

NOTE SUR L'ÉTABLISSEMENT
DE
PORTS EN EAU PROFONDE
SUR LES
CÔTES DE SABLE

PAR
M. OCTAVE MAVAUT,
INGÉNIEUR HONORAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

§ 1^{er}. — DES PORTS EN EAU PROFONDE.

La navigation à vapeur qui se substitue chaque jour davantage à la navigation à voile, n'a cessé elle-même de se transformer.

Le perfectionnement des machines, l'application des systèmes Woolf et Compound, utilisant par double et récemment par triple expansion la vapeur à haute pression — allant jusqu'à 12 atmosphères — produite dans des chaudières construites en tôles d'acier atteignant 0^m,035 d'épaisseur, mettent à la disposition des constructeurs une force motrice énorme.

On sait que la résistance au mouvement d'un navire et, par suite, la dépense de force motrice ou de combustible, croissent pour une vitesse donnée comme le carré d'une des dimensions de sa coque, tandis que sa

capacité de chargement augmente plus rapidement que le cube de cette dimension (1).

On comprend, dès lors, comment l'accroissement du tonnage des navires, facilité par la substitution de l'acier au fer, peut amener une grande réduction sur le prix de l'unité de poids transporté.

La transformation de la navigation maritime a amené des exigences nouvelles et impérieuses dans l'aménagement des ports.

Il faut aujourd'hui tenir compte, non seulement du tirant d'eau de 7 à 8 mètres que les progrès accomplis dans les constructions navales assurent comme dimension courante aux navires de l'avenir, mais encore, des conditions de rapidité et de régularité imposées aux transports modernes.

C'est pour répondre dans les limites les plus larges à ces diverses exigences, que l'on tâche d'établir des ports en eau profonde accessibles, en tout temps et à toute heure de la marée, aux navires du plus fort tonnage.

Dans les ports de marée, les navires attendent en rade que le niveau de la mer leur permette d'entrer dans le port. Il en résulte des retards qui se traduisent en pertes d'argent et nuisent à la régularité des services de communication. Ces inconvénients sont, à la vérité, d'autant moins graves que le port est précédé d'une meilleure rade et que son chenal d'accès est plus profond, vu qu'ils ne s'attachent alors qu'à un nombre plus petit de navires et encore leur effet sur ceux-ci est-il plus restreint; dans ces conditions spéciales, les ports de marée peuvent conséquemment satisfaire d'une manière plus ou moins approchée au programme des ports en eau profonde.

(1) Boulvin. *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand*. Année 1882-1883.

La réalisation de ce programme est un problème difficile à résoudre, à cause du grand nombre d'éléments dont il faut tenir compte. Ces éléments diffèrent d'un lieu à un autre et leur appréciation échappe souvent à la sagacité des ingénieurs les plus perspicaces.

En cette matière, l'art de l'ingénieur est réduit à un calcul purement spéculatif, qui nécessairement donne cours à bien des idées particulières, et partant, à bien des controverses.

Nous n'avons évidemment pas la prétention de changer cet état de choses, mais nous croyons être utile à l'art des constructions en faisant connaître un système de jetées que nous avons imaginé et dont il appartient d'ailleurs à des ingénieurs plus autorisés d'apprécier la valeur.

Nous ne considérerons ici que le cas le plus fréquent et le plus difficile, celui où il s'agit d'ouvrir un port en eau profonde sur une côte basse et sablonneuse.

La solution qui semble s'imposer dans ce cas, consiste à atteindre en mer, au moyen de jetées, la profondeur dont les navires ont besoin pour pratiquer le port en tout temps. C'est dans cet ordre d'idées qu'ont été construits récemment les ports de Saïd et d'Ymuiden.

Mais l'établissement de tels ouvrages donne lieu, en général, aux plus graves appréhensions, à raison des obstacles qui s'opposent à leur maintien dans les conditions qu'ils sont destinés à remplir.

La nature de ces obstacles se trouve dans le principe même du système. On peut les résumer en deux grandes classes :

- 1° La saillie que le port forme sur la côte tend à provoquer : le relèvement de l'estran adjacent aux jetées, le recul vers le large de la limite des grandes profondeurs, et l'ensablement direct de la passe d'entrée du port ;

2° Le port tend à se combler par l'effet du dépôt des matières ténues que la mer y amène sous des formes et pour des causes très diverses.

Il dépend essentiellement du régime particulier de la mer dans les parages du port de produire sur une échelle plus ou moins grande les effets mentionnés ci-dessus.

Dès lors on comprend toute l'importance que présente un examen judicieux du régime de la côte sur laquelle on veut ouvrir un tel port. Cette étude approfondie permettra, non seulement de juger de la stabilité du régime établi, mais encore, de conclure avec quelque autorité des faits observés dans d'autres ports plus, ou moins semblables, à ceux que l'on peut attendre pour l'ouvrage projeté. De cette façon, il pourra être prouvé que, sur bien des côtes, les obstacles qui viennent d'être signalés prendraient des proportions telles que, techniquement ou financièrement, ils rendraient le projet onéreux, sinon impossible.

Dans ces conditions, il est permis de se demander si les inconvénients résultant de l'action des môles pleins ne seraient pas évités par l'emploi de môles à claire-voie ou discontinus.

Il resterait alors à examiner si les inconvénients propres à ce système de jetées ne feraient pas payer chèrement les avantages qu'il procure.

Il faut croire que c'est en ce sens que la question a été généralement tranchée, puisque le système de môles à claire-voie ou discontinus, quoique souvent préconisé, n'a reçu jusqu'ici que des applications très restreintes et peu heureuses.

La cause de cet insuccès se trouve-t-elle dans un défaut inhérent au principe de ces jetées? — ou bien ce résultat provient-il d'une application défectueuse? — et, dans ce cas, peut-on faire disparaître, ou du moins atténuer les inconvénients qui en résultent?

La suite de cet écrit aura peut-être l'avantage d'éclaircir ces diverses questions.

Quoi qu'il en soit, pour rendre le système des môles à claire-voie ou discontinus réellement efficace et compatible avec toute l'extension qu'il convient de donner aux ports modernes, nous proposons de les disposer *en persiennes*. Ce système, très simple d'ailleurs, consiste essentiellement en deux séries de môles isolés, parallèles ou non, mais inclinés d'un certain angle sur l'axe du port, de façon à ce que l'ensemble présente la forme générale d'une enceinte ou d'un chenal compris entre deux jetées droites ou courbes, divergentes, parallèles ou convergentes vers la mer, les éléments successifs étant toujours convergents suivant cette direction.

Pour le moment nous pouvons, en vue des besoins de la discussion, nous contenter du tracé représenté pl. VII, fig. 1 et correspondant à un port-chenal de 250 mètres de largeur. Nous tâcherons de montrer d'une manière générale le fonctionnement du système des jetées *en persiennes* sur ce cas particulier. Nous aurons à examiner successivement les effets d'un tel dispositif :

1° Sur le régime de la côte et le relèvement de l'estran ;

2° Sur l'ensablement et l'envasement du chenal d'accès ;

3° Sur la navigabilité du port ;

4° Sur le mode de construction à employer.

Dans l'intérêt du sujet, nous nous appuyerons en grande partie sur les faits observés à Ymuiden et tels qu'ils sont exposés dans une récente brochure (1) due

(1) *Beoordeeling van het door Jhr H.-T.-H. Hora Siccama opgemaakt ontwerp eener zeehaven te Scheveningen* door J.-F.-W. Conrad, Inspecteur van den Waterstaat. — 's Gravenhage, 1884.

à l'éminent ingénieur M. J.-F.-W. Conrad, Inspecteur du Waterstaat ; nous aurons ainsi l'occasion de traduire les parties qui présentent le plus d'intérêt au point de vue de l'étude des ports en eau profonde.

Le port d'Ymuiden, construit d'après les plans de l'ingénieur anglais bien connu, sir John Hawkshaw, se trouve constitué par une enceinte abritée comprise entre deux jetées insubmersibles qui s'avancent en mer jusque dans les profondeurs de 7^m,50 environ sous le niveau de marée basse, où les musoirs laissent entre eux une ouverture de 260 mètres pour l'entrée des navires (pl. IV, fig. 1).

La côte d'Ymuiden est basse et sablonneuse ; elle appartient à la partie concave du littoral hollandais compris entre Kamperduin et Terheyde, distants d'environ 85 kilomètres, et dont l'estran s'est constamment avancé vers les terres durant ces derniers siècles (1). La plage sous-marine, en pente très douce ($\frac{1}{150}$ à $\frac{1}{250}$), est précédée d'un vaste plateau situé à une profondeur de 25 mètres en moyenne qui n'est encombré par aucun banc.

L'amplitude moyenne de la marée mesure 1^m,60. Les courants de marée sont directement opposés et dirigés parallèlement à la côte.

En moyenne, la vitesse maximum du flot est de 0^m,75 par seconde et sa durée est de 4^h,15^m. Pour le jusant on ne trouve que les $\frac{3}{4}$ de cette vitesse, soit 0^m,56 par seconde, mais sa durée est de 7^h,54^m. Ces vitesses maxima se produisent à peu près au moment de la haute et de la basse mer et leur valeur en temps de vive eau ou de morte eau dépasse ou suit de $\frac{1}{5}$ la valeur moyenne : cela porte les vitesses en vive eau à 0^m,90 pour le flot et à 0^m,60 pour le jusant.

(1) Conrad. Ouvrage cité, page 7.

§ 2. — EFFET DES JETÉES SUR LE RÉGIME DE LA CÔTE ET LE RELÈVEMENT DE L'ESTRAN.

Nous parlerons d'abord des jetées pleines analogues à celles de Port-Saïd et d'Ymuiden.

On ne peut admettre, comme principe général, que le prolongement d'une jetée, perpendiculairement au rivage, provoque nécessairement un avancement équivalent de l'estran.

Les estrans sablonneux subissent une double action : celle des vagues et celle des courants littoraux. C'est la première action qui est prépondérante, au moins jusqu'à une certaine profondeur.

Les vagues, en venant se briser sur le rivage, produisent un certain déplacement des sables de l'estran, déplacement dont la direction dépend du vent, mais dont l'élément principal est une composante dirigée normalement à la côte. Seul le déplacement des sables suivant le rivage est arrêté par les môles ; d'ailleurs, l'action des vagues diminue rapidement avec la profondeur et les accumulations qu'elles produisent se portent vers la partie supérieure de l'estran.

Lorsque l'estran n'est pas trop étendu, ni trop incliné, les grandes vagues produisent de puissantes lames en retour qui entraînent les sables vers la mer, où ils peuvent subir l'action des courants de marée généralement prépondérante à partir des profondeurs de 4 à 5 mètres sous le niveau des basses mers.

Les courants de marée peuvent, à raison de leur vitesse et de l'agitation produite par les vagues, tenir en suspension des matières plus ou moins lourdes et notamment des sables fins soulevés par les lames. Ces matières sont entraînées jusqu'à ce qu'elles aient l'occasion de se précipiter, soit dans les endroits abrités, soit

dans les grandes profondeurs où le courant et les vagues n'agissent plus suffisamment.

Parlant de l'effet de jetées pleines placées en travers des courants sur la côte de Boulogne, MM. Stoecklin et Laroche disent dans leur excellente brochure (1) p. 11.

« Tout ouvrage qui atteindra les grands fonds à partir de la courbe de 5 mètres, agira comme un épi et devra produire les mêmes effets. Or, on sait (voir l'intéressant Mémoire de MM. Legrom et Chaperon, *Annales des ponts et chaussées de France* de 1838, 1^{er} semestre, p. 360) qu'un épi (dont l'effet n'est pas, bien entendu, annulé ou contrarié par les épis voisins), provoque, d'une part, des remous ou contre-courants qui corrodent les rives à une certaine distance en amont et en aval, et d'autre part, produisent des bancs, surtout du côté aval.

« Ici la même cause produirait les mêmes effets, seulement, ces effets seraient modifiés, dans une certaine mesure, par l'alternance des courants et par la superposition de l'action des lames, les contre-courants continueraient à se produire le long des rives à une certaine distance, mais les bancs dérasés continuellement par le mouvement des lames n'atteindraient probablement pas une grande hauteur. »

Cette théorie est pleinement confirmée par les faits qui se sont produits à Ymuiden ; voici, d'ailleurs, comment M. Conrad (2) rend compte des effets observés depuis la construction des jetées.

« *Etat de la plage.* — La fig. 2, pl. IV, représente l'état de la plage d'après la moyenne des cotes relevées de part et d'autre du port pendant les deux

(1) *Des Ports maritimes considérés au point de vue des conditions de leur établissement et de l'entretien de leurs profondeurs*, 1878.

(2) Ouvrage cité — Traduction — pages 10, 11 et 12.

« périodes, de 1864 à 1866, lorsque la construction
« des môles n'était pas encore commencée et de 1882
« à 1883, lorsque les môles étaient achevés depuis
« plus de six ans.

« Il résulte de là, que l'ensablement provoqué par
« les jetées de 1,528 mètres de longueur ne se fait pas
« sentir au delà de 1,200 mètres mesurés sur la laisse
« de basse mer, et de 1,500 mètres mesurés sur la laisse
« de haute mer. A partir de ces distances, on trouve,
« au contraire, que les laisses de basse et haute mer
« se sont avancées vers les terres, l'une de 64 à
« 119 mètres, l'autre, de 17 à 31 mètres. Cela montre
« qu'en ces endroits il y a érosion. Le pied de la dune
« ne subit aucun changement, si ce n'est au droit de
« la zone d'ensablement.

