

NOTICE
SUR LES
PORTS EN PLAGE DE SABLE
ET EN
MER VASEUSE

PAR
M. BERGER,
ADMINISTRATEUR-INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

OBJET DE CETTE ÉTUDE

La construction de ports en plage de sable avec ou sans eau vaseuse donne encore lieu à de grandes controverses ; malgré la mise au concours de la question qui a amené le couronnement et la publication d'un ouvrage remarquable de M. De Mey (1), on est encore loin de se montrer tous d'accord ; nous pouvons même dire que les idées anciennes, consistant à préconiser les jetées à claire-voie avec bassins et écluses de chasse, dont M. De Mey s'est fait l'énergique et savant défenseur, rencontrent de moins en moins d'adhérents en France et en Hollande ; mais ils sont encore nombreux en Belgique, où ils forment incontestablement la grande majorité. En Angleterre et en Allemagne, ces ouvrages n'ont, peut-on dire, jamais été employés.

(1) *Étude sur le régime de la côte de Belgique et sur les moyens d'améliorer les ports de ce littoral.* Bruxelles, Decq, 1885.

Différentes circonstances nous ayant conduit à examiner la question, nous croyons qu'il ne sera peut-être pas inutile d'indiquer les résultats auxquels nous avons été amené. Notre intention n'est pas de donner, dans ce qui va suivre, une description complète d'un port en plage de sable ; les installations maritimes sont, d'ailleurs, très variées suivant les circonstances ; mais, dans tous les cas, il est nécessaire de créer ou au moins d'entretenir un chenal mettant la mer en communication avec la côte ou avec l'intérieur du pays ; c'est de ce chenal seul que nous voulons nous occuper. Ainsi circonscrite, notre étude constituera une suite naturelle à celles que nous avons faites sur les rivières.

§ I. — THÉORIE

Epoques et inconvénients des chasses. — Les premiers ports qui ont été établis le long de la mer, ont emprunté des chenaux existants, et, comme ceux-ci manquaient souvent de profondeur et qu'ils étaient exposés à être remblayés par des sables circulant le long de la mer, on a cherché à leur donner une profondeur convenable, en les curant au moyen de chasses, après les avoir convenablement disposés à cet effet.

A l'origine, les chasses fonctionnaient à chaque marée, ce qui était parfaitement logique, puisque l'on attaquait ainsi les apports avant tout tassement. On n'avait aussi à évacuer, chaque fois, qu'une petite quantité de détritius. Comme ces chasses gênaient la navigation, à mesure que celle-ci se développa, les lâchures devinrent moins fréquentes et ne s'effectuèrent plus que pendant quatre ou cinq marées basses, aux vives eaux seulement ; mais on chercha à remplacer leur fréquence par leur énergie, et on voulut qu'elles entretenissent un chenal profond et même qu'elles pussent

ouvrir, au delà des jetées, une passe de profondeur convenable.

Les chasses eurent donc à mettre en mouvement une quantité considérable de détritius; mais, comme la vitesse allait nécessairement en diminuant avec l'éloignement du bassin, il arrivait bientôt un moment où les matières entraînées devaient se déposer, d'où production d'un haut fond. On s'expose, d'ailleurs, en espaçant les chasses, à voir se produire, dans leur intervalle, un certain envasement du chenal et de la passe qui lui fait suite et à voir, par conséquent, se réduire, dans une certaine mesure, la profondeur sur laquelle les navires doivent pouvoir compter dans la route qu'ils ont à suivre. Enfin, la passe extérieure que peut ouvrir un courant, même violent, sur une plage libre, doit avoir une forme et une direction variables, suivant les conditions du vent et des courants, et les navires ne peuvent savoir d'avance quelle est la direction à prendre pour s'y engager et ne pas en sortir (1).

Non seulement les navires qui fréquentent les ports de mer ont augmenté en nombre, mais leur mouillage s'est aussi singulièrement accru, et l'on s'est ainsi trouvé, en ce qui concerne les chasses, devant une difficulté nouvelle; il va de soi que, pour obtenir la même vitesse moyenne avec une profondeur double, il faudrait un débit double; mais l'ancienne vitesse moyenne ne suffirait plus; il faut se rappeler, en effet, que, d'après la formule de Bazin, citée dans notre Notice sur les rivières à lit mobile (2), toutes autres choses égales, l'écart entre la vitesse moyenne et la vitesse du fond va en augmentant lorsque la

(1) M. Eyriaud des Vergnes : *Etude sur l'établissement et l'entretien des ports en plage de sable*. « Annales des Ponts et Chaussées », 1889.

(2) *Annales des Travaux publics*, tome XLVIII.

profondeur elle-même devient plus grande, de sorte que, pour obtenir la même vitesse du fond, il faut augmenter de plus en plus la vitesse moyenne, à mesure que la profondeur devient plus considérable.

Il est donc difficile, au moyen des chasses, de satisfaire aux besoins d'un port en eau profonde ; on peut, d'ailleurs, ajouter que le système coûte cher.

D'après M. Eyriaud des Vergnes, le prix de premier établissement des ouvrages de chasse du port de Dunkerque représente une somme de 11,300,000 francs. A cette somme, il faudrait ajouter, en les capitalisant, les frais d'entretien normal, évalués à 50,100 francs et les dépenses de fonctionnement, qui s'élèvent, pour un an, à 15,950 francs.

Dragages. — Il serait devenu à peu près impossible, ou du moins bien difficile, de créer des ports de mer en eau profonde, dans des plages de sable, s'il ne s'était produit un abaissement considérable dans le prix du dragage. M. Eyriaud des Vergnes nous apprend qu'à Dunkerque le dragage s'adjugeait encore, en 1880, au prix de 2 fr. 886 le mètre cube, tandis que — d'après une communication faite par M. Conrad au dernier congrès maritime de Paris — à Ymuiden, le coût du mètre cube (déblai et transport compris) mesuré au bateau n'est que de 0.31 de florin ou fr. 0.66 et ce n'est pas le dernier mot des dragages (1).

Ensuite de cette baisse des prix, on emploie actuellement à Ostende le dragage, concurremment avec les chasses, pour l'entretien du port. A Calais, à Dunkerque, à Dieppe et dans d'autres ports de France, on a fait un pas de plus et on a supprimé complètement les chasses. Depuis l'approfondissement du chenal de Dunkerque et l'emploi des dragages, le tonnage du

(1) En parlant du port d'Ymuiden, nous dirons pourquoi le prix est encore si élevé.

port a beaucoup augmenté ; il n'était, en 1877, que de 1,410,431 tonnes de jauge ; il s'est élevé, en 1885, à 2,115,307 tonnes, soit une augmentation de 50 p. %. Grâce aux dragages, les navires peuvent, à toutes les pleines mers, même en mortes eaux, tirer presque 6 mètres d'eau.

Draguer et approfondir économiquement l'accès des ports constitue évidemment un progrès notable ; mais il en est un autre, non moins important, à réaliser, c'est de réduire les apports des matières à draguer.

Nous allons indiquer comment on y parvient.

Jetées à claire-voie et jetées pleines. — Dans notre pays, les jetées à claire-voie se composent d'une suite de fermes en charpente espacées, en moyenne, de 2^m,40 d'axe en axe et terminées par des musoirs. Les fermes sont reliées elles-mêmes par des cours de longrines et par un tablier placé d'ordinaire à 2 ou 3 mètres au dessus des plus hautes mers. La plate-forme des musoirs, sur laquelle sont installés les feux du port, est plus élevée de 1 mètre à peu près que le restant du tablier ; elle est aussi plus large.

Les jetées à claire-voie sont bordées extérieurement par des jetées basses, construites en maçonnerie ou en fascinages avec enrochements. Ces ouvrages sont établis de manière que leur arête supérieure se trouve partout à 1 mètre environ au dessus de l'estran et suive l'inclinaison de celui-ci ; ils sont destinés à maintenir le chenal à travers les sables de la plage et à y diriger les courants résultant de l'introduction de la marée et ceux correspondant aux chasses.

Le principe théorique de ce système consiste principalement en ceci : laisser subsister en partie les courants littoraux, dans le but de diminuer le dépôt des matières entraînées par les eaux (1). Les jetées à claire-

(1) M. De Mey. Ouvrage déjà cité, p. 141 et 142.

voie sont, dès lors, inutiles, au point de vue de la conservation du chenal ; ce sont les jetées basses qui, seules, aident à l'action des chasses ; en réalité, les claires-voies servent pour le halage et l'amarrage des bateaux et surtout pour empêcher les navires de talonner contre les jetées basses en maçonnerie et de se causer des avaries ; elles forment également un lieu de promenade qui ne manque pas d'agrément.

On avait cru que les jetées en charpente contribueraient à la conservation de la plage et empêcheraient la laisse de basse mer de s'étendre au large ; mais, dans la pratique, c'est le contraire qui est arrivé. Dans son cours de construction, Minard nous rapporte que des barrages en rivière ont fréquemment leur crête usée par le passage des galeys qu'ils n'arrêtent pas ; à plus forte raison, les jetées basses ne forment-elles pas obstacle au passage du sable qui se déverse dans le chenal ; lors des chasses, les détritiques sont entraînés et vont former un delta qui s'oppose au mouvement latéral du sable ; il en résulte ainsi un avancement de la plage qui oblige à prolonger les jetées. C'est donc à l'existence des claires-voies et « à l'action des chasses « sur la plage qu'il convient d'attribuer les avancements de l'estran que l'on a attribués à tort au prolongement des jetées » (1). Ostende forme une exception à cette règle. « Depuis 1804, les jetées du « chenal ont été prolongées à différentes reprises ; les « derniers prolongements ont été construits de 1837 « à 1843, de manière que déjà cette dernière année, « la longueur des jetées dépassait, comme aujourd'hui, « de 75 mètres la longueur de la jetée la plus avancée « en mer de 1804.

« Or, la carte de Stessels de 1867, dont les indi-

(1) M. Eyriaud des Vergnes. Mémoire déjà cité, p. 314.

« cations correspondent d'ailleurs parfaitement à celles
« des plans les plus récents du port, n'accuse pas le
« moindre développement de la plage près des jetées ;
« le contraire paraît même avoir lieu » (1). Cette différence provient de ce que, sur une partie de notre côte, l'estran a une tendance à s'amaigrir plutôt qu'à s'engraisser.

Pour éviter l'effet fâcheux des jetées, on les a souvent coffrées sur une partie de leur longueur ; mais, en France, par une crainte que nous considérons comme chimérique, on n'a jamais, que nous sachions, osé continuer le travail sur la longueur totale des jetées.

En Angleterre, on s'est montré plus hardi ; à Leith et à Blyth, notamment, les jetées ont été coffrées sur toute leur étendue.

Fosses de garde. — Du moment que l'on adopte des jetées pleines, le sable ne peut plus pénétrer dans le port que par l'entrée, et il reste, dès lors, à rechercher le moyen de s'opposer à cette introduction.

Dans plusieurs ports, tels que Dunkerque, Calais et Ostende, on a créé, dans ce but, des fosses de garde que l'on entretient par le dragage ; celles de Dunkerque et de Calais sont établies latéralement à la partie du chenal limitée par des claires-voies et à la passe qui fait suite au chenal, tandis qu'à Ostende, où l'on continue encore à chasser, la fosse de garde se trouve devant l'entrée seulement ; dans ce dernier cas, on arrête les sables de quelque côté qu'ils viennent ; à Dunkerque, la fosse de garde se trouve à l'ouest, parce que c'est de ce côté que les sables arrivent en plus grande abondance.

Les dragages exécutés à Dunkerque pendant les

(1) M. De Mey. *Etude sur le régime de la côte de Belgique*, etc., p. 212.

années 1882-1885 sont représentés par les chiffres suivants :

ANNÉES.	PASSE. Mètres cubes.	FOSSE DE GARDE. Mètres cubes.	CHENAL. Mètres cubes.
1882	389,835 74	"	39,614 00
1883	196,875 66	180,299 53	140,273 27
1884	132,122 83	349,677 47	93,401 09
1885	45,909 42	324,233 59	119,360 45

« Les variations de ces chiffres montrent que si les
« jetées étaient pleines, on n'aurait à draguer que fort
« peu sur la passe, point dans le chenal et beaucoup
« dans la fosse de garde. On voit, en effet, que le total
« des cubes extraits dans la fosse et dans le chenal est
« le même pour 1884 et pour 1885, l'un étant com-
« plémentaire de l'autre à 500 mètres près » (1).

Jetées convergentes. — D'après ce qui précède, on voit que, même avec des jetées pleines, du moment qu'elles sont parallèles, des dragages plus ou moins importants, suivant l'atterrage et les circonstances locales, seront nécessaires dans la fosse de garde, si l'on veut empêcher que le sable ne pénètre dans le port. C'est un travail qui peut être évité ou réduit dans une notable mesure, en recourant à des jetées convergentes; au moyen de celles-ci, on obtient, en effet, lorsque les eaux s'écoulent, un courant convergent à l'extérieur du port; c'est ce courant qui creuse la fosse; lorsqu'ensuite le port s'emplit, le courant est, au contraire, divergent à l'extérieur; les sables qui tombent dans la fosse ne sont pas animés d'une impulsion suffisante pour pouvoir en sortir et y restent jusqu'à ce que le courant de sortie vienne les en expulser. On comprend que l'énergie du courant de sortie dépend

(1) M. Eyraud des Vergnes. *Etude sur l'établissement et l'entretien des ports en plage de sable*, p. 280.

essentiellement de la surface de l'enceinte, de l'amplitude de la marée et de la largeur de l'entrée; ces trois quantités doivent être fixées dans chaque cas, de manière à obtenir les meilleures conditions possibles, au point de vue des intérêts de la navigation et sans tomber dans des dépenses exagérées.

Nous aurons à dire plus tard l'effet que l'on obtient dans divers ports au moyen de jetées convergentes; mais nous croyons devoir faire observer, dès maintenant, qu'elles ne suffisent pas pour s'opposer entièrement à l'accès du sable; quoi que l'on fasse, chacune des jetées constituera toujours un épi. « Le courant « rapide qui longe le mur produit d'énormes affouil-
« lements, d'autant plus que la jetée est plus longue.
« Les matériaux qui en proviennent vont se déposer
« en partie à l'aval de la jetée et y donner naissance
« à un banc » (1).

