulaire ; sa petite profondeur d'eau et sa
« superficie qui est assez étendue pour permettre un
« certain degré d'agitation ; et ceci est, je crois, le
« principal remède contre les dépôts. »

L'amiral avait dit précédemment dans ce même rapport : « Kingstown est, je crois, le seul exemple
« de réussite d'un port artificiel fermé. »

Il conclut, au sujet de Douvres, en s'exprimant ainsi : « Je dois avouer que, jusqu'à ce que j'eusse
« vu et soigneusement examiné le port de Kings-
« town, je craignais que les dépôts ne déroutassent
« tous les efforts de nos ingénieurs pour construire
« un port à Douvres. Je n'ai plus de telles craintes ;

« quoique étant loin de vouloir fermer les yeux sur
« la grandeur du mal, je pense qu'avec cet exemple
« devant les yeux, nous pouvons hardiment lutter
« contre la difficulté. Imitons seulement les condi-
« tions favorables de Kingstown, notamment en
« plaçant l'entrée ou les entrées exactement dans la
« direction des courants de marée, et profitons d'un
« espace quadruple à Douvres; et, en ce qui concerne
« les dépôts, je suis d'opinion que nous n'aurons
« pas à les craindre. »

Nous avons tenu à citer complètement les passages qui précèdent, à cause de la haute autorité qui s'attache à l'opinion de l'amiral Washington, et parce que les considérations tirées de la grande surface d'un port, et de l'agitation qui en résulte, nous paraissent parfaitement fondées en ce qui concerne l'atténuation des dépôts intérieurs.

Nous devons ajouter cependant, qu'on a donné du non-ensablement du port de Kingstown une autre explication qui semble rationnelle.

On a fait observer que les eaux de flot qui remplissent le port, viennent du large et sont extrêmement peu chargées de matières en suspension, tandis que les eaux troubles de l'estuaire de la Liffey ne passent devant le port que quand il se vide.

Mais ce motif qui a certainement une valeur sérieuse pour Kingstown, ne suffirait pas pour expliquer à lui seule la bonne tenue de ce port. Pour le prouver il suffit de citer ce qui se passe au port de Howth, qui en est très-voisin.

Howth (voir Pl. VII). — Les résultats si satisfaisants obtenus à Kingstown offrent en effet un contraste remarquable avec ceux qu'on observe à Howth. Le port de Howth a été construit au Nord et en dehors de la baie de Dublin; ses jetées ont une forme et une orientation qui rappellent à première

vue celles de Kingstown. Cependant ce port s'est envasé, et aujourd'hui il n'est plus praticable qu'à mer haute aux navires d'un tirant d'eau moyen. Comme il ne répondait pas aux exigences d'un service rapide à heures fixes entre l'Angleterre et l'Irlande, on dut chercher à Kingstown la solution qu'on avait espéré trouver dans la situation mieux abritée de Howth. Nous ne possédons pas tous les éléments d'appréciation nécessaires pour expliquer les faits constatés à Howth ; mais nous pouvons faire ressortir les différences essentielles qui existent entre ce port et celui de Kingstown.

Ainsi Howth se trouve sur une côte, où il y a une tendance naturelle à l'ensablement et à l'envasement. Suivant toute probabilité, la colline de Howth (hill of Howth) a dû être primitivement un îlot, qui s'est trouvé peu à peu rattaché par des atterrissements à la terre ferme.

Les eaux sortant de la baie de Dublin, où elles ont balayé l'estuaire vaseux et sableux de la Liffey, vont ensuite, en partie du moins, passer devant le port de Howth, au remplissage duquel elles contribuent, puis vont engraisser les bancs situés au-delà, à l'Ouest et au Nord de ce port.

Le courant qui se fait sentir devant l'entrée, mais qui ne la rase pas, paraît n'être qu'un remous du courant littoral ; il est, par suite, de nature à provoquer plutôt des atterrissements qu'un approfondissement.

L'entrée est étroite, et orientée de façon à augmenter le calme dans le port, dont la surface est du reste beaucoup moindre qu'à Kingstown, toutes circonstances qui favorisent les dépôts intérieurs.

La profondeur de l'eau en avant des musoirs est très-petite à mer basse, de sorte que l'action des lames, pour mettre en suspension et rejeter dans les

eaux calmes du port les matières meubles du fond, doit être considérable.

La surface comprise entre les jetées étant restreinte, le volume d'eau qui en sort à chaque marée est lui-même assez faible, et ne paraît pas capable de produire des chasses suffisamment puissantes pour déblayer l'entrée.

Ou ne rencontre donc pas à Howth l'ensemble des conditions que nous avons signalées à Kingstown, et, par conséquent, l'insuccès du premier de ces ports n'infirmes pas les chances de réussite qu'on peut espérer là où sont réalisées les circonstances particulières qui expliquent le succès de Kingstown.

Greenore (voir Pl. VIII).—Parmi les ports construits récemment d'après les principes que nous venons de rappeler pour Kingstown et Nieuwe Diep, on peut également citer Greenore en Irlande. Il existe sur la côte orientale de l'Irlande, au Sud de Belfast, une baie qui s'avance très-profondément dans les terres, la baie de Carlingford. Aux $\frac{2}{3}$ environ de sa longueur, en partant de l'amont, cette baie se trouve resserrée entre les deux caps de Greenore et de Greencastle. Cet étranglement donne lieu sur ce point à des courants rapides, et la profondeur atteint, surtout devant Greenore, jusqu'à 10 et 11 brasses (18 à 20^m). Il est permis de supposer, d'après les fosses très-caractérisées qui existent en amont et en aval de ce détroit, que la profondeur y serait plus considérable encore, si la nature du sol ne s'y opposait. La carte indique en effet, dans ce passage, plusieurs pointes de rocher. Le promontoire de Greenore sur la rive droite de la baie agit comme un épi, et à son extrémité la profondeur se maintient d'autant plus grande, que les eaux qui remplissent l'anse en amont, viennent en ce point se joindre au courant principal de jusant. C'est à cette extrémité

de l'épi, sur la face Nord, qu'on a créé récemment la station maritime de Greenore. La Compagnie du London and North Western Railway, après avoir fixé la rive de l'anse, y a construit, en 1873, un quai de débarquement accostable par tout état de marée, une station de chemin de fer et un hôtel pour les voyageurs. Grâce à ces installations, créées tout d'une pièce, elle a pu établir entre Holyhead et Greenore un service rapide, en concurrence à la ligne qui, par Stranaer, Larne et Belfast, met l'Angleterre en communication avec le Nord de l'Irlande, Pendant notre voyage dans les ports de la Grande-Bretagne, nous avons cru devoir faire une visite spéciale de cette localité, qui nous avait été signalée en Hollande, et qui présente en effet un intérêt sérieux pour l'étude dont nous étions chargés.

Après avoir passé en revue ces divers exemples, nous rappellerons sommairement, qu'on rencontre précisément à Boulogne, toutes ces circonstances spéciales et favorables, auxquelles on doit attribuer l'absence de barre devant les ports de Nieuwe Diep et de Kingstown.

A une faible distance du rivage existe un chenal maritime fixe, dont le fond est déblayé jusqu'au sol dur naturel, par de forts courants directement alternatifs.

La direction des vents les plus violents, et, par suite, la propagation des lames les plus puissantes, sont sensiblement dans la direction même des courants.

Le port projeté débouche sur le sommet de l'accote du talus de ce chenal ; son entrée est exactement rasée par les courants, dont la direction ne sera pas modifiée par les travaux, et dont la vitesse sera encore augmentée par le fait même de la saillie des ouvrages projetés en mer. La profondeur des eaux

à basse marée, devant le port, est assez grande (7^m,50 à 8^m), pour que l'action des lames qui, par certains vents, viendront battre l'entrée, et tendraient à rejeter dans le port les matières meubles du fond, soit considérablement atténuée.

Enfin le port, grâce à sa surface étendue et à la grande amplitude de la marée, aura ses passes nettoyées par les courants de remplissage et de vidange qui les traverseront.

Nouveau canal d'Amsterdam (voir Pl. IX). — Mais ces diverses conditions, qui paraissent bien suffisantes pour justifier l'espoir de n'avoir point de barre devant un port, sont-elles toutes nécessaires ?

Des ingénieurs très-expérimentés et du plus grand mérite paraissent ne l'avoir point pensé. C'est du moins l'impression que laissent l'examen du port créé sur la mer du Nord, à l'entrée du nouveau canal d'Amsterdam, et l'étude des travaux du Hoëck van Holland.

Ces deux ports ont fait l'objet d'un mémoire récent et très-complet de M. l'inspecteur général Croizette Desnoyers ; nous nous bornerons donc à citer les faits qui se rapportent plus spécialement à l'objet de ce rapport.

Le port qui sert d'entrée au nouveau canal d'Amsterdam se trouve sur une partie presque rectiligne de la côte de la mer du Nord, dont la plage sous-marine en pente très-douce ($\frac{1}{140}$ à $\frac{1}{250}$), se raccorde, à une grande distance du rivage (10 à 12 kilomètres au moins), à un vaste plateau presque horizontal, dans les fonds d'environ 25^m.

La côte est battue par tous les vents, du Sud-Ouest au Nord-Est en passant par l'Ouest ; mais les vents de Sud-Ouest sont moins fréquents et surtout moins durables que ceux de Nord-Ouest. L'axe du

port est orienté vers l'Ouest avec une légère inclinaison vers le Nord.

Le sol de la Hollande est uniquement composé d'alluvions marines et fluviales, et tout porte à croire que cette formation géologique se continue de nos jours. On ne voit donc pas à priori de causes naturelles, susceptibles d'empêcher d'une façon à peu près certaine l'avancement de la plage jusqu'en tête des ouvrages, dont la saillie sur l'ensemble de la côte ne représente en somme qu'un petit accident local.

Et cependant Sir John Hawkshaw, l'éminent ingénieur anglais qui a passé la plus grande partie de sa vie à construire et à entretenir des ports, l'auteur du projet qui nous occupe, ne doute pas que l'entrée ne puisse en être maintenant libre.

Il pense que les jetées s'avancant en mer à 1,500^m du rivage par les fonds primitifs de 8^m au-dessous de basse-mer, formeront un cap d'une saillie suffisante pour renforcer l'action du courant littoral en avant de l'entrée du port, et pour y empêcher l'accumulation de tout dépôt permanent de quelque importance.

M. Hawkshaw a bien voulu nous dire à cette occasion que, s'il avait disposé de fonds plus considérables que ceux qu'on voulait consacrer à ces ouvrages, il aurait préféré établir ses jetées du large parallèlement à la côte, de façon à mieux faire raser l'entrée par les courants. C'est également l'opinion de M. Dircks, l'ingénieur hollandais qui dirige l'exécution des travaux.

M. Hawkshaw croit aussi que le port, d'une superficie de 120 hectares, avec des marées d'une amplitude moyenne de 1^m,30 environ, aura sa passe de 260^m de largeur, entretenue naturellement par l'action des courants alternatifs entre les musoirs.

On pourra de plus faire des chasses au moyen des eaux qu'on doit, à certains moments, extraire du canal, afin de le maintenir à un niveau à peu près constant.

Il est d'ailleurs entendu que les profondeurs intérieures du port seront constamment conservées par les dragages nécessaires pour se débarrasser des dépôts qui s'y produiront.

Quand nous avons visité les chantiers, en septembre 1877, on pouvait constater l'existence des atterrissements qui devaient inévitablement se former près du rivage, et la profondeur d'eau devant l'entrée était de plus de 7^m à mer basse. Mais le port n'est pas encore complètement terminé, et les travaux déjà exécutés le sont depuis trop peu de temps pour qu'on puisse juger dès à présent des résultats définitifs à espérer dans l'avenir.

Hœk van Holland (voir Pl. X). — Les travaux du Hœk van Holland ont pour but de rectifier l'embouchure du bras de la Meuse, nommé le Scheur, qui conduit directement à Rotterdam. Ils consistent en une coupure pratiquée à travers les dunes sur une longueur d'environ 6 kilomètres. La coupure est prolongée par deux jetées reportant l'entrée en pleine mer.

Celle du sud a 1,150^m de longueur et se termine par les fonds de 5^m au-dessous des plus basses mers, ce qui donne à haute mer 6^m,70.

Celle du Nord est en saillie sur la jetée Sud, par rapport à la direction du rivage, de manière à protéger les navires contre les vents de Nord-Ouest, et à faciliter l'entrée du flot qui arrive du Sud-Ouest. Elle a 1,860^m de longueur et l'on trouve à haute mer 8^m d'eau environ à son musoir.

Les jetées sont presque parallèles, leur écartement étant de 850^m au rivage et de 900^m au large; elles sont orientées à peu près Est et Ouest.

La description de ces ouvrages montre que, dans ce cas, on n'a pas même cru devoir, comme à l'entrée du canal d'Amsterdam, attacher d'importance à faire raser directement la ligne des musoirs par les courants littoraux, qui sont parallèles au rivage, puisque la jetée Nord est en saillie sur la jetée Sud.

Le projet de ces intéressants travaux est dû à M. Caland, inspecteur général du Waterstaat; il a été approuvé sur le rapport d'une commission, qui a fait valoir, à l'appui, des considérations générales dont voici un extrait :

« L'eau d'écoulement de nos rivières est, à cause
 « de la grandeur énorme de leurs embouchures, tout
 « à fait incapable de maintenir à travers le plan
 « doucement incliné du rivage une passe d'une pro-
 « fondeur suffisante pour le passage des grands
 « navires, tandis que la marée qui pénètre par l'em-
 « bouchure, et qui en sort au jusant augmentée des
 « eaux d'écoulement, qu'elle a retenues et accumu-
 « lées, a un volume beaucoup plus considérable.
 « On doit donc comprendre que c'est à l'action des
 « marées surtout que le maintien de la profon-
 « deur de l'embouchure de nos rivières doit être
 « attribué.

« L'effet total dépend de la vitesse et du volume,
 « et tous deux augmentent avec l'amplitude de la
 « marée; c'est pourquoi les entrées de nos rivières
 « augmentent de profondeur en allant vers le Sud.

Ainsi à		AMPLITUDE	PROFONDEUR
		de la M A R É E .	de la passe A BASSE MER.
Brielle	on a pour..	1 ^m , 65	2 ^m , 00
Goedereede	id.....	2 ^m , 10	3 ^m , 60
Brouwershaven	id.....	2 ^m , 80	9 ^m , 00
Dans le Roompot	id.....	3 ^m , 00	8 ^m , 40

« Il n'est pas au pouvoir de l'homme d'augmenter
« l'amplitude de la marée, mais la direction et la
« forme de l'entrée peuvent être régularisées, et la
« largeur peut en être limitée en proportion du
« volume, et ainsi la profondeur peut être augmentée.

« Les embouchures de nos rivières ont toutes
« une courbure plus ou moins prononcée vers le
« Sud, qui intercepte le courant de jusant. La ligne
« la plus courte pour atteindre les grandes profon-
« deurs est dirigée vers le Nord-Ouest, parce que
« la côte est orientée vers le Nord-Est; mais comme
« le courant de flot vient du Sud-Ouest, la direction
« de l'entrée doit être au moins Est et Ouest.

« Les rivières ne débitent pas le même volume
« dans chaque section, mais bien un volume d'au-
« tant plus grand, que ces sections sont plus rap-
« prochées de la mer. Donc pour maintenir une
« même profondeur, la largeur doit être la plus
« grande à l'embouchure, et diminuer progressive-
« ment en remontant. »

M. Caland a bien voulu nous faire remarquer que c'est vers la coupure du Hœck van Holland qu'on trouve, dans ces parages, les grandes profondeurs le plus près de terre.

On est placé là, en effet, à l'extrémité Nord de la plage très-plate, qui s'étend en avant de l'immense delta, à travers lequel circule l'ensemble des cours d'eau se déversant dans la mer du Nord, depuis l'Escaut au Sud jusqu'à la Meuse au Nord.

A partir et au Nord du Hœch van Holland, la plage sous marine est en pente un peu moins douce que devant le delta.

Il ne faut pas oublier d'ailleurs qu'afin d'augmenter l'action des eaux de marée dans la nouvelle embouchure, on a exécuté et on doit exécuter encore à l'amont, sur une grande distance, des travaux de

rectification et des barrages, qui contribueront à accroître le volume et la vitesse du jusant.

En résumé, M. Caland, dont les savantes études sur les rivières à marée de la Hollande ont une grande autorité, s'est borné à redresser l'embouchure du Scheur, et à la reporter en avant du rivage, dans une zone où on trouvait, avant l'exécution des travaux, des profondeurs moyennes de 5 à 6^m à basse mer. En disposant ses jetées, il ne s'est pas préoccupé d'en faire raser l'entrée par les courants, et il compte uniquement sur les chasses naturelles, dues au mouvement alternatif d'une énorme masse d'eau de marée, pour maintenir les profondeurs primitives devant l'entrée du chenal.

Les travaux projetés, tant à l'embouchure que sur le cours de la rivière, ne sont pas encore achevés, et il n'existait, en septembre 1877, qu'un chenal assez étroit entre les jetées; on ne peut donc savoir, dès à présent, dans quelles limites se réaliseront tous les résultats espérés.

Mais ce qu'on ne saurait contester, c'est que, dès aujourd'hui, le canal d'Amsterdam et le Scheur livrent passage aux grands navires, en vue desquels ces deux belles entreprises ont été conçues.

On ne saurait contester non plus la haute compétence des ingénieurs qui les ont dirigées. Et si l'avenir démontre que leurs espérances étaient fondées, on aura là un exemple de ports à marée, débouchant en pleine mer sur une plage de sable d'une fixité des plus certaines, en pente très-douce, battue par tous les vents du large et n'ayant cependant pas de barre à leur entrée.

Les principes appliqués dans ces deux cas pourront alors l'être ailleurs dans des circonstances analogues.

Mais nous croyons inutile d'insister sur les diffé-

rences essentielles qui existent entre les conditions où l'on était forcément placé pour la création de ces ports et celles, tout autrement favorables, que l'on rencontre à Nieuwe Diep, Kingstown, Boulogne et Douvres. Ces différences sont telles qu'elles ne sembleraient pas autoriser à conclure des résultats qu'on obtiendra pour les uns à ceux qu'on peut attendre pour les autres.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de ports n'ayant pas de barre ou qu'on espère en voir affranchis ; toutefois ces indications sembleront peut-être avoir quelque intérêt, au point de vue de l'amélioration de certains ports, en appelant l'attention sur la nécessité de l'étude attentive des circonstances locales et spéciales qu'on rencontre dans leurs parages.

Nous aurions voulu pouvoir citer aussi quelques exemples de ports où l'on est parvenu à faire disparaître la barre ; malheureusement s'il est rare de trouver des ports qui n'en ont pas, il est plus difficile encore d'en découvrir qui en aient été délivrés.

La Tyne (voir Pl. XI). — Cependant nous en avons visité un qui offre cette exception. Nous voulons parler de l'embouchure de la Tyne.

Il n'est peut-être pas très-exact de dire que là il n'y a pas de barre, mais le seul haut fond qu'on y rencontre est à l'intérieur des jetées, et, de plus, il est tellement abaissé que les plus grands navires peuvent y passer à toute heure de marée. L'embouchure de la Tyne offre donc, à ce double point de vue, un intérêt tout particulier.

La Tyne se jette dans la mer à Shieds, où sa largeur n'est que d'environ 200^m.

En avant de son embouchure, on a créé, au moyen de deux jetées convergentes, un vaste bassin, dont la forme irrégulière peut être grossièrement assimilée à celle d'un trapèze appuyé au rivage par

sa large base de 1,200 à 1,300^m au moins de longueur.

La bouche de la rivière se trouve à peu près au milieu de cette base.

Les musoirs des jetées, dont la ligne forme la petite base du trapèze, sont établis dans des profondeurs de 30 pieds (9^m) au-dessous de basse mer de vive eau.

La distance entre les musoirs est fixée provisoirement à 540^m.

Il résulte de cette disposition générale deux conséquences immédiates :

Les eaux de jusant sortant du lit étroit de la Tyne, à Shields, s'épanouissent dans le large estuaire artificiel créé devant l'embouchure, y perdent une partie de leur vitesse, et y déposent les matières qu'elles ne peuvent plus, par suite, emporter avec elles.

Un effet analogue se produit pour les eaux de flot pénétrant par la passe relativement rétrécie des musoirs.

En second lieu, les lames du large poussées dans la passe, s'étendent en éventail dans le bassin d'entrée, y perdent de leur hauteur et de leur puissance d'entraînement, et y laissent retomber également les matières lourdes qu'elles avaient pu mettre en suspension devant l'embouchure.

La résultante de ces actions est la formation d'une barre située dans l'intérieur de l'enceinte des jetées.

Pour s'en débarrasser on a eu recours à deux moyens.

Le premier consiste à augmenter dans une énorme proportion la masse et la vitesse des eaux de marée, en approfondissant et régularisant le lit de la rivière jusqu'au-dessus de Newcastle. Les courants se sont trouvés ainsi considérablement renforcés là où les dépôts tendaient à se former dans l'enceinte des jetées.

Le second consiste à draguer la partie de ces dépôts que n'enlevaient pas les courants.

L'opération du dragage est devenue, grâce à l'abri relatif procuré par les jetées, suffisamment praticable pour les dragues ordinaires, qu'on ne fait travailler du reste que dans des conditions convenables, c'est-à-dire en été, par beau temps et en morte eau.

Les résultats obtenus par ce double système de travaux sont des plus remarquables.

Un historique succinct des améliorations de la Tyne nous permettra de fournir à ce sujet des détails fort intéressants.

PREMIÈRE PÉRIODE

Rectification de la rivière et jetées.

La première carte exacte de la Tyne ne remonte qu'à 1813.