« *Relèvement de l'estran adjacent au port.* — Il
« résulte de sondages faits périodiquement dans la
« région du port depuis 1874 jusqu'en 1883, que la
« courbe de 5 mètres — A. P. (1) (4^m,20 — B. M.)
« tend à s'éloigner constamment de la côte, mais seu-
« lement à partir d'une distance d'environ 1,400 mètres
« du port; à commencer de là elle n'a subi aucun
« changement;

« Que la courbe de 8 mètres — A. P. (7^m,20 —
« B. M.) s'est déplacée quelque peu vers la mer de
« part et d'autre du port; cependant, elle n'a presque
« plus changé depuis 1877. Il faut remarquer en même
« temps que cette courbe s'est rapprochée de la côte
« entre les profils situés à 980 et 1,400 mètres au sud
« de la jetée sud, et tandis que cette profondeur passait
« en 1874 à peu près dans l'alignement des musoirs,
« elle s'étend en 1883 en forme d'entonnoir jusqu'à

(1) A. P. Abréviation de « *Amsterdamsche Peil* »; c'est le repère qui sert de point de comparaison pour tous les nivellements hydrographiques de la Hollande; il correspond au niveau moyen de la mer devant Amsterdam.

« l'intérieur du port et le long des 250 derniers
 « mètres des jetées, de sorte que devant l'entrée du
 « port la passe navigable limitée par la courbe de
 « 8 mètres — A. P., présente une largeur de 700
 « mètres ;

« Que la courbe de 11 mètres — A. P. (10^m,20 —
 « B. M.) n'a pas changé au sud du port ; que devant le
 « port elle s'est beaucoup rapprochée de l'entrée,
 « tandis qu'elle s'est un peu éloignée de la côte entre
 « les profils situés à 907 et 1,400 mètres au nord de
 « la jetée nord. »

M. Conrad déduit de ces observations les considéra-
 tions suivantes (1) :

« Les effets, qu'exercent les jetées du port sur la
 « plage de l'estran sous-marin à Ymuiden, sont sem-
 « blables à ceux qui s'observent après l'établissement
 « de jetées en fascinage ou en maçonnerie, le long de
 « la côte néerlandaise, sur une plage attaquée par les
 « courants et les vagues.

« La plage s'avance jusqu'à un certain point le long
 « de ces jetées et cet avancement, mesuré parallèle-
 « ment à la côte, cesse à une distance donnée par
 « 1 à 1 1/2 fois la longueur de ces jetées.

« Il se forme entre les jetées une laisse de basse
 « mer, suivant une ligne concave, dont le premier
 « point le long de la jetée et la direction de la courbe
 « rentrante dépendent de la profondeur et de la dureté
 « de l'estran qui précède la plage. Celle-ci se raccorde
 « avec l'estran suivant une inclinaison naturelle qui
 « se maintient aussi longtemps que les musoirs restent
 « en place, grâce à une défense artificielle, et que la
 « profondeur de la mer n'approche pas de la laisse de
 « basse mer comprise entre les jetées.

(1) Ouvrage cité. — Traduction — page 16.

« Lorsque les jetées sont établies sur une plage le
« long d'une rive concave où les courbes de profon-
« deur se rapprochent constamment de la côte, elles
« ne peuvent pas empêcher l'avancement de ces
« courbes ; elles n'ont là dessus aucune influence.

« Le long des extrémités des jetées, il se produit des
« sillons qui empêchent l'avancement de l'estran, et
« devant les musoirs on constate des affouillements
« plus profonds. Ces sillons et ces affouillements néces-
« sitent presque toujours une défense artificielle le
« long d'une partie de la jetée et du talus sous-marin
« devant les musoirs.

« Tout cela se passe de même avec l'estran sous-
« marin de part et d'autre et devant les jetées, lorsque
« celles-ci sont prolongées en mer au delà de la laisse
« de basse mer.

« Si on compare maintenant ce qui a été constaté
« relativement à la plage sud et nord hollandaise, et
« de l'estran sous-marin qui la précède, avec ce qui
« se passa plus particulièrement après la construction
« des deux môles d'Ymuiden qui, conjointement, peu-
« vent être considérés *comme des jetées prolongées en*
« *mer en dehors de la laisse de basse mer*, on retrouve :
« la laisse de basse mer concave et rentrante de cette
« partie de la côte ; le *déplacement* lent, mais cepen-
« dant continu, des *courbes de niveau* vers la côte ;
« *l'avancement de la plage* de part et d'autre des môles
« sur une distance à peu près égale à leur prolonge-
« ment en mer ; le *relèvement* de l'estran sous-marin
« près des jetées jusqu'à une certaine distance de la
« plage, cependant du côté sud, où la puissance érosive
« des courants et les ressacs sont les plus intenses,
« dans une moindre proportion que du côté nord ; *les*
« *sillons* extérieurement le long des extrémités des
« jetées et la *large passe* devant les musoirs avec la

« défense artificielle du talus sous-marin nécessaire
« pour le maintien des môles, — à côté de ce fait que la
« construction des môles n'a pas empêché l'avance-
« ment des grandes profondeurs vers la côte. »

En conséquence de cette théorie, M. Conrad se croit autorisé à conclure (1) :

« Qu'il n'y a pas de raison pour admettre que la
« plage sèche et mouillée située de part et d'autre
« des jetées du port puisse se relever tellement que
« la laisse de basse mer doive s'avancer, dans un
« temps non éloigné, jusqu'aux musoirs de l'enceinte ;
« et que les faits ne montrent pas la possibilité que
« l'estran sous-marin adjacent aux jetées ou dépassant l'entrée du port puisse s'assécher de telle sorte,
« que finalement l'accès du port serait impossible. »

Les craintes fondées sur les dangers provenant de l'atterrissement le long des jetées, ont rarement été plus vives que lors de l'établissement du port de Saïd.

En effet, la plage de Péluse est en pente tellement douce que la grande jetée ouest s'étend jusqu'à 2,800 mètres en mer pour atteindre les profondeurs de 8^m,50 environ, et l'avancement de cette plage s'opère depuis les temps historiques jusqu'à nos jours, d'une manière continue quoique fort lente. Aussi les ensablements des angles extérieurs formés par les jetées et la côte sont-ils considérables. Il a fallu deux ans à peine pour faire avancer la plage de 400 mètres le long de la jetée ouest ; mais depuis, cet avancement progresse de plus en plus lentement, surtout parce que le volume de sable, correspondant à un avancement donné, présente une hauteur et une base (de la forme d'un trapèze) croissant à mesure qu'on s'éloigne de la côte. L'avancement continu de l'estran paraît cepen-

(1) Ouvrage cité. — Traduction — pages 16 et 17.

dant assuré et la nécessité de prolonger les jetées après un temps donné sera inévitable.

Comme on le voit, ce dernier résultat contraste avec celui prévu pour l'ouvrage similaire d'Ymuiden. Ils restent cependant tous les deux conformes aux nombreux faits par lesquels M. Ch. Lenthérie prouve qu'aucun ouvrage humain n'a pu vaincre absolument la loi générale et naturelle à laquelle une côte est soumise; tandis que ces ouvrages peuvent favoriser les effets de cette loi d'une façon étonnante, pour peu qu'ils s'y prêtent de leur nature.

Cette loi générale fut invoquée à l'appui de la conclusion suivante émise par la commission instituée par le Gouvernement belge, pour examiner le projet d'établissement d'une communication directe de Bruges à la mer, présenté par M. de Maere-Limnander. « Les « ensablements qui pourront se produire dans les « angles extérieurs formés par les jetées du port avec « la dune, ne doivent pas être considérés comme un « obstacle à l'adoption du projet (1) ». Le port projeté à Heyst rappelle les dispositions de celui d'Ymuiden, mais les régimes de ces deux côtes sont bien différents : on s'en rendra facilement compte par ce que dit M. De Mey (2).

« La côte de Heyst présente ce caractère particulier d'avoir un estran fort amaigri, dont l'inclinaison est plus prononcée qu'en tout autre point du littoral des Flandres. Les dunes y ont une épaisseur extrêmement faible et sont protégées, en divers endroits, contre l'action érosive de la mer au moyen de perrés et de coffres en pierrailles.

« Cette situation existe depuis longtemps et, mal-

(1) Rapport de la Commission, page 78. Bruges, 1883.

(2) *Étude sur le régime de la côte de Belgique et sur les moyens d'améliorer les ports de ce littoral*, page 287. — Bruxelles, 1885.

« gré les nombreux épis qui se trouvent devant cette
 « partie de la côte, l'estran y a conservé une tendance
 « nettement accusée à s'appauvrir.

« Le talus sous-marin précédant la plage est raide
 « et se raccorde, dans le voisinage des écluses de
 « Heyst, à une distance de moins de 800 mètres du
 « rivage, avec les fonds de 7 mètres à 7^m,50 de pro-
 « fondeur sous marée basse, lesquels se maintiennent
 « sensiblement au même niveau jusqu'au banc du
 « Binnen-Paardenmarkt. »

Quoique dans des conditions particulières et dans des limites très différentes, les côtes de Peluse, d'Ymuiden et de Heyst, présentent les caractères généraux de ce qu'on est convenu d'appeler : *Côtes de sables*.

Des circonstances toutes spéciales peuvent modifier beaucoup les conséquences que l'on pourrait déduire de la nature de ces côtes. Ainsi : « Dans ses traits
 « généraux, la côte au droit de Boulogne se com-
 « porte comme la rive concave d'un grand fleuve,
 « rive que l'on aurait fixée au moyen de deux grands
 « épis, la pointe de l'Heurt et la pointe de la
 « Crèche (1) ».

Ces deux épis naturels, entre lesquels le port ne fera que l'effet d'un épi intermédiaire, placent celui-ci dans des conditions particulières ; il s'écarte encore des conditions ordinaires par la nature de la plage qui est telle, que MM. Stoecklin et Laroche n'hésitent pas à dire, qu'à proprement parler ce n'est pas une plage de sable.

Sous ce rapport, la côte formée de roches granitiques, sur laquelle est construit le port de Kingstown, se présente aussi dans des conditions exceptionnelles.

On peut conclure d'une manière générale de ce qui

(1) Stoecklin et Laroche. Ouvrage cité, page 114.

précède : que l'importance du relèvement de l'estran, provoqué par la construction de jetées pleines destinées à limiter un port en eau profonde, dépend surtout de l'étendue et de l'inclinaison de l'estran et du talus sous-marin qui le précède ;

Que pour échapper aux conséquences fatales que peut avoir ce relèvement sur les conditions d'accessibilité du port, il faut que la côte se présente naturellement dans des conditions telles, que l'équilibre entre les apports du large et les sables enlevés de l'estran et de la dune, ne soit pas naturellement rompu en faveur des apports du large ;

Qu'en tout cas, il convient de remarquer au sujet des accumulations de sables dans les angles extérieurs formés par les jetées et les dunes, que plus ces accumulations deviennent grandes, plus le talus suivant lequel ces sables se placent devient raide et, par conséquent, tandis que l'action des courants augmente, l'action constructive des petites vagues devient plus faible et l'action destructive des grandes devient plus forte. De cette façon, l'estran tend à s'établir suivant un état d'équilibre qui permet de regarder l'éventualité d'un ensablement du port comme une fin très éloignée.

Mais, si les ensablements que nous venons de considérer ne semblent pas en général constituer directement un obstacle bien redoutable pour le maintien des ports, ils n'en ont pas moins des conséquences extrêmement fâcheuses, comme étant une des causes de l'ensablement devant et dans le port.

C'est ce que nous aurons l'occasion de montrer tout à l'heure ; en attendant, remarquons que c'est en partie pour éviter l'effet nuisible que peut produire sur les plages de sables un ouvrage avancé, que l'on a été conduit quelquefois à préconiser l'emploi de jetées discontinues ou à claire-voie.

L'efficacité de ce système dépend évidemment de la facilité avec laquelle les jetées laisseraient passer les courants littoraux. A ce point de vue les jetées *en persiennes* pourraient être avantageusement employées.

Avec ces jetées, en effet, les môles ayant 6 à 7 mètres d'épaisseur, le rapport entre les pleins et les vides est réduit à 1/10; cependant, à cause de l'obliquité des môles par rapport au courant, la plus petite section linéaire libre se réduit aux $\frac{2}{3}$ environ de la longueur de la jetée.

Dans ces conditions et en tenant compte, d'une part, de la profondeur que l'on peut donner aux passes comprises entre deux môles successifs, d'autre part, de la résistance supplémentaire qui provient de la déviation que les môles imprimeraient au courant, on peut dire que la résistance totale qu'une jetée *en persiennes* opposerait au courant est faible comparativement à celles d'autres jetées à claire-voie ou discontinues en maçonnerie; notamment de celle des môles antiques d'Actium, de Misène, etc., dont le rapport entre les pleins et les vides dépassait 1/1, et qui cependant laissaient bien passer les courants côtiers.

Du reste, pour croire que les courants littoraux seraient arrêtés par les jetées *en persiennes*, il faudrait admettre que les choses se présentassent comme dans un port fermé; ce qui conduirait à des conséquences qui, dans les circonstances actuelles, seraient réellement absurdes.