Largeur de l'entrée. — La largeur que l'on a donnée à l'entrée des ports est extrêmement variable; elle est de 60 mètres à Ramsgate, de 70 à Leith, de 110 à Ostende, de 170 à Madras, de 260 à Ymuiden, de 300 à Newburyport, de 600 à Charleston; enfin, la largeur projetée pour le port de Galveston est de 2,700 mètres.

Il ne faudrait pas conclure de ces chiffres que la largeur à adopter soit chose indifférente; elle doit satisfaire à plusieurs conditions. Si, comme cela arrive souvent, il y a tendance à la formation d'une barre à l'entrée, le courant de sortie doit être suffisant pour entraîner les sables, sans cependant devenir gênant pour la navigation. Une des raisons qui militent en faveur des ports à jetées convergentes, c'est qu'ils permettent un épanouissement rapide de la houle, et cet

(1) Legrom et Chaperon. *Annales des Ponts et Chaussées*, année 1838, 1^{er} semestre, page 361.

épanouissement est d'autant plus complet que, toutes autres choses égales, la largeur de l'entrée est moindre. Il y a, en troisième lieu, à considérer les intérêts de la navigation ; l'entrée du port peut être protégée par un banc qui atténue, dans une forte proportion, la force des vagues ; l'entrée peut alors être réduite ; il faut tenir compte, ensuite, de l'intensité des courants de marée qui rasant plus ou moins l'entrée ; « un « navire qui arrive, par exemple, de l'ouest avec le « flot, doit s'approcher le plus possible du musoir de « la jetée de l'ouest pour ne pas être entraîné vers la « jetée opposée, et, comme le flot continue à agir à « l'arrière du bâtiment pendant que l'avant s'engage « dans le port, le navire subit un mouvement gira- « toire qui l'expose à courir dans la jetée de l'ouest.

« La direction des voiliers est, sous tous les rap- « ports, plus difficile que celle des steamers ».

« Les embarras à résulter des courants n'ont pas la « même importance lorsque les ports sont attaquables « pendant une partie plus ou moins longue de la marée « et non pas à marée haute seulement, puisque c'est « à ce moment que la vitesse du flot atteint son « maximum. Enfin, les manœuvres à l'entrée des « ports sont une question d'expérience et les pilotes « finissent peu à peu par se familiariser avec les diffi- « cultés qu'elles présentent (1). »

Il va de soi qu'avant de fixer définitivement l'entrée d'un port, il convient de consulter les marins et de ne pas perdre de vue qu'on les a accusés plusieurs fois d'avoir réclamé une entrée trop large et compromis ainsi plusieurs des qualités du port.

Direction à donner à l'axe du port. — Il importe d'observer, pour résoudre ce problème, que le régime d'un

(1) M. Michel. *Rapport de la commission de Bruges port de mer*, p. 184

port diffère, en des points essentiels, de celui de la mer. Le premier n'est, au fond, qu'une rivière à marée, à laquelle on aurait enlevé les eaux propres à son bassin; lorsque la mer est basse, il y a étale dans le port; puis il s'établit un courant vers l'intérieur, dont l'intensité augmente jusque vers mi-marée et qui va ensuite en diminuant jusqu'à ce que le port soit plein, moment où il y a de nouveau étale. Les choses marchent en sens inverse lorsque le port se vide; sauf à l'entrée, les courants sont généralement trop faibles pour transporter des sables, mais ils suffisent presque toujours pour transporter des vases.

En ce qui concerne la mer, il y a à considérer l'action des vagues, celle des vents et celle des courants côtiers.

Les vagues ont pour effet de rejeter les sables le long des côtes et, lorsqu'elles agissent obliquement par rapport à la côte, elles peuvent déterminer le transport longitudinal de ces sables; en général, on admet que l'action des vagues sur le fond de la mer ne peut se faire sentir qu'exceptionnellement au delà d'une profondeur de 8 à 10 mètres, de sorte qu'elles n'auraient plus d'action pour introduire du sable dans un port, dès que cette profondeur serait dépassée.

Les vents donnent lieu à des entraînements de sable longitudinaux parfois très considérables et dont l'importance est d'autant plus grande, cela va de soi, que ces vents sont plus forts et qu'ils soufflent plus longtemps dans la même direction; mais, lorsqu'on recourt aux jetées pleines, les sables vont s'accumuler dans l'angle formé par les jetées avec la côte et ils peuvent être considérés comme sans action sur le port.

L'influence des courants est plus importante à considérer; lors de leur plus grande intensité, ils sont généralement parallèles à la côte; à n'examiner que la surface de la mer, on peut dire qu'en particulier le

long de notre littoral, ils sont giratoires, c'est-à-dire qu'ils prennent des directions qui varient à chaque instant ; mais nous croyons, avec M. Eyriaud des Vergnes, que ce changement se borne à la surface ; il serait, en effet, difficile d'admettre qu'il peut se produire des courants de fond transversaux aux chenaux qui bordent nos côtes. D'après les observations de M. De Mey (1), la vitesse maximum du courant de flot, le long de la côte des Flandres, mesurée à la surface de la mer, à l'aide de flotteurs, varie, en temps calme et par des marées moyennes de vive eau, de 1^m,10 à 1^m,30 par seconde ; la vitesse maximum du courant de jusant, mesurée dans les mêmes conditions, varie de 0^m,85 à 1^m,10 par seconde.

En morte eau, la vitesse maximum du courant de flot varie de 0^m,60 à 0^m,75 par seconde et celle du courant de jusant de 0^m,45 à 0^m,60 par seconde ; on voit que, eu égard à la profondeur restreinte de la mer et au peu de pente de surface, ces courants ont toute la force qu'il faut pour transporter des sables. Mais une chose à noter, c'est que les plus grandes vitesses de ces courants ne correspondent pas du tout aux plus grandes vitesses des courants des ports ; ainsi, à Dunkerque, c'est au moment du plein qu'a lieu la plus grande vitesse du courant de flot et à marée basse la plus grande vitesse du courant de jusant, ces courants étant nuls à mi-marée. D'après les expériences de M. Petit sur les courants de marée au bateau-phare de Wielingen, la plus grande vitesse du flot, mesurée à l'aide du moulinet de Baumgarten et à 2 mètres en dessous de la surface, a lieu une heure avant la haute mer et elle est alors de 1^m,03, et la plus grande vitesse de jusant, une heure avant la basse

(1) *Étude sur le régime de la côte de Belgique, etc.*, p. 21.

mer et elle est alors de 0^m,90. Ces chiffres sont les moyennes des résultats obtenus tant en vive eau qu'en morte eau.

Il faut éviter, autant que possible, que ces courants pénètrent dans le port, surtout au moment de leur plus grande intensité, puisqu'ils y déposeraient, en partie, les matières qu'ils entraînent avec eux ; c'est ce que l'on exprime en disant que l'entrée doit être *rasée* par les courants ; en ce qui concerne le courant de flot, on ne pourra pas, évidemment, empêcher qu'il ne déverse une partie de ses eaux dans le port et ne dépose une partie de ses sables à l'entrée ; mais ce déversement sera le moins sensible précisément lorsque le flot sera animé de sa plus grande vélocité, c'est-à-dire vers l'époque où le port est plein.

D'après ce qui précède, la direction à donner à l'axe du port sera celle de la ligne de plus grande pente, relativement à l'estran ; c'est celle qui donnera le moindre cube à enlever pour la création du chenal, celle suivant laquelle l'accès du sable vers le port sera le plus difficile et celle suivant laquelle leur évacuation sera la plus facile ; en choisissant cette direction, l'entrée se trouvera parallèle aux courbes de niveau, qui elles-mêmes peuvent être considérées comme représentant assez bien celle des courants.

Plan du port. — On peut rattacher les formes données aux jetées convergentes à deux systèmes ; dans le premier, qui a été appliqué à Dublin, à Tynemouth, à Blyth, à Sunderland et à l'avant-port de Middlesbrough, les jetées convergentes sont droites ou à peu près ; dans le second système, qui a été appliqué à Kingstown, à Howth, à Ymuiden et à Madras et proposé par M. de Maere pour Heyst, les jetées se recourbent à partir d'une certaine distance de leur enracinement et sont prolongées en ligne droite jus-

qu'à ce que l'intervalle entre leurs extrémités soit égal à la largeur fixée pour l'entrée du port.

Nous n'avons pas trouvé, jusqu'ici, dans les auteurs qui traitent de la question, quelles sont les raisons pouvant militer en faveur des bras coudés ; tout ce que nous savons, c'est que le port de Kingstown se composait d'abord d'une seule jetée, recourbée de manière à abriter les vaisseaux contre les vents soufflant du nord et de l'est, et, plus tard, lorsqu'il a été jugé utile de compléter le port, on a construit la seconde partie à peu près symétrique à la première. Or, le port de Kingstown (fig. 1 et 4, pl. V) étant excellent, il est possible que ses bonnes qualités aient été attribuées en partie aux bras recourbés, tandis qu'elles sont dues, comme l'ont fait observer MM. de Maere et Michel :

1° A ce que les jetées débouchent à la profondeur de 7 à 8 mètres sous marée basse et que l'estran s'incline ensuite rapidement pour se raccorder avec un chenal de 23 à 25 mètres de profondeur ;

2° A ce que la passe d'entrée se trouve dans la direction des courants de marée et est rasée par ceux-ci ;

3° A ce que le port se vide au moment où le courant de jusant, dont les eaux tiennent en suspension les matières évacuées par le port de Dublin passe devant l'entrée, tandis que le courant de flot, qui produit le remplissage de l'enceinte, passe au dessus des grands fonds qui s'étendent au sud et n'entraîne que fort peu de matières (1).

Le grand inconvénient du système consiste en ce que, dans les mers mauvaises surtout, les bras et spécialement les coudes, sont exposés à l'action directe

(1) *Rapport de la Commission instituée pour examiner la question de Bruges port de mer.*

des lames et peuvent avoir beaucoup à en souffrir. Nous citerons, à ce propos, ce qui s'est passé à Boulogne (fig. 2, pl. V).

« La grande digue de mer du port en eau profonde
« de Boulogne est formée de deux parties droites réunies par une courbe de 200 mètres de développement et de 300 mètres de rayon. On a adopté, pour
« l'exécution de la jetée, un système mixte comportant une fondation en enrochement, surmontée
« d'une muraille en maçonnerie.

« La partie courbe de la digue, sur 200 mètres de longueur, était le point le plus menacé, le plus violemment battu par la tempête. C'est là que l'on a rencontré les plus grandes difficultés d'exécution. Le noyau de la digue en moellons, battu en brèche par les flots, fut, à différentes reprises, coupé et balayé en plusieurs points. Des milliers de mètres cubes de moellons furent emportés vers le large et l'on vit des blocs de 32 tonnes, soulevés par les lames, jetés, roulés à 300 et 400 mètres de distance et souvent brisés dans tous les sens. Afin de consolider, de renforcer ce point dangereux, on y a placé les plus gros blocs de maçonnerie, et on a construit, sur toute la longueur de la courbe, une berme en béton de ciment damé, pilonné avec force entre tous les blocs artificiels, dans toute la partie qui dépasse le niveau de marée basse (1). »

Les jetées droites n'ont pas, au même degré, le défaut que nous venons de signaler ; de plus, l'angle aigu qu'elles forment entre elles détermine un meilleur courant convergent que celui produit par les jetées coudées, ce qui est précieux chaque fois que l'on a besoin d'une bonne fosse de garde.

(1) Communication de M. Dufourny.

Ports en mer vaseuse. — Parmi les objections que l'on fait contre les ports à jetées convergentes, il n'en est pas, peut-être, qui rencontre autant d'adhérents que la crainte de voir ces ports donner lieu à un entretien excessif dans les mers vaseuses.

Une des causes pour lesquelles l'entente est difficile réside, sans doute, en ce que l'on ne tombe pas bien d'accord sur ce que signifie l'expression de mer vaseuse, l'aspect de la mer changeant d'un jour à l'autre.

C'est ainsi que M. Michel nous rapporte qu'en naviguant dans la passe de Wielingen, par une tempête du nord-ouest, il lui est arrivé d'y trouver l'eau si chargée qu'elle ressemblait à de la boue; les lames, en déferlant sur le pont de son navire, y avaient déposé tellement de vase, qu'arrivé dans l'Escaut, il fallut procéder à un lavage général (1). M. Michel en conclut qu'un port établi à Heyst se trouverait dans de mauvaises conditions sous la rapport de l'envasement. D'autre part, cependant, Heyst est une station balnéaire où l'on trouve, par conséquent, une eau claire pour se baigner. La qualification serait difficile si, non loin de là, ne se trouvait le port de Blankenberghe, où l'on constate, dans le bassin d'échouage, un envasement annuel de 0^m,80.

Une question analogue et qui n'a pas encore été résolue se présente à Kingstown. Un grand nombre de ceux qui ont visité ce port ont constaté, après le capitaine Calver, que « l'eau y était claire et limpide « comme l'azur du ciel. » D'autres disent, au contraire, que « les eaux de Kingstown paraissent être, il est « vrai, moins vaseuses et moins souvent vaseuses que « sur le littoral de Heyst; néanmoins, elles sont parfois

(1) *Rapport de la première Commission de Bruges port de mer*, p. 83.

« très chargées et, malgré cela, il ne se fait, en
 « dehors du banc de sable de l'entrée, aucuns dépôts
 « ni de vases, ni même de sables vaseux dans l'en-
 « ceinte du port ou tout au moins, il ne se fait que
 « des dépôts insignifiants » (1).

M. Desauvoy ayant analysé douze échantillons d'eau, recueillis à Kingstown, à diverses dates, dans le courant de mars 1883, il a trouvé une moyenne de 2^{cs},431 de matière solide, tandis que les eaux recueillies par M. Piens sur la plage de Heyst n'en contenaient, en moyenne, que 1^{cs},850 (2).

Pour beaucoup de personnes, la question est ici restée indécise, faute d'un repère analogue à celui de Blankenberghe.

Sur d'autres points, l'accord paraît mieux s'établir. Tous ceux qui ont écrit au sujet de la baie de Dublin, MM. Piens, De Mey, Stoeklin et Laroche, sont d'accord pour la considérer comme très vaseuse; c'est pour éviter les vases, que l'on avait établi d'abord à Howth un port qui devait servir pour Dublin (3). Plus tard, cependant, on s'est décidé à créer un port à Dublin même, et les craintes que l'on avait conçues au sujet de l'envasement ne se sont pas réalisées.