Le système proposé à cette époque par Rennie pour l'amélioration du cours de la Tyne est, en principe, le même que celui adopté par Galborne pour la Clyde ; mais on a évité de resserrer le chenal de la Tyne autant qu'on l'avait fait d'abord sur la Clyde. Les travaux ne furent sérieusement entrepris qu'en 1843, et les seules modifications, apportées depuis lors au tracé de Rennie, ont été motivées par la nécessité de prendre en considération les nouveaux intérêts commerciaux, maritimes, industriels, etc., qui s'étaient créés depuis 1813.

La corporation de Newcastle n'accorda d'abord qu'un crédit annuel de 5,000 livres (125,000 fr.), dont une partie devait être dépensée en dragages le long des quais publics.

L'exécution des travaux de rivière a duré 16 ans. Ils consistaient en ouvrages de charpente, dont l'établissement est beaucoup plus rapide et se trouvait aussi, dans la Tyne, plus économique que celui d'épis en enrochements.

Le prix moyen du pied courant en a été de 25 schillings (environ 100 fr. le mètre courant).

On garantissait la tête et les côtés des épis contre les affouillements au moyen d'une risberme en pierres et en argile, de 0^m,25 d'épaisseur et de 3^m de large.

Les plus grands effets sur le chenal ont été obtenus au moyen des épis sans l'aide des perrés longitudinaux. Ceux-ci n'ont été faits que plus tard, de tête en tête des épis, au moyen de pierres et de scories, après que l'endroit où ils devaient être établis avait déjà été remblayé par les remous dus aux épis.

On a commencé par rectifier les parties où le courant était le plus rapide.

A la fin de 1858, la totalité des épis et des perrés de jonction était terminée entre Newcastle et Shields.

Les changements ainsi produits en certains points du lit de la rivière ont été si rapides et si considérables, que les pilotes hésitaient à s'engager, avec de grands navires, dans les nouveaux chenaux qu'on venait de créer pour ainsi dire sous leurs yeux, à la place de ceux d'une navigation laborieuse, auxquels ils étaient accoutumés de tout temps.

Voici le résumé des résultats constatés en 1860.

Jusqu'à 1842, le banc principal de la rivière n'avait que 2 pieds (0^m,60) d'eau à basse mer, et 14 pieds (4^m,20) à haute mer de vive eau.

En 1860, il n'y avait nulle part moins de 18 pieds (5^m,40) à haute mer de vive eau.

En 1842, le niveau de la haute mer à Newcastle

était plus bas qu'à l'embouchure de 7 à 10 pouces ($0^m,18$ à $0^m,25$).

En 1860, le niveau de la haute mer était sensiblement le même à Newcastle et à l'embouchure ; et de plus le niveau de basse mer avait été abaissé à Newcastle de 14 à 18 pouces ($0^m,35$ à $0^m,45$), de sorte que l'amplitude de la marée y était, en 1860, de 2 pieds ($0^m,60$) plus grande qu'en 1813, et s'élevait à 12 pieds (3^m60) en vive eau.

Mais si la rivière avait été améliorée, son embouchure était restée à peu près dans son état primitif ; on ne trouvait sur la barre que 6 à 8 pieds ($1^m,80$ à $2^m,40$) à basse mer de vive eau.

En 1816, Rennie avait proposé la construction d'une grande jetée sur le banc nommé Herd-Sand au sud de l'embouchure. Mais il fut reconnu que cette jetée aurait été un véritable écueil pour les navires cherchant à entrer dans le port.

En effet le promontoire rocheux formé en mer par la côte au nord de l'embouchure produit l'effet d'une jetée et infléchit le courant, de sorte que la masse principale du flot le contourne et entre dans la Tyne en venant de l'Est et du Sud-est, après avoir rasé le Herd-Sand. Les plus fortes tempêtes sont du Nord-Est à Est.

Les navires auraient donc eu sous le vent la jetée projetée, et ils y auraient été drossés par le vent et la marée.

Cette jetée aurait eu en outre l'inconvénient de conduire la grosse mer dans le port de Shields, où il n'est pas rare de voir à la fois 700 navires à l'ancre ou mouillés sur les bouées, et d'où partent quelquefois 150 voiliers en une heure.

En projetant cette jetée, on avait eu aussi l'intention de capter une plus grande quantité de marée de flot, qu'on aurait ainsi forcée à entrer dans la

rivière. Mais on fit observer que cette disposition n'aurait certainement pas produit, à l'embouchure de la Tyne, le centième de l'effet que produit, à l'embouchure de la Tees, l'énorme saillie de la côte au Sud de cette dernière baie ; or sur ce point, malgré le gonflement de l'onde de marée, l'amplitude n'est que de 16 pieds (4^m,80), tandis qu'elle est de 15 pieds (4^m,50) le même jour, à l'embouchure de la Tyne.

En 1845, M. Brooks, alors ingénieur de la Tyne, à qui l'on doit les beaux travaux si économiquement exécutés dans la rivière, proposa de préférence une jetée au Nord de l'embouchure ; il y ajouta une jetée au Sud, moins longue que la jetée Nord, et formant avec celle-ci un angle assez prononcé.

M. Brooks faisait remarquer que, par la disposition convergente donnée aux jetées, les manœuvres des navires à l'entrée et à la sortie seraient grandement facilitées, et qu'un bâtiment, après avoir doublé les musoirs, serait hors de danger.

Il ajoutait que les lames venant du large s'épanouiraient en éventail dans le port, s'y affaibliraient, et que, en s'étalant sur le talus très-doux des plages et des bancs compris dans l'enceinte des jetées, elles achèveraient de s'y briser, de sorte qu'elles ne se propageraient qu'en petite partie et encore très-affaiblies dans le mouillage de Shields.

M. Walker proposa, en 1853, un plan dont les dispositions générales sont analogues à celles du projet de M. Brooks et dont l'exécution fut commencée en 1856.

Mais les jetées prévues en 1853 étaient plus courtes que celles qui sont maintenant exécutées ; elles étaient courbées vers leurs extrémités, et se terminaient dans des fonds de 13 pieds (3^m,90) à basse mer.

Quand on voulut faire de la Tyne un port de refuge,

M. Walker étudia un nouveau plan ; puis il en dressa d'autres dans les diverses hypothèses de l'extrémité des jetées placée par 23, 30 et 36 pieds à basse mer, et finalement, dans son rapport du 11 novembre 1861, il recommanda de les terminer dans une profondeur de 30 pieds à basse mer, et de donner à la passe 1,100 pieds.

La forme de l'embouchure de la Tyne est absolument en opposition avec celle qu'on a préconisée pour l'embouchure des rivières à marée, et qu'on a adoptée pour le Scheur, par exemple, au Hæck van Holland.

Au lieu de faire les jetées parallèles ou légèrement divergentes, on les a faites convergentes.

Cette circonstance n'a pas échappé à l'attention des ingénieurs anglais. Sans doute, disent-ils, le principe qui consiste à donner à l'embouchure d'un estuaire la forme évasée est bon, mais à une condition : c'est de ne pas être exposé à introduire dans le port les dangereux effets des grosses mers. Ainsi à Aberdeen, dont le chenal est formé par des jetées à peu près parallèles, il y a, par les coups de vent d'Est, une agitation violente dans toute l'entrée et jusqu'aux portes du dock à un mille de distance. Or la ligne qui joint le milieu de l'embouchure à Shields, et le milieu de la passe entre les musoirs, est orientée presque Est et Ouest, précisément dans la direction des vents dangereux. Quant à assurer le facile remplissage de l'estuaire par la marée, il n'est besoin pour cela que de donner à la passe, entre les musoirs des jetées, une largeur suffisante, et d'augmenter la profondeur du chenal intérieur.

DEUXIÈME PÉRIODE.

Dragages.

On vient de voir quelle était la situation des travaux exécutés ou projetés sur la Tyne vers 1859, époque à laquelle M. Ure succédait à M. Brooks comme ingénieur.

De cette époque date aussi un changement radical dans l'ordre d'idées où l'on avait été jusque là, et dans la manière de poursuivre l'amélioration de la rivière.

On s'était contenté d'une navigation suffisamment praticable à marée haute pour des navires de dimensions moyennes, on veut maintenant pouvoir circuler librement à toute heure avec des bâtiments du plus fort tonnage. On avait été parcimonieux dans l'allocation des crédits, on va désormais mettre à la disposition des ingénieurs des sommes considérables. On s'était borné à utiliser le mieux possible les forces naturelles dont on disposait, on veut cette fois suppléer à l'insuffisance de leur action et lutter même contre leurs effets.

Le programme d'ensemble de cette nouvelle phase des travaux fut dressé par M. Ure, et, en 1801 ; les commissaires de la Tyne furent autorisés par acte du Parlement à en poursuivre l'exécution.

Le principe fondamental du nouveau système était de draguer partout où cela était nécessaire, et autant qu'il le fallait, pour obtenir les profondeurs voulues.

On aura une idée de l'extension qu'a prise cette opération, en comparant les deux chiffres suivants :

En 21 ans, de 1838 à 1858, on avait enlevé environ 1,500,000 tonnes de dragages ;

En 18 ans, de 1859 à 1876, on en a enlevé près de 54,000,000.

Voici un résumé des résultats ainsi obtenus de 1860 à 1874, tels qu'ils ressortent d'un rapport de M. Messent actuellement ingénieur de la Tyne, qui a succédé à M. Ure en 1870, après avoir pris, pendant de longues années, la part la plus active à la direction des travaux et notamment à l'exécution des jetées qui sont, pour ainsi dire, exclusivement son œuvre.

En 1860, la barre avait 6 pieds (1^m,80) d'eau à basse mer, 21 pieds (6^m,30) à haute mer de vive eau, et seulement 17 pieds (5^m,10) à haute mer de morte eau.

Sa longueur était de 800 pieds (240^m) de l'Est à l'Ouest et sa passe n'avait que 600 pieds (180^m) de large.

Aucun navire calant plus de 20 pieds (6^m) ne pouvait donc entrer dans la Tyne, et des bâtiments de 17 à 18 pieds (5^m,10 à 5^m,40) ont été retenus 2 et 3 mois sous charge dans la rivière, parce qu'il y avait eu une succession de vents d'Est à chaque marée de vive eau, seule époque à laquelle ils pouvaient sortir, et parce que le creux des lames diminuait alors d'autant la hauteur utile de l'eau sur la barre.

A 1,500 yards (1,400^m) en amont de la barre, existait un étranglement (les Narrows) où le chenal n'avait que 400 pieds (120^m) de largeur.

Le port de Shields était un canal assez étroit, profond mais tortueux, semé de bas fonds, et le pilotage y était difficile.

Du port de Shields à Newcastle, la rivière était une succession de bas fonds à travers lesquels serpentait un chenal, où des navires tirant 15 pieds (4^m,50) d'eau pouvaient seuls circuler, et seulement à haute mer de vive eau, tandis qu'à basse mer il

n'était pas rare d'y voir des petits vapeurs de 3 à 4 pieds (0^m,90 à 1^m,20) de calaison échouer pendant deux et trois heures.

Au-dessus de Newcastle, la rivière n'était praticable qu'aux allèges et aux petites embarcations, et cela seulement à haute mer.

Or, en 1874, la barre était enlevée; là où l'on avait 6 pieds (1^m,80) d'eau, on trouve 20 pieds (6^m) à basse mer de vive eau sur une grande largeur.

L'étranglement des Narrows a été élargi de 400 à 670 pieds (120^m à 201^m).

Dans le port de Shields les bas fonds dangereux ont été enlevés et, sur une longueur de 8,000 pieds (2,400^m), les navires peuvent mouiller par plus de 30 pieds (9^m) d'eau à basse mer de vive eau.

Il était difficile, à haute mer, de piloter un navire dans un chenal tortueux; on y peut maintenant remorquer, à toute heure de marée, trois ou quatre navires de front.

Les bâtiments étaient autrefois retenus pendant plusieurs mois dans la rivière; ils peuvent aujourd'hui gagner la mer, quel que soit le temps, à marée basse ou presque basse.

Du port de Shields à Newcastle, où s'échouaient des bateaux calant 3 ou 4 pieds (0^m,90 à 1^m,20) d'eau, on trouve partout plus de 20 pieds (6^m) à mer basse de vive eau.

On a prolongé l'approfondissement sur 2 milles (3,200^m) au-dessus de Newcastle; la profondeur y est de 17 pieds (5^m,10) au-dessous de basse mer de vive eau.

La longueur de la rivière, du pont de Newcastle à la mer, est de 10 milles 1/2 (17,000^m), et on l'approfondit encore sur 8 milles 3/4 (14,000^m) à l'amont du pont, savoir à 17 pieds (5^m,10) sur 2 milles (3,200^m) et à 12 pieds (3^m,60) sur le reste. On

augmentera ainsi le réservoir supérieur des marées, ce qui aidera au maintien des profondeurs dans la partie inférieure de la rivière.

Cette amélioration ou, plus exactement, cette transformation est due à l'emploi des dragues.

Le matériel comprend 6 dragues, dont 3 de 55 chevaux, 10 porteurs à vapeur, 40 porteurs en bois, 8 remorqueurs à vapeur, et en outre, des pontons, des embarcations, etc. Le matériel de dragage, y compris les ateliers, les cales, etc., a coûté 300,000 livres (7,500,000 fr.).

Tous les travaux sont exécutés en régie.

En 1866 le poids des dragages s'est élevé à plus de 5,000,000 de tonnes.

Les matières draguées sont portées en mer à une distance de 2 à 3 milles (3,700^m à 5,400^m) de l'embouchure, dans des profondeurs de plus de 20 brasses (120 pieds ou 36 mètres) à basse mer.

Par suite des travaux, le tonnage moyen des navires fréquentant la Tyne est passé de 149 tonnes en 1854 à 305 tonnes en 1875.

En 1863, on comptait 422 navires de plus de 500 tonnes; on en comptait, en 1875, 3,517, dont un grand nombre de plus de 2,000 tonnes, tonnage inconnu dans la rivière jusqu'en 1863.

Nous ne citerons pas tous les autres ouvrages considérables exécutés dans la Tyne sous la direction de M. Ure, afin de nous borner à ceux qui se rapportent plus spécialement à l'objet de ce rapport; nous croyons devoir cependant mentionner, à titre d'exception, une installation très-ingénieuse, qui permet de charger en une heure 800 à 1,000 tonnes de charbon dans un navire.

Les wagons chargés arrivent à une grande hauteur au-dessus de la rivière, dont les rives sont très-raides.

Le train est amené par la locomotive dans un garage, à 500^m environ du point d'embarquement. On prend dans ce garage un wagon plein, et on l'engage sur un plan incliné qui le conduit, par l'effet de la gravité, jusqu'à un couloir dans lequel on fait verser son chargement. Sur ce couloir le charbon glisse rapidement et tombe, par un panneau du navire en chargement, dans l'intérieur de la cale.

Le wagon vide est alors aiguillé sur un autre plan incliné en sens contraire du premier, et qui le ramène vide à un second garage situé naturellement plus bas que celui d'où il est parti chargé. Une locomotive vient reprendre dans ce garage inférieur les wagons vides qui s'y sont rassemblés.

Or, pour un seul appontement de chargement, il y a trois systèmes semblables qui peuvent fonctionner simultanément, si le navire a trois panneaux convenablement placés.

On comprend quelle rapidité on peut ainsi obtenir dans le chargement de certains navires charbonniers.

Les renseignements qui précèdent se rapportent à l'année 1874 ; mais depuis, de nouveaux progrès ont été réalisés à l'embouchure de la Tyne.

M. P.-F. Messent, le directeur actuel des travaux, que nous ne saurions trop remercier de son extrême courtoisie, a bien voulu nous communiquer des documents plus récents.

Il en ressort qu'en 1877, il y avait environ 23 pieds d'eau (6^m,90) à basse mer de vive eau sur l'emplacement de la barre.

Cette profondeur est due à l'action combinée des courants de marée et des dragages.

Les travaux exécutés dans la Tyne ont eu bien certainement pour effet d'augmenter la capacité du réservoir que la mer remplit ; mais l'approfondisse-

ment du lit a surtout modifié le régime de la propagation de la marée dans la rivière.

En 1860 la haute mer à Newcastle avait lieu 1^h3' après qu'elle s'était produite à Shields.

Cet intervalle de temps n'était plus que de 23 minutes en 1872, et il est peut-être encore moindre aujourd'hui.

L'amplitude de la marée à Newcastle est pratiquement la même qu'à l'embouchure, 15 pieds (4^m,50) en vive eau. La basse mer y a encore été abaissée depuis 1860.

L'entrée du port est donc traversée par une quantité d'eau de marée plus considérable, et animée d'une vitesse plus grande qu'autrefois.

Ce fait a conduit à augmenter la largeur de 1,100 pieds (330^m) que M. Walker avait proposée pour la passe entre les musoirs.

MM. Ure et Messent ont fait à ce sujet les remarques suivantes :

« L'entrée doit être aussi étroite que possible pour
« exclure les lames, et aussi large que possible
« en vue de la navigation; mais, de plus, il faut tenir
« compte du grand accroissement de volume des
« eaux de marée qui entrent dans la rivière, et de
« celui qui résultera encore de l'exécution des tra-
« vaux dans la partie supérieure de la Tyne.

« Cet accroissement sera de 5 à 6 millions de yards
« cubes (3,800,000^m³ à 4,500,000^m³) à ajouter à celui
« déjà obtenu de 14,00,000 y³ (10,600,000^m³).

« Or un naufrage a démontré qu'il est indispensa-
« ble que le courant de la marée entre les musoirs
« à l'étiage, ou lorsque la rivière est en crue, ne soit
« pas d'une telle vitesse que, lorsqu'il rencontre les
« lames du large, il produise une mer trop creuse.

« Il convient par suite, de laisser 1,800 pieds (540^m)
« entre les musoirs, tout en maintenant la ligne qui

« les joint, parallèle à la côte. L'expérience apprendra ce dont on pourra sans inconvénient réduire plus tard la largeur de la passe. »

En même temps qu'on profitait de courants de marée ainsi renforcés, on attaquait directement au moyen de dragues l'enlèvement du sable qui formait la barre.

Bien que la barre soit en dedans et sous l'abri des jetées, on est loin d'y trouver toujours un calme suffisant pour les dragues. Il y a au contraire une agitation très-notable et quelquefois très-forte dans l'enceinte des jetées, où se produisent aussi des courants de différentes sortes.

Un de ces courants est dû à l'introduction oblique du flot qui s'infléchit vers le Herd Sand au Sud de l'entrée, et rejette dans le chenal les sables de ce banc.

C'est pour remédier à cet ensablement, qu'on a construit dans le prolongement de la rive Sud, à South Shields, une petite jetée intérieure.

Le dragage ne pouvait donc avoir lieu d'une manière un peu suivie qu'en été et par temps calme, c'est-à-dire quand la houle ne dépassait pas 0^m,60 à 0^m,90.

Le dragage à la mer est d'ailleurs évidemment soumis à moins de sujétions en morte eau qu'en vive eau, à cause de la moindre amplitude de la marée.

Pendant l'été, les dragues abaissaient la barre ; mais, après l'hiver, on ne retrouvait naturellement plus qu'une partie de la fouille creusée pendant la saison précédente ; cependant on avait gagné quelque chose.

On se décida alors à draguer le chenal à travers la barre jusqu'à 25 pieds (7^m,50) de profondeur au-dessous des basses mers de vive eau.

Or le fond de la fouille mit six années pour se relever de 25 pieds (7^m,50), à 19 pieds 1/2 (5^m,85).

M. Messent ne douta pas, qu'à la suite d'un second dragage profond, le même effet de comblement ne se reproduirait qu'en un temps au moins double, parce qu'une partie des matières qui y avaient contribué d'abord, auraient pris un talus d'équilibre suffisamment stable, ou auraient disparu sous l'action des courants devenus plus puissants. Les faits semblent avoir pleinement justifié ses prévisions.

Nous avons parlé jusqu'ici du passé et du présent de la Tyne : quel peut être son avenir ?

Il est bien certain que les dragages effectués dans la région supérieure de la rivière au-delà de Newcastle auront pour effet de déterminer des apports fluviaux considérables dans les fouilles à l'amont ; mais on est décidé à les enlever, et on a l'assurance d'y réussir.

Par contre, on espère qu'au-dessous de Newcastle le courant de jusant sera à peu près suffisant pour y entretenir les profondeurs exceptionnelles qu'on y a créées.

Ce courant atteint en effet 3 nœuds à l'heure (1^m,50 par seconde), et il a produit en certains points des affouillements au sujet desquels des riverains ont intenté un procès aux commissaires de la Tyne.

Du reste, si les dépôts gênants se produisent, soit dans la rivière, soit dans l'enceinte des jetées, on aura toujours la ressource de recourir à de nouveaux dragages. On sait dès aujourd'hui, que leur enlèvement ne sera pas au-dessus des moyens dont on dispose, puisque l'on est parvenu en si peu de temps à déblayer non-seulement les apports annuels, mais encore ceux qu'une longue série de siècles avait accumulés dans le lit de la rivière.

Quelles que soient les éventualités à entrevoir dans l'avenir, on ne peut s'empêcher d'admirer la gran-

deur des résultats obtenus, et la hardiesse des procédés d'exécution.

Mais dans quelles circonstances peut-on espérer un semblable succès, en employant des moyens analogues ?

Il faut bien reconnaître, tout d'abord, qu'on ne rencontre pas communément une rivière dont le bassin offre une richesse minière et industrielle comparable à celle de la Tyne.

De Newcastle à la mer, les deux rives sont bordées d'usine, de fabriques, de bassins, d'appontements, etc. En ce moment on manque de terrains bas et plats, propres à l'établissement de nouveaux docks sur la rive Nord, et on en est réduit à déblayer des terrains élevés, pour creuser des bassins dans leur emplacement.

Or il faut de grands capitaux pour entreprendre et conduire à bonne fin des travaux comme ceux de la Tyne, et il faut une grande puissance au commerce et à la navigation pour en payer les frais.