Pour en indiquer seulement la nature, nous nous rapporterons au mémoire déjà cité de MM. Legrom et Chaperon, où il est établi: que les jetées faisant obstacle au courant, il se produit à l'amont une dénivellation de la côte vers leur extrémité, d'où résulte un courant latéral; tandis qu'à l'aval la dénivellation existe en sens contraire, ce qui explique encore la

formation d'un courant analogue allant en sens opposé.

Maintenant, il est difficile de se rendre exactement compte de la façon dont le courant sera influencé par l'action *des persiennes*.

Ainsi, il est certain que les môles de la jetée amont par rapport au courant tendront à dévier celui-ci suivant leur propre direction ; mais si, partant de l'effet produit sous ce rapport par les jetées continues de l'enceinte d'Ymuiden — voyez pages 139 et 156 — qui agissent sur une masse d'eau énorme, on en vient à l'action *des persiennes*, qui découpent le courant en tranches et agissent ainsi sur des masses d'eau beaucoup plus petites auxquelles elles ne peuvent imprimer qu'une accélération incomparablement moindre, il est probable que cette déviation sera promptement corrigée. D'ailleurs, dans le cas présent, la jetée opposée ne fera pas obstacle au retour du courant à sa direction normale ; et comme les môles de cette jetée tendraient à rejeter les eaux vers la côte, cet effet sera heureusement combattu par les jetées en retour de M. Dirks, dont il sera question plus loin.

Nous admettrons donc la répartition du courant telle qu'elle est indiquée par les flèches de la fig. 1, pl. VII, comme étant celle qui tient le mieux compte des influences diverses que le dispositif en question lui fait subir. L'essentiel est, que le passage des courants à travers le chenal y entretienne une certaine agitation dans toute la masse de l'eau et, en somme, il importe assez peu que le mouvement soit dirigé plutôt normalement qu'un peu obliquement par rapport à l'axe du port.

§ 3. — ENSABLEMENT ET ENVASUREMENT DES PORTS.

L'entrée des ports en eau profonde, quoique étant portée en mer jusque sur les fonds relativement stables de 7 à 8 mètres sous le niveau des basses mers qui, en général, ne participent pas directement au relèvement de l'estran adjacent, n'en est pas moins exposée à des ensablements, de même que le reste de l'enceinte qui, de plus, est sujet à s'envaser.

Parlant des sables qui se déposent à l'entrée des ports, M. Voisin-Bey dit (1) :

« On sait que ces ensablements proviennent surtout
 « des sables qui, soulevés soit par les courants de
 « marée, soit par les lames, sur les plages voisines,
 « surtout dans la région qui s'appuie aux digues
 « d'enceinte du port, sont mis ainsi en suspension,
 « sont alors poussés en dedans de l'entrée par les
 « lames ou entraînés par les courants de remplissage
 « du port, et se déposent aussitôt que, par leur
 « épanouissement, lames et courants ont perdu de
 « leur intensité. »

Or, cette considération sur les sables soulevés aux abords des digues d'enceinte, d'après laquelle les eaux de la mer seraient particulièrement chargées de sables dans la région du port, mérite une attention particulière.

Nous avons déjà parlé de l'action destructive des grandes vagues sur le talus raide de la zone d'ensablement. Au port d'Ymuiden, il s'est produit un exemple remarquable de l'influence que peut avoir sur cette action l'inclinaison des talus. A propos de l'avan-

(1) *Rapport de la Commission instituée par l'Administration communale de la ville de Bruges à l'effet d'étudier le projet du port de Heyst*, page 9. — 1884.

cement de la plage adjacente à ce dernier port, M. De Mey, dit (1) :

« A l'action des vagues vient s'ajouter celle des courants et surtout celle des vents qui agissent sur l'estran sec et sur les larges dunes dont ce dernier est bordé, en donnant lieu à des vols de sables abondants.

« L'avancement de l'estran qu'on observe à l'intérieur du port, provient plus spécialement de cette dernière cause. »

Après avoir constaté ce dernier relèvement qui s'est produit de 1871 à 1881, durant la période de la construction et de la mise à profondeur du port, M. Conrad, ajoute (2) :

« Cependant depuis 1881 jusqu'à ce jour, c'est-à-dire depuis que se trouve établi le talus plus raide qui raccorde cette plage avec le fond du port, cette plage a déjà reculé d'environ 25 mètres. »

Cet exemple est d'autant plus concluant que la plage dont il s'agit reçoit de grandes quantités de sable, et qu'étant protégée par les môles de l'enceinte, elle subit l'action de vagues moins fortes.

A l'action des vagues il faut ajouter non seulement celle des contre-courants qui corrodent la plage à une certaine distance du port, mais encore et surtout celle des courants concentrés qui produisent des affouillements le long des jetées et principalement autour du musoir d'amont, par rapport au courant.

Dans ces conditions, il est aisé de voir que par les gros temps, alors que toujours les courants sont plus intenses et les sables de l'estran soulevés par les vagues, les eaux de la mer seront le plus abondamment chargées de sable dans la région du port ; ce qui

(1) Ouvrage cité, page 267.

(2) Ouvrage cité, page 12.

explique l'importance des ensablements occasionnés par les remous à l'entrée du port et par le courant de remplissage dans le port.

Voici maintenant comment M. Conrad rend compte des faits observés à Ymuiden relativement à cette question (1) :

« *Les courants de marée* parallèles à la côte *ren-*
 « *contrent les môles avancés* du port, le flot donné contre
 « le môle sud et le jusant contre le môle nord. Le flot,
 « (voyez pl. IV), est forcé par là de couler avec une
 « vitesse accélérée le long du môle sud ; en quittant le
 « musoir correspondant il suit en principe la direction
 « de la partie inférieure de cette jetée, surtout au
 « moment où il atteint sa vitesse maximum. Pendant
 « la marée montante et principalement au moment où
 « le flot atteint sa plus grande vitesse, ce courant ne
 « rase donc pas l'entrée du port suivant la ligne qui
 « joint les deux musoirs.

« Le jusant, (voyez pl. IV), est obligé de la même
 « manière par la jetée nord de couler le long de ce
 « môle, cependant sa vitesse est beaucoup moindre
 « que celle du flot et sa direction est encore quelque
 « peu influencée par les eaux qui sortent de l'enceinte
 « et du canal extérieur, de sorte que la direction du
 « jusant, à partir du musoir nord, ne correspond pas
 « au prolongement de l'extrémité de cette jetée. Cette
 « direction et cette accélération des courants de marée
 « ont produit, *le long des extrémités de chacune des*
 « *jetées, un sillon* dont la longueur est d'environ
 « 800 mètres, et qui gagne en profondeur et en lar-
 « geur à mesure qu'on s'approche du musoir. La
 « planche IV se rapporte à la situation qui s'est pré-
 « sentée durant l'été de 1883.

(1) Ouvrage cité. Traduction, pages 13 et 14.

« *Les plus grandes profondeurs* se trouvent principa-
« *lement le long des 250 mètres des môles convergents* ;
« le long de la jetée nord on n'atteint pas plus de
« 9 mètres — A. P., cependant le long de la jetée sud,
« en conséquence de la vitesse du flot, on trouve des
« profondeurs dépassant 11 et 12 mètres — A. P.,
« tandis que la largeur du sillon, près de l'extrémité de
« cette jetée, est d'environ 250 mètres mesurés nor-
« malement à cette direction.

« *Les eaux du flot* qui remplissent le port *s'inflé-*
« *chissent* avec force autour *du musoir de la jetée sud*,
« coulent néanmoins avec une vitesse amoindrie vers
« la côte, par rapport à la direction principale du flot
« mentionnée ci-dessus, entrent dans le port en for-
« mant des remous dans l'espace compris entre l'axe
« du port et le musoir nord et passent plus loin au
« dessus du segment nord, jusque devant les extré-
« mités des jetées basses, tandis qu'une partie des eaux
« tournantes se dirige vers la côte en passant *autour*
« *du musoir de la jetée nord*.

« *Les eaux du jusant* s'infléchissent également autour
« du musoir de la jetée nord, cependant avec moins
« de force, et occasionnent souvent des sillons et des
« fosses ayant des profondeurs allant jusqu'à 11 et
« 12 mètres — A. P., qui s'ensablent temporairement,
« pour se creuser plus tard.

« La direction et l'accroissement du courant de flot
« suivant le prolongement de la jetée sud et l'épa-
« nouissement de ce courant devant et à l'entrée du
« port, et qui sont la conséquence de la direction des
« 250 derniers mètres de la jetée sud, constituent les
« causes principales *des ensablements* qui se produisent
« surtout pendant les tempêtes *autour du musoir de la*
« *jetée nord*, ainsi qu'en dedans de l'entrée.

« La zone d'ensablement devant l'entrée du port,

« qui est indiquée par un pointillé, forme à peu près un
« triangle rectangle dont l'hypoténuse se trouve dans
« le prolongement de l'extrémité de la jetée sud, l'un
« des côtés de l'angle droit se trouve sur l'axe du port
« et l'autre côté est une perpendiculaire abaissée du
« musoir nord sur cet axe.

« L'ensablement est le plus considérable au nord de
« l'axe du port; sur une superficie d'environ 2 hectares,
« et il est résulté plusieurs fois, de sondages faits
« après des tempêtes persistantes, que l'épaisseur
« moyenne de l'ensablement atteignait 1^m,20, avec
« des relèvements partiels de 3 mètres. On remarque
« encore souvent au nord de l'entrée et dans les envi-
« rons de cette zone des ensablements locaux corres-
« pondant à ceux dont il vient d'être question.

« Les ensablements périodiques importants ne
« s'étendent pas plus loin à l'intérieur du port que sur
« la zone située au nord de l'axe jusqu'à 100 mètres à
« l'intérieur, de façon à se raccorder avec le fond du
« segment latéral correspondant; on y sonde après
« des gros temps des relèvements locaux de 13 à
« 19 décimètres.

« Que l'ensablement se produise surtout pendant
« les gros temps, ou les tempêtes persistantes venant
« du sud-est au nord-est, c'est là une conséquence
« naturelle de l'état dans lequel se trouvent alors les
« eaux de la mer. Les eaux du flot, gonflées par la
« tempête, passent avec une vitesse plus grande qu'à
« l'ordinaire, non seulement au dessus de l'estran
« sous-marin, mais aussi sur la plage et le long du
« pied des dunes.

« D'ailleurs, pendant le flot, l'estran et surtout la
« plage, sont remués jusqu'à quelques centimètres en
« dessous de leur surface par le déferlement des puis-
« santes vagues, et une grande partie du sable ainsi

« mis en suspension est entraîné le long de la côte
« dans la direction du nord-ouest.

« Arrivées près du môle sud du port, les eaux du
« flot, fortement chargées de sable, suivent la direction
« décrite plus haut et déposent, à la faveur de l'épa-
« nouissement du courant, une grande quantité de
« sable près du musoir nord, tandis qu'une plus faible
« quantité entre dans le port et s'y précipite en partie.

« Une grande quantité du sable, que le flot pendant
« les tempêtes enlève à la plage et au pied des dunes,
« est aussi entraînée entre les jetées dans l'enceinte
« et y contribue principalement à l'ensablement de la
« passe navigable.

« L'ensablement continu du port, aussi bien de la
« zone d'ensablement mentionnée ci-dessus que du
« reste de l'enceinte, est une conséquence du calme
« relatif auquel les eaux du flot sont soumises entre
« les jetées du port. »

Nous allons examiner maintenant d'une manière plus générale ces mêmes questions.

Ensablement à l'entrée du port. — Il résulte des explications si judicieuses données par M. Conrad, relativement à cette question, que le renforcement des courants de marée devant le port peut bien empêcher l'avancement de l'estran et produire des érosions considérables sur lesquelles on pourrait compter pour maintenir libre l'entrée du port, si l'on n'avait pas à craindre les ensablements devant le port.

Or, si l'on considère qu'à Ymuiden l'entretien de la passe d'entrée donne lieu à un dragage annuel d'environ 80,000 mètres cubes (à Port-Saïd le cube correspondant s'élève à 200,000 mètres environ), tandis qu'à Kingstown ce dragage est réduit à des proportions relativement insignifiantes, on doit se demander quelle est la cause de cette différence, et, par suite,

de quelle manière on pourrait obtenir des conditions avantageuses relativement aux ensablements de l'entrée des ports.

A Kingstown l'amplitude moyenne de la marée est de 3^m,50 en vive eau et de 2^m,70 en morte eau ; à Ymuiden cette amplitude est d'environ 1^m,60 en tous temps. On peut en conclure que la vitesse des courants de marée est plus grande devant le premier port que devant le second (nous n'avons trouvé dans aucun ouvrage la valeur de la vitesse des courants devant Kingstown).

Quoi qu'il en soit, supposons un instant que l'amplitude de la marée, ainsi que la vitesse des courants correspondants, soient beaucoup plus grandes à Ymuiden qu'elles ne le sont en réalité.