Le capitaine Calver qui, de son temps, a joui d'une certaine notoriété en Angleterre, écrivait, en 1855, « que
 « dans son opinion, il existe des preuves suffisantes pour
 « démontrer que si l'on peut créer un port fermé là
 « où les eaux ne contiennent pas de matières en sus-
 « pension, il est hasardeux et contraire à tout ce que
 « l'expérience indique, de vouloir tenter l'aventure

(1) *Rapport de la Commission internationale sur le port de Heyst*, p. 14.

(2) M. de Maere. Première réponse à M. Piens, p. 20. — La vase, dont l'eau de Kingstown est parfois saturée, ne paraît pas provenir directement du port de Dublin, mais bien du fond de la mer. Elle est mise en suspension lorsque la mer est agitée. (N. D. L. R.)

(3) Vernon-Harcourt. *Harbours and docks*, p. 197.

« dans les parages de la côte est de l'Angleterre où
« les eaux sont fortement chargées et où, par consé-
« quent, tout port fermé doit, en définitive, démon-
« trer encore qu'il ne peut être qu'un réceptacle de
« vase » (1).

Fort heureusement pour eux, les Anglais ne se sont pas arrêtés à la sombre prédiction du capitaine Calver ; ils ont établi plusieurs ports à enceinte sur la côte est de leur pays (Blyth, Sunderland, Hartlepool, etc.) et les inconvénients prévus par lui ne se sont pas réalisés.

A en juger par les ouvrages les plus récents des ingénieurs anglais qu'il nous a été donné de lire, l'opposition contre les ports en mer vaseuse, autrefois si vive, aurait complètement disparu en Angleterre ; il nous paraît, toutefois, intéressant d'expliquer pourquoi les ports à jetées convergentes, quand ils sont bien conçus, ne s'ensavent pas ou ne s'ensavent que très peu.

Un avant-port à jetées convergentes se compose d'un chenal central d'une grande profondeur par où passent les navires et de deux segments latéraux dont le plafond, là au moins où ne se fait pas l'accostage des bateaux, est le mieux placé lorsqu'il se trouve au niveau de marée basse.

Lorsque le port se vide, on remarque que l'écoulement longitudinal dans ces segments est nul ou peu sensible ; leurs eaux se déversent dans le chenal où l'abaissement est le plus rapide ; la vitesse s'y trouve dès lors augmentée et peut devenir suffisante pour que les vases se trouvent entraînées. Il faut observer, en effet, que, pour enlever des vases déposées, il suffit d'une vitesse de 0^m,06 par seconde, d'après Dubuat, et de 0^m,07, d'après Telford.

(1) *Rapport de la Commission de Bruges port de mer*, p. 98.

D'un autre côté, il résulte des expériences de l'ingénieur allemand Lenz, qu'il ne faut plus que le dixième de cette vitesse pour mouvoir des vases tenues en suspension (1), et cela s'explique d'après la nature de ces vases. « Quand elles sont fraîchement apportées » dit M. Piens « et qu'elles n'ont pas eu le temps de se tasser, elles flottent près du fond comme une eau boueuse et des courants de très faible intensité suffisent pour les refouler » (2).

Il ne faut toutefois pas oublier que la vase se dépose plus rapidement dans l'eau salée que dans l'eau douce ; c'est ainsi que M. Van Bemmelen, professeur de chimie à Leiden, a constaté que l'argile divisée en parties ténues se coagule facilement dans l'eau salée ; de la vase placée dans de l'eau salée peut se déposer au bout de deux heures, tandis que la même vase mise dans de l'eau douce aura besoin de vingt-quatre heures pour que ce but soit atteint (3). Il est donc essentiel, dans un port, que l'eau soit tenue constamment en mouvement, et, si cela n'est pas possible au moment des étales, qu'elle se trouve au moins dans un état d'agitation suffisante pour qu'il n'y ait pas d'atterrissement notable pendant cet intervalle.

Nous compléterons le raisonnement que nous venons de faire par un exemple que nous trouvons dans un document officiel (4).

M. l'ingénieur Charles Piens ayant déterminé la vitesse de sortie pour un projet de port à Heyst, dressé par M. de Maere et d'une superficie de 74 hectares, avec entrée d'une largeur de 200 mètres, il a trouvé

(1) *Minutes of proceedings*, t. LXX, p. 36.

(2) *Bruges port de mer*, p. 13.

(3) *Tijdschrift van het Koninklijk instituut van ingenieurs*, 1885-1886, 1^{re} partie, p. 41.

(4) *Rapport du Comité spécial sur Bruges port de mer*.

que la plus grande vitesse serait de 0^m,19 en vive eau. Il s'agit évidemment de la plus grande vitesse moyenne dans la section d'entrée.

Appliquant la formule de Dubuat, on en déduirait que la vitesse du fond est alors

$$\frac{3}{4} \times 0.19 = 0.15.$$

D'autre part, si, comme le font généralement les ingénieurs des rivières à marée, on admet que ce n'est pas la plus grande vitesse qu'il faut introduire dans les calculs, mais la moyenne entre la plus grande et la plus petite vitesse, cette dernière étant nulle, le chiffre de M. Charles Piens se réduit à 0^m,07.

D'un autre côté, nous avons dit qu'il suffit d'une vitesse de 0^m,006 pour mouvoir des vases en suspension, de sorte qu'en ce qui concerne l'entrée, la vitesse de 0^m,07 est $\frac{70}{6} = 12$ fois plus grande que le minimum exigé.

Si l'on admet, maintenant, que la vitesse va régulièrement en décroissant, depuis l'entrée du port jusqu'au fond, où nous la supposerons nulle, on en déduira que la vitesse sera partout suffisante pour entraîner les vases, sauf sur la longueur donnée par la proportion

$$x : 0,006 = L : 0,07,$$

L étant la longueur du port, d'où

$$x = \frac{1}{12} L.$$

Le port devra donc être dragué sur le douzième de sa longueur seulement. Celle-ci étant de 900 mètres dans l'exemple choisi et la largeur du chenal de 250 mètres, si l'on suppose que la couche d'enva-

sement soit, comme à Blankenberghe, de 0^m,80, la quantité de vase à enlever annuellement s'élèverait à

$$\frac{250 \times 900 \times 0.80}{12} = 15,000^{\text{m}^3}.$$

Le projet examiné par M. Charles Piens peut donc être considéré comme bien conçu au point de vue du dépôt des vases. Nous savons d'avance que les dragages à y faire ne seront pas considérables.

Le calcul de M. Charles Piens fait aussi voir immédiatement que, dans le cas examiné, une superficie de 74 hectares serait insuffisante au point de vue du dépôt des sables à l'entrée; mais, si nous admettons que la superficie soit portée au double ou à 150 hectares, comme l'avait proposé M. de Maere, et si nous admettons, d'autre part, que la largeur de l'entrée soit réduite de 200 à 150 mètres, le chiffre de 0^m,19 trouvé par M. Charles Piens devient

$$0^{\text{m}},19 \times 2 \times \frac{200}{150} = 0^{\text{m}},51,$$

et, en appliquant la formule de Dubuat :

$$0^{\text{m}},51 \times \frac{3}{4} = 0^{\text{m}},38.$$

Or, d'après Bouniceau, il suffit d'une vitesse de 0^m,22 à 0^m,30 pour mettre les sables en mouvement; il en résulte qu'avec un projet de 150 hectares, on pourrait, sans recourir au dragage, dégager l'entrée des sables qui s'y seraient déposés et même créer une fosse de garde. La superficie de 150 hectares serait donc nécessaire pour que le port fût réellement bon.

Dans le cas de Heyst, on pourrait être conduit à aller plus loin encore; ainsi que l'a fait observer M. Visart, l'emplacement projeté communique avec

la passe de Wielingen par une dépression ne présentant qu'une profondeur minimum de 6^m,20 à marée basse, de telle sorte que l'entrée du port serait accessible, en tout temps et à toute heure, aux navires tirant 5 mètres d'eau seulement; pendant huit heures à chaque marée aux navires tirant 6 mètres; pendant cinq heures aux navires tirant 7 mètres, et pendant deux heures aux navires tirant 8 mètres. Ces profondeurs sont calculées en admettant une déduction de 1^m,20 pour le creux des lames (1).

Or, pour que le port pût être considéré comme tout à fait satisfaisant, les navires du plus fort tonnage devraient pouvoir y entrer à toute heure, et alors, comme cela a été fait à Dublin, il serait nécessaire que le courant de sortie fût assez puissant pour creuser ou au moins entretenir une passe aboutissant à celle de Wielingen, où l'on trouve toute la profondeur désirable. Ici, le calcul est impuissant à donner la solution de la question; l'expérience devrait y jouer un grand rôle; nous indiquerons, à la fin du mémoire, quelles seraient les mesures à prendre.

Du moment que le chenal est creusé simplement dans le sable, il ne conserve nécessairement pas une forme bien régulière; il est exposé à s'élargir aux dépens de sa profondeur ou à se déplacer d'une manière fâcheuse pour la navigation. Il peut donc être utile, comme on l'a fait à l'avant-port de Middlesborough, de limiter le chenal par des jetées basses, ce qui assimilera complètement la théorie des ports à jetées convergentes à celle des rivières à marée, lorsqu'on a aussi recours à des jetées basses pour les améliorer. Dans ce cas, nous conseillerions d'adopter, pour les jetées, une disposition précisément inverse de celle

(1) *Rapport de la première Commission de Bruges port de mer.*

admise actuellement dans les jetées basses qui accompagnent les estacades à claire-voie, c'est-à-dire qu'elles auraient leur plus grande hauteur à l'entrée et que cette hauteur diminuerait à mesure que l'on avancerait vers le fond.

Comme résumé de ce qui précède, on peut dire qu'un port en plage de sable et en eau vaseuse réclamera d'autant moins de dragage que l'amplitude de la marée sera plus forte, l'entrée moins large, le chenal plus étroit et moins profond, que les segments seront plus grands et qu'ils iront davantage en s'élargissant depuis l'entrée jusqu'au fond du port.

D'après MM. Stoeklin et Laroche (1), un port est d'autant meilleur que sa surface est plus étendue et l'amplitude de la marée plus grande. On voit que cette formule ne diffère pas beaucoup de la précédente.

Criques d'épanouissement. — Si, lorsqu'on se sert de digues basses, on a soin d'en tenir le niveau très peu élevé vers leur extrémité, on crée ce que les ingénieurs appellent des criques d'épanouissement.

« Ce sont des enceintes établies de part et d'autre
« du chenal et communiquant avec celui-ci au
« moyen d'ouvertures pratiquées dans les jetées; les
« lames vont déferler sur les plans inclinés qui for-
« ment le fond de ces enceintes et y perdent en grande
« partie leur intensité. Pour que les criques d'épa-
« nouissement soient efficaces, il faut que le fond en
« soit très faiblement incliné et qu'il descende le plus
« bas possible du côté du chenal (2). »

Des criques d'épanouissement peuvent aussi être établies ailleurs, comme nous le dirons en parlant du port d'Ymuiden.

(1) *Des ports maritimes*, p. 63.

(2) M. De Mey, *Etude sur le régime de la côte de Belgique*, p. 144.

Cas particuliers. — Il serait possible de diminuer, dans une mesure plus ou moins forte, l'envasement et même l'ensablement d'un port, si — en arrière de celui-ci — se trouvaient des terrains bas qui pourraient être inondés, sans grand inconvénient, à chaque marée ; il s'établirait alors dans le port un courant alternatif qui contribuerait à son nettoyage ; c'est le cas qui se présente à Malamocca et à Kurachée, où il existe de grandes lagunes en communication avec le chenal du port. Un résultat analogue s'obtient lorsqu'on a à sa disposition les eaux de drainage d'une partie du pays et que ces eaux sont pures ; celles-ci, outre la chasse qu'elles produisent, tiennent dans le port la place qu'auraient occupée les eaux chargées de vase ; nous en verrons un exemple en parlant du port d'Ymuiden.

Si l'on construit un jour un port à Heyst, une des premières questions à examiner sera celle de savoir s'il ne conviendrait pas de se servir du canal de Schipdonck et même de celui de Selzaete pour y produire des chasses.

§ II. — APPLICATIONS

Port de Dublin. — Sous le rapport des obstacles qu'il a fallu vaincre et de l'intelligence avec laquelle ils ont été surmontés, nous ne connaissons point de port à jetées convergentes qui soit comparable à celui de Dublin (fig. 3 et 4, pl. V) ; nous croyons, en conséquence, devoir nous en occuper avec quelque détail, en prenant pour guides divers mémoires publiés dans le recueil des ingénieurs anglais et dont le principal est celui de M. Griffith (1) qui, comme d'habitude, a

(1) *Minutes of proceedings of the institution of civil engineers*, volume LVIII.

donné lieu à une discussion intéressante au sein de la Société des ingénieurs anglais.

La ville de Dublin est bâtie au confluent de deux petites rivières, la Liffey et la Dodder, au sommet d'une baie profonde de 10 kilomètres et large de 9 kilomètres.

De grandes quantités de sable, amenées par la mer, se sont accumulées dans cette baie, formant des plages étendues, qui assèchent, à marée basse, sur une étendue d'environ 4 kilomètres du côté de la mer. Au commencement du XVIII^e siècle, époque où l'on entama les travaux de Dublin, la Liffey et la Dodder coulaient à travers ces sables, les divisant en deux sections désignées sous les noms de North Bull et de South Bull. Le chenal ainsi formé était sujet à de continuelles altérations en profondeur et en direction.

Les premiers travaux eurent pour objet la création d'un chenal droit, entre la ville et Ringsend ; ce travail fut exécuté en 1711, et, presque simultanément, on entreprit la construction — depuis Ringsend jusqu'au lieu désigné actuellement sous le nom de Pigeon House Fort, sur une longueur de 2,421 mètres, — d'une jetée à claire-voie, que l'on prolongea ensuite de 2,994 mètres, de manière à atteindre la pointe est du South Bull, soit donc en tout plus de 5 kilomètres. Le but que les constructeurs avaient en vue était de créer à la rivière un chenal rectiligne jusqu'à la mer, de le protéger contre les vents du sud-est et d'empêcher l'invasion dans le chenal des sables du South Bull.