Mais si, laissant de côté le point de vue économique malgré son importance capitale, nous nous bornons au point de vue technique, voici ce qu'on observe sur la Tyne.

Le lit de la rivière est une faille assez étroite entre des collines rocheuses, et les matières qui s'y sont déposées, paraissent provenir des déjections séculaires de ses rives, et de son bassin supérieur où se produisent des crues rapides et violentes.

La plage sous-marine en avant de l'embouchure est recouverte de sable, et sa pente ne paraît pas excéder 1/100.

Les courants littoraux sont faibles ; ceux qu'on a observés, n'excédaient pas un nœud à l'heure, soit 0^m,50 environ par seconde.

Enfin la barre n'est pas due, comme dans d'autres

ports, à l'existence de grands bancs littoraux, formés par les matériaux provenant de la destruction de falaises voisine.

Malgré ces circonstances un peu exceptionnelles, il semble que les principes appliqués si heureusement à l'embouchure de la Tyne, pourront l'être également avec avantage pour l'amélioration de certains ports.

Nous croyons devoir les résumer, tels que nous les comprenons, en ce qu'ils paraissent avoir d'essentiel :

1° Formation en avant du rivage d'une vaste enceinte dessinée par des jetées convergentes ;

2° Enlèvement, au moyen de dragues, des dépôts de toutes provenances qui tendront à se former dans cette enceinte ;

3° Augmentation du volume et de la vitesse des courants de marée sur l'emplacement de la fouille draguée ;

4° Établissement des musoirs par des profondeurs assez grandes (au-dessous des plus basses eaux), pour que l'action des fortes lames sur les matières meubles du fond devant l'entrée soit très-atténuée ;

5° Passe convenablement orientée et assez large pour y éviter des courants trop rapides.

On peut craindre qu'un semblable programme n'entraîne à des dépenses excessives d'entretien, pour draguer les matières rejetées dans le port par la mer.

Cependant quelques ingénieurs très-expérimentés pensent aujourd'hui, que ces apports ne sont pas tellement considérables qu'on ne puisse songer à s'en débarrasser.

C'est dans cet ordre d'idées que se poursuivent actuellement les dragages sur la barre de Dunkerque. On se propose non-seulement d'approfondir la

passé, mais encore de former, par un large abaissement de la barre à l'Ouest du port, une espèce de champ de repos, où le sable accumulé par la mer pendant les gros temps viendra se déposer sans envahir l'entrée des jetées.

Cet essai, très-intéressant, est entrepris depuis une époque trop récente, pour qu'il soit possible de savoir ce qu'on obtiendra définitivement par ce moyen, dans une mer à marée, sur une plage soumise au régime des courants et des apports, et pour une barre extérieure battue par tous les vents du large et recouverte d'une petite hauteur d'eau à marée basse.

Quoi qu'il advienne des essais de Dunkerque, il est tout au moins probable, que dans une mer sans marée, par des profondeurs assez grandes, les dragues permettraient d'enlever les dépôts formant barre à l'extérieur.

Ainsi, à Port-Saïd, embouchure du canal de Suez sur la Méditerranée, on maintient 8^m,50 d'eau devant l'entrée moyennant un dragage annuel, assez considérable il est vrai, de 200,000 mètres cubes environ. Mais la dépense qu'entraîne cet entretien, est loin d'être hors de proportion avec l'importance du mouvement commercial et maritime, auquel répond la grande œuvre du canal.

CHAPITRE IV.

MODE DE CONSTRUCTION DES JETÉES.

Une question qui se rattache intimement à la création des ports extérieurs, et qui présente pour le nouveau port de Boulogne un intérêt considé-

nable, c'est la question du mode de construction des jetées. Faut-il les faire tout en enrochements comme à Plymouth, ou tout en maçonnerie comme à Douvres, ou bien enfin, partie en enrochements, partie en maçonnerie, comme à Saint-Jean-de-Luz ?

Le choix à faire dans chaque cas dépend non-seulement du sol sur lequel on doit établir les jetées et des ressources en matériaux qu'on trouve dans le pays, mais encore de la façon dont ces jetées devront agir et des actions diverses auxquelles elles auront à résister.

Les jetées peuvent se diviser en deux grandes classes, les jetées pleines et les jetées à claire-voie.

Jetées à claire-voie. — Ces dernières sont employées, lorsqu'on tient à ne pas intercepter les courants ou à ne pas arrêter le transport du sable et du galet. Quelquefois aussi elles sont employées par simple motif d'économie, et lorsqu'on ne veut que diminuer la houle à la surface de l'eau. Leur défaut général est, qu'elles n'ont qu'une action restreinte sur le mouvement des ondes dans le sens vertical, et qu'elles laissent passer facilement les lames.

Les modes de construction sont très-nombreux. Tout le monde connaît les jetées en charpente de bois ou de fer, qui limitent le chenal d'entrée de la plupart de nos ports de France ; quelquefois elles sont à claire-voie depuis le sol ; le plus souvent leur pied est fortifié par des enrochements ; ou bien elles reposent sur une fondation en maçonnerie.

A l'embouchure de l'Adour, près de Bayonne, on avait construit en 1859 des jetées à claire-voie, composées, sur chaque rive, d'une ligne de pieux de 0^m,30 de diamètre, espacés d'axe en axe de 0^m90, c'est-à-dire qu'il y avait un plein pour deux vides. Depuis que les vers taretts ont mangé ces pieux, on

a remplacé sur chaque rive la jetée à claire-voie en bois par une ligne de cylindres en fonte, ayant 2^m de diamètre, et distants de centre en centre de 5^m. Ces tuyaux sont foncés au moyen de l'air comprimé, et remplis ensuite de béton en ciment de Portland. L'expérience n'a pu renseigner encore sur la durée que ces tuyaux auront dans l'eau de mer ; mais on a pu constater, au bout de deux ans, que la couche de peinture était restée intacte sous l'épaisse croûte de moules qui avait envahi toutes les surfaces métalliques. Du reste la colonne en béton pourrait résister par elle-même, tout au moins pendant un certain temps, et l'on pourrait renouveler l'enveloppe en fonte, au moyen de deux demi-cylindres reliés par des boulons.

Comme jetées à claire-voie, on peut citer également le système des brises-lames flottants, composés de sections en charpente auxquelles on peut donner des formes très-variées, et qui sont amarrées au fond de la mer par des chaînes et des ancres. Mais ces brise-lames, qui ont été essayés à la Ciotat en France, à Brighton en Angleterre, n'ont pas donné de bons résultats ; ils n'ont pu résister aux fortes tempêtes, et nous ne croyons pas qu'il en existe actuellement des exemples, du moins en Europe.

Vers 1865, on a, sur la demande de l'empereur Napoléon III, fait au Socoa, dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, l'essai d'un système de jetée à claire-voie, formé de trois lignes parallèles de colonnes en béton placées en quinconce. Mais l'expérience a prouvé que ce système ne donnait aucun calme dans la rade, et il a dû être abandonné.

On a cité également dans l'enquête de 1846 relative au port de Douvres, un système à claire-voie que M. Bennett Hays doit avoir essayé en Australie, et qui consiste en une série de fermes en fer, reliées

sur une certaine hauteur par des plaques de tôle inclinées l'une sur l'autre comme les lames d'une persienne.

Enfin on a émis quelquefois l'idée d'imiter les roseaux ou les algues, qui, sur quelques points de l'Inde, arrêtent la propagation des lames, et de se servir, pour atteindre ce but, de pieux retenus au fond de la mer par une boule d'un poids suffisant.

Mais tous ces derniers systèmes n'inspirent qu'une médiocre confiance, et ne paraissent pas destinés à entrer dans la pratique de l'art de l'ingénieur. Nous les citons à titre de simple curiosité, plutôt que pour en recommander l'emploi. En Hollande et en Angleterre on s'en tient, pour les ouvrages à claire-voie, au système ordinaire des jetées en charpente. Sur plusieurs points, par exemple au Portel près de Boulogne, on a fait des jetées à claire-voie en maçonnerie, c'est-à-dire que la jetée se trouve évidée par une suite de pertuis, dont le nombre et l'ouverture dépendent du plus ou moins de calme que l'on veut obtenir. Ces jetées évidées pourraient peut-être recevoir de plus nombreuses applications, et remplacer avantageusement, dans certains cas, les jetées en charpente, dont la construction première est, il est vrai, relativement économique, mais dont le coûteux entretien devient, au bout d'un petit nombre d'années, une véritable ruine pour quelques-uns de nos ports. Il suffit de citer Dunkerque et Calais.

Jetées pleines. — Les jetées pleines peuvent se classer sous trois systèmes ; les jetées tout en enrochements ou à long talus, les jetées en maçonnerie ou à talus presque vertical, et les jetées mixtes avec fondations en enrochements et superstructure en maçonnerie.

Avant de passer en revue et de discuter ces divers modes de construction, nous dirons quelques mots

d'un système de jetées pleines, en fascinages et en moellons, employé au Hoek van Holland à l'embouchure du nouveau canal de Rotterdam. Ces jetées se composent d'une série de tapis en fascinage chargés de moellons, que l'on échoue les uns par-dessus les autres. Ce système peut se justifier en Hollande où l'on manque absolument de pierres, et où l'on a du bois en abondance ; il se comprend aussi, quand on doit, comme au Hoek van Holland, marcher vite et s'établir sur une plage de sable. Mais en dehors de ces circonstances exceptionnelles, ce système ne paraît pas susceptible de fréquentes applications. S'il peut être utilisé quelquefois avec avantage pour des ouvrages provisoires, il ne semble pas convenir en général pour des ouvrages définitifs, parce qu'il nécessite d'incessantes réparations. Les travaux du Hoek van Holland sont trop récents encore pour qu'on puisse tirer des leçons utiles de cette expérience. Mais aux travaux de régularisation du Rhin, entre Bâle et Strasbourg, travaux où l'on utilisait autrefois sur une vaste échelle les fascinages, on a dû y renoncer d'une façon presque absolue pour les défenses définitives, et l'on n'est arrivé à un résultat sérieux, que du jour où l'on a commencé à substituer à ces matériaux précaires des matériaux durables, les enrochements en moellons. Nous pensons que les jetées en fascinages ne pourront jamais être employées qu'à titre d'exception, et qu'en France surtout on en trouvera rarement l'emploi. Nous ne croyons pas dès lors, devoir insister davantage sur ce système, qui est d'ailleurs décrit avec beaucoup de soin et de détails dans l'ouvrage de M. Croizette-Desnoyers (Travaux publics de Hollande, page 11).

Nous revenons maintenant aux jetées en pierres, qui sont d'une application beaucoup plus fréquente.

Dans les enquêtes relatives au port de Douvres

en 1844 et surtout en 1846, on a beaucoup discuté sur le choix à faire entre ces divers systèmes ; plusieurs ingénieurs, parmi les plus connus, opinèrent pour le système des jetées à long talus, tandis que le plus grand nombre des ingénieurs d'alors, effrayés par les avaries qu'avaient subies à plusieurs reprises les grandes jetées de Cherbourg et de Plymouth, et d'autres jetées de moindre importance, à Kingstown, à Howth, proposaient de construire à Douvres une muraille à parois presque verticales partant du fond de la mer. Devant des avis aussi divergents la Commission a éprouvé d'abord quelque embarras ; toutefois, après avoir cité l'opinion d'une vingtaine d'ingénieurs, elle ajoutait en substance :

« Tous ces avis, sauf un seul, sont en faveur d'une
« muraille verticale ; et c'est pour nous une grande
« satisfaction de voir notre opinion personnelle
« être d'accord avec celle d'hommes aussi distin-
« gués.

« On objecte que la muraille sera une expérience,
« et c'en doit être une en effet, parceque jamais un
« travail de cette importance n'aura été entrepris.

« Mais les jetées en pierres perdues ont, elles
« aussi, été dans leur temps des expériences, et des
« expériences qui, dans bien des cas, doivent donner
« à réfléchir.

« Nous ne connaissons point d'exemples de jetées
« en pierres perdues, qui n'aient éprouvé de sé-
« rieuses avaries par l'action des lames, témoin
« Cherbourg et Plymouth.

« Pour le premier de ces ports, la jetée, après
« avoir été, dans un intervalle de quarante ans,
« rétablie trois fois jusqu'au-dessus du niveau des
« hautes mers, et malgré tous les efforts tentés pour
« lui donner de la fixité, a dû être arrasée au niveau
« de basse mer, et surmontée, à partir de ce niveau,

« d'une muraille en maçonnerie. A Plymouth les
« désastres arrivés au brisé-lames sont tellement
« connus, qu'il est inutile de les rappeler.

« Et cependant à Cherbourg et à Plymouth, les
« brisé-lames se trouvent dans des baies profondes,
« tandis qu'à Douvres la baie est très-peu pronon-
« cée ; ici un brisé-lames à long talus formerait un
« véritable récif, et occasionnerait un ligne de bri-
« sants dans le chenal même du détroit.

« Un des ingénieurs a calculé, qu'une jetée à long
« talus exigerait un cube de 7 millions de tonnes.

« Une note qui vient de nous être communiquée
« par l'amirauté, donne un catalogue instructif de
« l'état actuel des ports de la côte d'Irlande, où l'on
« a appliqué le système des jetées à long talus.

« A Kingstown, la risberme de la jetée de l'Est a
« exigé des réparations constantes et coûteuses, et
« n'a pas encore atteint sa stabilité.

« A Ardglass, la jetée à long talus construite
« en 1829 avec de gros enrochements, n'est plus
« aujourd'hui qu'un monceau de ruines, avec le
« phare qu'elle supportait.

« A Donaghadee, la jetée construite en 1820 a son
« talus bouleversé par les tempêtes du Sud-Est, et
« une partie des enrochements encombre l'entrée du
« port sur la moitié de sa largeur.

« A Portrush, la jetée construite en 1826, a été
« trouvée en si mauvais état en 1844, que l'ingénieur
« chargé de la visiter a constaté, que 4,000 tonnes
« d'enrochements avaient été enlevées sur le talus
« du large, et formaient en avant du musoir, un
« récif de 70 pieds de longueur, s'élevant à 3 pieds
« au-dessus du niveau de la basse mer.

« A Dunmore, une jetée en enrochements a été
« construite en 1815 avec un talus de 3 pour 1.
« En 1832, l'ingénieur constatait qu'elle était dans

« un véritable état de ruine ; le talus du large était
« partout bouleversé, et la jetée avait une série de
« brèches qui, à chaque tempête, s'élargissaient et
« s'avançaient vers le musoir. En 1845, on constatait
« que beaucoup de gros enrochements avaient été
« arrachés du talus, et formaient, en travers de
« l'entrée du port, un barrage incliné, long de 112
« pieds à partir du musoir, et dont la crête asséchait
« par basse mer.

« Nous voyons au contraire, dans la même note,
« qu'en parlant de la jetée de Kilrush, qui se trouve
« sur l'Atlantique, près de l'embouchure du Shannon,
« il est dit :

« Quand on la visita en septembre dernier, on la
« trouva en parfait état, et elle n'avait pas coûté un
« shilling pour réparations, depuis qu'elle était
« terminée. La jetée de Kilrush présente une surface
« verticale à la mer.

« Ces résultats de l'expérience, d'accord avec les
« témoignages recueillis dans l'enquête, nous amènent à proposer, sans hésitation, l'emploi d'une
« muraille à parois presque verticales, pour l'enceinte
« du port projeté à Douvres. »

L'on comprend très bien la résolution qu'a prise la Commission de 1846, eu égard à la situation particulière de Douvres et à la nature des matériaux dont on disposait alors.

A cette époque en effet, on connaissait fort peu les ciments, et on n'avait pas encore essayé sur une grande échelle les blocs artificiels, qui depuis 25 ans rendent de si grands services pour les travaux maritimes.

En outre, Douvres est absolument dépourvu de matériaux ; on n'y trouve que du galet, du sable et de la craie, et c'est de Portland, à une distance de 500 kilomètres, qu'il s'agissait de faire venir les

pierres. Il était donc de toute nécessité, de diminuer le plus possible le cube à transporter.

Nous admettons parfaitement, que ce système pouvait à cette époque, et pourrait encore être préféré, ou préconisé pour Douvres ; mais il est permis de supposer, que la Commission de 1846 et les ingénieurs qu'elle a interrogés, exprimeraient aujourd'hui, au point de vue général, un avis moins carrément favorable aux jetées tout en maçonnerie, après avoir reconnu les inconvénients que ces jetées entraînent avec elles, surtout au point de vue de la dépense et du délai d'exécution, et après avoir pu constater les heureux résultats obtenus à Alger, à Saint-Jean-de-Luz, à Marseille, à Livourne, par l'emploi des blocs artificiels.

En 1846 les défenseurs du système des jetées en maçonnerie affirmaient que les vagues, tant qu'elles ne sont pas brisées, n'exercent contre les parois verticales aucune pression, et à l'appui de cette affirmation, ils rappelaient que, par mer agitée, un canot a grand'peine à aborder un quai et n'est pas brisé contre la muraille.

Mais ce fait pourrait tenir au contraire, à ce que l'eau fortement pressée contre la muraille se relève d'une façon sensible, et forme un plan incliné que le canot ne peut gravir.

Les résultats obtenus avec le dynamomètre de M. Thomas Stephenson semblent prouver également, que les lames sont loin d'être aussi inoffensives contre les parois verticales qu'on se plaisait à le croire. L'exemple de la jetée de Tynemouth montre en outre, que, si les lames n'ont pas la force de renverser une muraille bien construite, elles exercent du moins sur le sol naturel ou artificiel qui supporte la muraille, une action considérable.

Les défenseurs de ce système insistaient aussi,

sur l'économie que l'on devait réaliser, en réduisant dans une forte proportion la section de la jetée. Mais l'exemple des travaux de Douvres et de Tyne-mouth est là pour prouver, que ce que l'on gagne comme cube de matériaux, on le perd, et au-delà, par le haut prix de ces matériaux, et par la difficulté de leur mise en œuvre.

Nous pensons, quant à nous, que dans l'état actuel de la science de l'ingénieur, c'est le système que nous avons désigné plus haut sous le nom de jetée mixte, qui devra être préféré dans le plus grand nombre des cas, parce que ce système permet d'éviter la plupart des inconvénients inhérents aux deux autres systèmes.

Voyons donc quels sont ces inconvénients.

Pour les jetées tout en enrochements, comme on les construisait autrefois, on a fait remarquer avec raison, que le talus vers le large ne pouvait jamais arriver à un équilibre stable, ni au-dessus de basse mer, ni au-dessous de basse mer, du moins jusqu'à une certaine profondeur. Au-dessous du niveau de basse mer, et malgré une inclinaison qui va quelquefois jusqu'à 10 et 12 pour 1, les pierres, trop peu lourdes pour pouvoir résister isolément, et trop peu solidaires les unes des autres pour résister par leur ensemble, sont trop souvent remuées par les fortes tempêtes, et vont quelquefois encombrer les passes. Au-dessus du niveau de basse mer, les bouleversements sont bien plus fréquents encore. Quelque inclinaison que l'on donne aux talus, quelque soin qu'on prenne pour relier les pierres et pour former des surfaces bien unies, les chocs des lames par-dessus, les sous-pressions par-dessous, ne tardent pas à désagréger la surface; les coups de bélier des vagues qui brisent sur le talus, et surtout la force d'arrachement des lames qui redescendent avec

une vitesse très-grande, élargissent bien vite les joints, enlèvent une pierre, puis une seconde; et avant la fin de la tempête, l'avarie est souvent devenue un désastre. Mais ces effets ne se produisent plus, si l'on remplace par une muraille cette partie supérieure si difficile à maintenir, et si, au-dessous du niveau de basse mer et jusqu'à une suffisante profondeur au-dessous de ce niveau, on recouvre le talus de blocs assez lourds pour résister isolément à l'action des lames. L'emploi des blocs artificiels pour la partie inférieure du talus, et d'une muraille à partir du niveau de basse mer, permet également de réduire, dans une proportion considérable, la section de la jetée en enrochements. Pour s'en rendre compte, il suffit de comparer la section qu'on obtient dans les deux cas (voir Pl. XV, fig. 3) en adoptant, par exemple, une profondeur de 10^m au-dessous de basse mer, une amplitude de marée de 6^m, et en supposant que le sommet de la jetée soit arrasée à deux mètres au-dessus de la haute mer. Nous admettrons du reste, à l'intérieur un talus de 45°, et à l'extérieur, avec les blocs artificiels, un talus de 5 sur 4 comme à Alger, et pour les enrochements ordinaires, un talus de 8 pour 1 comme à Portland ou Holyhead: à Plymouth cette inclinaison est même de 10 pour 1. Dans le premier cas, et si l'on adopte une largeur de 6^m en couronne, la section totale de la jetée, serait de 1,566^m²; elle sera encore de 1,230^m² pour la portion au-dessous du niveau de basse mer; tandis que dans le deuxième cas, la section au-dessous du niveau de basse mer ne sera plus que de 230^m,50, même en admettant une largeur de 12^m pour la plate-forme sur laquelle reposera la muraille.

On comprend dès lors, combien cette diminution de section peut faire gagner de temps et d'argent.

Pour les jetées tout en maçonnerie, les inconvénients sont également nombreux, beaucoup plus nombreux et plus graves qu'on ne pouvait le prévoir en théorie.