Il n'y aurait rien de changé à la manière dont le flot se comporte aujourd'hui, si ce n'est qu'en vertu de l'accroissement de sa vitesse l'affouillement à l'extrémité de la jetée sud serait plus considérable ; tandis que le courant ne s'épanouirait pas moins à partir de cette extrémité et que les remous continuant à se produire, ils donneraient encore lieu à d'inévitables ensablements. Il est vrai que le sable qui se précipitait devant l'entrée du port serait peut-être porté un peu plus loin, mais aussi le courant pourrait, à raison de sa plus grande vitesse, en entraîner une plus grande quantité, en même temps que l'augmentation du volume d'eau introduite dans le port y amènerait beaucoup plus de matières solides.

Si l'on considère maintenant l'action d'un courant de jusant ayant, comme à Kingstown, même direction et même intensité que le flot (ce qui est aussi le cas le plus favorable), il est certain que le jusant pourra enlever une partie du sable déposé par le flot près de la jetée nord, mais seulement pour le déposer avec ses

propres apports, aux environs de la jetée sud, où il servira encore une fois d'aliment pour le flot de la marée suivante.

Le courant de vidange ne peut produire qu'un effet insignifiant pour entraîner en mer les sables que le flot aura déposés à l'entrée ou plus avant dans le port.

En effet, ce courant ne peut être plus fort que le courant de remplissage. Or, celui-ci laissant déjà se déposer à l'entrée du port le sable qu'il tient en suspension, il paraît tout à fait impossible que le courant de sortie puisse soulever et emporter le sable déposé par le premier courant. Du reste, ces courants de sortie doivent toujours avoir une action assez faible, puisque leur vitesse est très réduite; celle du courant qui se produit à l'entrée du port de Kingstown, dont la superficie mesure environ 100 hectares, ne dépasse probablement pas une vingtaine de centimètres par seconde.

En somme, on voit que la plus grande amplitude de la marée pourrait diminuer la mauvaise influence des ensablements à l'extérieur du port, tandis qu'elle augmenterait l'ensablement à l'entrée et à l'intérieur du port; indépendamment de cela, la quantité de vase introduite dans l'enceinte avec chaque marée serait plus considérable, ce qui doit avoir des suites fâcheuses pour l'entretien du port. Les conséquences que nous avons tirées de la comparaison entre le port de Kingstown et celui d'Ymuiden placé dans des conditions analogues au premier, montrent comment se forme le petit ensablement en dedans et à l'ouest de l'entrée du port de Kingstown, sans expliquer le peu d'importance de cet ensablement. Les jetées des deux ports se présentent dans des conditions trop semblables pour agir de façon à produire des résultats tellement différents.

Dès lors cette différence ne peut tenir qu'à la pureté

des eaux que le flot amène dans le port, où d'ailleurs elles ne produisent aucun autre dépôt ; aux conditions particulières que présente la côte de Kingstown qui n'a pas de plage de sable, et aussi à ce que les lames du large passent devant le port sans s'y infléchir d'une manière sensible, de sorte que les vagues peuvent seulement soulever le sable le long des ouvrages du large et contre les musoirs : aussi ce sable contribue-t-il à la formation du petit banc intérieur que nous avons signalé.

L'étude du port de Kingstown ne conduit donc qu'à un remède contre les ensablements, lequel serait en principe de soustraire autant que possible les eaux passant devant le port à l'influence de la plage et de l'estran sablonneux.

Si l'on se reporte maintenant à la cause d'ensablement que M. Conrad signalait dans l'emploi d'alignements droits pour terminer les jetées du port, on voit qu'il faut, en cherchant à réaliser un dispositif capable de réduire l'importance des ensablements qui se produisent à l'entrée des ports, tâcher de satisfaire aux deux *desiderata* suivants :

Minimum de sable en suspension dans les eaux passant devant le port ; et

Minimum d'épanouissement et de remous pour les courants circulant devant le port.

Ce sont là, au fond, les conditions que M. Dirks, ingénieur en chef du Waterstaat, aurait voulu réaliser, en établissant les jetées du large parallèlement à la côte, de façon à obtenir le dispositif indiqué fig. 1¹, pl. V. De cette manière, les contre-courants et les remous que produit tout ouvrage avancé, se détruiraient dans les espaces situés entre les môles en retour et la côte et y donneraient lieu à des dépôts de sable, tandis que le courant normal passerait devant le port en rasant les jetées parallèles à la côte.

Ce dispositif, présenté par M. Dirks au *Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, à la séance du 8 avril 1879, fut l'objet d'une discussion très intéressante que nous tâcherons de résumer (1).

En plaçant le dispositif fig. 1^a à la place de celui fig. 1, qui représente le port existant d'Ymuiden, on peut voir comment ils se comportent mutuellement par rapport aux vagues incidentes et réfléchies suivant les directions indiquées par les flèches ; les endroits où se forment les ressacs et les lames en retour sont indiqués par des points noirs. M. Dirks reconnaît que, dans presque tous les cas, la situation du port avec jetées parallèles est défavorable ; cependant il se croit autorisé à conclure que « hormis le cas où les jetées « extrêmes seraient dirigées vers la côte fig. A, la « direction de ces jetées a peu d'influence sur les incon- « vénients à résulter de l'action des vagues pour la « manœuvre des navires. »

M. l'ingénieur en chef Waldorp pense, au contraire, qu'il se produirait juste à l'entrée du port des mers confuses, de telle sorte que les navires n'obéiraient plus à leur gouvernail et seraient ainsi exposés aux plus graves dangers. Un tel port devrait, par conséquent, être considéré comme très dangereux. D'après cet ingénieur, on doit s'attacher au principe fondamental de placer l'entrée des ports le plus possible en dehors de toute autre partie comprise dans l'ensemble de l'ouvrage.

L'action des courants, dit M. Dirks, ressort des indications de la figure 6^a qui se rapporte au flot. Extérieurement le courant continuerait à passer parallèlement à la côte, sans être chargé d'une plus grande quantité de sable ou de vase qu'avant la construction des môles.

(1) *Tijdschrift van het koninklijk Instituut van Ingenieurs* — Notulen van 1879.

Le flot produirait une surélévation d'eau dans l'espace situé derrière la jetée en retour, ce qui, comme l'indiquent les flèches, provoquerait le long de cette jetée un courant qui la contournerait pour se réunir au courant régulier passant devant le port.

Nous devons ouvrir ici une parenthèse pour faire remarquer que le contre-courant qui doit se produire inévitablement, pourrait bien apporter quelques modifications à la répartition des courants telle que M. Dirks les renseigne. Quoi qu'il en soit, cela n'infirme nullement ce qui a été dit par cet ingénieur, ni ce qu'il ajoute :

« Le courant concentré ou accéléré, dont l'action érosive le long des extrémités des jetées procure le sable qui se précipite devant l'entrée du port, ne se rencontre nulle part le long des jetées parallèles à la côte.

« L'eau non artificiellement chargée de sable remplira les espaces situés entre les jetées en retour et la côte, et y sera chassée et en quelque sorte surélevée, ce qui occasionnera l'ensablement de ces espaces.

« Le membre Conrad (1) a appelé notre attention sur ce point, et je partage sa manière de voir; cependant à peine dans cette mesure, que cet ensablement nécessitera l'allongement des jetées en retour seulement après une période de 200 ans.

« Cet ensablement, ajoute M. Dirks, ne peut diminuer la profondeur de l'entrée du port, tandis que le contre-courant et les remous se produiront et seront détruits dans ces espaces sans dommage pour la navigation. »

M. Waldorp n'admet pas la manière de voir de ses

(1) M. J.-F.-W. Conrad, Inspecteur du Waterstaat.

collègues, au sujet de l'action des courants de marées.

Il dit que ces courants, en sortant des espaces compris entre les dunes et les jetées en retour, formeraient des remous le long de ces jetées, de telle sorte que le flot produirait des atterrissements devant la jetée sud et le jusant devant la jetée nord. Le port serait ainsi précédé de deux cônes de sable, entre lesquels la passe d'entrée se présenterait comme un véritable entonnoir, ce qui, au point de vue de la navigation, est la forme la plus défectueuse possible.

M. Waldorp pense que l'on peut arriver à atténuer les effets produits par les contre-courants, sans nuire à la facilité de manœuvre des navires à l'entrée. A cet effet, il propose de donner à la tête des jetées une forme courbe capable de dévier autant que possible les courants qui longent les jetées, suivant la direction des courants généraux qui passent devant le port. Le flot subirait encore l'influence de la jetée sud et les sables qu'il entraîne devraient également se déposer au nord de la jetée opposée, mais plus près de celle-ci et un peu à l'intérieur de la tangente menée du musoir qui forme l'extrémité de la partie courbe de la jetée sud. De cette façon le dépôt laisserait l'entrée du port libre, tandis que les brisants qui s'y produiraient seraient moins dangereux que dans le cas des jetées en retour parallèles à la côte.

Il est encore à remarquer, ajoute M. Waldorp, que le remous secondaire que forme le courant de flot en s'épanouissant au delà du musoir de la jetée sud, serait beaucoup moins important avec une jetée terminée en courbe, que suivant une droite faisant un angle de 45° avec la direction des courants principaux, parce que le flot quitterait l'extrémité de cette jetée à peu près tangentiellement et moins brusquement.

Les inconvénients si graves qui résultent de l'ensa-

blement à l'entrée des ports constitués par une enceinte fermée, ne sont pas à craindre lorsqu'on emploie les jetées *en persiennes*.

Dans ce cas, en effet, on n'observerait plus l'érosion de l'estran à quelque distance du port, ni son relèvement dans la zone adjacente à celui-ci ; on ne verrait plus l'accélération des courants le long des jetées de l'enceinte, accélération qui occasionne la formation des sillons vers leurs extrémités et des affouillements à leur tête, ni l'épanouissement de ces courants concentrés à partir des musoirs, ni les remous qui en résultent.

On ne remarquerait pas, non plus, dans la région du port, des eaux plus abondamment chargées de sable qu'en tout autre point de la côte, ce qui est très important pour la question que nous allons aborder.

Ensablement et envasement général du port. — Nous venons de voir comment le courant de remplissage peut entraîner, vers l'intérieur de l'enceinte, des sables qui ne tardent pas à se précipiter ; mais, c'est le dépôt des vases tenues en suspension dans ces eaux qui constitue bien souvent le principal obstacle au maintien de la profondeur du port.

La cause de ces dépôts se trouve dans le calme relatif auquel les eaux sont soumises à l'intérieur de l'enceinte.

Voici une opinion certainement intéressante de M. Conrad, au sujet de l'influence de l'agitation produite par les vagues sur l'envasement du port :

« L'envasement général du port s'opère d'une
 « manière continue, mais il sera plus considérable en
 « temps ordinaires que durant les gros temps, parce
 « qu'alors les vagues maintiennent les matières ténues
 « en suspension jusqu'à ce que le jusant les porte de
 « nouveau en pleine mer où elles se diffusent (1) ».

(1) Ouvrage cité, page 14. Traduction.

La solution qui s'indique le plus naturellement pour remédier à cet envasement, consiste à disposer les ouvrages de façon à permettre aux courants de marée de circuler à travers le port.

Bien des tentatives ont été faites dans cet ordre d'idées, pour arriver à une solution satisfaisante de ce problème.

Les Romains paraissent avoir réussi, vu l'état de la navigation de l'époque, au moyen de jetées composées de piles reliées par des arceaux très surbaissés, ayant leur naissance au niveau des basses mers. Les môles antiques de Pouzzol, de Misène, de Nisita, d'Actium, nous offrent des exemples de ce genre de construction.

Dans les temps modernes, on s'en est tenu aux jetées à claire-voie, généralement en charpente de bois ou de fer, quelquefois en maçonnerie. Parlant de ces jetées, MM. Stoecklin et Laroche disent (1) :

« Leur défaut général est qu'elles n'ont qu'une action restreinte sur le mouvement des ondes dans le sens vertical et qu'elles laissent passer facilement les lames. »

Pour remédier à l'envasement du port en eau profonde projeté devant Douvres, on avait proposé d'avoir recours à des môles interrompus, soit par une seule et large ouverture, soit par une série d'ouvertures étroites dans les branches est et ouest. La commission de 1846, chargée d'étudier les projets du port, dit au sujet des propositions mentionnées ci-dessus :

« Toutes les personnes éminentes que nous avons consultées, sont d'avis qu'un courant de marée ne pourrait être maintenu avec une série de passages étroits ; mais, aux passes larges, on objecte que le mouillage reste ainsi exposé aux vents régnants et

(1) Ouvrage cité, page 87.

« à la grosse mer, là où l'on aurait le plus besoin de calme, et que le port ne serait plus guère meilleur qu'une rade foraine. »

Dans ces conditions, la commission s'en est tenue à une autre disposition basée sur le principe de n'admettre dans le port que la quantité d'eau strictement nécessaire pour établir le niveau, sans provoquer un courant sensible dans l'intérieur.

Ce dernier principe peut être excellent à la faveur de circonstances particulières, comme à Kingstown, et il le sera chaque fois que la quantité d'eau strictement nécessaire dont il est question, n'apportera pas avec elle une grande masse de vase, et alors on aura réussi en même temps à réduire au minimum le courant de remplissage qui introduit le sable.

Nous avons vu le résultat qu'a produit ce principe appliqué au port d'Ymuiden, où la couche d'envasement annuel atteint approximativement 0^m,65 d'épaisseur.

La commission belge, instituée par le Gouvernement en vue d'examiner le projet « Bruges-Port-de-Mer », présenté par M. De Maere-Limnander, admit 1^m,30 pour l'épaisseur probable de la couche annuelle d'envasement dans le port de Heyst.