La jetée à claire-voie ne dura pas longtemps, son entretien étant onéreux et l'abri qu'elle offrait aux bateaux insuffisant ; vers le milieu du siècle, on la remplaça par une jetée pleine, formée d'un massif de sable compris entre deux massifs de moellons ; le travail fut

terminé en 1796 et coûta environ 200,000 livres sterling. On constata, au commencement de ce siècle, que le travail atteignait en grande partie le but pour lequel il avait été créé ; le chenal, depuis son extrémité au phare de Poolbeg jusqu'à la ville, était mieux abrité, plus droit et plus profond qu'avant la construction du môle.

Vers 1800, on commença à songer à d'autres améliorations et l'on chargea le capitaine Bligh de faire une reconnaissance du port. Il résulta de ces opérations qu'une barre partant de la côte nord s'étendait en forme de virgule à travers le chenal, dont la plus grande profondeur se trouvait entre le phare et la pointe de la virgule, où l'on sondait 8 pieds (2^m,44) à marée basse de vive eau, tandis que, dans une ligne directe vers la mer, il n'y avait qu'une profondeur de 5 pieds (1^m,52). Vers la fin de 1801, le Ballast Board, à qui était confié le service du port, signala l'utilité de construire au nord une jetée qui, partant de la côte de Clontarf, aboutirait vis-à-vis du phare de Poolbeg ; il comptait, disait-il, pour l'entretien et l'amélioration du port, sur l'admission de la plus grande quantité possible d'eau de mer et sur le reflux de cette eau convenablement dirigé, car les eaux de la Liffey et de la Dodder sont incapables, par suite de leur faible volume, de produire un effet de ce genre, la Liffey ne parvenant pas même à curer son lit étroit compris entre les quais nord et sud de Ringsend. Par la construction de la nouvelle jetée, le côté nord du port recevrait des avantages similaires à ceux qui avaient été conférés au côté sud par la jetée déjà établie, savoir un abri contre les vents d'est, de même qu'un obstacle à la marche des sables du North Bull, tandis que le creusement d'un canal plus profond à travers la barre serait probablement le résultat de la concentration du courant de jusant entre les deux jetées.

Avant de mettre son projet à exécution, le Ballast Board consulta Rennie, ingénieur alors sans rival dans les questions d'hydraulique maritime.

Après examen, Rennie déclara que le peu de bien produit par les travaux considérables déjà exécutés ne lui faisait guère espérer de grands avantages de constructions nouvelles que l'on pourrait exécuter avec une dépense modérée.

Il recommanda, toutefois, ce qui suit :

1° Construire une jetée partant de la côte de Clontarf, pour aboutir vis-à-vis de Poolbeg, en laissant une entrée d'environ 550 yards (403 mètres) ;

2° Endiguer le South Bull, de manière à créer un bassin d'environ 1,300 acres et faire une grande ouverture dans la digue du sud, près de Ringsend, pour permettre le passage de la marée dans le réservoir ;

3° Etablir des épis peu élevés sur l'estran plat, depuis le chenal jusque vers la côte de Clontarf, épis qui devraient venir en aide à la jetée du sud, dans le but de diriger le chenal et de créer un courant assez fort pour que, dans le premier quart du flot et le dernier quart du jusant, le chenal pût se curer de lui-même.

La capacité des deux réservoirs du nord et du sud était estimée à 36,000,000 de tonnes en vive eau. Malgré cette grande quantité, Rennie pensait que, même avec le concours du dragage sur la barre, on ne pouvait pas compter sur un accroissement permanent de profondeur de plus d'un pied. C'était un faible résultat pour une dépense évaluée à 252,384 livres. Pour atteindre une augmentation de profondeur de 3 pieds (0^m,91) il eût fallu, selon Rennie, prolonger la jetée nord de 1,100 yards (un kilomètre) et la jetée sud de 800 yards (732 mètres) en procédant, en même

temps, au dragage de la barre, travail qui eût dû être continué quelque temps encore après l'achèvement des jetées. Ces travaux supplémentaires étaient estimés à 403,488 livres, soit en tout 655,872 livres. Le résultat de l'avis de M. Rennie fut que, pendant une quinzaine d'années, on ne s'occupa plus d'améliorer le port ; mais, en 1814, le Ballast Board ayant reçu une forte somme d'argent, il revint à son projet favori, la construction de la grande digue du nord.

Auparavant, il jugea prudent de recourir à une nouvelle reconnaissance des lieux, laquelle fut confiée à M. Francis Giles.

Il résulta des opérations de cet ingénieur qu'en mer basse de vive eau, il y avait une profondeur de 6 1/2 pieds sur la barre dans le chenal direct ou de l'est ; à l'orient de Pigeon-House jusque près de Poolbeg, la plus grande profondeur était seulement de 7 pieds, et à l'ouest de Pigeon-House jusqu'aux quais, elle n'était plus que de 2 à 4 pieds.

A la suite de ses études, M. Giles proposa la construction de la jetée du nord, mais il recommanda d'y ménager, près de la côte, une ouverture d'une largeur de 600 pieds, de manière à laisser un libre passage aux eaux de marée qui circulent au nord de Green-Island (île verte) située sur le North Bull. M. Giles appuyait son avis sur les considérations suivantes :

1° L'île verte s'est tellement agrandie qu'elle pourra agir comme une barrière entre les sables du North-Bull et le chenal situé au nord de l'île et elle empêchera ces sables d'être entraînés dans le port par l'ouverture proposée ;

2° Les eaux de marée arrivent dans le chenal du nord, aussi bien de l'ouest, venant de la pointe de Clontarf, que de l'est, venant du côté de Sutton et s'en vont de la même façon ; en conséquence, l'ouver-

ture proposée permettrait à un grand volume d'eau d'exécuter un mouvement de va et vient entre l'est et l'ouest et augmenterait ainsi la capacité du port ;

3^o Rien n'empêcherait, d'ailleurs, de considérer cette ouverture comme provisoire ; mais si l'expérience constatait qu'elle ne donne pas un résultat suffisant et qu'il est désirable d'augmenter le volume d'eau, M. Giles proposerait de construire une digue de l'île jusqu'à la côte, au nord de cette île, en formant ainsi un réservoir additionnel d'environ 7,000,000 de tonnes, entre le niveau de marée basse et celui de marée haute en vives eaux ; ces eaux devraient nécessairement traverser le port et couler à travers la barre.

L'intention de M. Giles était, d'ailleurs, d'élever la digue nord à 6 pieds (1^m,83) au dessus de marée haute de vive eau et de donner à l'entrée une largeur de 500 à 700 yards (460 à 640 mètres).

A la suite de cette étude, la digue nord fut commencée en 1820 et son exécution fut poussée avec vigueur.

L'action du nouveau môle ne se fit pas attendre, on constata bientôt une augmentation du courant au delà de Poolbeg et des changements dans les bancs de sable voisins. On en conçut même quelques inquiétudes et, en 1822, le Ballast Board s'adressa à Telford pour en obtenir un rapport sur la situation des travaux et les résultats qu'ils avaient déjà produits.

Il résulte du rapport de Telford que la jetée était terminée sur une longueur de 5,500 pieds (1,677 mètres) à une hauteur de 6 pieds au dessus de marée haute de vive eau, qu'elle était exécutée sur 1,500 pieds de longueur jusqu'au niveau de marée haute de morte eau et sur environ 500 pieds jusqu'au niveau de marmarée. Il constata que les bancs de sable, du côté intérieur du môle, s'étaient considérablement abaissés

et que la partie de la barre située vis-à-vis de l'entrée s'était approfondie de deux pieds, de sorte qu'il s'était déjà formé, à travers la barre, un nouveau chenal de 8 à 9 pieds de profondeur en basse mer de vive eau. Telford considérait que la largeur de l'entrée était encore trop grande ; il recommandait de prolonger la jetée, mais de ne pas l'élever au dessus de mi-marée, jusqu'à ce que l'on se fût bien rendu compte de ses effets. Le Ballast Board adopta cet avis et le travail fut poursuivi en conséquence.

La grande digue du nord fut achevée en 1825 ; elle avait coûté 95,000 livres ; sa longueur totale dépasse 9,000 pieds.

On a beaucoup discuté, en Angleterre, la question de savoir si les deux étages dont la digue est composée sont une chose utile ou nuisible. Ceux qui soutiennent le premier parti disent que l'extrémité de la jetée ne s'élevant pas au dessus de mi-marée, la vitesse d'entrée et de sortie vers l'époque de la mer haute est faible, ce qui facilite la navigation, alors la plus active ; mais, lors de la vidange, dès que la partie la plus basse de la jetée est découverte, tout ce qui reste de la marée doit passer par la section réduite de Poolbeg, d'une largeur de 1,000 pieds seulement (305 mètres). Il en résulte une grande augmentation dans la vitesse du courant qui, parfois, dépasse 1^m,30 par seconde, à l'époque des vives eaux, et exerce une action considérable sur le sable dont la barre est formée. D'autres prétendent qu'il aurait mieux valu élever la jetée à une hauteur uniforme de 6 pieds au dessus de marée haute, sauf à donner à l'entrée une largeur plus grande de 200 à 300 pieds, qu'ainsi le port aurait été mieux abrité, que rien n'eût été à redouter au sujet d'une trop grande vitesse du courant et, bien que la vitesse à la sortie eût pu être moindre après la mi-

marée, qu'on aurait disposé d'une quantité d'eau plus grande agissant pendant un temps plus long, de sorte que son action sur la fosse de garde et sur la barre n'aurait pas diminué. Nous sommes assez disposé à partager cette manière de voir.

Dès l'année 1833, la profondeur de la passe sur la barre s'était accrue de 10 pieds et l'on avait exécuté des améliorations considérables au chenal depuis Poolbeg jusqu'aux quais, au moyen du dragage; mais, vers cette époque, il survint un événement qui causa une grande inquiétude; on constata qu'il se formait, à l'intérieur du port, non loin de son extrémité, un banc de sable. Ce banc, qui a persisté depuis et auquel on donne le nom de « Mumbles » a dû être dragué, et l'opération est à recommencer tous les deux ou trois ans; l'origine de ce banc doit évidemment être attribuée à ce que les jetées agissent à la façon des épis. Le sable étant d'excellente qualité, il est emmagasiné après chaque dragage et trouve un emploi avantageux dans l'industrie.

Ensuite de la reconnaissance faite par les soins de l'Amirauté en 1873, il fut constaté qu'il existait, à travers la barre, un chenal de 16 pieds de profondeur à basse mer de vives eaux, ce qui constituait un accroissement de près de 10 pieds depuis la construction de la grande jetée du nord.

L'accroissement rapide de profondeur, qui eut lieu dans les premières années après la construction, fut accompagné de ce qu'on peut appeler un mouvement de la barre vers l'est, comme si le sable enlevé était passé d'un versant sur l'autre; c'est ce qui se comprendra mieux par une comparaison des sections prises en travers de la barre en 1819 et en 1856 (fig. 5, pl. V). On voit qu'il y a une distance considérable entre les versants orientaux de la barre à ces deux

époques ; mais ils semblent être restés invariables de 1856 à 1873; la crainte que l'on avait éprouvée d'aboutir finalement à un simple refoulement de la barre, sans changement de profondeur, n'était pas fondée.

La superficie du port, comprise entre les deux jetées, ou ce qu'on peut appeler le bassin de curage est actuellement de 2,350 acres (950 hectares), dont 700 acres ne se découvrent pas à marée basse.

La capacité totale du port, à marée haute de vive eau, est de 30,000,000 de tonnes, et la capacité au dessus de mi-marée est de 19,000,000 de tonnes. On voit, par ces chiffres, qu'une grande partie de ce cube n'est pas utilisée pour le curage et, en second lieu, que, quant à son action sur celui-ci, la Liffey doit être considérée comme une quantité négligeable. Les eaux sales, déversées par elle dans le port, sont entraînées par la marée descendante ; à marée basse seulement, elle pourrait y déposer de la vase, mais la durée de l'étale n'est pas assez grande pour que le dépôt puisse avoir lieu sur une grande échelle.

La capacité du port va constamment en augmentant par le fait que le sable descend de l'estran vers le chenal, à mesure que le niveau des eaux s'abaisse ; mais cet avantage est compensé, au moins en partie, par le fait qu'il faut enlever à la drague les sables ainsi entraînés dans le chenal.

Dans l'intérieur du port, le chenal s'est approfondi à marée basse, par l'action du courant, de 8 à 14 pieds 6 pouces, sur une longueur de 1,000 pieds.

Immédiatement à l'extérieur, le chenal s'est abaissé de 14 pieds à 29 pieds, sur une longueur d'environ 2,000 pieds. La partie la moins profonde de la barre se trouve à environ 3,500 pieds de l'extrémité des jetées. L'action du courant sur le fond paraît avoir cessé à environ un mille (1,609 mètres) au delà de l'ex-

trémité des môles, la profondeur étant, comme en 1819, de 16 pieds. A 1 3/4 mille de distance, la profondeur est de 23 pieds, et à 2 milles, de 30 pieds.

La construction des môles a donné lieu à une accumulation considérable de sable dans les angles extérieurs qu'ils forment avec la côte ; c'est une propriété générale que possèdent les épis ; le sable est d'abord jeté sur l'estran par les lames et ensuite transporté par les vents jusqu'à ce qu'il rencontre un obstacle qui l'arrête ; les lames et les courants sous-marins peuvent produire le même effet, surtout pour la partie de la plage située au delà de la laisse de basse mer.

Les épis employés en lit de rivière donnent lieu à des atterrissements qui restent toujours en arrière de la ligne unissant leur musoir, et il semble, dès lors, que la même loi doive s'appliquer aux môles ; seulement, ici, les atterrissements seront limités par une courbe tournant sa concavité vers la mer et dont l'une des extrémités se rapprochera de l'un des musoirs et l'autre se rattachera à la rive en un point où la situation des lieux n'aura pas changé ; on doit donc s'attendre à de volumineux dépôts de sable en arrière des jetées et rien n'empêche qu'ils ne s'élèvent à une grande hauteur ; mais ils ne s'étendront pas assez loin pour gêner l'entrée du port ; c'est ce que l'on observe à Dublin, où les cartes de l'Amirauté ne signalent que des déplacements insensibles de la laisse de basse mer depuis 50 ans (1). On trouve donc vérifiée ici cette loi que ce sont les jetées à claire-voie qui sont redoutables au point de vue de l'agrandissement de la plage et non pas les jetées pleines.