Il se présente d'abord de très-sérieuses difficultés pour les fondations. Si l'on doit s'établir sur le roc vif, il faut à grands frais niveler ce sol, et les échafaudages deviennent difficiles à établir. Si l'on fonde sur du sable, comme c'est le cas le plus fréquent, on prépare une base en enrochements, et on en nivelle la surface au moyen du scaphandre ou de la cloche à plongeur. Mais on s'est aperçu à Tynemouth que ces enrochements, qui paraissaient bien stables, étaient violemment secués, sitôt que la muraille, une fois placée au-dessus, venait contrarier l'action des lames et des courants ; et l'on s'est vu forcé, non-seulement de descendre les fondations plus bas, en creusant une souille dans la masse d'enrochements déjà coulés, mais encore d'établir sur ces enrochements, de chaque côté de la muraille, une risberme en blocs artificiels capables de s'opposer aux affouillements. Et comme, à cette profondeur, on ne peut pas aisément suivre ce qui se passe, on ne se sentira jamais complètement rassuré.

Une seconde difficulté est celle de la construction de la muraille. On est forcé en effet d'établir un échafaudage très-élevé, et de poser les blocs au moyen du scaphandre. Mais c'est là un travail fort délicat, qui ne peut se faire que par beau temps. Les échafaudages ont été souvent enlevés tant à Douvres qu'à Tynemouth, et le travail n'a pu avancer qu'avec une extrême lenteur. A Douvres, malgré les puissants moyens dont on disposait, on n'est parvenu à faire que 30 ou 35^m de jetée par an.

Ces difficultés d'exécution entraînent forcément à

des dépenses considérables. La jetée de l'Amirauté à Douvres a coûté plus de 25,000 fr. par mètre courant (M. Chevalier porte même 33,200 fr., Mémorial de la Marine, 1860, 3^e cahier, page 75), tandis que la digue de la Joliette à Marseille n'a coûté que 5,500 fr., et que les grandes jetées d'Alger n'ont coûté que 16,000 fr. par mètre.

D'autres inconvénients doivent encore être signalés. On ne peut certainement s'empêcher d'admirer les magnifiques jetées de Douvres et de Tynemouth, et il y a tout lieu d'espérer que, grâce au soin que l'on a mis à leur construction, et à la dépense considérable qu'on y a consacrée, ces ouvrages résisteront aux injures du temps. Mais il ne faut pas se dissimuler, que ce genre de construction, malgré tout le soin qu'on y apporte, présente par lui-même de sérieux dangers. Au-dessous du niveau de l'eau, la muraille n'est formée que de blocs isolés : or il est difficile d'empêcher que, soit pendant la construction, soit par suite des tassements du sol, il ne se fasse des interstices entre ces blocs. Le mouvement incessant de l'eau, souvent même du sable ou du galet à travers ces fentes, les soufflets ou sous-pressions, élargissent peu à peu les vides, et il peut arriver un jour que la muraille entière se trouve menacée. A l'embouchure du canal d'Amsterdam, un effet de cette nature tendait à se produire par suite de la violence des courants, de la nature du sol, peut-être aussi de la rapidité d'exécution du travail ; et l'on a cru prudent, pour éviter une catastrophe, d'appuyer la muraille, du côté du large, par un talus en blocs artificiels. Mais alors les principal bénéfice qu'on attendait de la muraille, l'économie, s'est trouvé annulé.

Enfin le système de la jetée tout en maçonnerie présente encore l'inconvénient inhérent à tous les ouvrages, dont les parties ne sont pas individuelle-

ment en équilibre naturel, mais ne tiennent que par leur agencement ; c'est-à-dire que les avaries, quand il s'en fait, prennent aussitôt une gravité exceptionnelle.

Lorsque sur le talus d'une jetée en enrochements la tempête enlève quelques pierres, on en est quitte, en général, pour en remettre d'autres, et on a toujours soin d'avoir dans ce but des approvisionnements sous la main. Mais si, dans une de ces grandes murailles, un seul bloc est dérangé ou écrasé à une certaine profondeur, il peut entraîner avec lui la ruine de tout l'ouvrage ; et dans tous les cas, la réparation des brèches présente les plus sérieuses difficultés. C'est là une considération qui nous paraît avoir une grande importance pour des travaux maritimes, toujours soumis à tant de vicissitudes.

L'expérience et la théorie prouvent toutes deux que la partie délicate des jetées en maçonnerie est la partie au-dessous du niveau de basse mer ; et que, pour les jetées en enrochements, la partie délicate est au contraire celle qui est au-dessus du niveau de basse mer. Il est donc rationnel de n'emprunter à chacun de ces systèmes, que la portion qui présente le plus de garanties de stabilité ; et c'est ainsi qu'on est amené tout naturellement au système des jetées mixtes, qui ne maintient les enrochements que pour la partie au-dessous de basse-mer, et ne conserve la muraille que pour la partie au-dessus de basse mer.

Ce n'est pas à dire que le système des jetées mixtes ne présente pas, lui aussi, quelques points faibles. Ainsi il faut avoir grand soin de laisser à la fondation en enrochements le temps de bien tasser, avant de bâtir la muraille ; mais, malgré cette précaution, les tassements peuvent continuer, et il s'en produit de nouveaux sous le poids même de

cette lourde muraille ; alors celle-ci peut se fendre, ou bien ne repose plus que sur une série de pointes, ce qui diminue dans une forte proportion, le frottement, et par conséquent la résistance au choc des lames. Des effets de cette nature se sont produits à la digue du Socoa, dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, et une partie de la muraille a même été légèrement déplacée.

On remédiera à ces inconvénients en donnant à la muraille une base assez large, et en nivelant le mieux possible la plate-forme en enrochements, au moyen de moellons ou de sacs de béton. Là où la violence des lames empêchera l'emploi de petits matériaux, on pourra utiliser, avec avantage, les grands sacs employés par M. Cay, à Aberdeen (Écosse.) Cet ingénieur a fait en grande partie les fondations de la jetée septentrionale de ce port, au moyen de sacs en béton du poids de 50 tonnes (environ 20^m cubes), et il se propose d'essayer des sacs de 100 tonnes. Ces blocs sont coulés au moyen d'un ponton portant, en son milieu, une caisse rectangulaire d'une capacité suffisante, et dont le fond forme clapet. Cette caisse, dont les parois reçoivent les sacs en grosse toile, est remplie de béton frais ; on coud le sac pendant que le ponton est conduit à son emplacement, et, lorsque le ponton est bien en place, on lâche les clapets, et le sac nouveau va se coller sur les sacs précédemment immergés. L'expérience a permis de constater, que ces sacs se déchirent rarement, et que l'adhérence de ces divers éléments est assez complète.

Il y a là une idée nouvelle, dont il sera souvent possible de tirer un partie utile.

Pour procurer aux murailles une large base, en même temps que pour diminuer l'action destructive des lames, on a quelquefois donné au parement une

forme courbe, en s'appuyant sur la théorie du colonel Émy. Mais nous croyons que ce système présente de très-sérieux inconvénients, chaque fois que la muraille ne repose pas directement sur le rocher. Il nous a été permis de constater ces inconvénients à la digue du Socoa dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, et ils sont assez graves pour qu'il y ait lieu de les signaler.

Un premier inconvénient vient de ce que la partie effilée *a b c* (voir Pl. XV, fig. 4), se brise facilement sous l'action des sous-pressions, et sous le choc des lames en retour, qui retombent avec d'autant plus de force qu'elles ont été lancées plus haut par suite même de la forme adoptée pour le parement. Et comme ces avaries se produisent à un niveau très-bas, les réparations sont fort difficiles et fort coûteuses.

D'autre part, les lames étant lancées très-haut, (à Saint-Jean-de-Luz, on a pu constater qu'elles s'élevaient quelquefois à plus de 30^m au-dessus de la muraille) et étant en général poussées par le vent vers l'intérieur du port, dégradent le sommet de la jetée, et rendent impossibles, la circulation sur la digue et l'accostage des navires du côté de la rade.

La sujétion que la forme courbe amène dans la construction, est un autre inconvénient, et un inconvénient d'autant plus sérieux que, pour les parties inférieures de la muraille, la rapidité d'exécution est un des éléments les plus indispensables de la réussite. Mais l'inconvénient le plus grave est encore que ces lames, poussées très-haut, acquièrent au retour une très-grande vitesse, viennent frapper violemment les blocs qu'elles rencontrent sur le talus, et les entraînent vers les profondeurs. Il en résulte que ces blocs qui, dans les conditions

normales, auraient tenu sous une inclinaison de 45° , ou de 5 sur 4, ne tiennent plus que sous une inclinaison de 3 ou 4 pour 1. Pour se rendre compte de ces résultats, il ne faut pas oublier en effet, que ces blocs perdent déjà presque la moitié de leur poids dans l'eau, et que, sur les talus, l'action de la pesanteur vient encore en aide à l'action des lames en retour.

Nous croyons donc que les ingénieurs feront bien, de n'accepter les parements courbes qu'avec beaucoup de circonspection, et seulement dans des circonstances exceptionnelles.

Une autre difficulté qui se présente pour les murailles, c'est d'en bien relier les divers éléments. Nous sommes portés à croire, que l'on se préoccupe trop et trop souvent de donner à ces murailles de beaux parements en pierre de taille, et une forme architecturale. Nous sommes bien loin de vouloir bannir l'art dans les constructions maritimes ; mais nous pensons que, lorsqu'on a à lutter contre des ennemis si puissants, il faut se préoccuper avant tout de faire solide. Or bien des exemples semblent prouver, qu'une muraille en maçonnerie ordinaire, bien homogène, présente les meilleures garanties de solidité. Dans le chenal de Saint-Jean-de-Luz, le couronnement en pierre de taille du quai, au droit d'un escalier où la vague venait frapper, était continuellement enlevé, tandis qu'aucune avarie ne s'est produite, depuis que l'on a remplacé la pierre de taille par de la maçonnerie ordinaire faisant corps avec le massif du quai.

A Douvres, le parapet de la jetée de l'Amirauté est fait en pierres de taille magnifiques, on pourrait presque dire colossales (voir Pl. XV, fig. 5). Mais comme on avait établi, du côté Ouest, un cordon présentant un fort encorbellement, afin de rejeter

les lames en dehors de la digue, la tempête du 1^{er} janvier 1877 a renversé dans le port, sur une longueur de 300^m, le mur de parapet avec les hangars couverts qu'il soutenait du côté du terre-plein.

Il faut donc, si l'on veut avoir des parements en pierres de taille ou en moellons piqués, ce qui ne paraît pas indispensable, tout au moins pour un brise-lames placé au large, il faut avoir soin de les relier de la façon la plus intime, avec le massif de la muraille. A Saint-Jean-de-Luz, pour hâter la construction de la jetée, on a, à titre d'essai, tenté une fois d'ajourner le parement du large qui était en moellons smillés, et de ne faire ce parement que plus tard. Mais malgré les précautions qu'on a prises, ce parement n'a pas fait partout corps avec la jetée; il s'est détaché par parties, et il a fallu le refaire dans des conditions fort onéreuses.

On a aussi essayé quelquefois, par un motif d'économie sans doute, de faire des jetées creuses, c'est-à-dire de constituer des jetées au moyen d'un noyau de moellons, compris entre deux murs de faible épaisseur. Sur les points exposés, et quand il s'agit de digues de mer, ce système présente peu de garanties de solidité; car la moindre avarie entraîne presque forcément la ruine complète de l'ouvrage. On avait, à la fin du siècle dernier, construit des jetées de cette sorte pour fermer la baie de Saint-Jean-de-Luz; il n'en reste plus de traces aujourd'hui.

Pour les travaux à la mer, nous ne saurions assez recommander de faire avant tout solide, et de ne rien négliger pour atteindre ce but. Toute économie faite sur cet article se paie toujours fort cher, et nous pensons qu'une bonne maçonnerie bien homogène vaudra toujours mieux que les agencements mécaniques les plus ingénieux et les plus savants.

DEUXIÈME PARTIE

ENTRETIEN DES PROFONDEURS

CHAPITRE V.

ENTRETIEN DES PASSES

Dans cette partie de notre rapport nous aurons à nous occuper successivement des moyens usités actuellement pour entretenir et améliorer les entrées des ports ou les barres, et des moyens utilisés pour entretenir la profondeur dans les chenaux et dans les bassins intérieurs.

Chaque fois qu'une rivière ou qu'un port à marée débouche sur une plage de sable, il se forme à l'embouchure une barre, c'est-à-dire un bourrelet, au point où l'action du courant qui pousse les sables vers le large, se trouve annulée par l'action de la mer qui repousse le sable vers la côte. Cette barre est un très-sérieux obstacle pour le facile accès des ports : non-seulement elle diminue la profondeur de l'eau à l'entrée ; mais encore elle crée des brisants, ou en augmente la force. Aussi de tout temps les ingénieurs se sont préoccupés de chercher le moyen, si ce n'est de supprimer ces barres, du moins de les améliorer en les approfondissant. Ces recherches ont été faites par les ingénieurs, dans divers ordres d'idées, les uns songeant à modifier les forces naturelles qui produisent les barres, les autres se préoccupant plus spécialement de modifier le sol sur lequel agissent ces forces.

Dans le premier ordre d'idées, nous rappellerons, qu'à l'occasion de la barre de l'Adour, M. Bouquet

de la Grye, ingénieur hydrographe, avait proposé de dévier l'embouchure de la rivière, de façon à la rendre presque parallèle à la côte. Il espérait détruire ainsi l'action des lames qui retroussent le sable, en laissant toute son énergie au courant qui doit l'emporter. Mais en admettant que ce système, assez ingénieux en théorie, parvienne à éviter la formation d'une barre à l'issue des jetées, ce qui est loin d'être certain, on comprend qu'il est en général incompatible avec les exigences de la navigation. Ce n'est donc pas là, à notre avis, qu'il faut chercher la solution absolue du problème.

Deux autres moyens ont été imaginés, l'un par M. Cialdi, officier de la marine italienne, l'autre par M. Henry P. Knapp, ingénieur civil à New-York.

M. Cialdi, dans plusieurs ouvrages, et spécialement dans une brochure ayant pour titre : Les Ports chenaux et Port-Saïd (Rome 1870), recommande de mettre à profit l'action des lames, et de créer artificiellement, au moyen d'une digue transversale, un courant de réflexion qu'il appelle *flot-courant*, et qui doit balayer la barre. Ainsi à Port-Saïd (voir Pl. XV, fig. 6), où les lames viennent du Nord-Nord-Ouest, M. Cialdi propose de laisser une ouverture de 400^m dans le prolongement de la jetée de l'Ouest, et de construire une digue transversale *a b*, longue de 400^m et presque parallèle au rivage. C'est contre cette digue *a b*, que les lames viendraient se réfléchir. en donnant lieu à une composante transversale N P.. Ce courant balayerait les dépôts, tandis que le prolongement *c d* de la jetée Ouest arrêterait les lames devant l'embouchure du canal, et contribuerait à restreindre l'extension de la barre.

Mais ce système qui n'a pas subi encore l'épreuve de l'expérience, a soulevé de nombreuses critiques qu'il serait trop long de reproduire ici. Tout en

n'admettant pas, comme on l'a soutenu, que la lame n'ait qu'un mouvement vertical, et ne puisse produire aucune composante horizontale, nous ne pouvons nous empêcher de faire la réflexion que, si le flot-courant NP a peu de force, il ne produira sur la barre qu'un effet insignifiant, et que si, au contraire, ce courant NP a une force assez considérable pour devenir efficace, il deviendra une gêne et un danger pour les navires. La Compagnie du canal de Suez n'a pas voulu courir ces risques. Il serait à désirer cependant, que le système Cialdi qui a réuni d'autre part de nombreuses adhésions, pût être un jour mis à l'essai.

M. Knapp a rendu compte de son système dans une brochure distribuée aux Chambres de Commerce et ayant pour titre : Harbour Bars, the cause of their formation, and how they may be permanently cut away by natural force without the aid of jetties, (London, 1878).

Ce système consiste dans la construction *en travers de l'embouchure du port ou de la rivière*, d'une digue sous-marine, placée dans les profondeurs de 50 à 60 pieds (15 à 18^m) et en saillie sur le sol naturel de 20 à 30 pieds (6 à 9^m), de façon que sa crête soit couverte de 20 à 30 pieds d'eau. suivant le tirant que l'on désire avoir sur la barre (pages 20 et 24 : aucun dessin n'est joint à la brochure). M. Knapp croit, en effet, que la formation des barres est due uniquement à ce que les lames, en arrivant dans des parties moins profondes, transforment ce qu'elles perdent comme hauteur de la colonne d'eau, en une force horizontale qui repousse vers le haut de la plage les matières meubles du fond. Il pense qu'en arrêtant ces lames au large, elles perdront toute action sur la plage, et que le courant de sortie de la rivière suffira pour abaisser la barre au niveau de

la crête du barrage. Lorsque tout l'espace entre le barrage et la barre se sera nivelé, on pourra refaire un second barrage plus au large. Mais M. Knapp croit que cela ne sera généralement pas nécessaire, ou ne sera nécessaire qu'au bout d'un temps fort long, parce que les lames, ayant à parcourir un large plateau, y épuiseront leur force, et ne pourront plus reconstituer la barre.

M. Knapp pense que son système pourrait être employé avec avantage à Boulogne, à Dieppe, à Rotterdam, à Newhaven (page 22), et il propose spécialement de l'appliquer à l'amélioration de l'embouchure du Mississipi. Il serait trop long de reproduire ici tous les raisonnements développés dans l'intéressante brochure de M. Knapp. Nous croyons seulement que le moyen pratique qu'il propose, serait souvent impraticable ou inefficace, et presque toujours dangereux. Il serait dangereux parce qu'il créerait des brisants à l'entrée des ports, et qu'il retiendrait des matières que les rivières, tout au moins en temps de crue, poussent aujourd'hui jusqu'aux grandes profondeurs. Ailleurs, il sera impraticable, parce que les profondeurs de 50 à 60 pieds ne se trouvent que fort loin ; enfin il sera souvent inefficace, parce que la barre est formée sous l'action de cette partie supérieure des lames qui dépasse la crête du barrage, ou parce que les matières qui constituent le bourrelet de la barre viennent de l'amont. Ainsi, à l'embouchure de l'Adour (voir page 113 de ce rapport), le sable de la plage est poussé obliquement dans le chenal de la rivière, et le courant l'entraîne vers l'aval jusqu'en un point où il y a 13^m d'eau de basse mer, et où le sol incliné à 7 pour 1,000 seulement est du sable argileux compact. Le profil du banc qui forme la barre, indique bien nettement que c'est un banc formé par le courant de

la rivière ; et en plan, sa forme en arc de cercle montre que l'épanouissement du courant en éventail est ici une des causes principales de la formation de la barre. Il est difficile d'admettre qu'une digue sous-marine, placée à quelques cents mètres de distance de la barre, puisse, dans ces conditions, avoir quelque influence sur cette barre.

A Boulogne, le point où le talus vers le large commence à se prononcer, est à 650^m environ de la crête de la barre ; et le chenal qui existe entre la plage et la Bassure de Baas, n'a qu'une largeur de 3,500^m et une profondeur de 16 à 20^m. Une digue sous-marine, comme celle que propose M. Knapp, ne pourrait avoir qu'une bien faible action sur l'embouchure actuelle du port, puisque déjà la Bassure de Baas forme un barrage transversal ayant jusqu'à 12^m de saillie au-dessus du sol naturel.

Au-devant du nouveau canal d'Amsterdam et devant Hoek van Holland, la plage a une pente d'environ $\frac{1}{200}$ et s'étend au loin jusqu'à un plateau où il y a 25^m d'eau ; pour trouver les 50 ou 60 pieds que demande M. Knapp, il faudrait donc aller à 3 ou 4,000^m au large. A cette distance un barrage ne produirait plus d'effet sur la plage.

Nous avons cru devoir citer tous ces moyens théoriques, afin de faire une revue complète des systèmes dont nous avons eu connaissance, et parce qu'un grand intérêt s'attache à tout ce qui concerne l'amélioration des barres. Mais nous ne pensons pas que ces moyens soient facilement praticables, et nous n'oserions en recommander l'application aux ingénieurs, si ce n'est dans des cas spéciaux et avec une extrême prudence,

Chasses. — Un autre système qui rentre dans le même ordre d'idées, et qui est plus fréquemment employé, surtout en France, est celui des chasses

naturelles, ou artificielles. Il consiste essentiellement à emmagasiner à l'amont une masse d'eau considérable que l'on fait écouler au moment de basse mer, quand l'action des lames est nulle ou très-sensiblement diminuée. Le courant descendant, n'étant plus contrarié, creuse le sol et approfondit la passe.

Quand on veut augmenter la puissance des chasses, on peut, ou bien grossir le volume des eaux, et augmenter leur vitesse d'écoulement, en créant de plus vastes bassins de retenue, en rapprochant de la barre les écluses de chasse, ou en élargissant celles-ci pour évacuer plus d'eau à la fois ; ou bien prolonger les jetées jusqu'aux grandes profondeurs, pour empêcher les eaux de la chasse de perdre leur force en s'épanouissant.

Pour ce qui concerne les bassins et les écluses de chasse, l'importance et l'utilité des travaux dépendent le plus souvent des circonstances locales. Mais en général ces travaux sont fort coûteux, et la dépense à faire n'est pas toujours en proportion avec les avantages à espérer. Car il faut bien reconnaître que l'action des chasses restera nécessairement renfermée dans des limites assez étroites. Il est très-probable que, dans le sable, les chasses les plus puissantes ne produiront plus d'effet utile, dès que le matelas d'eau aura atteint une hauteur de 3^m.

Néanmoins on peut, par ce moyen, produire quelquefois de très-sérieuses améliorations.

Ostende (voir Pl. XII). — Pour donner une idée exacte de ce qu'il est possible d'obtenir avec le système des chasses, nous citerons l'exemple d'Ostende. Ostende est certainement aujourd'hui un des ports les mieux dotés sous le rapport de la puissance et de l'efficacité des chasses, et l'on est parvenu à porter à 2^m,20, 2^m,50 et même quelquefois davantage,

la profondeur sur la barre, qui en 1800 n'était que de 0^m,20 ou 0^m,30 au plus au-dessous des basses mers de vive eau.