Il est vrai qu'une commission internationale d'appel, instituée par le conseil communal de la ville de Bruges, abaissa ce chiffre à 0^m,80.

Nous devons dire encore que M. De Mey (1) conteste cette dernière évaluation et s'en tient au chiffre de 1^m,30.

On comprend facilement que, dans des conditions pareilles, les dépenses d'entretien du port monteraient à des sommes énormes ; ainsi, pour le port de Heyst,

(1) Ouvrage cité.

la commission nationale estimait qu'il faudrait dépenser au moins 3 millions de francs par an ; de plus, elle émettait l'avis que la navigation serait fortement entravée par le grand nombre de dragueurs qu'il faudrait employer d'une manière permanente dans le port et le chenal d'accès à l'écluse, pour les maintenir à la profondeur prévue.

La commission internationale, en approuvant le projet que lui soumettait M. De Maere et qui comportait, comme modification principale, l'entretien d'une passe navigable de 250 mètres de largeur, émit l'opinion que la dépense annuelle pour l'entretien de cette passe ne dépasserait pas la somme de 400,000 francs.

En présence de la prévision de tels résultats, on peut douter que le principe des ports fermés soit favorablement appliqué dans le cas actuel ; et, dès lors, il semble naturel d'en revenir au principe des ports ouverts, surtout après que nous aurons montré la possibilité de l'appliquer, en écartant les inconvénients qui l'avaient primitivement fait rejeter.

C'est, du reste, en s'appuyant sur la même idée qu'un ingénieur éminent proposa, au sein de la commission internationale, que les môles, au lieu de partir du pied des dunes, prendraient seulement leur origine vers le point où l'on trouve la profondeur de 2 mètres sous marée basse, soit à 400 mètres environ de la côte.

« Par le mode de construction indiqué (1), — dit le
« rapporteur, M. Voisin-Bey, — on sauvegarderait
« le courant régulier des marées à travers le port et
« l'on préviendrait, en même temps, le courant trop
« fort à l'entrée qui, dans un port fermé, deviendrait
« excessif et dangereux pour la navigation, aussi bien

(1) Rapport de la commission, instituée par l'administration communale de la ville de Bruges, à l'effet d'étudier le projet du port de Heyst, page 18. Bruges, 1884.

« qu'une cause d'envasement à l'intérieur du port. »

Sans s'arrêter pour le moment à cette disposition, on peut dire que la construction des môles discontinus ou à claire-voie permettrait d'obtenir les résultats qui viennent d'être indiqués, si la manière dont jusqu'ici on a toujours essayé de les établir, n'allait pas directement à l'encontre de la destination première des ports, qui est d'offrir aux navires le calme et par suite la sécurité nécessaire.

C'est, d'ailleurs, cette dernière considération, d'une importance capitale, qui justifie le dispositif des jetées *en persiennes*. Il nous serait impossible d'établir exactement les lois suivant lesquelles se fera la précipitation des matières ténues qui passent avec les courants à travers un chenal disposé comme l'indique la planche VII.

Mais quelles que soient ces lois, il importe avant tout de savoir si les dépôts qui pourront en résulter seront plus ou moins considérables que dans un port limité par des jetées continues.

La question semble ainsi bien posée, et nous tâcherons de l'éclaircir quelque peu. A cet effet, nous croyons pouvoir formuler les remarques suivantes :

1° Par rapport à des sections faites normalement à la côte et comprises entre les dunes et une ligne parallèle distante d'un à deux milliers de mètres, les courants parallèles à la côte sont animés d'un mouvement sensiblement permanent ;

2° Le passage du courant entre les môles qui forment les jetées du port, provoque dans toute la masse de l'eau une agitation qui doit produire une diffusion très grande des matières tenues en suspension : diffusion qui ne peut qu'entraver la précipitation de ces matières ;

3° L'importance des dépôts, en un point donné du chenal, varie :

a) En rapport direct de la vitesse relative du courant au dehors et en dedans du chenal. La valeur de cette vitesse relative change, d'ailleurs, suivant la distance à laquelle on se place par rapport au pied des dunes ;

b) En rapport direct du temps qu'une même masse d'eau mettra à traverser le chenal. Toutes choses égales, ce temps augmente proportionnellement à la largeur du port.

De là résulte :

1° Que la largeur à l'entrée du port est assez indifférente ; la vitesse des courants y étant sensiblement la même qu'à l'extérieur ;

2° Que la largeur du chenal doit être d'autant plus faible que le courant lui-même se trouve plus affaibli : disposition tout aussi avantageuse, au point de vue des dragages de premier établissement, qu'au point de vue des dragages d'entretien.

Ces remarques, dont la vérité semble incontestable, ainsi que d'autres considérations qu'il serait trop long d'exposer ici, conduiraient à admettre la forme divergente ou parallèle, comme étant la disposition la plus rationnelle pour un port-chenal compris entre deux *jetées en persiennes*.

Avant de discuter les conséquences qui peuvent être tirées de ce qui précède, relativement aux dépôts généraux, il peut être utile de rapporter encore les faits suivants, que nous avons trouvés dans deux auteurs bien connus, MM. Barret et Bouniceau.

A Port-Saint-Georges, à l'entrée de la Gironde, la construction d'une digue, en arrêtant le courant de marée, provoqua l'ensablement intérieur. En coupant la digue à son enracinement, les dépôts disparurent, mais l'agitation augmenta.

Le port d'Actium fut construit par les Romains

d'après un système de jetées à claire-voie dont nous avons déjà parlé. De cette façon les courants côtiers pouvaient continuer leur course, tandis que les vagues, en pénétrant en partie à l'intérieur du port, entre les diverses piles, y occasionnaient une certaine agitation. Cette agitation ayant été jugée trop grande pour la facilité du mouillage des navires, on a tâché de la diminuer. C'est pour cela que, dans les temps modernes, on a fermé une partie du môle est ; mais cela a occasionné l'atterrissement de la partie correspondante de l'ancien port. Pour éviter cet inconvénient et atteindre le *desideratum* de laisser passer le courant sans ressentir à l'intérieur du port l'agitation qu'occasionne l'écartement des piles, on a doublé certains môles en faisant correspondre les vides aux pleins, ou bien on a eu recours à des môles intérieurs destinés à empêcher l'agitation de se propager à l'intérieur du port.

On voudra bien se rappeler ces exemples, quand nous parlerons de l'agitation des eaux à l'intérieur des ports.

Maintenant, peut-on conclure de ce qui a été dit plus haut, que dans un chenal limité par des *jetées en persiennes* les ensablements et envasements généraux seraient plus ou moins importants ?

Il est d'abord évident que cela dépend du régime particulier de la mer dans les régions où l'on voudrait établir le port ; par conséquent, pour répondre d'une manière fondée à cette question, il faudrait étudier chaque emplacement, et alors ce qui précède pourrait probablement aider à formuler une réponse suffisamment précise et telle que le comportent ces questions.

Ainsi, en établissant un dispositif analogue à celui représenté pl. VII, à la place du système proposé par M. De Maere pour le port de Heyst, où, comme on le sait, le mouvement des sables est très limité, tandis

que les eaux sont fortement chargées de vase : il n'est pas téméraire d'affirmer que l'ensablement et encore moins l'envasement ne prendraient pas une bien grande importance, et que de cette manière le cube de dragage annuel d'entretien, comparé à celui prévu pour le port fermé, serait réduit dans de très notables proportions.

Nous nous en tiendrons pour le moment à cette seule conclusion ; nous devons, d'ailleurs, revenir sur cette question, mais seulement après avoir complété le système des jetées *en persiennes* par un dispositif conçu spécialement en vue des ensablements, que l'ordre suivi dans cet exposé ne nous permet pas de faire connaître à cet endroit.

§ 4. — NAVIGABILITÉ DU PORT.

La navigabilité du port peut être compromise :

1° Par la trop grande intensité des courants à l'entrée ou en travers du port ;

2° Par l'agitation que les vagues peuvent produire devant et dans le port.

1° L'avancement des jetées pleines occasionne un accroissement de la vitesse des courants devant l'entrée du port.

On a constaté qu'à Ymuiden le courant de flot, par des vents modérés de l'ouest au nord, quitte le musoir de la jetée sud avec une vitesse maximum de 1^m,10 à 1^m,25 par seconde, tandis que la vitesse régulière est de 0^m,75 à 0^m,90. Lorsque les jetées sont discontinues ou à claire-voie, les courants littoraux passent plus ou moins librement au travers du port et peuvent grandement gêner la navigation, surtout parce que les navires doivent passer précisément pendant que le flot atteint sa vitesse maximum, alors que les jetées basses et les estacades ont le moins d'action sur les lames.

Le chenal limité par des jetées *en persiennes* présente sous ce rapport plusieurs avantages :

L'entrée du chenal ne serait pas gênée par les courants renforcés ;

Les navires seraient bien mieux abrités contre l'action des vagues, comme nous allons le montrer tantôt ;

Le chenal peut avoir une très grande largeur, ce qui facilite beaucoup les manœuvres des navires ;

Puis, comme il s'agit des ports en eau profonde, les navires trouveraient en tout temps la profondeur nécessaire, ce qui dispenserait le plus grand nombre d'entre eux de la nécessité d'entrer pendant que les vitesses des courants sont les plus grandes ; du reste, la disposition des môles se prête très facilement à une diminution *ad libitum* des sections de passage pour les courants. On remarquera, enfin, que la vitesse des courants littoraux est distribuée le long de l'axe du chenal, de telle sorte qu'elle aille progressivement en diminuant jusqu'à la laisse de la mer.

2° En traitant la question des ensablements qui se produisent à l'entrée des ports, il a été suffisamment parlé de l'influence que peut avoir la disposition des môles à l'entrée du port, sur les conditions d'accessibilité de celui-ci. On peut admettre que ces conditions se présentent d'une manière très avantageuse avec des têtes de jetées inclinées de 45 degrés sur l'axe du port. L'agitation intérieure n'est pas moins dangereuse pour la sécurité du mouillage ou simplement de la traversée des navires. M. Conrad dit à ce sujet (1) :

« Le canal extérieur qui relie le port d'Ymuiden
 « aux écluses maritimes a 1,400 mètres de long et sa
 « direction ne coïncide pas avec celle de l'axe du port,
 « de sorte que les écluses, qui se trouvent à plus de

(1) Ouvrage cité, page 22. — Traduction.

« 2,500 mètres de la tête des môles, sont abritées
« contre les lames qui enfilent le port pendant les tem-
« pêtes. La propagation de ces lames est entravée par
« le développement trapézoïdal de la surface du port
« qui mesure plus de 100 hectares et qui a, par con-
« séquent, une action considérable sur l'épanouisse-
« ment des lames.

« Les môles d'enceinte ont une hauteur de 4^m,10
« + A. P., soit 3^m,30 + H. M., et cette hauteur est
« relevée à 5^m,10 + A. P. vers les têtes des jetées.

« Nonobstant cette hauteur des môles et la forme
« de l'enceinte qui provoque l'épanouissement des
« lames, le port d'Ymuiden n'est pas, pendant les
« tempêtes, un mouillage offrant de la sécurité pour
« les navires et, certainement pas, pour les petits
« bateaux. »

On pourrait croire que l'on se trouverait dans des conditions plus simples et plus avantageuses en remplaçant l'enceinte du port par deux jetées parallèles comprenant, entre elles, un chenal présentant la largeur de la passe navigable actuelle.

Mais il faut observer qu'avec des jetées insubmersibles les vagues qui entrent directement dans le chenal y conservent, sur tout leur parcours, la presque totalité de leur force vive ; tandis que les jetées à claire-voie laissent passer facilement les lames et n'ont qu'une action restreinte sur le mouvement des ondes dans le sens vertical.

C'est donc la nécessité absolue de réduire la force vive des vagues à l'intérieur du port qui est une des causes déterminantes de la forme d'enceinte, souvent admise pour réaliser en somme un chenal d'accès.

Le facile accès des navires impose un minimum de

largeur à l'entrée du port, minimum que d'éminents praticiens ont fixé à 200 mètres (1).

Au point de vue du calme intérieur, cette ouverture doit être la plus petite possible, en même temps que la surface du port doit être grande pour favoriser l'épanouissement des lames. Mais cette surface elle-même ne doit pas dépasser certaines limites, car plus elle devient grande, plus l'action du vent y devient considérable; cette action peut ainsi augmenter la force vive de la lame et occasionner, de cette façon, une agitation locale qui irait à l'encontre du résultat que l'on veut obtenir.

Si l'on songe maintenant à construire un port avec des jetées discontinues, la forme d'une large enceinte s'impose encore plus impérieusement, parce que les vagues peuvent passer par les ouvertures supplémentaires et augmenter l'agitation dans le port. On peut s'en rapporter aux faits que nous avons déjà cités, de port Saint-Georges et d'Actium. Les exemples, d'ailleurs, ne manquent pas : ainsi la jetée de Folkestone, qui sert à l'accostage des bateaux à vapeur, fut construite au début à claire-voie, mais on a dû y établir un remplissage en pierres sèches pour donner plus d'abri aux navires.