Nous avons parlé d'une amélioration proposée par Rennie et consistant dans la création d'un vaste résér-

(1) *Minutes of proceedings, etc.*, t. LVIII, p. 131.

voir derrière la jetée sud et l'établissement d'épis le long du chenal. M. Griffith n'est pas partisan de la création de ce réservoir ; il désire conserver cet espace pour servir à l'accumulation des sables qui, sans cela, se déposeraient en dehors de la digue projetée par Rennie ; la laisse des basses mers serait ainsi rapidement reportée vers le large, et, selon toute probabilité, constituerait un grave obstacle à la conservation d'un chenal profond à travers la barre.

Nous ne partageons pas les craintes de M. Griffith ; s'il se forme des dépôts de sable derrière les jetées, c'est que l'espace est éminemment propre à la formation de ces dépôts ; si cet emplacement n'existait pas ou, en d'autres termes, s'il n'y avait pas de plage, les sables resteraient dans la mer où ils ne pourraient pas exercer d'action nuisible.

En ce qui concerne les épis proposés par Rennie, celui-ci avait pris pour guides les travaux qu'il avait exécutés sur la Clyde ; mais, depuis longtemps, on a cessé d'en faire usage dans les rivières à marée et on préfère les remplacer par des digues longitudinales ; nous estimons que de pareilles digues auraient été utiles à Dublin, pour déterminer le départ des sables du chenal, et elles le seraient encore aujourd'hui, s'il était constaté que les petits affluents qui se jettent dans le port amènent avec eux des détritits ne pouvant s'enlever que par le dragage.

Malgré les perfectionnements qu'il pourrait être utile d'apporter au port de Dublin, les deux problèmes principaux dont l'ingénieur doit se préoccuper nous paraissent y avoir été supérieurement bien résolus, d'abord par la formation d'une belle fosse de garde qui, avec les deux môles, forme un obstacle sérieux à l'introduction du sable dans le port, et ensuite par la création au nord du chenal d'un vaste segment, for-

mant un réservoir de chasse, qui entraîne les vases en suspension à chaque marée descendante. Dans bien des cas, on serait obligé, comme cela a été fait à Tynemouth, de reporter l'extrémité des jetées jusqu'au delà de la barre et de draguer celle-ci ; à Dublin, il aurait fallu, à cet effet, prolonger les jetées chacune de 1 1/2 kilomètre environ, et c'est ce que les constructeurs sont parvenus à éviter, grâce au vaste réservoir dont ils disposaient et à l'heureuse idée qu'ils ont eue de construire des jetées formant entre elles un angle aigu. Comme nous l'avons vu, ils auraient pu obtenir un résultat équivalent même si le port avait eu une capacité notablement moindre ; il leur eût suffi d'élever les deux jetées jusqu'au dessus de marée haute et au besoin de réduire la largeur de l'entrée qui pourrait être inférieure à 1,000 pieds, sans que la navigation ait à en souffrir.

Port de Howth. — Le port de Howth (fig. 4 et 6, pl. V) paraît être le premier de l'espèce dont on ait entrepris la construction ; il fut commencé en 1807 par l'ingénieur Rennie et terminé en 1825, au prix de 346,600 livres sterling.

Il est placé au nord de la colline de Howth, qui termine, dans cette orientation, la baie de Dublin.

Le port est formé de deux jetées enracinées à terre, distantes l'une de l'autre de 610 mètres à la côte. La jetée est est longue de 747 mètres et coudée, les deux parties ayant respectivement 396 mètres et 351 mètres de longueur ; celle de l'ouest est droite, se dirige vers le nord-est et a une longueur de 579 mètres ; ces jetées avancent jusqu'aux profondeurs de 3^m,60 à marée basse et laissent entre leurs musoirs une ouverture de 107 mètres. La superficie du port est d'environ 21 hectares. La mer marne à Howth de 3^m,96 en vives eaux et de 3^m,05 en mortes eaux. Depuis la construc-

tion du port de Kingstown situé au sud de la baie et l'achèvement du port de Dublin, celui de Howth a perdu toute son importance et ne sert guère qu'aux pêcheurs de la localité. Comme nous l'avons dit, il n'avait été construit que parce qu'on ne croyait pas alors à la possibilité d'établir des ports en eau vaseuse.

Il s'est ensablé et n'est plus praticable qu'à mer haute aux navires d'un tirant d'eau moyen. Les autorités publiques n'allouent d'ailleurs presque pas de fonds pour son entretien.

La digue ouest a arrêté le mouvement du sable le long de la côte, et, en conséquence, la laisse de basse mer s'est avancée jusqu'aux deux tiers de la longueur de la jetée, où elle paraît s'être arrêtée.

Divers auteurs, tels que MM. Stoeklin et Laroche (1) attribuent la diminution de profondeur aux eaux qui sortent du port de Dublin ou qui proviennent de la baie et qui vont ensuite, en partie du moins, passer devant le port de Howth, au remplissage duquel elles contribuent. M. Vernon-Harcourt (2) est d'avis que l'action de ces eaux ne s'étend pas jusque là. En réalité, le port de Howth doit son insuccès à deux causes; sa capacité est trop petite pour que les eaux qui en sortent aient une puissance suffisante pour balayer l'entrée et donner lieu à la création d'une fosse de garde. En second lieu, l'entrée du port est perpendiculaire aux courbes de niveau; il reçoit ainsi en plein le courant de jusant; bien que le port se vide en ce moment, le courant d'émission n'est pas suffisant pour lutter contre le courant de jusant qui entre dans le port et vient y déposer le sable qu'il entraîne avec lui; comme dans le cas de deux courants de force inégale

(1) *Des ports maritimes*, p. 60.

(2) *Harbours and docks*, p. 200

qui luttent l'un contre l'autre, on doit constater alors dans l'entrée deux mouvements en sens contraire, l'un dirigé vers l'intérieur et l'autre vers l'extérieur.

Nous ne nous sommes occupé du port de Howth qu'à cause des défauts que nous venons de signaler et qu'il importe d'éviter dans les travaux de l'espèce.

Port de Madras. — Le port de Madras mérite, par le succès qu'il a obtenu et par une faute que l'on y a commise, de fixer l'attention des ingénieurs. Il a donné lieu à des articles intéressants de MM. Vernon-Harcourt (1), Eyriaud des Vergnes (2) et de Maere (3). C'est principalement à ces sources que nous puiserons notre appréciation au sujet du port de Madras.

La côte qui s'étend devant Madras est sableuse ; elle se dirige en ligne droite du nord au sud, et elle est célèbre par le ressac continu qui y règne et qui rend difficile et parfois dangereuse l'approche des vaisseaux.

Les vents qui dominent dans cette région sont des vents périodiques, connus sous le nom de moussons du nord-est et du sud-ouest. La mousson du nord-est produit une mer clabardeuse, où les vagues arrivant du nord-est et venant frapper obliquement la côte, donnent lieu à un transport de sable vers le sud. Ce vent souffle de novembre à avril. La mousson du sud-ouest, qui souffle de mai à octobre, occasionne une houle de fond qui marche dans la direction du nord-ouest, et il en résulte un transport de sable vers le nord ; ainsi, l'action des moussons donne lieu à des mouvements analogues à ceux que produisent les courants le long d'autres côtes, mais avec une périodicité plus longue ;

(1) Vernon-Harcourt. *Harbours and docks*, p. 290 et suivantes.

(2) Eyriaud des Vergnes. *Annales des ponts et chaussées*. Livraison, février 1889.

(3) de Maere. Ouvrage inédit.

c'est la mousson du sud-ouest qui facilite le plus les accumulations de sable contre les parties saillantes de la côte. L'estran a une pente très raide, près de terre, entre le zéro et la courbe de 7 mètres ; le talus s'adoucit beaucoup au large. En vive eau, l'amplitude de la marée est d'environ 1 mètre.

L'importance de la ville de Madras et l'absence d'un abri dans le voisinage avaient fait penser, depuis longtemps, à y établir un port ; mais la crainte perpétuelle qu'éprouvent les ingénieurs maritimes, au sujet de l'avancement de la laisse des basses mers et dont un ingénieur des rivières se rendrait difficilement compte, y avait fait renoncer jusque dans ces derniers temps ; on appréhendait que la mousson du sud-ouest n'accumulât le sable contre la jetée, au point de le faire dépasser bientôt l'extrémité de celle-ci, ce qui eût mis le port hors d'usage.

M. Parkes, l'auteur du projet, eut à soutenir une lutte de plusieurs années contre ses adversaires. Il faisait observer que ceux qui exprimaient de si vives appréhensions ne les motivaient guère ; qu'il était vrai que l'élargissement de la plage serait d'abord rapide, mais qu'il était absurde de prétendre que le sable s'avancerait aussi vite pour un deuxième allongement de 100 mètres que pour le premier ; pour le troisième, aussi vite que pour le deuxième, et ainsi de suite. Chaque fois que la plage gagnerait 100 mètres, la profondeur de l'eau augmenterait et l'avancement serait de plus en plus lent. On peut citer, disait-il, plusieurs cas où des épis et des jetées ont été élevés sur des plages sablonneuses, comme celle de Madras, et où l'élargissement de l'estran, rapide au début, s'est ralenti au bout de peu d'années, de telle manière qu'il aurait fallu un temps illimité avant qu'il pût atteindre la tête de l'obstacle et que, pratiquement, la question dispa-

raissait. M. Parkes terminait en disant que si, au bout d'un siècle ou deux, l'inconvénient redouté se présentait, il suffirait de prolonger un peu les jetées pour donner au port une nouvelle durée. Il est étonnant que M. Parkes n'ait pas ajouté qu'en tout état de cause, on pourrait recourir au dragage, pour combattre les faibles apports annuels qui, éventuellement, gêneraient l'entrée du port.

Le projet adopté (fig. 7, pl. V) consiste simplement en deux jetées pleines, distantes de 3,000 pieds (915 mètres) à la côte, établies normalement à celle-ci et longues également de 3,000 pieds; les jetées se recourbent ensuite de manière à ce que les bras forment, avec la direction primitive, un angle de 70 degrés; ces bras, y compris les courbes, ont respectivement pour longueur, celui du nord, 855 pieds, et celui du sud, 970 pieds; les musoirs laissent entre eux une ouverture de 550 pieds (167^m,75) parallèle à la côte; l'aire comprise entre les jetées est de 220 acres (90 hectares) environ.

Les travaux furent commencés, savoir, la jetée du nord, en 1876, et celle du sud, l'année suivante. L'avancement des travaux amena bientôt l'accumulation des sables; mais, comme la jetée du nord avait été commencée la première, le sable s'accumula sur son côté sud et, par conséquent, dans l'intérieur du port; cette accumulation continua quelque temps après que la jetée sud fut commencée; le sable s'éleva même jusqu'à une certaine hauteur au dessus des premières assises en enrochement, de manière à recouvrir celles-ci, ce qui causa des difficultés sérieuses pour le placement des blocs de béton qui devaient reposer sur cette fondation. L'inconvénient, toutefois, disparut dès que les môles atteignirent la profondeur de quatre fathoms (7^m,30); lorsque la jetée du sud fut parvenue à cette

cote, tout mouvement de translation du sable vers le nord s'arrêta (1).

Les travaux marchèrent sans encombre pendant un intervalle de six ans, et ils étaient à la veille de leur achèvement, lorsque survint le cyclone du 12 novembre 1881, d'où résulta une mer violente qui endommagea considérablement les bras des jetées ; les assises supérieures de ces bras furent plus ou moins déplacées ou même totalement renversées sur toute leur étendue. Les parties courbes des jetées particulièrement éprouvèrent un dommage considérable, la construction ayant été affouillée et partiellement renversée ; mais, quant aux parties rectilignes, à angle droit sur la côte, elles restèrent intactes. On observa que les crêtes des vagues, durant la tempête, étaient presque parallèles au bras de la jetée du nord, de sorte que ces vagues doivent avoir agi avec toute leur puissance contre cette partie de la construction, et avec une violence un peu inférieure, quoique toujours considérable, contre le bras du sud, qui souffrit un peu moins que le premier.

En ce qui concerne la partie antérieure de la jetée du nord, les vagues ne l'ont attaquée que dans une direction tout à fait oblique, et elles ont été sans action sur la partie correspondante du sud. Nous voyons donc ici un nouvel exemple du danger auquel sont exposés les bras et leurs raccordements curvilignes dans les mers violentes.

Nous avons dit que ce que l'on redoutait surtout pour le port de Madras, ce n'était pas la violence des

(1) Un mouvement oscillatoire du sable a lieu sur la côte de Madras, à partir de la profondeur d'environ 7 mètres ; il se meut vers la côte, de février à septembre, en donnant lieu à la formation d'un banc ; c'est celui-ci qui apporta un si grand obstacle à la construction des jetées ; il est refoulé vers la mer pendant la partie restante de l'année.

vagues, mais bien l'élargissement de la plage ; l'expérience a prouvé, comme on devait s'y attendre, qu'un avancement a effectivement eu lieu d'année en année du côté sud du port, comme l'indique la fig. 7, pl. V.

L'accumulation a lieu pendant la mousson du sud-ouest ; mais une portion assez considérable du sable ainsi amené est reprise par la mer pendant la mousson du nord-est, de sorte que l'avancement en est notablement réduit, et il le sera de plus en plus, à mesure qu'il s'approchera des profondeurs plus grandes. Une certaine quantité de sable passe aussi à travers la jetée méridionale, par les interstices que les blocs laissent entre eux, mais il se dépose tout contre cette jetée et peut être facilement enlevé par le dragage ; c'est aussi un effet qui disparaîtra avec le temps.