Les renseignements que nous allons donner, sont extraits, pour la plus grande partie, du mémoire de M. l'ingénieur Crépin (Annales des travaux publics de Belgique, tome 22, et du Mémorial de la marine, 1863, 2^e livraison).

Autrefois le chenal d'Ostende servait d'embouchure à un vaste estuaire de plus de 2,000 hectares, qui se couvrait d'eau à haute mer ; le passage incessant d'une quantité d'eau considérable entretenait dans ce chenal une profondeur assez grande. Mais peu à peu ces terrains se sont colmatés ; la plus grande partie a été endiguée, et les courants à l'embouchure en ont été tellement amoindris, que le chenal s'est trouvé presque à sec au moment de basse mer. On a dû alors recourir aux moyens artificiels. Ces moyens ont consisté à prolonger les jetées et à augmenter la puissance des chasses. Ce que l'on désirait obtenir surtout, avec les sommes considérables que l'on a dépensées, c'est, d'une part, la possibilité de faire arriver à heure fixe les bateaux qui font le service des malles entre Ostende et Douvres et qui valent 1^m,80, et d'autre part, le moyen de réduire au temps le plus court la durée de la fermeture du port aux chaloupes de pêche. On avait moins à se préoccuper de la marine marchande qui est peu active à Ostende, et qui trouve à l'heure du plein toute la profondeur nécessaire aux plus grands navires qui fréquentent ce port. La mer marne en effet de 4^m,83 en vive eau, et de 3^m,83 en morte eau.

Les jetées ont été prolongées à plusieurs reprises. Le dernier prolongement de 80^m, qui remonte à 1837 et 1843, a été fait en éventail, de sorte que la largeur

du chenal qui était de 70^m seulement, est aujourd'hui de 100^m à l'extrémité des jetées.

Le système des chasses a été amélioré successivement en 1810, en 1821, et en 1863 ; il se compose actuellement de 3 étages d'écluses :

1° Au fond de l'avant-port, à 1,500^m environ de l'extrémité des jetées, se trouve l'écluse dite de l'Empereur ou française, exécutée par M. Raffeneau de Lisle, et inaugurée le 30 décembre 1810. Elle se compose de deux pertuis, ayant ensemble un débouché linéaire utile de 11^m,40, et débitant environ 300,000^m cubes pendant la première heure. Son bassin de retenue a une superficie de 10 hectares 50 ares ;

2° Presque à côté de l'écluse française, à l'embouchure du canal de Bruges, se trouve l'écluse dite militaire, dont les 3 pertuis, ayant ensemble un débouché linéaire de 21^m,20, débitent pendant les 35 premières minutes, un cube de 300,000^m. La superficie du bassin de retenue peut être évaluée à 8 hectares. Cette écluse a été construite par le Génie militaire du royaume des Pays-Bas, et inaugurée le 8 octobre 1821 ;

3° Enfin, à l'Est du port, dans le prolongement de l'axe du chenal, à 500^m environ de l'extrémité des jetées, se trouve l'écluse Léopold, commencée le 31 juillet 1859 et inaugurée le 22 juillet 1863. Ses 6 pertuis qui ont ensemble un débouché linéaire de 24^m, débitent environ 500,000 mètres cubes pendant les 3/4 d'heure d'effet utile. La superficie du bassin est de 16 hectares.

L'expérience a fait reconnaître que, pour tirer le meilleur parti possible d'un système de chasses échelonnées, il est utile d'ouvrir les écluses successivement, en commençant par les étages en amont ; on empêche ainsi les eaux qui s'échappent au début

de l'ouverture des portes des écluses d'aval, d'être partiellement employées en pure perte à remplir la partie supérieure du chenal. Le courant produit par les écluses d'amont, étant bien établi au moment de l'ouverture des écluses d'aval, soutient le courant de ces dernières, et empêche les remous de se produire au détriment de l'effet des chasses.

A Ostende, on ouvre d'abord l'écluse française ; puis, cinq minutes après, l'écluse militaire ; et enfin on n'ouvre l'écluse Léopold que trois minutes plus tard, soit huit minutes après l'ouverture de l'écluse française, lorsque le courant produit par les deux écluses d'amont, s'est propagé jusqu'à l'entrée du chenal de l'écluse Léopold.

On lance ainsi dans les meilleures conditions possibles d'effet utile, environ $1,100,000^m^3$ dans l'espace de $3/4$ d'heure à peu près, soit en moyenne par seconde 407^m^3 .

Malgré les obstacles qui forcent à chaque instant à interrompre les chasses, la barre présente dans certaines directions, des profondeurs de $2^m,40$ au minimum sous la basse mer de vive eau.

Les ingénieurs ne doutent pas, qu'à la suite de quelques séries de chasses non interrompues et faites dans de bonnes conditions de marées, on n'obtienne des profondeurs de $2^m,50$ à 3^m dans toute la largeur de l'ouverture du port.

Avant la construction de l'écluse Léopold, cette profondeur variait, dans la passe la plus profonde, de $1^m,40$ à $1^m,75$; et avant la construction de l'écluse militaire, on ne parvenait à obtenir sur la barre, au moyen de l'écluse française, que $0^m,59$ au-dessous de la basse mer de vive eau.

On a donc obtenu par les chasses, à Ostende, un approfondissement de 2^m au moins.

A Calais, bien que le système des chasses n'y soit

pas encore aussi largement installé qu'à Ostende, on a obtenu des résultats également remarquables.

En 1749, la profondeur dépassait très-peu le niveau des basses mers, et quelquefois même la barre s'élevait à 1^m au-dessus de ce niveau. En 1837, à la suite de la construction de l'écluse de chasse, combinée avec le prolongement des jetées, on a obtenu sur la barre une profondeur qui, en basse mer de vive eau ordinaire, descend rarement au-dessous de 1^m,50.

Prolongement des jetées. — Le système des jetées prolongées peut, dans certaines circonstances, donner de bons résultats ; mais il n'est susceptible toutefois que d'applications assez restreintes. Déjà il est reconnu qu'un chenal étroit, encaissé entre des digues sur une trop grande longueur, devient difficile à pratiquer pour les navires. En outre, il serait dangereux d'appliquer le système là où la plage tend à se relever, et où il y a un transport sensible de sable le long de la côte.

Embouchure de l'Adour. — Pour s'en convaincre il suffit de citer ce qui s'est passé à l'embouchure de l'Adour, près de Bayonne. Là, l'expérience d'une longue série d'années avait prouvé que le prolongement des jetées n'avait eu d'autre résultat que d'avancer d'autant la côte ; quand on construisait 200^m de jetées pleines, la côte avait, au bout de très-peu de temps, avancé de 200^m ; la barre restait à la même distance des jetées et conservait son même niveau. Devant des résultats aussi persistants, on avait renoncé aux jetées pleines (*).

(*) A l'embouchure du Mississippi, on endigue actuellement un bras entre deux jetées distantes de 300^m, et il paraît que les premiers résultats sont très-satisfaisants. Mais il est douteux qu'avec un fleuve aussi chargé de vase que l'est le Mississippi, cette amélioration se maintienne longtemps, à moins qu'il ne se trouve à l'extrémité des jetées un courant littoral puissant, capable d'entraîner ces déjections.

En 1859 on essaya un nouveau système ; on prolongea les jetées par des digues à claire-voie, dont on avait trouvé un exemple dans le royaume de Naples. On battit de chaque côté du chenal une ligne de pieux, en les espaçant de telle façon qu'il y avait 2 de vide pour 1 de plein, c'est-à-dire que les pieux de 0^m,30 étaient battus à 0^m,90 d'axe en axe. La base de ces pieux était entourée d'énrochements jusqu'à 2^m en dessous de basse mer. Ce système, dont le principe est de laisser, dans les jetées qui bordent le chenal, assez de plein pour concentrer et diriger le courant et assez de vide pour laisser passer le sable, a, dès 1861, sensiblement amélioré la barre de l'Adour. La barre ne se déplaçait plus, et s'était approfondie de 1^m.

Si l'on étudie les phénomènes qui se produisent (voir Pl. XIV, fig. 1), voici ce que l'on constate : le sable poussé par les lames du Nord-Ouest forme dans le chenal et en saillie sur la jetée Nord un banc A, qui est plus ou moins large selon l'état de la rivière, et qui appuie le courant contre la jetée Sud. Le courant de jusant décape ce banc et porte le sable sur le bourrelet de la barre, d'où l'action des lames le repousse sur la plage du Sud. Le bourrelet de la barre présente tous les caractères d'un banc en mouvement vers le large ; car le profil en long pris dans l'axe du chenal, indique une rampe relativement très-faible de A en B, environ 15 à 16 pour 1,000, et une pente très-raide, de 80 à 100 pour 1,000, au-delà de la crête de la barre.

Il est vrai que le système des jetées à claire-voie présente aussi des inconvénients. Ainsi il est arrivé plusieurs fois à l'embouchure de l'Adour que, par les tempêtes du Sud-Ouest, le chenal s'est trouvé bouché complètement par un banc de sable venant du Sud. Et cet effet peut facilement s'expliquer. C'est

sous l'action prédominante des lames du Nord-Ouest, que le sable cheminant le long de la plage, vient s'accumuler en A. Mais si les vents viennent à changer de direction, et s'ils se maintiennent pendant un certain nombre de jours au Sud-Ouest, ce qui arrive quelquefois en hiver, c'est alors la position d'équilibre inverse qui tend à se produire : un banc C se forme contre la jetée du Sud, et gagne de plus en plus sur le chenal. Comme le banc du nord A ne peut pas disparaître instantanément, et que la jetée du Nord est à claire-voie, les eaux s'échappent à travers cette jetée, et le chenal se trouve momentanément fermé. C'est là un inconvénient très-sérieux, auquel il ne paraît possible de porter remède qu'en se réservant le moyen de fermer, en cas de besoin, les interstices de la jetée Nord, ou bien d'agir mécaniquement sur le banc C, et cela par un appareil à poste fixe ; car la circonstance que nous venons de relater, se produit toujours en hiver et par de gros temps, alors qu'il serait absolument impossible d'aventurer une drague sur la barre. Il y a là un problème difficile à résoudre, et qui mérite d'être étudié par les ingénieurs.

Mais malgré cet inconvénient, les jetées à claire-voie paraissent de nature à pouvoir rendre des services, et il serait bien utile, dans l'intérêt même de la science, que les travaux que l'on continue à exécuter à l'embouchure de l'Adour, pussent être menés de façon à faire une expérience décisive de ce système. C'est, à notre connaissance, le seul point où cet essai soit tenté sur une vaste échelle. Les vers tarets s'étant mis dans les anciennes jetées en bois, il a fallu remplacer celles-ci par des jetées métalliques, où l'on a ménagé le moyen de rétrécir ou de boucher les vides. Il serait fort intéressant de savoir ce que pourraient produire ces jetées, si elles étaient

construites sur une longueur suffisante pour que leur action fût sensible, et si en même temps elles dépassaient notablement la crête du banc, de manière que le courant que ces jetées dirigent, eût sur la barre son maximum d'effet.

Ce serait déjà un résultat important, si l'on pouvait, par ce système, obtenir, comme on est presque en droit de l'espérer, que la côte n'avancât plus, et que la barre ne se déplaçât pas.

Si cette barre pouvait être maintenue à l'intérieur des jetées, et par conséquent dans une situation relativement abritée, il serait permis de songer à l'abaisser, soit au moyen des dragues, soit par tout autre système encore à trouver.

En réalité, on s'est peu écarté jusqu'à ce jour des types habituels de jetées que nous avons décrits au chapitre IV. page 86.

Au point de vue des services que ces jetées peuvent rendre pour les chasses, deux questions méritent également d'être discutées ; ce sont celles qui concernent la longueur des jetées et leur écartement. Autrement dit, faut-il faire les jetées de longueur égale ou de longueur inégale ? Et d'autre part, faut-il leur donner une direction parallèle, comme à Boulogne et à Calais, ou divergente comme à Ostende, ou convergente dans le genre de celles de Dublin et de Tynemouth ?

Pour le premier point, il est bien difficile de donner des règles générales. Comme pour la direction même des jetées, la solution dépend absolument des circonstances locales. Lorsqu'il existe, aux heures où les navires peuvent entrer ou sortir, un courant prononcé agissant dans le même sens que les vents régnants, il paraît y avoir un avantage sérieux à faire la digue au vent plus longue que l'autre, ainsi qu'on l'a fait à Boulogne (voir Pl. XV,

fig. 7). A Calais, qui se trouve, sous le rapport des vents et des courants, dans une situation assez semblable à celle de Boulogne, on a donné aux jetées la même longueur, et la jetée de l'Est est souvent heurtée par les navires.

Dans de pareilles conditions, les bateaux abordent en effet le chenal, en rasant le musoir au vent d'assez près, et sous un angle prononcé; ils ne peuvent pas toujours achever leur évolution avant d'atteindre la jetée opposée. De plus la différence de longueur des jetées provoque un courant de retour, ou un remous, qui facilite l'entrée.

Il est vrai que, pour empêcher l'exhaussement de la barre et pour diriger les chasses, on est, en général, obligé, comme on a dû le faire à Boulogne, de construire, en prolongement de la digue la plus courte, une jetée submersible qui constitue un véritable écueil. Mais comme on peut maintenir cette jetée à un niveau très-bas, l'inconvénient qui en résulte est moins important, et nous pensons qu'en somme, et pour le cas que nous venons de considérer, l'avantage est en faveur des jetées de longueurs différentes.

En ce qui concerne la direction des jetées à leurs extrémités, c'est le système le plus généralement adopté, le système des jetées parallèles, qui paraît devoir être préféré, tout au moins en ce qui concerne l'action des chasses. Avec les jetées parallèles, le courant, en arrivant à l'extrémité du chenal, s'épanouit, il est vrai, en éventail plus ou moins ouvert; mais il conserve toujours une vitesse plus grande dans la direction de l'axe, et maintient sur la barre une passe plus stable et plus profonde.

Quand les jetées ont une direction divergente, le courant a une tendance à s'appuyer contre les jetées; il perd ainsi une partie de sa force en se divisant, et

laisse les dépôts s'accumuler dans l'axe du chenal. Avec ce système de jetées, l'accès des navires paraît devoir être plus facile ; mais en même temps la lame se gonfle davantage et remonte plus loin dans le chenal. Les inconvénients qui résultent de l'évasement des jetées, paraissent donc l'emporter sur les avantages.

Lorsque, au contraire, on termine les jetées en goulet relativement étroit, on diminue en effet l'action des lames dans le chenal, et l'on nettoie plus complètement la passe de tout dépôt ; mais ici encore les inconvénients paraissent l'emporter sur les avantages. D'abord une passe étroite devient plus difficile à franchir pour les navires ; les courants y sont plus violents ; quelquefois aussi par très-grosse mer, les brisants produits par les musoirs peuvent se rapprocher assez pour fermer le passage. La plus grande profondeur obtenue entre les musoirs est du reste sans utilité ; car la barre existe toujours à une certaine distance au large, et s'élève d'autant plus que l'étranglement du goulet est plus fort. Ces dernières observations ne peuvent s'appliquer qu'au cas où les jetées, après avoir suivi, sur la plus grande partie de leur longueur, une direction parallèle ou presque parallèle, auraient reçu vers leur extrémité une direction plus ou moins convergente. Elles ne s'appliquent pas au cas où les jetées ne comprendraient pas entre elles un simple chenal, mais une rade ou un port étendu, comme à Kingstown ou à Tynemouth.

Après avoir parlé des moyens en usage pour augmenter l'action des chasses en augmentant la force du courant qui agit sur la barre, il nous reste à passer en revue les essais tentés jusqu'à ce jour pour désagréger le sol même de la barre.

Dans ce deuxième système, celui qui s'attaque au

sol sur lequel les chasses doivent agir, on n'a encore fait que peu de tentatives, du moins dans un sens pratique. Le principe a en lui-même quelque chose de rationnel et de séduisant. On est, en effet, en droit de penser que, si l'on ameublir le sol, si l'on en diminue la cohésion, les courants de chasse produiront un effet plus considérable et approfondiront davantage la barre.

On a fait quelquefois, à Calais par exemple, des essais de hersage, On premenait une herse sur la barre pendant la durée de la chasse. Mais ces essais restreints qui présentent du reste d'assez grandes difficultés en pratique, n'ont donné que des résultats de peu de valeur ; les essais ne pourraient avoir un intérêt sérieux que si on les faisait sur une assez grande échelle^(°). A notre connaissance, cela n'a pas encore été fait, du moins pour un entretien continu.

Système Bergeron. — M. Bergeron a, lui aussi, inventé une herse, qu'il constitue avec des tuyaux en fonte percés de trous, par lesquels il lance de l'eau sous une assez forte pression. Mais cette herse, qui n'a pas encore été essayée, n'est qu'un incident dans le système de désensablement dont il est l'inventeur. Ce système consiste essentiellement à placer au droit de la barre, dans le prolongement du chenal, des tuyaux percés de trous, par lesquels on puisse lancer des jets d'eau. M. Bergeron pense que le sable mis en mouvement par ces jets d'eau doit être plus facilement emporté par les courants, qu'il

(°) M. Malézieux, dans son ouvrage sur les travaux publics des États-Unis d'Amérique (pages 274 et 275), donne une description sommaire de deux bateaux herseurs, inventés par le colonel Long et le général Mac Alister, et utilisés sur le cours du Mississipi. On a fait aussi, occasionnellement des hersages à Liverpool, à Glasgow, à Newhaven, etc.

se formera au-dessus de ces tuyaux un fossé, et qu'en multipliant le nombre de ces tuyaux, on pourra donner au fossé toute la largeur du chenal.

Divers modes d'exécution avaient été préconisés ; M. Bergeron croyait préférable de placer les trous des conduites dans le secteur hexagonal inférieur. Quelques ingénieurs anglais avaient exprimé l'idée de placer les trous à la partie supérieure des tuyaux, et de mettre ces tuyaux en place dans le fond d'une tranchée, que l'on creuserait artificiellement, jusqu'à la profondeur définitive que l'on voudrait atteindre.

On a fait récemment à Boulogne un premier essai de ce système, sous la direction de M. Bergeron ou de ses représentants.

Une expérience complète, décisive, eût exigé que l'on se plaçât dans les conditions naturelles et, par conséquent, que l'on installât, soit à Boulogne, soit à Calais, un réseau de tuyaux sous la barre, et de fortes machines sur les musoirs des jetées. Mais outre les difficultés et les dépenses considérables auxquelles auraient donné lieu ces installations, il eût été presque impossible de se rendre un compte exact des effets par de simples sondages, puisque dans aucun de ces deux ports le banc de la barre ne découvre à basse mer. On a donc fait les essais sur le banc qui se trouve à la suite du musoir de la jetée Sud-Ouest de Boulogne. Si par ce moyen on ne pouvait apprécier exactement l'importance des résultats à obtenir dans la pratique, on pouvait du moins étudier la façon dont se comporterait cet outillage nouveau, et apprécier la force qu'exigerait son fonctionnement.

Ces essais n'ont pas donné des résultats favorables, et ont révélé de nombreux inconvénients. 1° Quand on plaçait les trous en dessus, les tuyaux se remplissaient de sable, et perdaient toute leur efficacité ; quand les trous étaient placés en dessous, le sable

pénétrait encore dans les tuyaux, bien qu'en moindre quantité; 2° les trous se bouchaient en grand nombre par les coquillages et les graviers; 3° les tuyaux reposaient bientôt sur un lit de galets, et ne produisaient plus d'effet, dès que les jets d'eau avaient fonctionné quelque temps, et trié le sable assez peu uniforme de la plage; 4° le sable, un instant soulevé par les jets d'eau, retombait bientôt après, et formait des bourrelets à très-faible distance des tuyaux; 5° enfin, les premiers trous, qui reçoivent plus directement l'action de la machine, après avoir fait sous les tuyaux d'amont une fosse, y lançaient ensuite leurs jets d'eau en toute liberté et sans profit, et ne laissaient plus pour les trous placés à l'aval des jets d'eau assez forts pour chasser le sable.

Doit-on conclure de ces résultats défavorables qu'il faut renoncer, d'une façon absolue, à chercher dans cette voie, un moyen d'améliorer l'entrée de nos ports? Nous ne le pensons pas. Il est bien certain que ce qui manque aux chasses, c'est moins la force de creusement que la force d'entraînement, et il serait, sans nul doute, fort utile de trouver des moyens économiques d'augmenter cette dernière force. Mais on sait également que les bancs se tassent à la longue, s'ils ne sont pas remués, et qu'un courant a plus d'action sur un banc de nouvelle formation que sur un banc ancien et bien tassé. Il y a là, à notre avis, un problème à résoudre dont la solution aurait une influence considérable pour l'amélioration des passes. Il faut donc ne pas se laisser rebuter par un premier échec. C'est en persévérant que l'on peut espérer atteindre le but.

Déjà nous pouvons citer, comme rentrant dans cet ordre d'idées, le moyen économique qui a été récemment employé à Calais pour le fonçage des pieux et palplanches. On sait que le battage dans le sable fin

et humide présente des difficultés considérables. Nous avons pu constater par nous-mêmes, qu'à Calais ce fonçage se fait aujourd'hui très-vite et très-économiquement. On place à côté des pieux à enfoncer un ou deux tubes en fer de 0^m,02 à 0^m,03 de diamètre, dans lesquels on injecte de l'eau au moyen d'une pompe aspirante et foulante ; ce jet d'eau suffit pour produire un vrai courant de sable ; et quand les tubes qui descendent très-facilement, sont arrivés à 0^m,20 ou 0^m,30 au-dessous du pieu, celui-ci s'enfonce le plus souvent sous une simple pression. Il y a peut-être dans cette manière dont se comporte le sable sous l'action d'un jet d'eau, quelque chose d'utile à tirer pour l'amélioration des barres.