Nous en ajouterons encore un, emprunté à MM. Stoecklin et Laroche (2) : Vers 1865, on a fait au Socoa, dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, l'essai d'un système de jetée à claire-voie, formé de trois lignes parallèles de colonnes en béton placées en quinconce. Mais l'expérience a prouvé que ce système ne donnait aucun calme dans la rade et il a fallu l'abandonner.

Le système des jetées *en persiennes* présente un double avantage :

(1) M. Michel, Inspecteur général de la Marine.

(2) Ouvrage cité.

1° De permettre le passage des courants, tout en empêchant le passage des vagues;

2° De pouvoir réduire l'agitation intérieure d'une manière presque illimitée.

1° Nous avons déjà établi que les courants littoraux passeraient entre les môles, et la propriété que présentent les persiennes d'intercepter le mouvement de propagation des vagues est mis clairement en évidence par les tracés de la planche VI.

Nous croyons inutile d'insister sur ce point; du reste, pour en avoir une explication, peu rigoureuse il est vrai, on n'a qu'à se placer derrière un rideau de persiennes et se demander, pourquoi les rayons du soleil se trouvent interceptés alors que le vent passe.

2° La démonstration du second point, quoiqu'à l'énoncé il paraisse un peu paradoxal, n'est pas bien difficile.

A cet effet, on doit se rendre compte du mode d'action particulier des persiennes sur les vagues qui enfilent le chenal.

La force vive de toutes les particules en mouvement d'une vague reste à peu près constante, aussi longtemps qu'elle n'est pas absorbée par un travail quelconque. Cela étant, la forme divergente du premier élément, composé des deux premiers môles de chaque jetée, permettra l'épanouissement de la vague, qui atteindra le deuxième élément (1), avec une hauteur déjà réduite, sa force vive étant répartie dans une masse d'eau à peu près double. Ce deuxième élément coupera la vague en trois parties : les deux parties latérales, qui constituent à peu près la moitié de la masse d'eau en mouvement, se perdront dans la mer; tandis que la partie centrale, dont la force vive ne

(1) Un élément se compose de deux môles symétriquement placés par rapport à l'axe du port.

représente plus qu'une fraction de la valeur primitive, se propagera en s'épanouissant entre cet élément. Tous les éléments que la vague rencontrera agiront d'une manière analogue, et l'on comprend que, de cette façon, les vagues doivent perdre rapidement de leur hauteur.

Nous pouvons donner à ce résultat une forme palpable, en cherchant les coefficients de réduction de la hauteur des vagues à l'intérieur du port, au moyen de la formule dite de Stevenson. Cette formule empirique, basée sur la théorie du mouvement des vagues, due à Stevenson et à Scott-Russell, peut se mettre sous la forme suivante, où tous les éléments sont rapportés au mètre pris comme unité.

$$\frac{x}{H} = \sqrt{\frac{b}{B}} - 0,027 \left(1 + \sqrt{\frac{b}{B}} \right) \sqrt[4]{D}$$

H hauteur de la vague à l'extérieur,

x hauteur réduite des vagues à l'intérieur, à une distance,

D de l'entrée du port,

b largeur à l'entrée,

B largeur du port à la distance D de l'entrée.

Il ne semble exister aucune circonstance pour infirmer spécialement la théorie de Stevenson et de Scott-Russell, appliquée au dispositif des jetées *en persiennes*.

Il est incontestable, en effet, que le premier élément des jetées agira sur les vagues identiquement comme les têtes des jetées existant à Ymuiden, et cela, sur une longueur correspondant à 100 mètres mesurés suivant l'axe du port.

Cela étant, quelles raisons pourrait-on alléguer pour prétendre que le deuxième élément n'agira pas comme le premier élément, le troisième comme le deuxième, et ainsi de suite ?

Nous croyons dès lors être fondé à appliquer la formule en question et à en accepter les résultats au même titre et sous les mêmes réserves que pour le port existant à Ymuiden.

Ces réserves sont, d'après M. Conrad, que la formule ne tient pas compte de la direction du vent, ni de la profondeur du fond, ce qui fait qu'elle ne se justifie pas à Ymuiden.

Cependant : « Les ingénieurs anglais considèrent « cette formule comme suffisamment approximative ; « elle est d'accord avec les expériences faites sur « plusieurs ports formés par des jetées conver-
« gentes (1) ».

La plupart des auteurs sont de cet avis.

Il ne peut donc y avoir aucune exagération à admettre les résultats de cette formule comme approximatifs, et surtout de s'en servir pour comparer, dans les mêmes conditions d'orientation et de profondeur, l'efficacité des deux systèmes de jetées en présence, par rapport à la réduction de la hauteur des vagues qui se propagent entre ces jetées. Cela étant, on a trouvé (2) par cette formule que la hauteur des vagues à l'intérieur du port d'Ymuiden devrait être réduite aux 0.35 de leur hauteur primitive, à une distance de 600 mètres de l'entrée, et aux 0.25 environ à une distance de 1,100 mètres, soit à la tête des jetées basses qui précèdent le canal intérieur.

La même formule, appliquée au dispositif sur lequel nous avons raisonné jusqu'ici, donne sur l'axe du chenal au bout du premier élément, soit à une distance de 100 mètres de l'entrée :

(1) De Baue. *Traité de navigation maritime et fluviale*, page 552. — 1878.

(2) M. Ph. Croizette-Desnoyers. — *Notice sur les Travaux publics en Hollande*.

$$\frac{x_1}{H} = 0.6$$

Au bout du deuxième élément, soit à une distance de 200 mètres de l'entrée :

$$\frac{x_2}{x_1} = 0.60 \quad \text{d'où} \quad \frac{x_2}{H} = (0.60)^2 = 0.36$$

Au bout du sixième élément, soit à une distance de 600 mètres de l'entrée :

$$\frac{x_6}{H} = (0.6)^6 = 0.046$$

Enfinement, au bout du onzième élément, soit à une distance de 1,100 mètres de l'entrée

$$\frac{x_{11}}{H} = (0.6)^{11} = 0.0036$$

Ces résultats paraîtront certainement étonnants, si on les compare à ceux que peuvent donner les enceintes convergentes, ou les brise-lames, dont l'action est cependant basée sur les mêmes propriétés du mouvement des vagues.

Mais quelles que soient les réserves que l'on voudrait faire sur la théorie dont les chiffres précédents sont la conséquence, ils n'en attestent pas moins de l'énergie de la disposition des jetées *en persiennes*, au point de vue de la réduction de la hauteur des vagues qui se propageraient dans les chenaux qu'elles pourraient limiter.

Nous ferons encore observer, qu'en général les vagues ont une direction oblique par rapport à l'axe du port ; dans ce cas, comme nous avons pu le constater au port d'Ymuiden, elles entrent obliquement et courent le long d'un des môles continus en conservant presque toute leur hauteur, tandis que le reste de l'enceinte se maintient relativement très calme.

Or, il importe de remarquer que cette répartition de l'agitation à l'intérieur du port, a pour effet de soulever les matières ténues déposées à une faible profondeur le long du môle sur le segment correspondant de l'enceinte. Les matières ainsi mises en suspension augmentent le trouble des eaux au milieu du port et contribuent à l'envasement de la passe navigable.

Les jetées *en persiennes* agissent tout autrement sur les vagues qui entrent obliquement dans le port; ces jetées leur offrent une issue facile, de façon à les éconduire le plus directement possible; et c'est apparemment, pour nous servir de l'expression si énergique de Scott Russell, ce qu'on peut faire de mieux avec ces dangereux ennemis en attendant que l'on ait trouvé le moyen d'en faire de vigoureux esclaves.

§ 5. — DISPOSITION COMPLÉMENTAIRE DU SYSTÈME DES JETÉES *en persiennes*.

Lorsque nous avons traité la question de l'ensablement et de l'envasement du chenal limité par des jetées *en persiennes*, nous avons constaté qu'il était exposé à un ensablement général plus ou moins important suivant les circonstances.

C'est là un désavantage inévitable du système des ports ouverts sur celui des ports fermés. On comprendra que nous insistions sur ce point et surtout que nous cherchions les moyens de remédier à cet inconvénient, de façon à assurer dans le plus grand nombre de cas possibles, la supériorité du système que nous proposons.

Sans recommencer la discussion relative aux ensablements, nous devons cependant y revenir et en quelque sorte la compléter.

La disposition des môles interrompus ou à claire-

voie, « permet aux sables qui voyagent dans la partie supérieure de la plage, sous la double action des lames et des courants, de pénétrer dans le port d'où ils ne peuvent plus ensuite sortir (1) ».

L'ensablement serait donc le plus considérable à la partie supérieure du chenal, d'autant plus que les courants qui pourraient porter à travers le chenal les matières qu'ils tiennent en suspension, s'y trouvent plus affaiblis et que l'agitation s'y fait moins sentir.

Notre attention doit donc se porter tout spécialement sur la recherche des moyens propres à empêcher les effets dus à cet état de choses.

Mais si l'emploi de jetées discontinues ou à claire-voie, pour limiter un chenal à travers la plage et la partie supérieure de l'estran, présente des inconvénients, les jetées pleines n'en présentent pas de moins graves. Les ports bien connus de Calais, de Dunkerque, d'Ostende, fourniraient à ce sujet des faits nombreux qu'il serait intéressant de discuter. Cependant, comme cette discussion ne peut servir qu'à montrer l'insuffisance des systèmes employés jusqu'ici, nous préférons aborder directement l'examen de la disposition d'ensemble que nous présentons planche VII.

Si on fait abstraction du chenal limité par les jetées *en persiennes*, on voit que, à part l'enceinte qui est remplacée par un simple canal, cette partie du port reproduit la disposition déjà présentée par M. Dirks. C'est par cette disposition que nous croyons pouvoir garantir le chenal contre les sables qui voyagent le long de la partie supérieure de l'estran. Le fonctionnement des môles parallèles à la côte et reliés à celle-ci par des jetées pleines a été suffisamment expliqué par la discussion si remarquable dont nous avons

(1) Rapport de M. Voisin-Bey, déjà cité, page 18.

tâché de donner un résumé, pages 145 à 148, résumé auquel on voudra bien se reporter.

Il en résulte : que le courant passerait le long des môles en retour en rasant l'entrée du canal, sans être chargé de plus de sable ou de vase qu'avant la construction du port, tandis que les courants qui passent au dessus de la plage et de la partie supérieure de l'estran dont ils roulent les sables, iraient en quelque sorte se décanter dans les zones situées derrière les môles en retour, avant de passer à travers le chenal.

Pour ce qui regarde l'ensablement de ces zones, nous répéterons les paroles de M. Conrad (1) : « Le prolongement des jetées en retour constitue bien un remède, et je crois qu'en faisant cela, il ne se produirait jamais des remous nuisibles. »

Or, dans le cas actuel, le prolongement des jetées en retour ne constitue pas un travail important, attendu que ces jetées ne se trouveraient établies que sur des fonds de 3 mètres environ sous le niveau de basse mer. C'est du reste un travail dont, en général, on pourrait utilement tirer parti par un emploi judicieux du terrain ainsi conquis sur la mer.

Quant aux remous dangereux, que seul M. Waldorp craignait devant les jetées en retour, on peut dire que les vagues et les lames en retour qui agiraient devant ces jetées, en empêcheraient l'effet nuisible, c'est-à-dire, que les ensablements ne sont pas à craindre sur les fonds élevés qui précèdent ces jetées. On remarquera encore que ces remous sont d'autant moins à redouter ici, que la masse du courant intercepté par les môles pleins est beaucoup plus petite qu'avec le dispositif sur lequel M. Waldorp raisonnait.

(1) *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, page 84. — 1878-1879. Traduction.

Au sujet de l'endiguement des plages de sable adjacentes aux ports, M. De Mey (1) émet les considérations qui suivent :

“ Si on réduit la largeur de la plage dans le voisinage du chenal, comme nous proposons de le faire à Nieuport, non seulement on soustrait le port aux sables qui sont ramenés, pendant les gros temps, des zones supérieures et du pied de la dune vers l'entrée, mais on augmente l'effet d'amaigrissement que les lames de tempêtes exercent sur l'ensemble de la plage près des jetées ; car, devant un perré en saillie par rapport à la laisse des hautes mers, les vagues ne peuvent plus déferler librement et rejeter les sables en dehors de leur limite d'action ; de plus, en se brisant sur les talus de pareil ouvrage, elles produisent, au contraire, des lames en retour intenses, qui tendent à entraîner le sable de l'estran vers la région du large.

“ Nous croyons, du reste, que pour les ports établis sur des côtes basses et sablonneuses, les rétrécissements de l'estran situé des deux côtés du chenal est chose recommandable, en général, au point de vue du maintien de la profondeur dans la passe d'entrée, à moins de se trouver sur une plage non en équilibre, telle qu'une anse naturelle en voie de comblement, ou sur une côte caractérisée par des transports de sable particulièrement importants, comme celles qu'on rencontre devant d'anciens estuaires déjà remblayés et qui sont précédés de vastes estrans plats. Dans ce cas, en effet, le perré en saillie serait exposé à être contourné plus ou moins rapidement par les sables. A part des circonstances de cette nature, l'endiguement des plages

(1) Ouvrage cité, pages 227-228.