Les sables de la côte de Madras ne peuvent pas être soumis à l'action des lames, dès que la profondeur dépasse 7 à 8 mètres ; de sorte qu'il est peu à craindre que ces lames n'introduisent du sable dans le port, même pendant les tempêtes, les musoirs étant établis à une profondeur de 13^m,70. De légers changements de profondeur se sont, toutefois, produits dans l'intérieur du port ; la profondeur s'est accrue quelque peu en deçà de la courbe de 8 mètres, par rapport à la côte, tandis qu'une diminution de profondeur a eu lieu le long de celle-ci. Le résultat paraît être dû à l'action des vagues qui entrent dans le port et il varie avec les moussons. Cet effet eût été probablement plus sensible et le calme dans le port eût été bien moindre si M. Parkes n'avait limité la largeur de l'entrée à 550 pieds ; c'est une amélioration sensible sur le port d'Ymuiden, qui lui a servi de modèle, et où l'ouverture a une largeur excessive de 250 mètres. La faible largeur de l'entrée et la grande profondeur où l'on a placé les musoirs constituent, à notre avis, les deux

grands mérites du port de Madras; il se trouve bien barricadé contre l'entrée des sables qui, d'ailleurs, à cause de la raideur du talus, éprouvent plus de difficulté à entrer qu'à sortir; quant aux vases, il n'en est pas question sur cette partie de la côte du Coromandel, et c'est une circonstance fort heureuse, attendu que, vu la faible amplitude de la marée et le peu d'étendue du port, on ne pourrait pas compter sur le courant de sortie pour en obtenir l'évacuation.

Port d'Ymuiden (fig. 1, pl. VI). — Il n'y a peut-être pas de port sur lequel on ait autant écrit que celui d'Ymuiden (1), et nous n'en connaissons pas non plus, dont l'étude soit plus intéressante à divers points de vue; nous allons, par suite, nous en occuper avec plus de détails que nous ne l'avons fait pour les ports précédents de Howth et de Madras.

L'enceinte du port d'Ymuiden est limitée par deux jetées en béton, dont chacune a une longueur de 1,528 mètres; l'intervalle qui les sépare à leur enracinement à la côte est de 1,200 mètres; les jetées sont rectilignes sur une longueur de 1,198 mètres, formant avec la ligne qui unit leur base, un angle intérieur de 78 degrés; les bras qui les terminent, longs de 250 mètres, font entre eux un angle droit et sont raccordés avec les premières parties des jetées par un arc de cercle de 80 mètres de développement. L'extrémité

(1) Voici quelques ouvrages dans lesquels on peut trouver des renseignements étendus sur le port d'Ymuiden :

1° M. De Mey. *Etude sur le régime de la côte de Belgique*, pp. 264 et suivantes.

2° Hayter. *On the Amsterdam ship canal. Minutes of proceedings of the institution of civil engineers*, t. LXII.

3° M. Conrad. *Tijdschrift van het Koninklijk instituut van ingenieurs*, 1885-1886, eerste gedeelte, pp. 31 et suivantes, et même publication, année 1889-1890, pp. 77 et suivantes.

De notre côté, nous avons visité ce port, et MM. les ingénieurs hollandais, avec leur amabilité habituelle, nous ont donné tous les renseignements que nous avons trouvé bon de leur demander.

des jetées est placée dans le fond de 8 mètres sous marée basse.

L'entrée, occupant approximativement la position ouest-nord-ouest, a une largeur de 260 mètres ; mais, à cause des blocs de béton qui protègent le pied des musoirs, on ne peut guère compter que sur un passage utile de 200 mètres.

La hauteur des môles n'est pas constante ; sur une longueur de 650 mètres pour celui du nord et de 750 pour celui du sud, elle est de 5 mètres au dessus des basses mers de vives eaux ; sur les 118 mètres suivants, la hauteur, qui est conservée jusqu'à leur extrémité, s'élève à 6 mètres.

La surface du port est de 92 hectares à marée basse et de 102 hectares à marée haute ; la différence provient de ce que la plage n'a pas été enlevée jusqu'au pied des dunes. Du côté du chenal, la plage est soutenue par des digues basses.

Le chenal présente une largeur de 250 mètres et une profondeur de 7^m,60 sous marée basse, à partir de l'entrée du port, et sur 1,155 mètres de longueur ; l'axe de ce chenal est assez sensiblement dirigé de ouest-nord-ouest vers est-sud-est.

Le canal d'accès, qui réunit l'avant-port avec les écluses, a 1,400 mètres de longueur ; sa profondeur est de 7^m,60, sa largeur au plafond de 38 mètres et, au niveau de flottaison, de 90 mètres ; la direction de son axe est approximativement celle de l'ouest à l'est.

Dans la région d'Ymuiden, la largeur de la plage jusqu'à la laisse des basses mers est, en moyenne, de 160 mètres. L'estran sous-marin qui la précède est très faiblement incliné ; les lignes de niveau de 2^m,50, de 5 mètres et de 8 mètres se trouvent respectivement à 450, 900 et 1,600 mètres du pied de la dune, au delà desquelles on rencontre une pente encore plus douce,

qui raccorde l'estran avec un plateau horizontal de 8 milles de largeur, à 15 mètres sous basse mer.

Il ne se trouve aucun banc dans le voisinage de la côte.

Le régime des vents est caractérisé par la fréquence des vents d'ouest ou du sud-ouest ; les tempêtes soufflant du nord-ouest y ont le plus de violence.

La hauteur moyenne de la marée est de 1^m,70 et, lors des vives eaux, la hauteur est de 1^m,90.

La vitesse maxima moyenne du courant de flot est de 45 mètres par minute ; en vives eaux, elle est de 1/5 plus grande et en mortes eaux de 1/5 plus petite.

La vitesse du courant de jusant est les 3/4 de la vitesse maxima du courant de flot.

Ces courants ne sont pas giratoires ; ils sont parallèles à la côte ou aux courbes de niveau.

Le courant de flot et celui de jusant ont la même durée.

Dans les profondeurs de 4 à 10 mètres, les courants sont équivalents, bien qu'à la surface celui de flot soit un peu plus fort que celui de jusant.

Après cette description des lieux, il nous reste à exposer ce qui s'y passe ou s'y est passé.

Le projet, tel qu'il était conçu et tel qu'on a essayé de l'exécuter, comprenait un bassin de forme elliptique destiné à servir de refuge aux vaisseaux chassés par le mauvais temps ; le grand axe avait 1,155 mètres de longueur et le petit 650 ; la surface étant ainsi d'environ 60 hectares, la profondeur devait être de 7^m,60 à l'entrée et de 6^m,60 à l'autre extrémité.

Le volume total des dragages à exécuter pour creuser cette surface elliptique avait été évalué à 1,500,000 mètres cubes ; mais, lorsqu'on eut exécuté près de 4,500,000 mètres cubes mesurés dans les chalands, il restait encore 500,000 mètres cubes à enlever pour

réaliser la profondeur voulue ; du 4 octobre 1878 au 30 novembre 1879, alors que l'on essayait encore de mettre la surface elliptique à la profondeur voulue, on a dragué 765,000 mètres cubes mesurés dans les chandls, et, malgré cela, le cubage des travaux effectués n'accusait qu'une diminution de 4,000 mètres cubes, et, à cette époque, le mètre cube de dragage coûtait encore plus d'un florin.

On se décida alors à se contenter d'un chenal de 250 mètres de largeur, qui forme en quelque sorte un diminutif de l'ellipse ; au point de vue du passage des navires, une pareille largeur n'est pas nécessaire, en effet, à la navigation ; dans bien des ports, on se contente, pour le chenal, d'une longueur de 70 à 100 mètres (1).

Nous devons faire observer que l'on s'est écarté ici de l'une des règles fondamentales de l'art de l'ingénieur, règle d'après laquelle il ne faut faire d'abord, dans des ouvrages de l'espèce, que le strict nécessaire, sauf à exécuter ensuite des travaux supplémentaires, si l'expérience en démontre la possibilité et la nécessité.

Or, l'expérience a démontré que l'avant-port d'Ymuiden ne constitue pas un bon port de refuge ; les vaisseaux y sont trop battus par le vent, et, d'un autre côté, l'entrée est trop large pour que l'on y obtienne un calme convenable. Dans les tempêtes seulement, quand le nombre de vaisseaux à garer est considérable, on se sert du port comme lieu de refuge temporaire. C'est dans le canal d'accès aux écluses que les vaisseaux vont se réfugier de préférence, parce qu'ils y sont abrités par les dunes. Malheureusement, le canal,

(1) A Ostende et à Dunkerque, le chenal a 70 mètres ; à Boulogne, 80 et à Calais, 100.

comme nous l'avons dit, n'a que 38 mètres de largeur au plafond, et les bateaux de pêche, devenus très nombreux à Ymuiden, sont les premiers à venir l'occuper. M. Conrad a proposé, dans l'intérêt de ces bateaux, la création d'un refuge particulier qui aurait 370 mètres de longueur et 120 de largeur, et une profondeur de 4^m,10 sous marée basse. D'autre part, la création d'une nouvelle écluse plus grande que les deux autres et qui doit avoir son canal d'accès particulier, améliorera la situation; celle qui existe actuellement est loin de pouvoir être considérée comme satisfaisante à tous égards.

Par le fait de la présence des jetées, le courant de flot, de même que celui de jusant, se trouvent nécessairement renforcés vis-à-vis de l'entrée; on a constaté que le flot, avec des vents modérés de l'ouest au nord, avait une vitesse maximum de 1^m,10 à 1^m,25 vis-à-vis du musoir de la jetée sud, et le jusant, observé vis-à-vis de la jetée nord, avec des vents modérés de l'est-nord-est, une vitesse maximum de 0^m,55 à 0^m,70 par seconde.

La partie du courant de flot qui vient buter contre la jetée sud-est déviée le long de celle-ci, où elle trace un profond sillon et vient rejoindre le courant non modifié en deçà de l'entrée; là, il se produit une bifurcation, une partie du courant continue sa voie, tandis que l'autre entre dans le port; sa partie la plus active longe la jetée nord, court parallèlement à cette direction avec une énergie qui va en diminuant, traverse le chenal en deçà des digues basses et se perd dans la partie sud du port.

Une partie du courant de jusant longe de même la digue nord, en traçant un sillon; mais aucune partie de courant n'entre dans le port, qui est alors en vidange; le courant d'émission se réunit au courant de jusant,

pour former un courant unique qui se dirige vers la pleine mer.

L'augmentation de vitesse qu'éprouvent les courants de flot et de jusant a donné lieu à la création d'une fosse qui commence un peu au delà de la sortie du port; on la voit très bien dessinée sur la courbe de 11 mètres de profondeur et elle se termine un peu plus loin vers la mer. Il n'est pas douteux, selon nous, que si les jetées avaient été plus longues, cette fosse aurait acquis une importance plus considérable, par suite de la concentration des courants (1) et il en serait résulté deux avantages : les sables qui pénètrent actuellement dans le port auraient éprouvé plus de difficulté à remonter le talus, et, d'autre part, les musoirs étant placés dans une eau plus profonde, l'action des lames se serait moins fait sentir sur le fond; on aurait, ainsi, réalisé, d'une manière artificielle, les avantages que la nature a accordés aux ports de Kingstown et de Madras.

M. Conrad, à qui nous devons une excellente description des phénomènes qui se produisent dans le port d'Ymuiden, sans laquelle il nous eût été bien difficile d'écrire cet article, va nous mettre à même d'exposer ce qui se passe quant à l'ensablement et à l'envasement.

Le courant de flot, dévié, dont nous avons parlé, donne lieu à un dépôt de sable du côté nord de l'entrée, dépôt qui est à cheval sur cette entrée; bien qu'il s'étende notablement plus à l'intérieur qu'à l'extérieur, il paraît s'engraisser fortement à l'extérieur, lors des

(1) M. Conrad nous apprend que cette concentration se fait déjà actuellement lorsque les vents soufflent avec violence du côté de la terre; la situation devient alors essentiellement meilleure en dehors de l'entrée; une grande partie du sable qui s'y était déposé est entraînée par le courant. (*Tydschrift*, 1885-1886, 1^{re} partie, p. 32.)

ouragans puissants dont la durée est longue ; pendant les temps ordinaires, le dépôt journalier de sable est assez faible. Le dépôt de sable s'étend sur une longueur de 100 mètres environ dans l'intérieur du port ; au delà, on trouve du sable vasard et de la vase ; le sable se rencontre toutefois jusque dans le canal d'accès, mêlé à une plus ou moins grande quantité de vase ou d'argile délayée ; contrairement à ce qui a lieu pour le sable, le dépôt des matières légères diminue lors des fortes marées, parce que le courant d'émission, devenu plus puissant, est alors mieux à même de les emporter.

Les ingénieurs hollandais ont représenté par des teintes les quantités de matière à enlever chaque année sur des carrés de 10 mètres de côté ; le dessin fait assez bien l'effet d'une comète, dont le noyau de sable déborde à l'extérieur ; c'est au nord de l'axe du chenal que les dépôts sont les plus forts.

Le noyau, qui s'étend dans l'intérieur du port, sur une longueur approximative de 100 mètres, comprend une surface d'environ 2 hectares 25 ares ; de grands changements de profondeur s'y manifestent parfois dans un temps bien court, pendant les grands vents du sud-ouest au nord-ouest. Le 31 juillet 1883, le sémaphore avait accusé une profondeur de 7^m,60 ; pendant la première moitié du mois d'août, il y eut de grands vents d'ouest ; ils furent particulièrement violents du 8 au 10, et, le 14, on constata que la profondeur s'était abaissée jusque 6^m,60. Du 1^{er} août au 31 septembre, il s'était déposé 82,000 mètres cubes de sable et de vase dans le chenal.

La situation, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, était passablement bonne le 29 décembre 1883 ; mais elle était devenue très mauvaise le 8 février 1884. Du 20 au 30 janvier, il régna une forte tempête venant de

l'ouest et du nord-ouest. Devant le musoir de la jetée du nord, on ne sonda que 4^m,60 et, en dehors du port, le relèvement au sud de l'axe était de 0^m,70 à 1^m,30 et au nord de 2 à 3 mètres ; sur les 2^{hect.},25 dont nous avons parlé, l'exhaussement moyen, au sud de l'axe, était de 1 mètre et au nord de 1^m,40, et, sur toute la surface, en moyenne, de 1^m,30, de sorte qu'il s'était déposé, sur cette surface, environ 30,000 mètres cubes de sable. Ces dépôts, qui réduisent considérablement la largeur de l'entrée, doivent nécessairement être enlevés à court délai ; c'est ce qui oblige les entrepreneurs de l'entretien du port à avoir constamment à leur disposition un matériel assez considérable et élève notablement le prix du mètre cube de dragage.