Lors de notre récent voyage en Angleterre, nous avons pu visiter à Liverpool des travaux considérables, exécutés dans un but du même genre. Pour les nouveaux docks en construction, un avant-port de 4 hectares doit donner accès, par des écluses, à de vastes et nombreux bassins. Cet avant-port doit être établi à 10 pieds au-dessous du niveau des basses mers, et l'on doit s'attendre à des dépôts considérables de sable vaseux. L'ingénieur chargé de la construction n'hésite pas à faire dans tout cet avant-port de 4 hectares un radier général en béton, dans lequel seront noyés de gros tubes en fonte, dont les trous supérieurs lanceront de grandes gerbes d'eau sous forme d'éventail horizontal. De plus, tous les murs de quai qui entourent cet avant-port, ainsi que ceux qui bordent le chenal de communication, seront percés d'aqueducs. L'ingénieur pense pouvoir lancer, pendant l'intervalle d'un quart d'heure, un volume de 750,000 mètres cubes d'eau provenant des divers bassins, et il espère ainsi, produire dans l'avant-port, une telle agitation et un tel courant, que tous les dépôts seront emportés. Il

sera intéressant de connaître dans quelques années ce qu'aura produit cette expérience.

Dès aujourd'hui il est permis de dire que, si un ingénieur du mérite de M. Lyster se résigne à faire un essai aussi coûteux, malgré l'insuccès d'une tentative du même genre faite antérieurement à Birkenhead, sur la rive gauche de la Mersey, on peut en conclure tout au moins, que les ingénieurs n'ont pas tous renoncé à l'espoir de trouver dans cet ordre d'idées une solution pratique pour l'amélioration des barres.

CHAPITRE VI.

—
DRAGAGES.
—

Mais la voie dans laquelle il est permis d'espérer les résultats les plus certains, est, sans contredit, la voie des dragages.

On a pratiqué pour ainsi dire de tout temps le dragage des dépôts à l'intérieur des ports. Cette opération, faite d'abord avec des dragues à main, à treuil, à tambour, a pris, depuis l'application de la vapeur à ces engins, une extension considérable.

C'est grâce aux dragues à vapeur, qu'on a pu creuser le canal de Suez, le canal d'Amsterdam, transformer des rivières comme la Tyne et la Clyde, créer et entretenir des ports au milieu des vases, comme à Grimsby et à Cardiff.

Et cependant les dragues sont des engins encore bien imparfaits. Dans les chaînes à godets, l'usure des boulons de jonction et des bagues qui protègent l'œil des maillons, est extrêmement rapide. L'assemblage des godets avec les maillons auxquels ils sont fixés, manque toujours de solidité. La traction

opérée sur la chaîne par les angles du tourteau supérieur entraîne, dans chacune des nombreuses articulations, des efforts incessamment variables et quelquefois excessifs. De là des réparations continues et coûteuses, et des arrêts fréquents dans le travail.

Par suite du mou qu'on est obligé de laisser à la chaîne, les godets inférieurs traînent horizontalement sur un certain parcours dans le fond de la fouille, et y produisent une espèce d'ancrage qui absorbe inutilement une grande partie de la puissance de la machine. Dans le sable, par exemple, le travail représenté par l'élévation des matières draguées n'est qu'une fraction extrêmement petite du travail total de la machine ($\frac{1}{10}$ environ).

Les dragues sont difficiles à déplacer, et leurs manœuvres, pendant le travail, exigent souvent le mouillage de six chaînes, une à l'avant, une à l'arrière et deux de chaque côté. Elles ne peuvent être, sans danger, exposées à une mer un peu agitée, et une houle assez faible empêche l'accostage des porteurs, etc.

Aussi ne cesse-t-on de s'ingénier pour remédier à leurs imperfections et pour créer de nouveaux engins. On paraît avoir obtenu en Amérique des résultats très-satisfaisants, en transformant les anciennes dragues à cuillère, et en les faisant actionner par la vapeur.

Sur la barre de Dunkerque, on essaie en ce moment un type très-ingénieux de machine aspiratrice.

Elle se compose, théoriquement, d'un tuyau ouvert par les deux bouts, et dont l'extrémité inférieure plonge dans la fouille à creuser. Par cet orifice inférieur on lance de bas en haut, un jet d'eau violent d'une section moindre que le tuyau. L'eau de la fouille, ainsi aspirée avec une grande vitesse, met en

suspension les matières du fond, les entraîne avec elle, et vient les déverser à la bouche supérieure du tube, au-dessus du niveau de l'eau. L'extrémité inférieure du tuyau aspirateur est flexible. Le jet d'eau comprimée est annulaire, et jaillit le long de la paroi intérieure du tuyau. Une faible quantité de l'eau injectée sous forte pression est lancée par de petits orifices sur le fond de la fouille, pour en désagréger les matériaux.

Le tuyau se recourbe à sa partie supérieure, où il est mobile, autour d'un axe horizontal ; ce qui permet, au moyen d'un treuil convenablement disposé, de l'abaisser et de le relever à la demande du travail.

Il débouche dans un caniveau qui mène le mélange d'eau et de sable au puits destiné à les recevoir. L'eau et la vase se déversent par-dessus le bord, et le sable seul reste dans les puits.

L'eau d'injection est aspirée et refoulée à la pression voulue, par une pompe qu'actionne une puissante machine à vapeur ; elle est conduite dans l'injecteur à la base du tuyau d'aspiration, par un autre tuyau plus petit que celui-ci et qui lui est accolé.

La machine à vapeur donne le mouvement à tous les organes mobiles de l'appareil, au moyen de transmissions ad hoc ; elle sert aussi de moteur pour l'hélice du bateau, qui remplit à la fois les fonctions de drague et de porteur, ce qui, dans l'espèce, était indispensable : car l'accostage des porteurs eût été le plus souvent impossible sur une barre extérieure.

On peut donner à la drague aspiratrice des formes marines, et la rendre aussi facile à déplacer et à mouiller qu'un navire. La flexibilité d'une partie de ses tuyaux permet d'ailleurs de travailler par une mer assez agitée.

Cette drague fonctionne depuis trop peu de temps

pour qu'on puisse connaître, dès aujourd'hui, son rendement normal moyen. Mais on est en droit de penser qu'après les transformations successives qu'on lui a fait subir, elle répondra prochainement aux espérances de ses habiles et persévérants constructeurs. Ce sera un grand pas de fait vers la solution du problème qu'il s'agit de résoudre. Nous avons dit plus haut (page 85), que l'on voulait s'assurer par l'essai de Dunkerque s'il serait possible de créer et de maintenir un chenal artificiel à l'extérieur des jetées. Pour tenter cette expérience, il fallait inventer, d'abord, une drague capable de fonctionner en mer, malgré la houle et le mouvement de la marée. C'est cet engin indispensable que M. Lavalley et les ingénieurs de Fives-Lille sont à la veille d'avoir constitué.

Malgré leurs imperfections, les dragues puissantes actuellement en usage ont donné, notamment en Angleterre, des résultats vraiment remarquables au point de vue technique et économique.

La Clyde (voir Pl. XIII). — Nous en avons déjà cité un exemple en parlant de la Tyne : on en trouvera un second dans les travaux de la Clyde.

La Clyde, sur 12 milles (19 kilomètres) au-dessous de Glasgow, est aujourd'hui un canal de navigation presque aussi artificiel que le canal de Suez. Elle exige des dragages continuels pour le maintien de ses profondeurs ; et l'accroissement incessant des dimensions des navires du commerce nécessite de nouveaux approfondissements pour satisfaire aux besoins de la navigation.

Il y a un siècle à peine, la rivière était guéable à 12 milles (19 kilomètres) au-dessous de Glasgow qui comptait alors 35,000 habitants. En 1755, Smeaton constate qu'il y avait 1 pied 6 pouces (0^m,45)

d'eau à basse mer, et 3 pieds 3 pouces (1^m) à haute mer, en un point situé dans le port actuel de Glasgow. Il mentionne que les marées de morte eau étaient à peine sensibles à Glasgow. Il proposait alors de barrer la rivière à 4 milles (6 kil. 400^m) au-dessous de Glasgow ; heureusement on n'en fit rien.

En 1768, John Golborne indiqua le principe des travaux qui devaient produire la première amélioration notable de la Clyde. Ils consistaient à rétrécir le lit au moyen d'épis, et à draguer les parties dures du fond, que les courants ainsi renforcés seraient impuissants à affouiller.

En 1799, Rennie apporta quelques modifications au plan de Golborne, et recommanda de réunir les têtes des épis par un perré continu, pour régulariser la forme du chenal, et empêcher la formation des dépôts qui s'y produisaient dans l'intervalle des épis.

Enfin en 1840, on approuva les plans dressés par M. Walker pour l'ensemble de la rivière, et ces plans ont été suivis jusqu'ici, sauf de très-légères modifications.

Malgré les améliorations réalisées depuis le commencement des travaux recommandés par Golborne et ses successeurs, la rivière, vers 1839, n'avait que 168 pieds (50^m) de largeur à Glasgow ; on n'y trouvait que 7 à 8 pieds (2^m,10 à 2^m,40) d'eau à basse mer. L'amplitude des marées était de 4 pieds (1^m,20) en morte eau, et de 7 à 8 pieds (2^m,10 à 2^m,40) en vive eau. La haute mer à Glasgow avait lieu 1^h 23' après le moment du plein à l'embouchure, à Port-Glasgow ; au commencement du siècle ce retard était de 3 heures.

Voici maintenant quelle était la situation de la Clyde, en 1872, dans la partie améliorée de main d'homme.

L'amplitude des marées à Glasgow est de 9 pieds $1/4$ ($2^m,80$) en morte eau, et de 10 pieds $1/2$ ($3^m,15$) en vive eau, c'est-à-dire à peu près la même qu'à Port-Glasgow, où elle est de 11 pieds ($3^m,30$) en vive eau.

Le retard du plein, de Port-Glasgow à Glasgow, n'est plus que de $1^h 5'$.

Le niveau de la basse mer à Glasgow a été abaissé de 8 pieds ($2^m,40$) et celui de la haute mer ordinaire de vive eau a été relevé de 8 pouces ($0^m,20$) depuis 1755.

On trouve 14 pieds ($4^m,20$) d'eau dans le port à basse mer de vive eau.

Vers 1830, les navires calant 15 pieds ($4^m,50$) et au-dessus employaient 2 ou 3 marées pour remonter ou descendre la rivière; car ils n'étaient à flot qu'une heure environ avant et après la haute mer.

En 1872, les navires tirant 22 pieds ($6^m,60$) d'eau quittent Glasgow 2 ou 3 heures avant le plein, et gagnent la mer en une marée.

L'historique des procédés employés pour creuser artificiellement les parties du chenal que les courants n'approfondissaient pas suffisamment, est instructif et mérite d'être rappelé.

A l'origine des travaux, quand les bancs de sable asséchaient à basse mer, on se servait de charrues ordinaires traînées par des chevaux, pour désagréger les bancs et permettre au courant d'entraîner le sable. On s'est aussi beaucoup servi d'une espèce de charrue à plusieurs socs, qu'on promenait en travers du banc, au moyen de chaînes et de cabestans. A mer basse, une équipe de terrassiers rejetait sur la rive ce que la charrue avait amené près de la terre.

On a également employé des herses traînées par des remorqueurs à vapeur.

Puis de petites dragues à godets, mues par des

hommes ou par des chevaux, remplacèrent la char-
rue et la herse.

Enfin, en 1824, la première drague à vapeur fut
mise en marche. On ne draguait d'abord qu'à 10
pieds $1/2$ ($3^m, 15$) au-dessous du niveau de la flottai-
son de la coque ; aujourd'hui les élinde descendent
jusqu'à 30 et 35 pieds (9^m et $10^m, 50$).

Nous reviendrons tout à l'heure sur le travail des
dragues ; disons de suite, que, en dehors des bancs
de sable plus ou moins agglomérés, et des couches
de gravier et d'argile qu'il a fallu excaver, on a eu
aussi à enlever de gros blocs au moyen de la cloche
à plongeur. On a dû miner sous l'eau, et faire éclater
par la poudre un banc de rocher, dont l'existence
ne fut reconnue qu'en 1854, et qui a constitué jus-
qu'ici l'obstacle le plus sérieux à l'approfondissement
du chenal jusqu'à 20 pieds (6^m) au-dessous de basse
mer.

Voici maintenant quelques renseignements sur les
engins de dragage.

La drague du type le plus fort a une machine de
75 chevaux ; elle est à une seule élinde et peut dra-
guer à 30 pieds (9^m). Elle a coûté 15,000 livres ou
375,000 francs. Cette drague bien entretenue et bien
conduite travaille 2,400 heures par an.

Dans un terrain meuble de vase, de gravier ou de
sable, elle enlève au moins 150 yards cubes (115 m.
cubes) de déblais par heure, soit durant toute l'année,
360,000 yards cubes représentant environ 275,000 m.
cubes, ou 450,000 tonnes.

Le prix de revient du dragage, tous frais compris,
(salaires, matières, entretien, intérêt, amortissement,) est en moyenne de 2,81 pence par yard cube, soit de
0 fr. 385 par mètre cube, ou 0 fr. 235 par tonne.

Dans un terrain un peu plus dur, contenant de
l'argile, le rendement par heure n'est plus que de

130 yards cubes (100 m. cubes), soit pour l'année 312,000 yards cubes, c'est-à-dire 240,000 m. cubes, ou 390,000 tonnes.

Le prix s'élève à 2,95 pence par yard cube, ou à 0 fr. 407 par mètre cube, soit 0 fr. 244 par tonne.

Dans la Tyne, on est arrivé à faire rendre à une drague de 55 chevaux, travaillant nuit et jour, 1,297,071 tonnes en une année soit 700,000 m. cubes.

Au canal de Suez, une drague de pareille force à peu près, travaillant nuit et jour, est parvenue, dans des conditions favorables, à extraire en 20 heures, 3,000^m de vase qu'elle versait directement sur la berge au moyen d'un long couloir.

Dans ce cas, le prix du mètre cube ne revenait certainement pas à plus de 0,25, tous frais compris.

Une des grandes dragues du canal d'Amsterdam est capable d'enlever en 12 heures 1,000 m. cubes de sable mêlé d'argile, et de conduire ce sable argileux, mélangé à un volume d'eau à peu près égal au sien, jusqu'à une distance de plus de 250^m de la fouille, au moyen de tuyaux flottants et flexibles qui débouchent à 1^m,50 au-dessus du niveau de l'eau.

Sur la Clyde, comme partout ailleurs, les frais d'entretien et de réparation entrent pour une forte part dans la dépense totale du travail.

Chaque jour on perd une heure en moyenne pour remplacer les boulons, les maillons, les godets, etc ; les changements de place de la drague sont fréquents et absorbent beaucoup de temps.

Presque tous les ans, chaque drague est retirée pendant plusieurs semaines, pour être soumise à un examen général.

Les brouillards entraînent aussi quelques pertes de temps chaque hiver, sur la Clyde.

Quoiqu'il en soit, les dragues extrayaient économiquement et rapidement de très-grandes quantités de déblai, dont il s'agissait de se débarrasser.

Avant 1862, la totalité des matières draguées était déposée sur les bords de la rivière.

En 1861, ce travail de transport, chargement, déchargement, régalage, etc., coûtait par yard cube 10,37 pence (1 fr. 37) par mètre cube, non compris l'intérêt et l'amortissement du matériel employé représentant 3,52 pence par yard cube (0^m,53 par mètre cube), soit en totalité 13,89 pence par yard cube ou environ 1 fr. 90 par mètre cube.

En 1862, on se décida à conduire les déblais au moyen de porteurs à vapeur, dans le Loch Long à 27 milles nautiques de Glasgow.

En 1872, on transporta ainsi en mer 900,000 yards cubes (685,000 mètres cubes), au prix total de 5,13 pence par yard, soit 0 fr. 70 par mètre cube.

Indépendamment de l'énorme économie ainsi réalisée, on doit remarquer, qu'il eût été matériellement impossible de se débarrasser d'une aussi grande quantité de déblais par les procédés anciennement employés.

Un porteur à vapeur capable de recevoir 320 yards cubes (250^m³) soit 400 tonnes de chargement, et muni d'une machine permettant de lui faire filer en pleine charge 8 à 9 milles à l'heure, coûte 5,540 £, ou environ 140,000 fr.

En résumé, le dragage et le transport d'un yard cube de déblai coûtent dans la Clyde à peu près 8 pence, ce qui représente 1 fr. 05 à 1 fr. 10 par mètre cube. Dans la Tyne ce prix est de 0 fr. 55.

Nous citerons encore quelques chiffres donnant une idée de l'importance des travaux exécutés sur la Clyde.

En 28 ans, jusqu'en 1871-1872, on avait enlevé de la rivière	14.609.454 y ³ .
En 1872-1873 on a dragué.....	849.232
1873-1874 id.....	875.256
1874-1875 id.....	1.130.288
1875-1876 id.....	1.101.384
Dans le premier trimestre de l'exercice 1876-1877.....	204.952
Total.....	<u>18.790.566 y³.</u>

Soit 14 à 15,000,000 de mètres cubes.

Pour exécuter ces déblais, on disposait, en 1872, du matériel suivant :

- 6 dragues à vapeur ;
- 14 porteurs à vapeur ;
- 1 remorqueur à vapeur ;

Plus un grand nombre de chalands et d'embarcations, et 3 cloches à plongeur.

Quant aux dépenses, les commissaires de la Clyde ont employé en travaux de toutes sortes, pour l'amélioration de la rivière, de 1770 à 1872 près de.....£ 5.600.000 140.000.000 fr.

dont pour intérêts et emprunt..... 1.400.000 35.000.000

et pour acquisition de terrains..... 900.000 22.500.000

La dette totale au 30 juin 1872 était de environ..... 2.150.000 53.500.000

Le revenu de l'exercice 1871-1872 était de. 174.200 4.350.000

Aujourd'hui la Clyde coule depuis Glasgow jusqu'au-dessous de l'embouchure de la Cart (sur la rive Nord), et jusqu'auprès du banc d'Erskine (sur la rive Sud), entre deux berges élevées au-dessus

des hautes mers, et dont le talus perreyé a généralement $1^m \frac{1}{2}$ de base pour 1^m de hauteur.

Quand on entreprit pour la première fois ces travaux gigantesques de dragage, beaucoup de personnes en Angleterre pensèrent, et cela jusqu'à une époque toute récente, qu'on allait se lancer dans une œuvre vaine, en voulant lutter contre l'action incessante et quelquefois effrayante des forces naturelles en jeu dans les phénomènes maritimes et fluviaux.

Il peut être intéressant de savoir ce que l'expérience a enseigné sur la valeur de ces appréhensions. Dans la Clyde, en 1872, on a extrait du port et de la rivière $992,354 \text{ y}^3$, ou environ $1,240,000$ tonnes ($750,000^{\text{m}^3}$); or, sur ce nombre, $299,446 \text{ y}^3$ ($225,000^{\text{m}^3}$) sont considérés comme provenant des alluvions de la partie supérieure du bassin de la rivière et de ses affluents, des apports maritimes, et des déjections amenées par les égouts de la ville ($560,000$ habitants), ou par les exutoires des nombreuses usines établies sur les bords de la rivière.

$692,908 \text{ y}^3$ ($525,000^{\text{m}^3}$) proviennent de l'approfondissement et de l'élargissement de la rivière, et contribuent directement à son amélioration.

Dans le premier trimestre de l'exercice 1876-1877, les chiffres correspondants sont les suivants :

Dragage total	204.952 y^3	156.000^{m^3} .
dont pour curages	44.520 y^3	34.000^{m^3} .
pour déblais nouveaux	160.432 y^3	122.000^{m^3} .

Les dragages d'entretien ne paraissent donc pas atteindre une proportion excessive.

Mais il existe d'autres exemples encore qui autorisent à penser, que l'action des forces naturelles, même en pleine mer, n'est pas partout et toujours tellement violente et rapide, qu'on ne puisse quel-

quefois essayer, avec chance de succès, de lutter contre elle.

Ainsi les profondeurs que l'on gagne sur une barre au moyen de chasses artificielles suffisamment fréquentes et prolongées, se maintiennent généralement d'une manière satisfaisante pendant la plus grande partie de l'année. Et cependant ces barres, recouvertes d'une petite hauteur d'eau et asséchant même quelquefois à basse mer, sont, à cause du déferlement continu des lames, dans les plus mauvaises conditions au point de vue du maintien des profondeurs artificielles ainsi créées.

A Port-Saïd, lors du creusement du port, on portait en mer les matières draguées, et on les vidait par des fonds variant de 5 à 8^m. Or on formé ainsi un véritable banc, que les lames et les courants ont très-notablement abaissé, il est vrai, mais n'ont pas encore fait complètement disparaître depuis 1870.

A la Tyne, où l'on verse également en pleine mer les produits du dragage, on déplace le point de déchargement des porteurs, chaque fois qu'on constate par les sondages, que le banc formé par ces dépôts est près d'atteindre le niveau de 20 brasses qu'on s'est fixé pour limite.

L'emploi, dans de larges proportions, des puissantes dragues à vapeur et de leurs annexes, notamment des porteurs à vapeur, offre donc de nouvelles et précieuses ressources à l'art de l'ingénieur; il peut même, dans certains cas, présenter de grands avantages au point de vue économique.

Il n'est pas indifférent, en effet, de n'avoir à dépenser chaque année que l'intérêt d'un capital, au lieu d'avoir à se procurer et à employer à bref délai ce capital lui-même, dont il faudra néanmoins continuer à payer le revenu et l'amortissement pendant une longue période de temps.

On peut ainsi restreindre une partie au moins des premières dépenses, dans la limite des ressources dont on dispose.

Les résultats de cette sorte d'expérience directe fourniront, si elle a été sagement combinée et prudemment conduite, des indications précieuses sur ceux qu'on peut espérer en poursuivant l'expérience, et en lui donnant, au besoin, plus d'extension.