« attenantes aux ports ne peut que produire de bons
« résultats, puisque celles-ci servent, pour ainsi dire,
« de lieux d'emmagasinement, où le sable s'accumule
« pendant la bonne saison pour aller obstruer le che-
« nal à l'époque des tempêtes. Et tandis que ces
« apports de sable donnent d'ordinaire vite lieu à une
« extension de l'estran le long d'une jetée, pareil effet
« serait bien plus difficile à produire devant une digue
« avancée en mer, d'une certaine étendue, d'autant
« plus que l'existence de cette digue constituerait une
« cause d'amaigrissement de la plage, de nature à
« détruire, à chaque mer houleuse, les accumulations
« de sable qui tendraient à s'y former. Ajoutons que,
« dans certains cas, la dépense à résulter de la con-
« struction d'un perré en saillie sur la dune, serait
« compensée, en tout ou en partie, par la valeur du
« terrain que l'on aurait ainsi conquis sur le domaine
« de la mer. »

Avant d'aborder l'examen des conditions relatives à l'entretien du port, nous devons encore voir si la disposition présentée n'offre pas de difficultés au point de vue de la navigation. Cette question étant de la compétence du marin, notre rôle se borne plutôt à indiquer aussi exactement que possible les conditions dans lesquelles le port se trouve relativement aux vents, aux courants et aux vagues. C'est ce que nous avons déjà essayé de faire pour le chenal limité par des jetées *en persiennes*. Les tracés de la planche VI, considérés cette fois dans l'ensemble des parties constitutives du port, montrent que la propagation et le croisement des lames réfléchies avec les lames incidentes, n'occasionnent pas d'agitation ou des ressacs en des endroits où ceux-ci peuvent être nuisibles ou dangereux pour les navires.

Les ondes réfléchies qui se feraient sentir à l'inté-

rieur du chenal, par des vents dirigés à peu près normalement à l'axe du port, ne semblent pas pouvoir y produire des inconvénients appréciables.

Lorsqu'au contraire le vent souffle directement du large, la propagation de l'agitation à l'intérieur du chenal est énergiquement atténuée par l'action des jetées *en persiennes* ; ainsi, nous avons montré qu'à 600 mètres de l'entrée du chenal, le coefficient de réduction de la hauteur des vagues était

$$\frac{x_6}{H} = 0^m,05 \text{ environ,}$$

soit la cinquième partie de ce qu'il devrait être au fond de l'enceinte du port d'Ymuiden.

Il semble résulter de ce qui précède :

Que l'entrée du port se présente dans les meilleures conditions ;

Que le chenal limité par les jetées *en persiennes* est bien abrité ;

Que l'entrée du canal extérieur serait toujours précédé d'une zone libre dont le calme relatif doit être très avantageux pour la manœuvre des navires qui attaqueraient le canal.

Ce calme relatif a encore pour résultat de procurer un mouillage offrant de grandes facilités pour le passage et même pour le stationnement des navires, ce qui en fait un précieux lieu de refuge pour ces derniers.

Le brise-lames que nous avons indiqué dans la partie courbe du canal, empêche la concentration de l'agitation que provoquerait le rétrécissement de la largeur du canal ; il sera, en outre, d'un grand secours pour obtenir dans l'avant-port qui y fait suite, le calme nécessaire à l'usage des débarcadères ou des quais d'accostage.

Quoique le dispositif que nous venons d'examiner

ne paraisse rien laisser à désirer sous le rapport des services qu'il est destiné à rendre à la navigation, on pourrait croire que la suppression de l'enceinte extérieure, telle qu'elle existe à Ymuiden, enlèverait au nouveau port tout l'avantage que celui qui existe présente comme port de refuge. Or, il importe de ne pas se faire illusion sur l'existence de cet avantage ; en fait il n'est pas réalisé. En effet, nous avons déjà cité les paroles par lesquelles M. Conrad reconnaissait, que le port d'Ymuiden n'offre pas un mouillage sûr pour les navires pendant les tempêtes. M. Conrad (1) déclare encore : « que l'expérience a appris que le port d'Ymuiden ne peut être considéré que comme une passe « que les navires peuvent traverser en sécurité. »

Mais le canal extérieur lui-même est encore fortement incommodé par l'agitation qui se propage librement de l'enceinte jusqu'aux écluses d'entrée du canal d'Amsterdam. Cette agitation est tellement forte, que la houle atteint jusqu'à 0^m,30 de levée devant ces écluses dont elle fait souvent battre les portes avec violence. Aussi, les gros cables et les chaînes au moyen desquels les navires sont amarrés, se rompent fréquemment, et le mouillage du canal est dangereux pour les petits bateaux (2)

§ 6. — ENTRETIEN DU PORT.

Continuons encore par le port d'Ymuiden : Comme suite à ce qui a déjà été dit relativement à l'ensablement devant et dans l'enceinte, ainsi que de l'envasement intérieur du port, M. Conrad (3) donne les renseignements suivants :

(1) Ouvrage cité, page 23. — Traduction.

(2) J.-F.-W. Conrad. Ouvrage cité, page 23.

(3) Id., id., pages 14-15. — Traduction.

« *Le fond de la passe navigable* situé à une profon-
 « *deur beaucoup plus grande que celle des segments*
 « *latéraux de l'enceinte, se trouve le plus exposé à*
 « *l'ensablement et à l'envasement quotidien, à cause*
 « *des apports de matières qui se sont primitivement*
 « *déposées sur le fond des segments latéraux. L'ap-*
 « *port de ces matières dans la passe provient princi-*
 « *palement du segment nord, par suite de la direction*
 « *du flot entre les jetées du port. A Ymuiden, les*
 « *dépôts sur le fond à l'extérieur du port et à l'inté-*
 « *rieur jusqu'à environ 70 mètres au sud de l'entrée,*
 « *se composent à peu près exclusivement de sable, et*
 « *ceux à l'intérieur du port et du canal extérieur, de*
 « *sable mêlé, dans une mesure plus ou moins grande,*
 « *d'argile et de vase. »*

Voici maintenant dans quelles conditions les dragages s'exécutent à Ymuiden.

« *Par l'exécution des dragages* pour la formation du
 « *bassin elliptique et de la passe d'entrée jusqu'en mer*
 « *on a enlevé, depuis juillet 1875 jusqu'au 31 décembre*
 « *1881, plus de 4 3/4 millions de mètres cubes de*
 « *déblai mesurés dans les chalands, et l'expérience a*
 « *montré, en outre, qu'il fallait draguer en moyenne*
 « *plus de 3 mètres cubes de sable et de vase mesurés*
 « *dans les chalands pour diminuer de 1 mètre cube le*
 « *déblai mesuré sous profil.*

« Il est vrai que ce résultat défavorable est partiel-
 « *lement la conséquence de l'augmentation de volume*
 « *que prend le déblai mélangé d'eau et de l'affaisse-*
 « *ment et de l'éboulement des matières venant des*
 « *segments du port, d'abord vers le bassin elliptique,*
 « *et plus tard vers la passe navigable notablement*
 « *plus profonde ; cependant les apports de sable et de*
 « *vase venant de la mer sont en tout cas la cause*
 « *principale du résultat défavorable mentionné ci-des-*

« sus. *Les dépenses* pour l'exécution des dragages sont
« augmentées dans une forte mesure par suite du fait :
« que la disposition du temps et l'état de la mer ren-
« dent le dragage à l'intérieur du port à peine possible
« pendant 162 jours en moyenne par an; tandis que
« pendant les autres jours de l'année on doit tenir en
« disponibilité les installations pour le dragage ainsi
« que le personnel nécessaire à leur fonctionnement. »

« Le dragage en dehors de l'entrée du port est
« encore plus fortement gêné par l'état du temps,
« ainsi, par exemple : pendant qu'en 1883 les dra-
« gages purent s'exécuter à l'intérieur du port durant
« 158 jours, ils furent à peine possibles durant 45 jours
« à l'extérieur.

« L'état du temps met aussi souvent obstacle à
« l'enlèvement rapide d'un ensablement survenu
« devant et dans l'entrée du port, et la passe navi-
« gable d'au moins 7^m,50 — A. P. (6^m,70 — B. M.),
« située à l'entrée au nord du musoir sud, fut limitée
« à une largeur de 100 à 120 mètres durant plusieurs
« périodes de 1880 à 1884.

« *Pour l'entretien de la profondeur réglementaire en*
« *dehors et dans l'entrée du port* on a dragué annuel-
« lement, durant les années 1878 à 1883, en moyenne
« 64,000 mètres cubes mesurés dans les chalands, et
« ce travail est très onéreux pour les motifs indiqués
« ci-dessus, tandis qu'en outre, le ressac et la houle
« rendent impossible le dragage méthodique au moyen
« de dragues à godets ou de pompes aspiratrices ordi-
« naires et exigent des appareils de dragage d'une
« construction spéciale.

« *Les apports de sable et de vase dans le port* sont par-
« fois considérables ; lorsqu'on essaya de creuser toute
« la surface elliptique à la profondeur de 8^m,50 —
« A. P. on enleva du profil, depuis le 4 octobre 1878

« jusqu'au 30 novembre 1879, environ 76,500 mètres
« cubes mesurés dans les chalands, et néanmoins le
« déblai mesuré sous profil était seulement diminué
« de 4,000 mètres cubes durant ces 14 mois.

« *On s'est borné après cela* à creuser et à entretenir à
« la profondeur de 8^m,50 — A. P. une *passé navi-*
« *gable* de 250 mètres de largeur, cependant cela
« même exige souvent des dragages considérables en
« des temps très courts; par exemple, depuis le
« 1^{er} août 1883, lorsque la passe avait la profondeur
« voulue, jusqu'au 1^{er} octobre 1883, il s'était déposé
« dans cette passe plus de 82,000 mètres cubes de
« sable et de vase, sur lesquels les dépôts dans les
« segments latéraux et l'affaissement de ces dépôts,
« surtout durant le gros temps, ont certainement
« exercé une influence fâcheuse.

« Il est impossible d'évaluer avec quelque exactitude
« *la quantité de sable et de vase qui se dépose annuelle-*
« *ment dans le port d'Ymuiden.* parce que le cubage
« des déblais enlevés comprend aussi bien les mètres
« cubes résultant de la formation commencée de l'en-
« ceinte complète, que ceux provenant de la passe
« navigable qui est plus profonde.

« Toutefois, ce chiffre a relativement peu d'import-
« tance, parce que l'entretien de la profondeur de la
« *passé navigable* exige que l'on tienne en disponibi-
« lité, durant toute l'année, un certain nombre d'ap-
« pareils de dragage équipés.

« On peut rapporter à ce sujet que l'on entretient
« pratiquement la profondeur de la passe du port et
« du canal extérieur, en tenant compte de l'état variable
« du temps : avec une drague aspiratrice porteuse et
« une suceuse qui peuvent enlever respectivement
« 200 et 50 mètres cubes environ par heure de travail,
« elles sont destinées spécialement à l'enlèvement des

« sables qui se déposent devant le port et à son entrée ;
« et avec cinq dragues à godets pouvant enlever chacune
« environ 50 mètres cubes par heure de travail, elles
« servent pour le dragage des dépôts à l'intérieur du
« port. A côté de ces appareils, il y a encore les cha-
« lands et les bateaux à vapeur complémentaires du
« service des dragages. »

Revenons maintenant au dispositif de la planche VII, et voyons quelles conséquences nous pouvons tirer des théories émises, au point de vue de l'entretien d'un tel port.

L'absence d'ensablements devant et à l'entrée du port constitue un avantage important, surtout si l'on considère les conditions relativement difficiles et onéreuses dans lesquelles s'opère leur enlèvement.

Le chenal limité par les jetées *en persiennes* sera exposé à un ensablement général plus ou moins considérable dont l'importance augmentera, pour un lieu donné, à mesure qu'on remonte plus haut dans le chenal, parce que les courants en travers y sont plus affaiblis et le calme plus grand. Il importe, cependant, de remarquer que la présence des jetées en retour empruntées au dispositif imaginé par M. Dirks, a pour effet de soustraire le port à une grande cause d'ensablement, en mettant le chenal à l'abri des sables provenant des dunes et des plages voisines.

En tenant compte de cette circonstance extrêmement favorable, est-il probable que l'on puisse en général se débarrasser facilement des apports de sable et de vase qui auraient lieu dans le chenal ?

Le succès des tentatives faites à Dunkerque, à Calais, à Boulogne et à Ostende, pour créer et maintenir par le moyen des dragages un chenal artificiel à l'extérieur des jetées, permet de croire qu'en général la quantité de sable qui se déposera dans le chenal

limité par des jetées *en persiennes* ne serait pas très considérable. Quant à l'envasement de ce chenal, on a déjà vu qu'il serait presque entièrement évité à cause de l'agitation de l'eau qui passe entre les môles disposés *en persiennes* et du mouvement dont elle doit être animée pour traverser le chenal.

Ainsi, tandis que dans un port fermé on doit lutter contre des dépôts de vase quelquefois excessifs, on se trouve ici en présence d'un dépôt relativement faible de sable plus ou moins pur. Pour apprécier tout l'avantage qui en résulte, il faut remarquer que le coût du dragage n'est pas seulement influencé par la quantité de déblai à enlever, mais encore par la nature de ce déblai.