Dans le discours qu'il a prononcé au Congrès maritime tenu à Paris en 1889, M. Conrad nous a appris que le maintien de la profondeur de 7^m,60 sous marée basse de vive eau, avec une surface au plafond de 66,000 mètres carrés pour le canal d'accès aux écluses, une surface de 264,000 mètres carrés pour le chenal intérieur et une surface de 37,000 mètres carrés pour l'accès extérieur du port est réalisé à forfait ; que l'entreprise pour la période de cinq années, qui doit s'écouler du 1^{er} juillet 1886 au 30 juin 1891, a été adjugée pour la somme de 847,000 florins, correspondant à une somme annuelle de 169,400 florins, ce qui, déduction faite de quelques travaux à exécuter aux jetées, se réduit à une somme annuelle de 168,000 florins. Les segments latéraux ne sont pas dragués ; ils ne devraient l'être que s'ils s'élevaient d'une quantité notable au dessus de marée basse ; mais leur situation est devenue assez stable depuis que le niveau moyen du segment nord a atteint la cote de 4 mètres sous mer basse, et le niveau moyen du segment sud, la cote de 6 mètres sous le même repère.

Tous les déblais doivent être transportés et jetés dans la Mer du Nord à une distance de 5 kilomètres du pied des dunes, où se trouvent des profondeurs d'eau de plus de 12 mètres.

Dans la période de trois ans, du 1^{er} juillet 1886 jusqu'au 30 juin 1889, les dragages, mesurés en bateau, ont été, en moyenne, annuellement :

	Mètres cubes.
A l'extérieur des musoirs	63,162
Dans le chenal de l'avant-port	446,625
Dans le canal d'accès aux écluses	25,928
Total.	535,715

Le temps calme et la houle permettent le dragage à l'extérieur pendant 112 jours et à l'intérieur pendant 232 jours.

Pour que la profondeur désirée puisse, autant que possible, être maintenue en tout temps, les dragages sont effectués par l'entrepreneur à une profondeur d'environ 0^m,50 au dessous de la cote fixée par le cahier des charges,

D'après ce qui précède, le coût du mètre cube déblayé et transporté, mesuré en bateau, est de 31 cents ou 66 centimes.

La dépense d'entretien à Ymuiden est, comme on le voit, très considérable, et il y a lieu de se demander si l'on n'aurait pas pu la réduire. La première idée qui vient naturellement à l'esprit est que le port eût dû être plus grand ; mais nous avons vu, en parlant du projet de Heyst, que, pour obtenir des dragages convenablement réduits, la surface devrait s'élever à 150 hectares ; à Ymuiden, où la marée moyenne est de plus de moitié moindre qu'à Heyst, la surface aurait donc dû être au moins de 300 hectares, ce qui est précisément la superficie du port projeté à Boulogne,

tandis que celui projeté à Douvres devait avoir une superficie de 275 hectares ; mais, dans un cas comme dans l'autre, à force de vouloir faire du grandiose, on a dépassé les limites du raisonnable, et il est bien probable que ces deux ports ne seront jamais terminés, vu l'énormité de la dépense ; nous estimons donc qu'à Ymuiden, au lieu de chercher à guérir le mal d'une manière radicale, on aurait pu se borner à l'atténuer, et nous croyons donc que le résultat aurait été plus satisfaisant si l'on avait avancé l'entrée du port d'une couple de centaines de mètres dans la mer, fait les jetées droites au lieu de les recourber, diminué la largeur de l'entrée et celle du chenal dans une forte proportion, limité ce chenal par des jetées basses à leur extrémité et s'élevant à hauteur de mi-marée à l'entrée et enfin augmenté de 6 à 700 mètres l'écartement des jetées à leur enracinement. Ces modifications auraient pu se faire, vraisemblablement, sans augmenter la dépense moyennant de renoncer à l'enceinte elliptique.

A Ymuiden, on a aussi construit des jetées basses, mais on les a placées précisément là où il n'en fallait point, à moins de les élever tout au plus au niveau de marée basse ; si, en effet, on avait déblayé la plage jusqu'à ce dernier niveau, on aurait donné au port une superficie de 102 hectares, dépassant de 10 hectares celle qu'il possède actuellement.

L'axe du port fait avec celui du canal un angle de 159 degrés, de sorte que le chenal est en partie courbé ; on aurait mieux fait, selon nous, de reporter le point de croisement des deux axes au delà des écluses ; dans un chenal courbe, il y a tendance à corrosion du côté de la concavité ; c'est là, sans doute, une des raisons pour lesquelles le chenal tend à se reporter vers le sud.

Durant les tempêtes, les vagues s'élèvent à une hau-

teur notable au dessus des musoirs ; mais, jusqu'à présent, la gêne causée par ce ressac aux navires qui se présentent à l'entrée du port, n'a pas été suffisante pour qu'il y ait lieu d'en tenir compte.

La montée et la descente de la mer dans le port, mais surtout dans le canal d'accès aux abords des écluses, constitue fréquemment une difficulté pour les vaisseaux qui y sont amarrés. Dans ces circonstances, il arrive que les câbles d'amarre, les chaînes des ancres ou même les poteaux d'amarrage se brisent ; alors aussi les portes des écluses clapotent et le passage des bateaux doit être arrêté. Pendant la tempête du 21 octobre 1874 venant de l'ouest, l'échelle placée contre les écluses marquait à 3 heures 1^m,25 —, à 3^h,15', 3^m,05 —, à 3^h,30', 0^m,75, — et à 3^h,40', 1^m,90; de sorte que, pour des intervalles de 10 et de 15 minutes, il s'était produit des relèvements et des abaissements de 1^m,80, 2^m,30 et 1^m,15.

Nous croyons que les inconvénients signalés ci-dessus seraient considérablement atténués par la création d'une bonne crique d'épanouissement à proximité des écluses.

Le canal d'Amsterdam à la mer reçoit les eaux surabondantes de la contrée qu'il traverse, et M. Conrad signale comme une cause de retard au passage des écluses, les chasses que l'on doit faire pour évacuer ces eaux dans la mer. Ces chasses se font au moyen de l'écluse d'évacuation et parfois aussi au moyen de la petite écluse de navigation. Ce n'est pas la vitesse d'écoulement qui constitue l'obstacle, attendu qu'elle est toujours assez faible, mais bien les remous et les courants transversaux qui se produisent dans le canal d'accès, surtout dans le voisinage immédiat des écluses et qui ne permettent pas aux bateaux de conserver la direction nécessaire pour entrer dans l'écluse ou en sortir.

Ces chasses n'ont pas lieu journellement, mais seulement quand le niveau de l'eau dans le canal dépasse une certaine hauteur. Autant que possible, on chasse pendant la nuit et on a égard aux heures présumées de l'arrivée des bateaux à vapeur.

A notre avis, on ne retire pas, à Ymuiden, tous les avantages qui pourraient résulter de l'emploi des chasses, et la cause nous paraît provenir d'un phénomène mal interprété, qui est le suivant :

Lorsqu'on ouvre les portes d'aval, pour livrer passage à un bateau descendant, celui-ci se met en marche de lui-même; l'eau salée remplace dans l'écluse l'eau douce, en commençant par les couches inférieures, et les couches supérieures s'écoulent dans le canal d'accès, en entraînant le bateau avec elles ; c'est ce phénomène qui a conduit M. Conrad à dire, au Congrès de Paris :
« Le procédé des chasses artificielles n'est pas appliqué
« dans le port d'Ymuiden. Cependant, une partie de
« l'eau douce des polders de Hollande est évacuée
« dans les périodes des grosses pluies par les écluses
« d'Ymuiden ; cette eau douce, dont la pesanteur
« spécifique est moindre que celle de l'eau de la mer,
« ne peut pas déblayer le plafond du canal d'accès aux
« écluses qu'elle n'atteint pas » (1).

Selon nous, il importe assez peu que l'eau douce se mêle à l'eau salée pour obtenir des chasses.

Si, lorsque les eaux du canal d'accès commencent à s'écouler vers la mer, on y ajoute de l'eau douce, la quantité de liquide qui devra s'écouler, dans un temps donné, sera augmentée et, par suite, la vitesse deviendra plus grande. Nous croyons que c'est surtout à cette eau douce que l'on doit attribuer la faible quantité de dragage à exécuter dans le canal d'accès et qui

(1) *Compte-rendu des travaux du Congrès*, p. 91.

a été de 26,000 mètres cubes seulement en 3 ans ; nous serions bien surpris si, dans le nouveau canal que l'on va creuser pour aboutir à la grande écluse, on n'avait pas à draguer un cube plus considérable.

Nous devons ajouter que les installations actuelles du port d'Ymuiden ne sont pas bien conçues pour les chasses ; chaque fois qu'on lâche de l'eau par une écluse ou par un barrage, il se produit immédiatement en aval des mouvements irréguliers qui rendent la navigation impossible ; on aurait obtenu un résultat meilleur en construisant un long mur en prolongement du bajoyer du large de l'écluse d'évacuation ou en faisant déboucher cette écluse dans la crique d'épanouissement, si pareille crique avait été établie.

M. Eyriaud des Vergnes (1) a fait observer qu'au delà de la courbe de 11 mètres de profondeur, le plan des lieux qu'il avait à sa disposition montre un mamelon, compris entre les courbes — 13 mètres, dont le sommet dépasse — 11 mètres. M. des Vergnes l'attribue au versement des cubes considérables de dragages exécutés dans les dernières années des travaux pour l'approfondissement de l'avant-port. Comme les dragages et les transports correspondants se font toujours par temps maniables, M. des Vergnes considère comme probable que les paquets déposés par les porteurs arrivaient à se tasser en place, avant que les tempêtes d'hiver eussent de l'effet sur eux et qu'ils ont constitué sur le fond une éminence qui s'est engraisée en arrêtant les apports du large. M. Eyriaud des Vergnes est conduit à penser que les versements n'ont été faits ni assez loin ni assez au nord des ouvrages. Il est à craindre, selon lui, que l'économie obtenue par le choix d'un lieu de dépôt trop voisin de l'entrée ne revienne, finalement, à un prix élevé.

(1) *Annales des ponts et chaussées*, février 1887, p. 377.

M. Conrad (1) a repris l'examen de cette question ; il a fait observer que M. des Vergnes ne s'est occupé que d'une situation déjà ancienne et non pas des changements qui sont survenus postérieurement. Dès que la situation signalée fut bien constatée, on se résolut à transporter le dépôt à 4,000 mètres du pied des dunes, au lieu de 3 kilomètres, dans un fond de 13^m,50 sous marée basse et le répandage devait se faire de telle sorte que le fond ne serait nulle part surhaussé de plus de 1^m,50. L'idée que l'amas de sable placé à 3,000 mètres devrait disparaître progressivement fut vérifiée par la suite.

Déjà les sondages opérés le 23 septembre 1878 avaient fait voir que la surface du dépôt était réduite et que son niveau était quelque peu descendu, et ceux du 17 octobre 1878 permirent de constater que la surface où la profondeur était inférieure à 8^m,10 sous marée basse qui, en août, était encore de 32,000 mètres carrés, avait diminué de 2,800 mètres et que la profondeur minimum était de 7^m,80 sous marée basse.

Le 14 novembre 1878, on ne trouva plus que deux points où la profondeur était inférieure à 8^m,10 de 0^m,10 à 0^m,20, et, le 10 janvier 1879, la moindre profondeur s'élevait à 8^m,20 et la surface surhaussée avait encore diminué.

La carte hydrographique, dressée en mai 1882, fait voir qu'il reste encore une faible partie du dépôt et celle de septembre 1889 (fig. 1, pl. VI) permet de constater que le lieu de dépôt est presque complètement balayé et que la profondeur primitive est sur le point d'être rétablie.

La distance de 4 kilomètres des dunes, qui avait été fixée en 1878, a été reportée, à partir du 1^{er} juil-

(1) *Mededeelingen betreffende de storting van baggerspecie uit de haven van Ymuiden*. La Haye, Van Langenhuisen, 1890.

let 1886, à 5,000 mètres, où la sonde accuse une profondeur dépassant 12^m,10 sous marée basse ; mais le dépôt n'est pas non plus immédiatement enlevé, de sorte que le déversement doit se faire avec prudence et réflexion.

Pour nous, ce qui résulte de cette discussion, c'est que le dépôt pourrait se faire le mieux au nord du port et le plus près possible de celui-ci ; s'il restait en place, il ne gênerait personne ; le courant de flot ne pourrait pas l'entraîner dans le port, celui de jusant ne pourrait que le disperser dans la mer et les lames le repousser davantage vers la côte. Nous serions bien étonné si, cette proposition étant faite à l'entrepreneur, celui-ci se refusait à l'accepter.

Nous dirons quelques mots des ensablements dans les angles extérieurs des jetées, cette éternelle crainte des ingénieurs maritimes.

« Pour constater les modifications survenues dans
« les bas fonds sous-marins aux abords du port
« d'Ymuiden et l'effet des jetées sur la plage et l'estran
« sous-marin, au nord et au sud du port, on a déter-
« miné la laisse de basse mer et effectué dans la
« région du port des sondages dans des directions
« normales à cette ligne sur une longueur de 4,000 mè-
« tres et suivant des profils distants de 250 mètres.

« Ces opérations ont eu lieu périodiquement de 1874
« à 1889 et ont permis de constater :

« 1° Que l'ensablement de l'estran provoqué par
« les jetées faisant saillie de 1,155 mètres sur le
« rivage ne se fait plus sentir du côté du midi au delà
« de 1,400 mètres comptés à partir de la jetée sud ;
« du côté nord, il devient très faible au delà de
« 1,400 mètres de la jetée correspondante ;

« 2° Que les ensablements qui se produisent dans
« les angles extérieurs formés par les jetées avec la

« dune sont, depuis 1881, stationnaires dans l'angle
« sud et ne doivent pas être considérés comme un
« obstacle dans l'angle nord des jetées ;

« 3° Que les courbes des profondeurs de 5, 8 et
« 11 mètres sous *A. P.* (1), en observant que la pente
« de l'une à l'autre n'est que de 1/200 n'ont subi aucun
« changement qui mette en danger l'accès du port et
« qu'au contraire les courbes de 8 à 11 mètres sous
« *A. P.* se sont rapprochées notablement des musoirs
« et de l'entrée » (2).