Il est d'ailleurs improbable qu'on n'obtienne pas, par des travaux bien conçus, une première amélioration dont profiteront immédiatement l'industrie, le commerce et la navigation, ce qui ne pourra que contribuer à leur développement, les disposer à de nouveaux sacrifices, leur en faciliter l'accomplissement, et les engager à poursuivre, sur une échelle de plus en plus grande, d'autres améliorations successives, dont ils entreverront la presque certitude de recueillir bientôt les fruits.

Sans doute des travaux de dragage ne pourront presque jamais donner, à eux seuls, la solution du problème; mais il semble qu'on peut espérer aujourd'hui arriver à cette solution avec plus de rapidité, de sûreté et d'économie, en recourant un peu plus hardiment qu'on ne l'a fait jusqu'ici en France, à l'emploi des dragues.

CHAPITRE VII.

CONCLUSION.

Dans les études relatives à la création et à l'amélioration des ports de mer, on se heurte à des difficultés de toutes sortes. Des échecs répétés ont fait naître, et maintiennent dans certains esprits, la con-

viction, qu'on essaie en vain de lutter contre les forces de la nature.

Il règne encore une grande incertitude sur les lois physiques et mécaniques qui régissent l'action des vents, des courants de marée, des lames.

L'observation directe, quand il s'agit de la mer, des phénomènes les plus intéressants à connaître, est toujours lente, difficile et souvent impraticable.

Les documents hydrographiques offrant quelque garantie d'exactitude, ne remontent pas plus loin que le commencement de ce siècle.

Les sondages faits avec le plus grand soin dans les profondeurs qui intéressent les travaux de ports de mer, comportent en général une erreur d'environ 0^m,30, en plus ou en moins, et laissent place ainsi, dans l'appréciation de certains détails, à une incertitude d'autant plus grande que les cotes de sondage sont le plus souvent très-distantes l'une de l'autre.

Les mesures relevées à de longs intervalles de temps, irrégulièrement espacées, dans des alignements, d'après des repères et par des observateurs différents, sont malaisément comparables.

Les données relatives à la nature du fond de la mer, à la direction et à la vitesse des courants, sont toujours très-sommaires et généralement insuffisantes.

La conséquence de ces difficultés a été une grande variété dans les solutions adoptées à diverses époques et dans les divers pays, suivant les résultats obtenus en certains points, suivant les idées dominantes chez les personnes dont la science ou l'expérience faisait autorité, suivant la nature des matériaux du pays propres aux travaux à la mer, suivant les ressources que pouvait offrir l'industrie locale, suivant l'importance du commerce et la richesse de la contrée.

Aujourd'hui même encore, le maintien des profondeurs à l'entrée et à l'intérieur des ports paraît être pour chacun d'eux une question nouvelle, tant les données en sont compliquées et variables, tant les circonstances locales ont d'influence.

Cependant depuis une trentaine d'années, l'usage des engins mécaniques à vapeur, l'emploi des ciments hydrauliques, l'abondance des capitaux ont permis d'entreprendre les travaux de ports de mer avec des ressources, sur une échelle et dans des conditions inconnues naguère.

Aussi les résultats obtenus sont-ils de nature à modifier, dans une limite assez étendue, les idées qui avaient cours à une autre époque.

La construction des jetées en mer est ramenée à une question d'argent; et, d'après les exemples cités dans ce rapport, on semble autorisé à penser qu'il est possible, dans des circonstances spéciales et par des travaux convenables, de créer, sur certains points de nos côtes, comme on le propose à Boulogne, des ports dont l'entrée se maintiendra libre, ou de faire disparaître une barre, comme on l'a fait à l'embouchure de la Tyne.

Mais il faut bien reconnaître que ces avantages paraissent devoir être presque toujours chèrement acquis, au moyen d'ouvrages poussés jusque par de grandes profondeurs en mer, et d'opérations de dragage poursuivies d'une manière continue dans d'assez larges proportions.

Tous les ports ne sauraient donc prétendre à une situation aussi privilégiée, dont la réalisation n'est possible qu'à la faveur de conditions déterminées et à l'aide de capitaux considérables; mais un certain nombre d'entr'eux pourront être améliorés, d'après les principes appliqués avec tant de succès dans quelques-uns des ports que nous avons mentionnés.

En tout cas il ne peut être que profitable d'appeler l'attention sur l'utilité qu'il y a de pousser jusque par les grandes profondeurs l'examen minutieux des plages. Cette étude pourra conduire sur quelques points à reprendre à nouveau des questions qui étaient restées indécises, faute de renseignements précis et complets.

Il y a là un champ très-vaste et très-intéressant ouvert aux investigations des ingénieurs, et qui promet d'être fécond en résultats utiles pour l'amélioration de quelques-uns de nos ports.

Paris, le 23 février 1878.

STECKLIN.

LAROCHE.

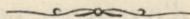


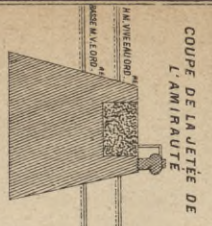
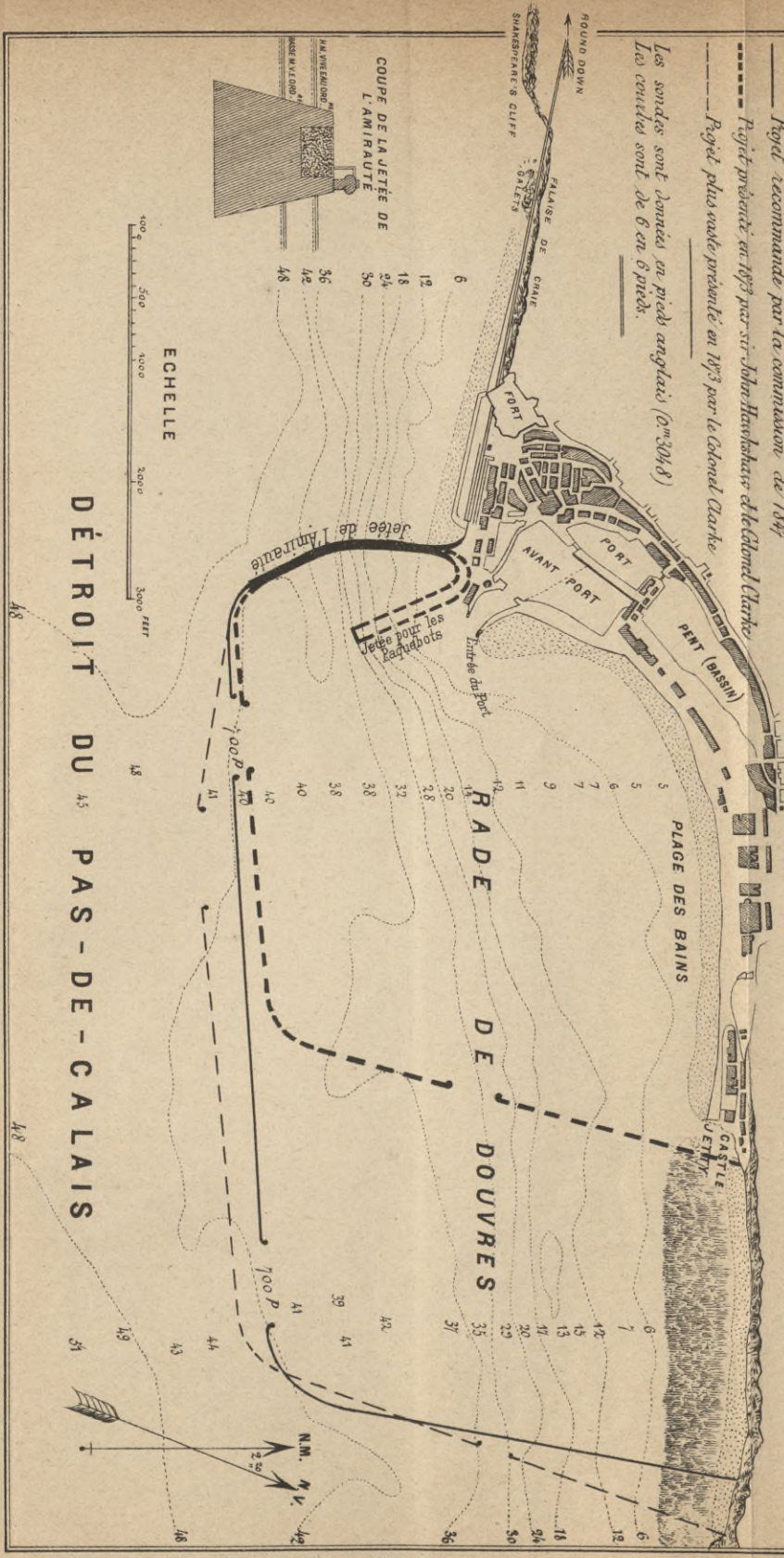
TABLE DES PLANCHES.

- I. — Déroit du Pas-de-Calais, de Dieppe à Dunkerque.
- II. — Cartes des environs de Boulogne avec le nouveau port en eau profonde.
- III. — Douvres, avec la jetée de l'Amirauté et les projets de rade de 1846-1873.
- IV. — Anvers et le cours de l'Escaut.
 - V. — Atterrages de Liverpool et la rivière Mersey.
- VI. — Nieuwe-Diep.
- VII. — Baie de Dublin ; Kingstown et Howth.
- VIII. — Greenore et la baie de Carlingford.
 - IX. — Embouchure du nouveau canal d'Amsterdam.
 - X. — Hoek van Holland, ou nouvelle embouchure pour Rotterdam.
- XI. — Embouchure de la Tyne.
- XII. — Ostende.
- XIII. — Glasgow et l'embouchure de la Clyde.
- XIV. — Courbes de marée à Boulogne et à Calais. — Embouchure de l'Adour.
- XV. — Port-Saïd.—Jetée de l'Amirauté à Douvres, etc., etc., etc.

DOUVRES, AVEC LA JETÉE DE L'AMIRAUTÉ, ET LES PROJETS DE RADE DE 1846 ET 1873.

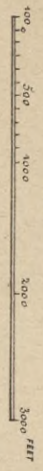
CHÂTEAU DE DOUVRES

- LÉGENDE**
- Jetée de l'Amirauté, exécutée
 - Proj. recommandé par la commission de 1846
 - Proj. présenté en 1873 par sir John Hawkshaw et le Colonel Clarke
 - Proj. plus vaste présenté en 1873 par le Colonel Clarke
- Les sondes sont données en pieds anglais (2^m3048)
Les courbes sont de 6 en 6 pieds.



DÉTROIT DU PAS-DE-CALAIS

ECHELLE



ANVERS

ET LE COURS DE L'ESCAUT

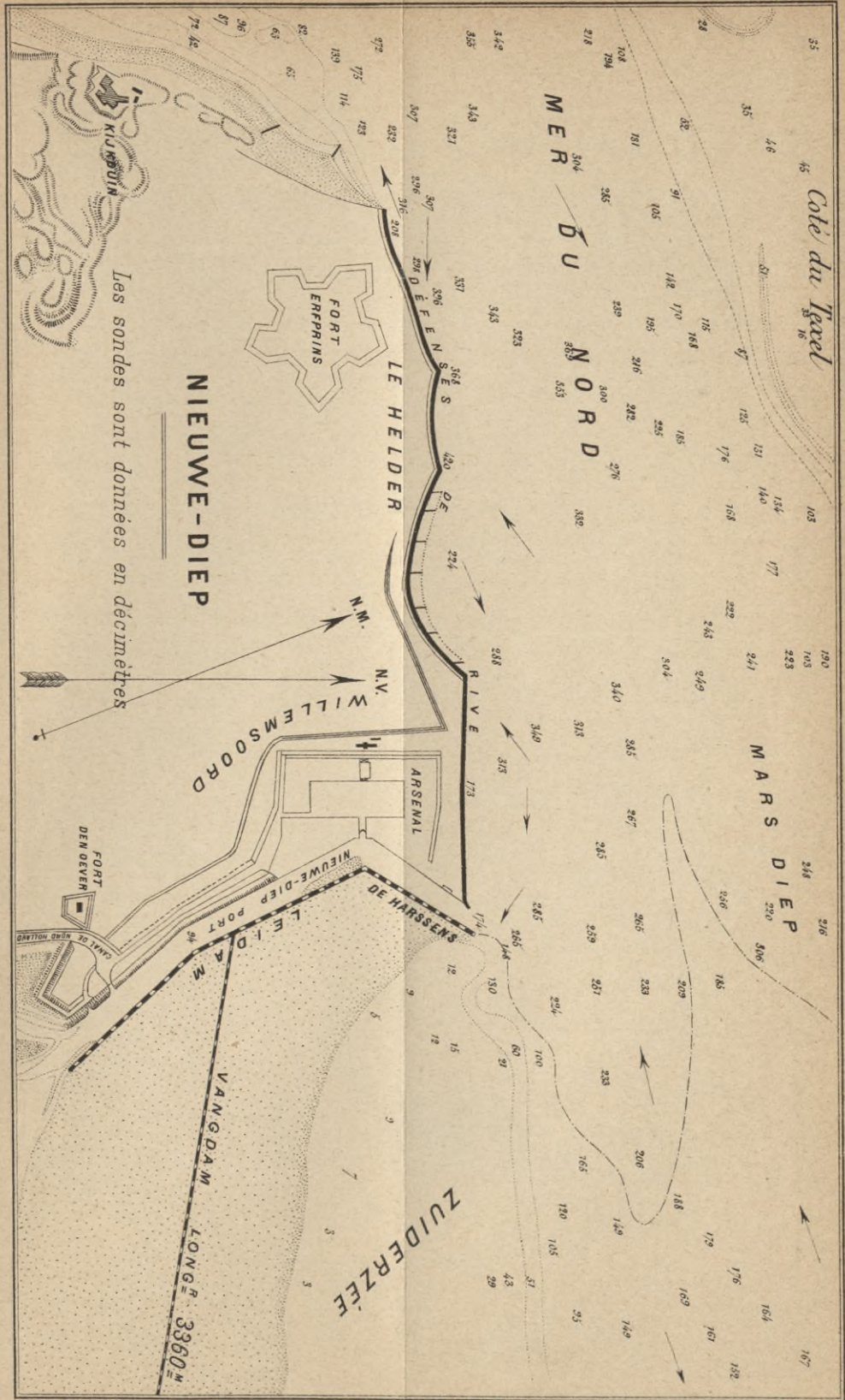


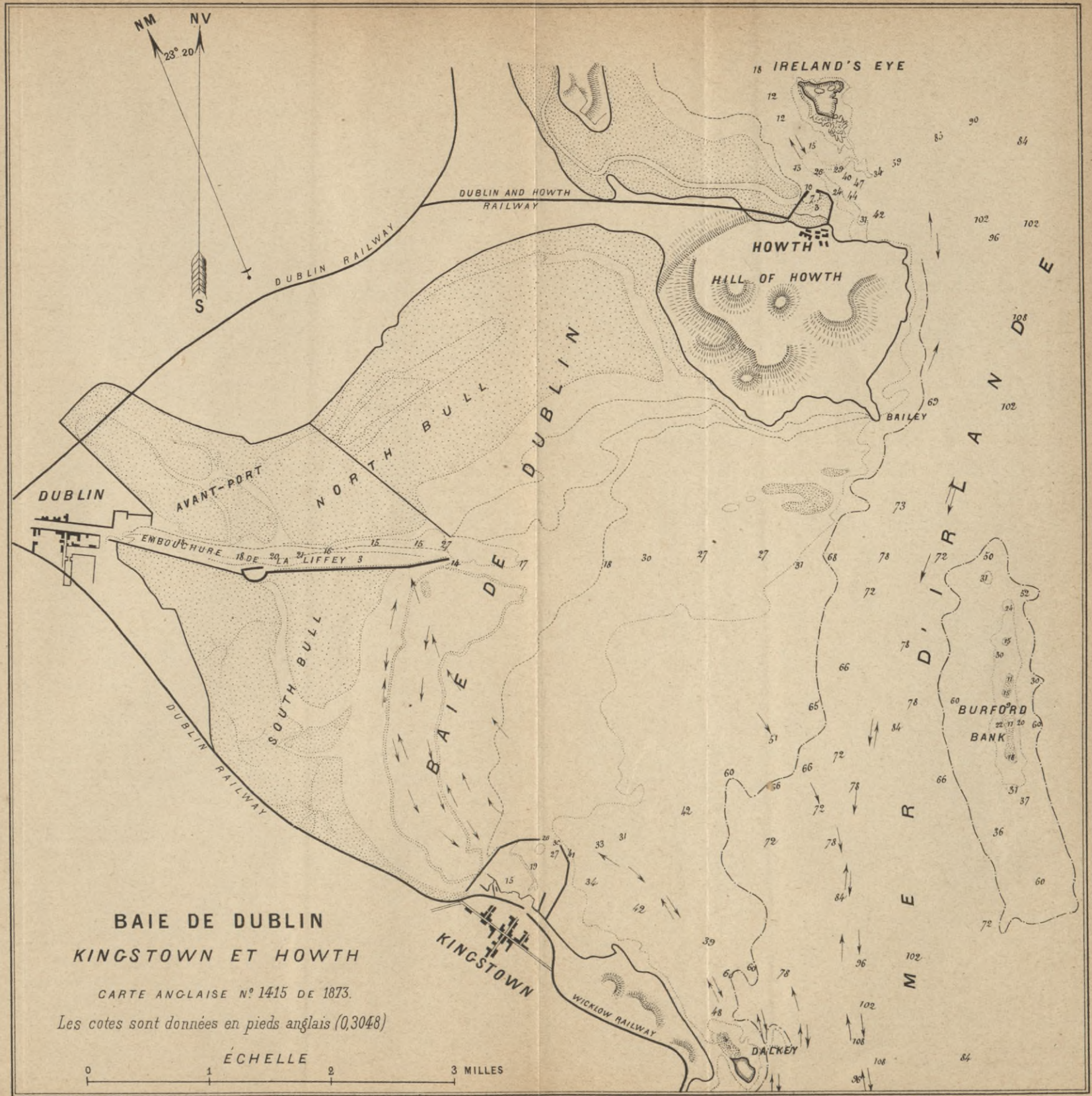


**ATTERRAGES DE LIVERPOOL
ET
RIVIERE MERSEY**

Edition de 1873. (Carte N° 3172)

(Les Sondes sont données en mètres)





**BAIE DE DUBLIN
KINGSTOWN ET HOWTH**

CARTE ANGLAISE N° 1415 DE 1873.

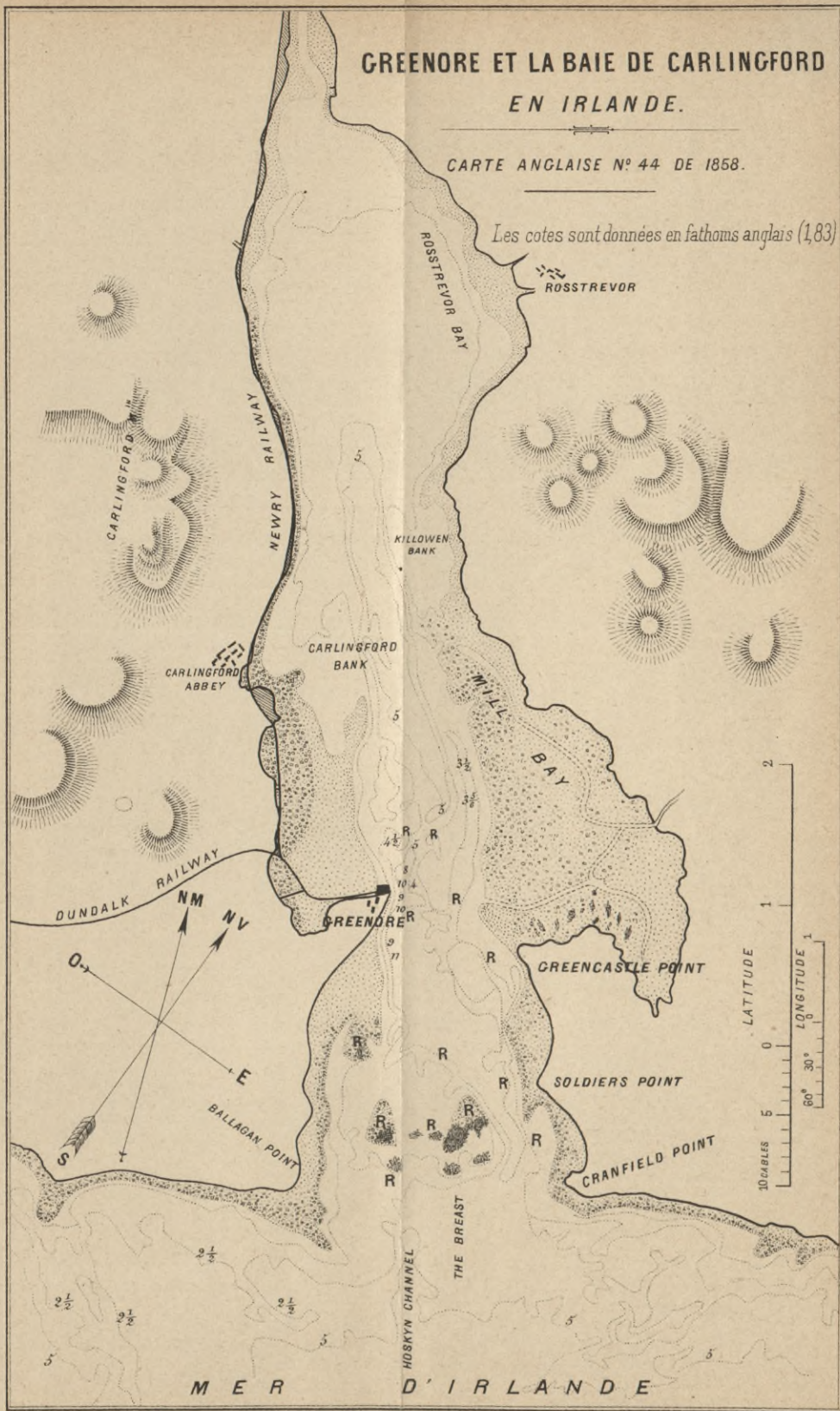
Les cotes sont données en pieds anglais (0,3048)