Ainsi, à Dunkerque, où le fonctionnement des chasses est complètement abandonné, le prix du mètre cube de déblai fourni par les trois dragues à succion qui travaillent dans la partie du chenal limitée par des jetées à claire voie et sur la passe extérieure qui précède, ne revient pas à plus de fr. 0-20, en tenant compte, bien entendu, des circonstances suivantes :

Les dragages se font en régie pour le compte du gouvernement ;

Dans le prix de fr. 0-20, on ne compte pas l'intérêt, ni l'amortissement du capital fourni pour l'achat des dragues ;

La suppression des chasses, en écartant la vase qu'elles amènent dans les dépôts qui forment la barre, permet de draguer des sables très purs, ce qui augmente le rendement des appareils qui, du reste, sont neufs ;

Les apports à enlever se trouvent de 3 à 4 mètres sous le niveau des basses mers de vives eaux ordinaires ;

Les déblais doivent être conduits en mer à une distance de 4 kilomètres environ ;

Enfin, le port étant bien abrité par les bancs du large, l'état de la mer y est en général plus favorable aux opérations de dragage que devant un port situé sur une mer ouverte comme à Ymuiden.

L'entretien de la partie restante du chenal et de l'avant-port se fait au moyen de deux dragues à godets, qui enlèvent la vase au prix de fr. 0-60 environ par mètre cube, et d'une petite drague du système Priestmans qui enlève les dépôts non accessibles aux grandes dragues au prix de fr. 2-50 par mètre cube.

Nous ne pouvons insister davantage sans sortir des limites de ce travail, dans lequel nous devons nous borner bien souvent à indiquer des faits et des preuves dont l'étude approfondie nous mènerait trop loin. Nous croyons cependant en avoir dit assez pour montrer que l'entretien de la profondeur du chenal, limité par des jetées *en persiennes*, pourrait se faire dans des conditions très favorables.

Comme moyen de se débarrasser des dépôts qui se forment dans le chenal, nous n'avons parlé que de dragages. Cette solution ne s'impose pas aussi nettement lorsqu'il s'agit de l'entretien du canal extérieur.

Il est possible, en effet, que grâce à des circonstances exceptionnelles, on puisse entraver plus ou moins la formation des dépôts, soit par l'action de courants qui passeraient dans le canal, soit en empêchant les eaux troubles de la mer d'envahir directement le canal pendant la marée montante.

Quoi qu'il en soit, voyons quelle serait l'importance des dragages d'entretien dans le canal extérieur du dispositif que nous avons déjà vu planche IV.

En supposant que la largeur au plafond soit de 150 mètres à l'entrée de ce canal et qu'elle se raccorde à environ 300 mètres plus loin avec une section présentant les dimensions du canal extérieur actuel

d'Ymuiden, dont la largeur au plafond ne dépasse pas 40 mètres, on aurait à maintenir à profondeur une surface d'environ 10 hectares ; or, en admettant que l'épaisseur de la couche annuelle d'envasement y soit de 0^m,64, le cube (1) à draguer correspondant ne s'élèverait qu'à 64,000 mètres.

Si on rapproche ce chiffre de ce qui a été dit relativement à l'entretien du chenal d'accès, on se persuadera facilement que le maintien de la profondeur du port pourra se faire généralement, dans des conditions techniquement et financièrement satisfaisantes, par la seule voie des dragages.

Cependant, examinons encore rapidement les moyens que nous avons indiqués un peu plus haut comme pouvant remédier à la formation de dépôts dans le canal extérieur et, même quelquefois, dans le chenal d'accès.

Le premier moyen auquel on est tout d'abord tenté d'avoir recours, surtout en Belgique et en France où il est fréquemment employé, c'est le système bien connu des chasses.

Voici comment en parlent MM. Stœcklin et Laroche (2) :

« Pour ce qui concerne les bassins et les écluses de
« chasse, l'importance et l'utilité de ces travaux dépendent le plus souvent des circonstances locales. Mais,
« en général, ces travaux sont fort coûteux et la
« dépense à faire n'est pas toujours en proportion avec
« les avantages à espérer. Car il faut bien reconnaître
« que l'action des chasses restera nécessairement ren-
« fermée dans des limites assez étroites. Il est très
« probable que, dans le sable, les chasses les plus

(1) C'est le chiffre admis pour le port d'Ymuiden par la Commission internationale qui a examiné en 1884, le projet relatif à l'établissement d'un port en eau profonde à Heyst.

(2) Ouvrage cité, page 109.

« puissantes ne produiront plus d'effet utile, dès
« que le matelas d'eau aura atteint une hauteur de
« 3 mètres. »

Or, ici le port atteint les limites les plus étendues ; sa profondeur est de 7 à 8 mètres à marée basse ; sa largeur est très considérable ; les écluses de chasse devraient se trouver très loin à l'intérieur des terres ; la vitesse du courant de chasse devrait être très grande pour que son action sur le fond du port fût suffisante, ce qui nécessiterait encore, outre des bassins de retenue et des écluses extraordinaires, des dépenses spéciales pour la défense des talus du canal extérieur ; et, enfin, ce canal devrait être établi dans le prolongement du chenal.

Malgré ces conditions défavorables, on peut encore se demander comment les jetées *en persiennes* se comporteraient par rapport à un courant forcé qui serait chassé à travers le port ; d'autant plus, que la même question se pose — et c'est pour ce cas que nous répondrons — lorsqu'il s'agit de courants naturels occasionnés par de vastes bassins intérieurs en libre communication avec la mer, comme cela se présente à Venise, et, si l'on veut, à l'embouchure de la Tyne, de la Nouvelle-Meuse et de l'Adour. La question, ainsi ouverte, a une portée considérable en ce qu'elle se rapporte directement à l'amélioration de la navigation à l'embouchure des rivières maritimes.

A ce sujet, nous citerons d'abord les lignes suivantes, par lesquelles MM. Stoecklin et Laroche (1) répondent avec leur clarté habituelle à la même question par rapport à deux dispositifs de jetées des plus appréciés.

« La forme de l'embouchure de la Tyne est absolument en opposition avec celle qu'on a préconisée

(1) Ouvrage cité, page 75.

« pour l'embouchure des rivières à marée, et qu'on a
 « adoptée pour le Scheur, par exemple, au Hoek van
 « Holland. Au lieu de faire les jetées parallèles ou
 « légèrement divergentes, on les a faites convergentes.
 « Cette circonstance n'a pas échappé à l'attention
 « des ingénieurs anglais. Sans doute, disent-ils, le
 « principe qui consiste à donner à l'embouchure d'un
 « estuaire la forme évasée est bon, mais à une condi-
 « tion : c'est de ne pas être exposé à introduire dans
 « le port les dangereux effets des grosses mers. Ainsi,
 « à Aberdeen, dont le chenal est formé par des jetées
 « à peu près parallèles, il y a, par les coups de vent
 « d'est, une agitation violente dans toute l'entrée et
 « jusqu'aux portes du Dock à un mille de distance.
 « Or, la ligne qui joint le milieu de l'embouchure à
 « Shielos, et le milieu de la passe entre les musoirs,
 « est orientée presque est et ouest, précisément dans
 « la direction des vents dangereux. Quant à assurer
 « le facile remplissage de l'estuaire par la marée, il
 « n'est besoin pour cela que de donner à la passe,
 « entre les musoirs des jetées, une largeur suffisante
 « et d'augmenter la profondeur du chenal intérieur ».

Considérons maintenant le dispositif de la planche VII.

A marée montante, il ne se passerait rien de particu-
 lier dans le chenal, et le courant qui remonte dans
 le canal ne pourrait pas s'épanouir, ni subir l'action
 des lames. A marée descendante, le courant, en débou-
 chant dans le chenal, doit s'y épanouir et par consé-
 quent provoquer la formation d'une barre. Cependant,
 à ce point de vue, il se présente ici plusieurs circon-
 stances favorables.

D'abord, la situation de la barre à l'intérieur du
 port est très avantageuse pour le service des dragages
 qui doivent l'enlever. Ensuite, il est probable que la

barre ne prendrait généralement pas une grande importance. En effet, la disposition des môles de la jetée amont, par rapport au jusant, dévie ce courant dans la direction du courant de chasse ; de cette façon le premier courant absorbe beaucoup plus lentement le second. La jetée opposée aide encore dans une certaine mesure à produire le même effet. Or, cela doit avoir pour conséquences : de diminuer l'action qui s'opère par la rencontre des deux courants, et de diffuser, sur une étendue beaucoup plus grande, les matières que ces courants tiennent en suspension. Il est encore à remarquer que le calme relatif qui règne dans le chenal, n'est pas favorable à la précipitation des matières que le courant de chasse entraîne vers la mer.

On peut donc conclure, comme nous le faisons : que l'importance des dépôts ou de la barre en dehors du canal, serait beaucoup moindre à la place occupée par le chenal que si les jetées n'existaient pas, tandis qu'au delà du chenal, la profondeur est trop considérable et le courant de chasse trop absorbé par le jusant, pour qu'en général on doive y craindre la formation d'une barre extérieure.

On vient de voir que l'application du système des chasses forcées doit être rejetée comme moyen de curage du port, surtout parce que la profondeur est trop considérable. C'est alors que nous avons pensé à l'application d'un autre remède qui empêcherait, dans une certaine mesure, la formation de dépôts dans le canal extérieur. Son emploi est indépendant de la profondeur du port et il pourrait quelquefois avantageusement servir d'auxiliaire à l'entretien par dragages. Le remède que nous avons en vue consisterait à tenir éloignées du canal les eaux troubles de la mer.

Il est facile de voir qu'on réaliserait très simplement

ce remède, en écoulant par le canal extérieur, pendant la marée montante, des eaux intérieures en quantité suffisante pour empêcher les eaux de la mer d'envahir le canal.

Mais on pourrait obtenir un effet analogue, en faisant usage d'une série de bassins de décantation. Ce seraient de simples bassins de retenue qui prendraient leurs eaux directement à la mer, donc, sans qu'elles passent préalablement par le canal extérieur.

L'écoulement méthodique des eaux plus ou moins décantées de ces bassins, dans le canal extérieur, y préviendrait l'entrée des eaux du flot jusqu'à un moment dont l'éloignement du plein dépend de la grandeur des bassins.

Les ouvrages d'art nécessaires à la mise en exécution de ce système de chasse, seraient peu importants et, par suite, peu coûteux. Les bassins de décantation pourraient utilement servir, le cas échéant, comme réservoirs d'appel pour les eaux surabondantes du pays.

En examinant ce système de chasses, on s'aperçoit bien vite qu'il ne peut aboutir à aucune réduction sur le cube des dragages d'entretien du port, puisque la quantité dont diminuent les dépôts dans le canal extérieur se retrouve dans les bassins de décantation, d'où il faudra également l'enlever. Cependant, il résulte plusieurs avantages de ce déplacement partiel des dépôts.

Le canal extérieur serait plus libre, ce qui est important, si on veut lui donner seulement les dimensions strictement nécessaires pour les besoins de la navigation, dimensions que d'ailleurs les marins devraient déterminer.

La dépense annuelle pour l'entretien du port serait diminuée d'une grande fraction de ce que coûterait

l'enlèvement, du canal extérieur, d'un cube de dépôt équivalent à celui qui se déposerait dans les bassins : en effet, le prix du mètre cube dragué dans les bassins serait très faible, comparé à celui du mètre cube dragué dans le canal extérieur ; et, cela d'autant plus, que les dragages pour l'entretien des bassins pourraient se faire très facilement pendant les périodes où l'état de la mer empêche de travailler dans le port.

Dans la pratique, on se trouvera donc en présence de l'immobilisation d'un capital plus ou moins considérable, suivant chaque situation particulière, pour l'aménagement des bassins de décantation ; et d'une dépense annuelle pour dragage qui, capitalisée, est représentée également par une somme plus ou moins considérable.

On choisira la solution représentée par le plus petit capital, en tenant compte de ce que la première solution est un peu plus avantageuse au point de vue de la navigation, tandis que la seconde, comportant exclusivement des dragages, présente, au point de vue financier, l'avantage de ne pas exiger le versement d'un capital considérable.

§ 7. — CONSTRUCTION DU PORT.

Pour que cette étude fût quelque peu complète, nous devrions encore aborder un point d'une importance capitale : la construction des jetées *en persiennes*.

Mais, si importante que soit cette question, elle est en tout cas subordonnée à l'adoption du dispositif que nous avons présenté ; et si nous avons la chance de voir les idées que nous avons émises ici partagées par ceux qui décident en ces matières, nous serons en assez savante compagnie pour chercher le système de construction le mieux approprié à l'exécution des jetées *en persiennes*.

Toutefois, il est certain, *a priori*, que leur construction n'est pas impossible ; seulement, il se présentera plusieurs circonstances particulières dont le constructeur devra tenir compte, et dont il pourra peut-être avantageusement tirer parti.

Pour finir, nous croyons encore devoir ajouter un mot pour montrer la possibilité d'appliquer le principe *des persiennes* à la construction des jetées à claire-voie en charpente.

Considérons, en effet, fig. 2, pl. VII, une triple rangée de montants placés en quinconce et solidement entretoisés, de façon à former un système indéformable et opposant la résistance voulue aux actions qui le sollicitent ; il suffira que les montants de cette charpente en fer présentent des rainures verticales pour pouvoir y loger une série de poutres, disposées comme dans nos barrages à poutrelles, et réaliser ainsi une jetée *en persiennes* dont l'action sur les courants et les vagues serait en tous points semblable à celle du dispositif sur lequel nous avons établi la théorie de ce système de jetées.

Mont-Saint-Amand, mai 1886.