Il résulte de ce qui précède que le port d'Ymuiden a été établi dans des conditions particulièrement difficiles. La côte, dans cette région, n'est pas, comme la nôtre, protégée par des bancs, de sorte que les vagues y acquièrent une grande impétuosité ; elles remuent le fond de la mer au point que celle-ci est parfois, selon l'expression de M. Conrad, comme gorgée de sable (*verzadigd met zand*) ; les courants de flot et de jusant sont assez forts de leur côté pour entraîner les sables, et le talus est si peu incliné qu'ils remontent facilement dans le port ; la mer est, en outre, fréquemment chargée de vase provenant des grands fleuves qui y débouchent au sud et enfin, pour couronner le tout, l'amplitude de la marée y est faible. Il faut bien ajouter que le projet n'a pas été suffisamment étudié ; on n'y rencontre aucune de ces idées heureuses, comme nous en avons eu à signaler à propos des ports de Dublin et de Madras et nous n'avons pas pu lui épargner la critique.

Si, malgré sa mauvaise situation et ses imperfections, le port d'Ymuiden satisfait à sa destination,

(1) *A. P.* est le zéro de l'échelle d'Amsterdam (*Amsterdamsche peil*) ; il est situé à environ 0^m,90 au dessus de la basse mer des vives eaux.

(2) M. Conrad. *Discours prononcé au Congrès maritime de Paris*, p. 94 et 95.

avec de grands frais d'entretien, il est vrai, cela provient de ce que le système, dans son principe même, recèle tant de qualités, que des erreurs d'application assez notables peuvent être commises dans les détails, sans compromettre l'ensemble de l'œuvre. Il existe actuellement bon nombre de ports à enceinte. Nous citerons, entre autres, sans avoir la prétention de les énumérer tous, ceux de Aberdeen, Blyth, Charleston, Dublin, Galveston, Howth, Kingstown, Madras, Middlesborough, Newbury port, Sunderland, Tynemouth, Warkworth et Ymuiden. Ces ports sont établis dans les conditions les plus variées, sans que, pour aucun, l'on puisse attribuer au système même l'insuccès de l'entreprise. Celui de Howth est, d'ailleurs, le seul qui, à notre connaissance, soit signalé comme n'ayant pas bien réussi. Bien au contraire, le nombre de ports où l'entretien se fait au moyen d'écluses de chasse diminue de jour en jour ; or, du moment que, pour entretenir un chenal, on a recours au dragage, il est beaucoup plus simple de recourir aux jetées convergentes qu'aux jetées parallèles à claire-voie, accompagnées de digues basses ; dans un cas comme dans l'autre, on ne peut avoir qu'un chenal à draguer ; seulement, avec des jetées pleines convergentes, l'entrée du sable n'est pas possible latéralement, et, si l'on dispose d'une capacité suffisante, qui permette au courant de sortie de créer une bonne fosse de garde, on interdit aussi, dans une grande mesure, l'introduction du sable par l'entrée. Les chasses ne disparaissent pas avec des jetées convergentes ; seulement, les *bassins de chasse* sont remplacés par des *segments de chasse* qui possèdent le précieux avantage de chasser à chaque marée. Ces chasses seraient, sans doute, impuissantes à provoquer l'approfondissement d'un chenal en lit de sable, mais elles suffisent, du moment que les seg-

ments sont assez grands et la marée assez forte, pour provoquer le départ de la plus grande partie de la vase qui s'est introduite dans le port. Nous avons dit, d'ailleurs, que l'on peut augmenter singulièrement leur énergie en établissant, le long du chenal, des digues s'élevant depuis la marée basse jusqu'à mi-marée et même au delà. En présence de toutes ces considérations, le choix à faire entre les deux systèmes de port ne paraît pas bien difficile.

Projet d'avant-port (fig. 2, pl. VI). — Nous terminerons ce petit travail en donnant, d'après les considérations qui y sont émises, un projet d'avant-port à construire dans l'hypothèse où il faudrait aboutir à une profondeur de 8 mètres à 4,000 mètres de la rive, l'amplitude de la marée en vives eaux étant de 4^m,60.

Comme nous l'avons dit, nos connaissances actuelles ne nous permettent pas de résoudre la question par le calcul ; il faut se guider d'après certaines analogies et se réserver le moyen de compléter le travail s'il n'atteignait pas, d'une manière satisfaisante, le but que l'on s'est proposé.

Supposons qu'on établisse les jetées jusqu'à une distance de 2,000 mètres de la côte, qu'on les écarte à leur base de la même quantité et qu'on donne à l'entrée une largeur de 150 mètres. Dans ces conditions, la surface du port sera de 215 hectares et la quantité de liquide qu'il renfermera en vives eaux sera, en nombre rond, de 10 millions de mètres cubes.

Au port de Dublin, la contenance est de 30 millions de mètres cubes ; mais, sur cette quantité, il s'en écoule, avant la mi-marée descendante, un volume de 19 millions qui est à peu près perdu pour la création de la passe ; il en reste donc 11 millions, dont une partie ne sort pas du port ; en conséquence, on ne peut estimer, comme dans notre projet, qu'à environ

10 millions, la quantité à employer utilement ; mais, d'autre part, cette eau agit pendant la mi-marée seulement, tandis que nos 10 millions de mètres cubes doivent agir pendant la marée entière, soit pendant un temps double, ce qui constitue une situation tout à fait désavantageuse.

D'un autre côté, nous proposons, pour l'entrée, une largeur de 150 mètres seulement, au lieu de 300, ce qui, toutes choses égales, donne une vitesse double, de sorte que, dans les mêmes conditions de profondeur, notre projet serait supérieur à celui de Dublin : on aurait la même vitesse du courant d'émission pendant un temps double. Mais nous voulons une profondeur de 8 mètres sous marée basse et elle n'est que de 4^m,90 sur la barre de Dublin ; l'amplitude de la marée n'étant ici que de 3^m,70 et le mouvement devant être considéré à partir de la mi-marée seulement, la profondeur moyenne de l'eau est de

$$4^{\text{m}},90 + \frac{3.70}{4} = 5.825,$$

tandis que, dans notre port, la profondeur moyenne est de

$$8 + \frac{4.60}{2} = 10.30;$$

la vitesse moyenne y sera donc plus faible dans le rapport

$$\frac{5.825}{10.30} = 0.56;$$

nous supposons que le même rapport existe entre les vitesses du fond, ce qui constitue une hypothèse avantageuse à notre projet. D'autre part, à Dublin, la matière que le courant a dû enlever était le sable ; dans notre projet, c'est la vase et le sable vasard. La vase n'exige, pour être entraînée, que le quart environ

de la vitesse réclamée par le sable ; admettons, quoique nous ne connaissions pas d'expérience faite à ce sujet, que le sable vasard exige le tiers de cette dernière vitesse, et, dans ce cas, l'avantage est encore en faveur de notre port, puisque nous avons les 0.56 de la vitesse de Dublin, tandis que le tiers nous suffirait ; mais il faut ajouter qu'à Dublin, le chenal à creuser n'avait qu'une longueur de 1,600 mètres, et qu'ici elle atteint 2 kilomètres ; les conditions sont donc bien près d'être égales et il serait difficile de dire de quel côté se trouve l'avantage.

Nous avons supposé que la profondeur à donner sous marée basse serait de 8 mètres ; si l'on voulait obtenir une profondeur plus grande, il faudrait augmenter, en conséquence, les dimensions du port.

Les calculs auxquels nous venons de nous livrer ne constituant qu'une grossière approximation, il y a lieu de se demander ce qu'il y aurait à faire si la passe ne présentait pas une profondeur suffisante.

Le premier travail auquel il y aurait lieu de recourir, serait le dragage qui, actuellement, ne coûte pas cher. Cependant, pour que le dragage donne un résultat bien pratique, il faut que, moyennant un léger excès de profondeur, qui, à Ymuiden, est de 0^m.50, la navigation ne devienne pas impossible pendant le chômage auquel les dragueurs sont forcément soumis lorsque le temps devient mauvais ; si, donc, la passe se trouvait trop encombrée de matières sédimentaires, il deviendrait nécessaire de prolonger les jetées parallèlement à elles-mêmes, jusqu'à ce que l'inconvénient fût suffisamment atténué.

Il convient, enfin, de prévoir une crique d'épanouissement aux abords de l'écluse pour la sécurité de la navigation et une dérivation permettant d'amener de l'eau douce pour curer le canal d'accès à l'écluse.

On nous a demandé quel pourrait être l'effet sur l'estuaire de l'Escaut de deux digues faisant saillie de 2 kilomètres sur la côte en aval de cet estuaire. Ces deux digues étant établies à 25 kilomètres de l'embouchure, dans un endroit où l'estuaire est devenu très large, elles ne constitueraient plus qu'un simple accident de la côte; leur action, dans tous les cas, ne pourrait guère être appréciable.

Mais dans quel sens cette action s'exercerait-elle? Pour répondre à cette question, il faut se demander ce qu'il y aurait à faire si l'on voulait améliorer cet estuaire; or, le meilleur moyen d'y parvenir, serait de réduire le nombre de passes en supprimant les petites; si, après avoir établi les deux épis qui enserment le port, on en construisait une série d'autres, dont la longueur irait en diminuant au fur et à mesure qu'ils se rapprocheraient de l'embouchure, où la dite longueur deviendrait nulle, on aurait amélioré l'estuaire dans une certaine mesure.

Les deux jetées constitueraient donc, à ce point de vue, une très petite partie d'une amélioration elle-même très petite.

Bruxelles, le 27 septembre 1890.

ANNEXE

Les soussignés :

- MM. J.-F.-W. CONRAD, inspecteur du Waterstaat, à La Haye;
R.-O. Van MANEN, ingénieur en chef du Waterstaat, à Haarlem;
A.-A. BEKAAR, ingénieur d'arrondissement, à Amsterdam;

Consultés par :

- MM. BERGER, Administrateur-inspecteur général des Ponts et Chaussées, à Bruxelles;
COLSON, ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées, échevin des Travaux publics, à Gand;

MM. JEAN COUSIN, ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées, entrepreneur de travaux publics, à Bruxelles ;

HELLEPUTTE, ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées, membre de la Chambre des représentants, à Louvain ;

Baron DE HAULLEVILLE, publiciste, directeur du *Journal de Bruxelles*, à Bruxelles ;

DE MAERE-LIMNANDER, ingénieur civil, ancien membre de la Chambre des représentants, à Gand ;

ARTHUR VERHAEGEN, ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées, à Gand ;

font les déclarations suivantes, à la suite de la visite collective faite à Ymuiden, le 8 juillet 1890 :

1° Le port d'Ymuiden, pendant les tempêtes, ne peut être considéré comme un port de refuge complet, satisfaisant à toutes les conditions de sécurité ; l'expérience a appris qu'il ne peut être considéré en général que comme une passe, que les navires peuvent traverser sans danger.

Cependant, à quelques reprises, pendant des tempêtes, quand le passage par les écluses était impossible, on a été forcé de se servir du port comme port de refuge, et non sans succès.

En effet, de grands navires se sont réfugiés, dans ces circonstances, dans le canal d'accès vers l'écluse ; quelques-uns d'entre eux, qui ne pouvaient trouver place dans le canal sans danger, ont jeté l'ancre dans le chenal du port, et même dans le segment latéral du sud, et sont restés là quelque temps sans être endommagés.

2° Il est vrai qu'un certain ressac se produit contre les môles maçonnés ; jusqu'à présent la gêne causée par ce ressac aux navires qui se présentent à l'entrée du port, n'a pas été suffisante pour qu'il y ait eu lieu d'en tenir compte.

3° En vertu du cahier des charges modifié, l'entrepreneur a fourni trois dragueurs, quatre grands chalands à vapeur, dont deux pouvaient se transformer en suceurs ; six chalands, un grand suceur et deux remorqueurs.

En réalité, l'entretien du port se fait habituellement au moyen :

a) De deux dragueurs, pouvant extraire chacun 150 à 200 mètres cubes par heure et travaillant ensemble 150 jours de 12 heures par an ;

ces dragueurs sont accompagnés de quatre chalands à vapeur, dont deux sont disposés de façon à pouvoir servir de suceurs;

- b) D'un grand suceur, pouvant contenir 350 mètres cubes de sable;
- c) D'un grand remorqueur;

Les produits du dragage sont transportés dans des fonds de 12 mètres, sous mer basse, situés à 5,000 mètres au moins du pied des dunes.

4° Le coût des travaux d'entretien a été, pour les cinq dernières années, y compris l'année courante, de 847,000 florins, y compris la pose des blocs de béton, destinés à l'entretien des brise-lames et la fourniture de 800 mètres cubes maçonnerie de briques, soit 169,400 florins par an.

Le coût de l'entretien de la profondeur du port seul, sans les dits travaux, peut être évalué à 823,000 florins, soit 164,600 florins par an.

5° En cas de tempête par vent nord-ouest, quand la houle est assez forte, la manœuvre de l'écluse ne peut pas se faire.

Lorsque cela arrive, les navires attendent, amarrés dans le canal d'accès, que la manœuvre puisse se faire de nouveau.

6° La construction d'une nouvelle écluse, qui mesurera 225 mètres de longueur sur 23 mètres de largeur et 10 mètres de tirant d'eau, n'est pas due aux difficultés que présente, en cas de tempête, la manœuvre de l'écluse actuelle, ni à la distance trop faible entre cette écluse et l'entrée du port, mais bien au désir de permettre l'entrée du canal à des navires d'une plus grande longueur et d'un plus grand tirant d'eau.

7° Par les plus fortes tempêtes le calme est suffisant à l'intérieur des jetées pour permettre aux navires, sans danger, le passage vers le canal d'accès, et pour leur donner, en cas de besoin, un abri temporaire lorsque ce passage est impossible.

Ce fait résulte d'ailleurs des constatations précédentes.

8° Les ingénieurs hollandais sont unanimes à se prononcer contre le système des estacades en charpente, même appuyées sur des jetées basses en maçonnerie.

9° La courbe des profondeurs de 12 mètres est assez variable, mais en général on peut dire qu'elle s'est rapprochée de la côte depuis l'établissement du port, surtout près de l'embouchure.

10° Les segments latéraux du port ont acquis une stabilité moyenne

assez suffisante, depuis que le niveau moyen du segment nord a atteint la cote de 4 mètres sous mer basse, et le niveau moyen du segment sud la cote de 6 mètres sous mer basse.

11° L'expérience a démontré que les apports de vase à l'entrée et à l'intérieur du port d'Ymuiden sont moins considérables, en temps de grosse mer, qu'en temps de mer calme ; le contraire a eu lieu pour les apports de sable.

J.-F.-W. CONRAD,
R. VAN MANEN,
A. BEKAAR.