ÉCHELLE
0 1 2 3 MILLES

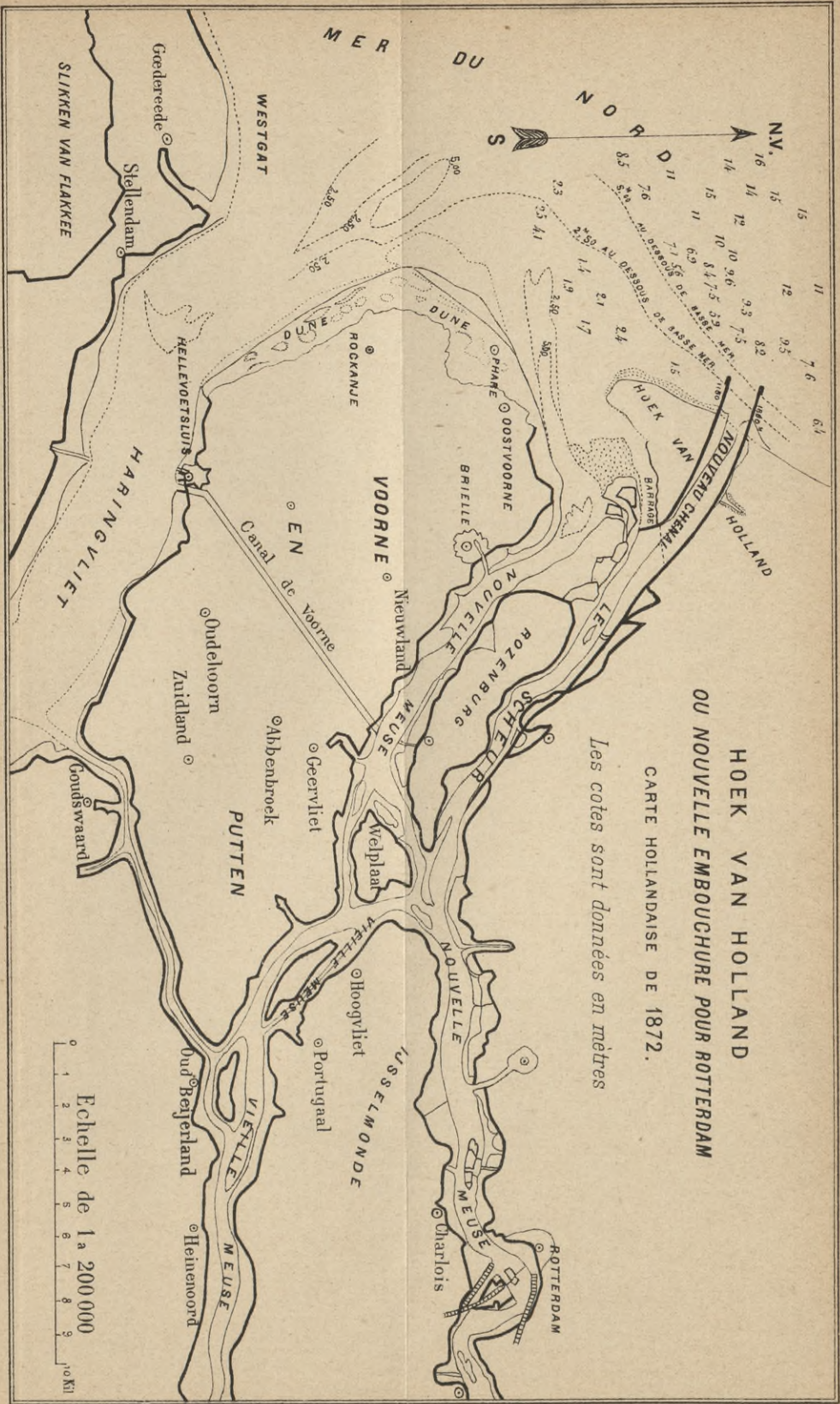
GREENORE ET LA BAIE DE CARLINGFORD EN IRLANDE.

CARTE ANGLAISE N° 44 DE 1858.

Les cotes sont données en fathoms anglais (1,83)







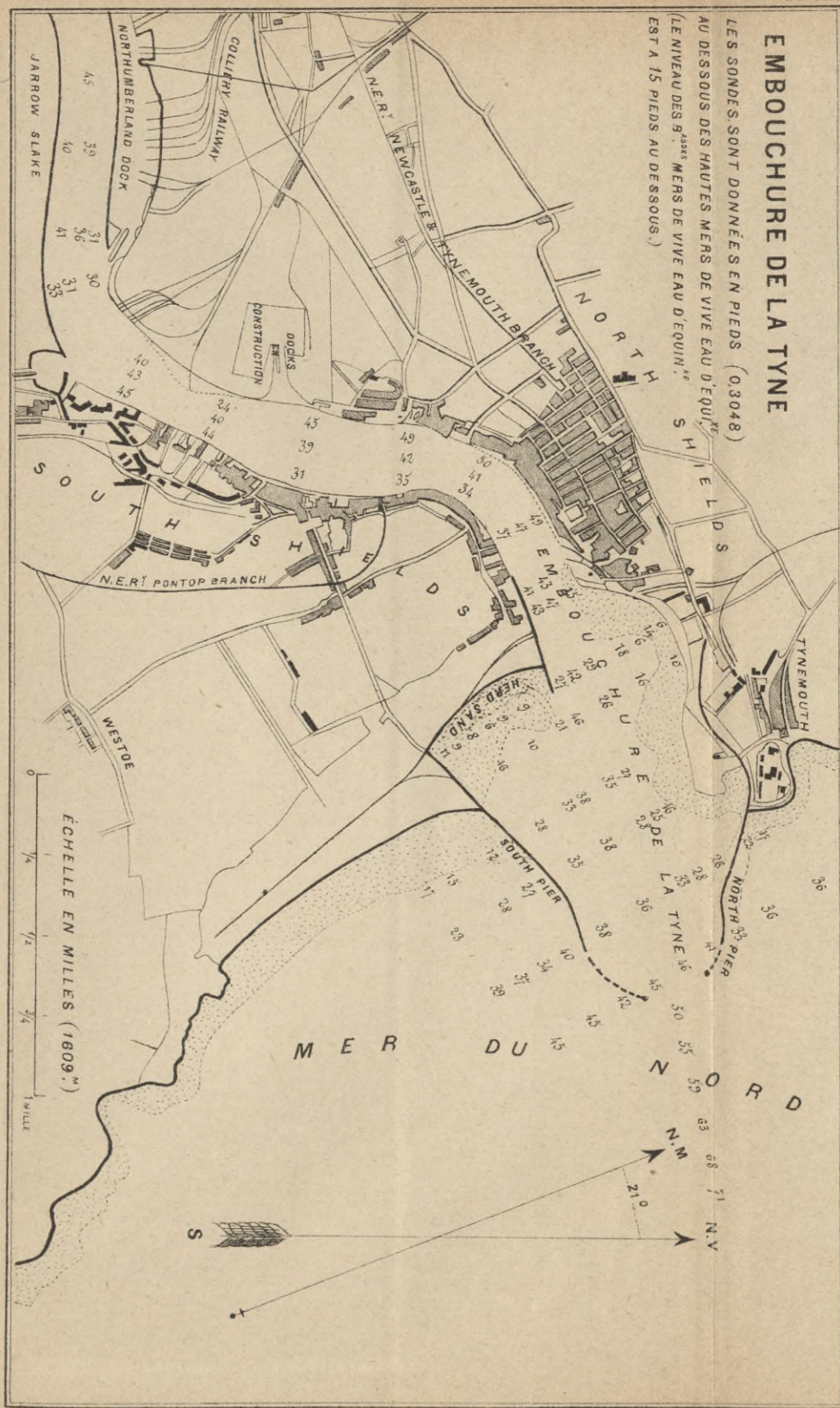
HOEK VAN HOLLAND
 OU NOUVELLE EMBOUCHURE POUR ROTTERDAM
 CARTE HOLLANDAISE DE 1872.

Les cotes sont données en mètres

Echelle de 1 a 200 000
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Kil

EMBOUCHURE DE LA TYNE

LES SONDES SONT DONNÉES EN PIEDS (0.3048)
 AU DESSOUS DES HAUTES MERS DE VIVE EAU D'ÉQUIN.^{xe}
 (LE NIVEAU DES P.^{tes} MERS DE VIVE EAU D'ÉQUIN.^{xe}
 EST À 15 PIEDS AU DESSOUS.)







GLASGOW
 ET LA RIVIERE DE LA CLYDE

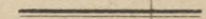




FIG. 1. COURBES DE MARÉE

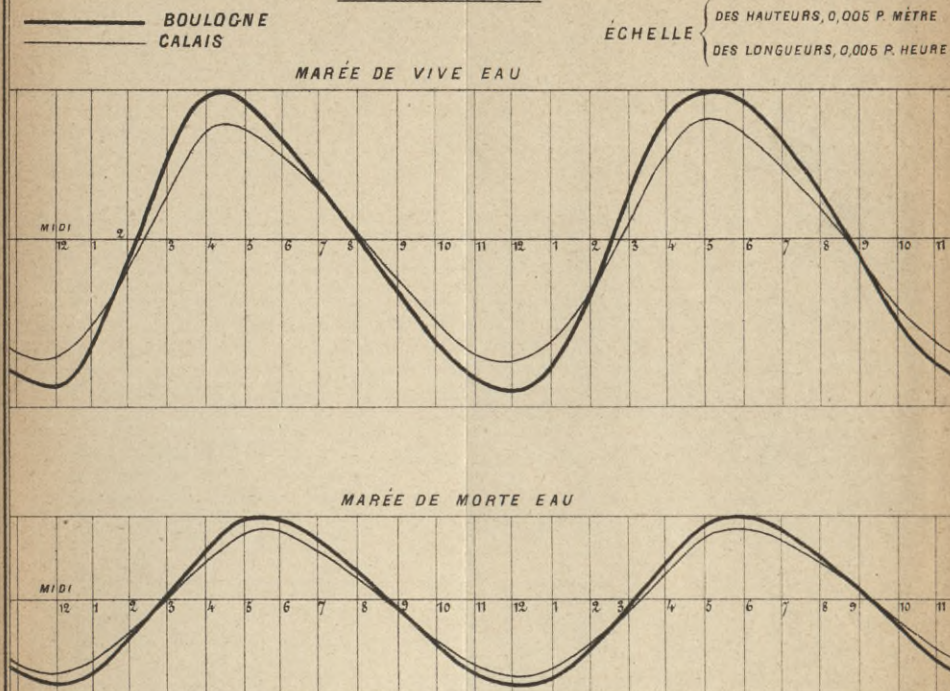
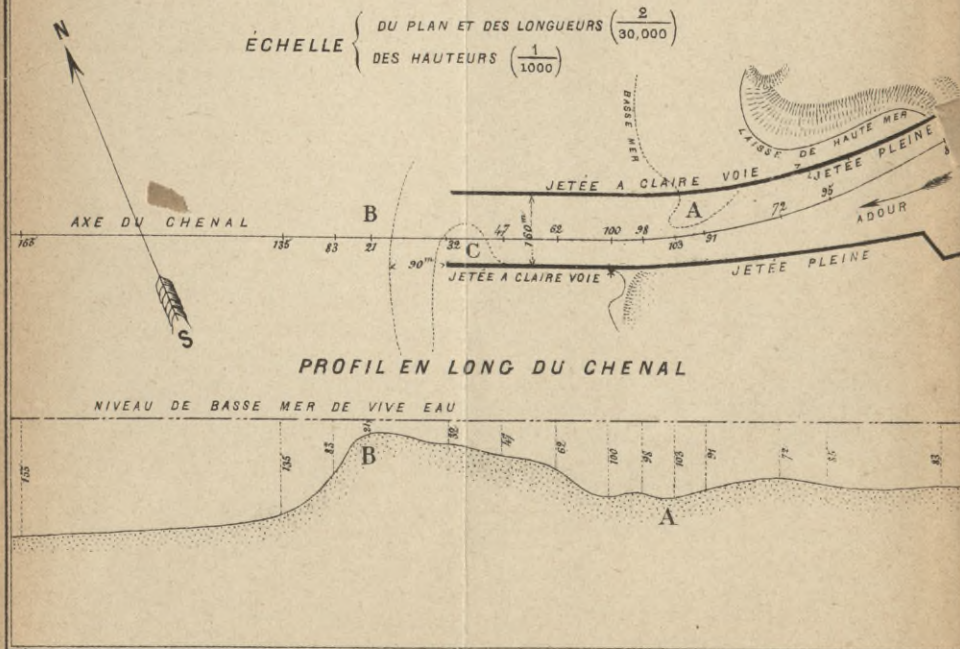


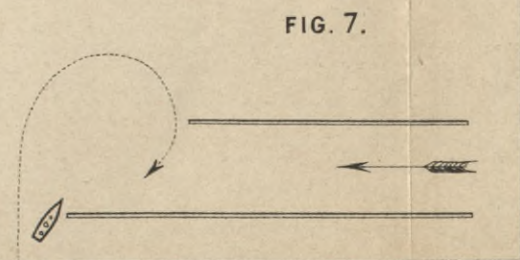
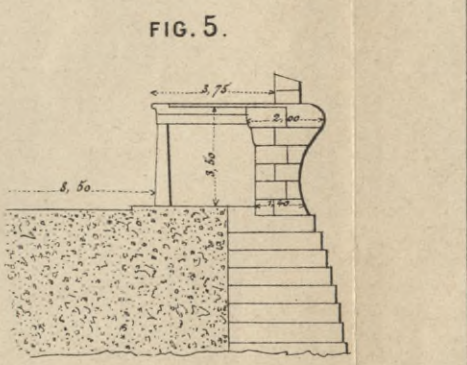
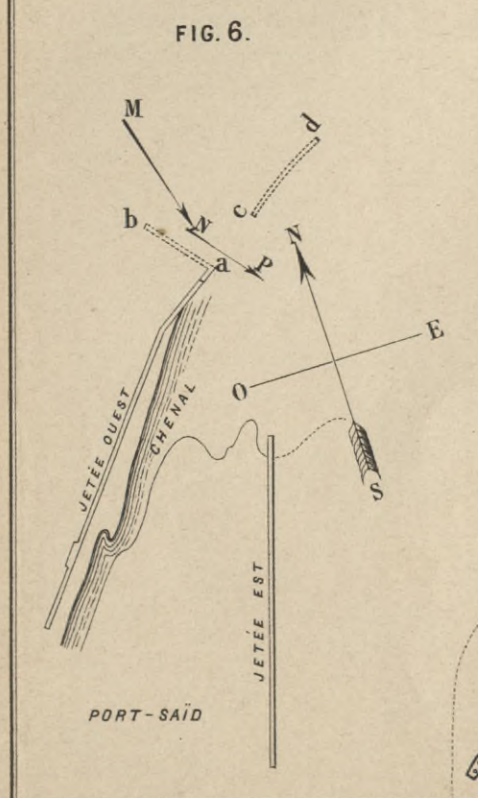
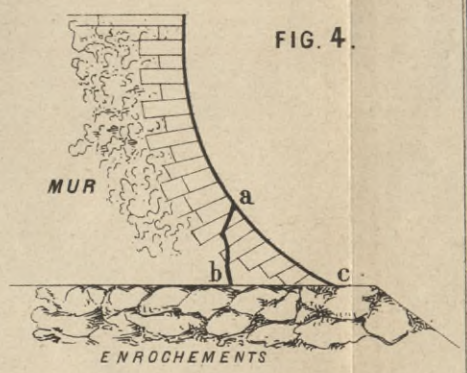
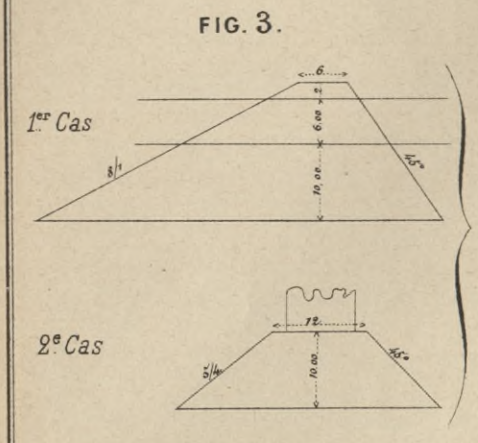
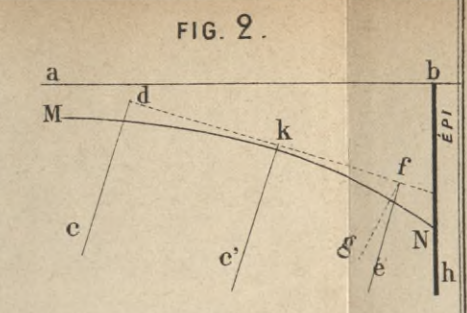
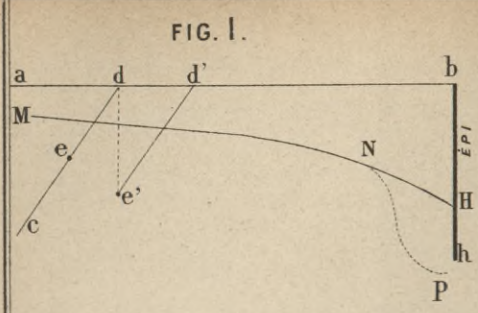
FIG. 2 PLAN DE L'EMBOUCHURE DE L'ADOUR

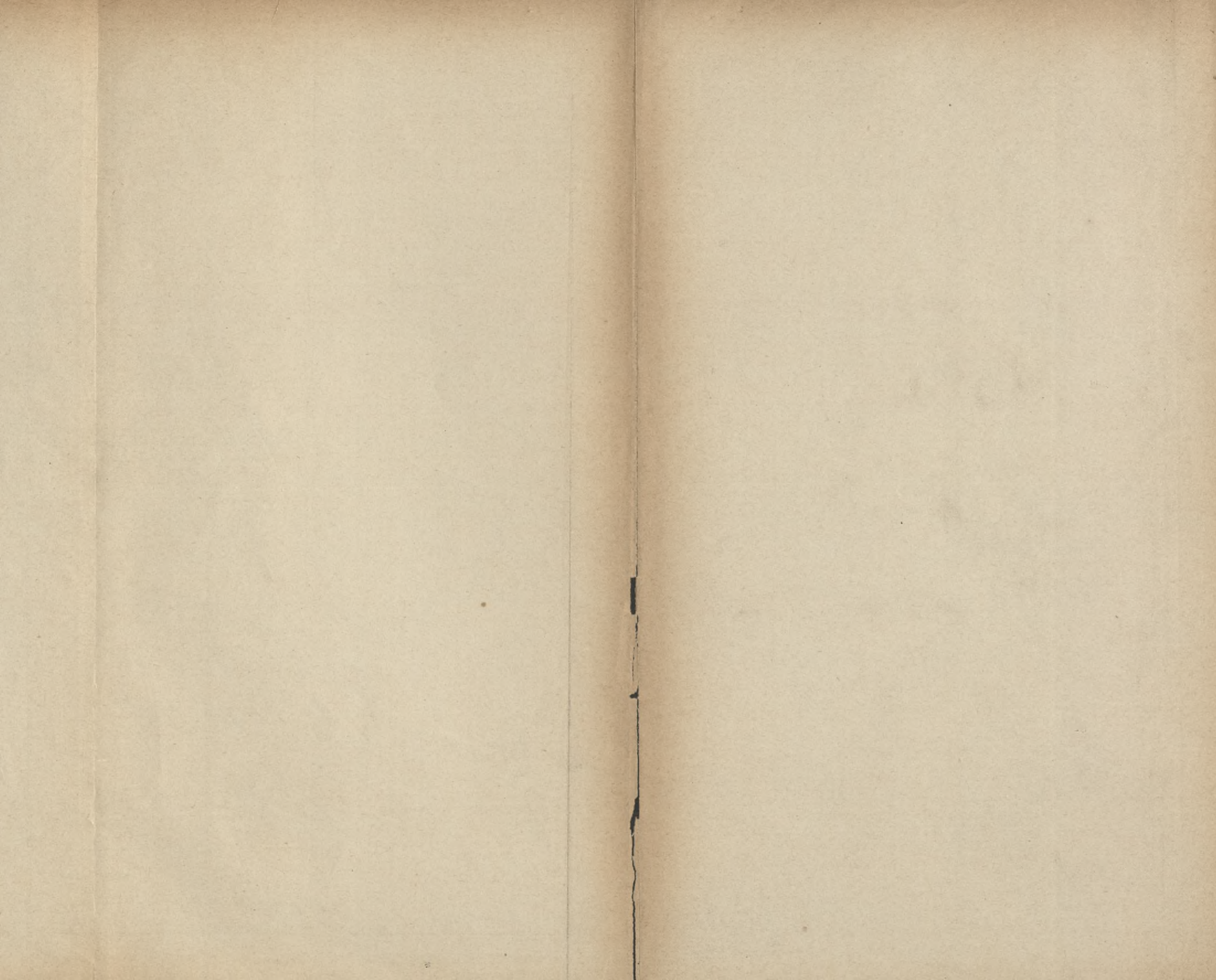
(SITUATION AU 12 JUILLET 1872).

Nota: Les hauteurs sont données en décimètres.









S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

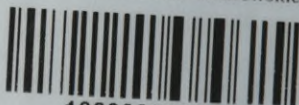


L. inw.

8170

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299681