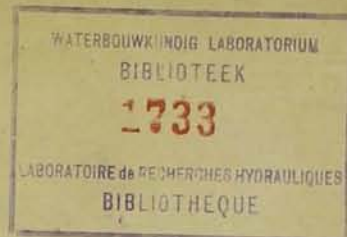


4733

430



153125



ÉTUDE
SUR
L'AMÉLIORATION ET L'ENTRETIEN
DES
PORTS EN PLAGE DE SABLE,
ET SUR
LE RÉGIME DE LA CÔTE DE BELGIQUE.

PRÉFACE.

Le concours annuel pour le prix de 25,000 fr. dû à la générosité éclairée de S. M. le roi Léopold II, a eu pour objet en 1881 : " Des moyens d'améliorer les ports établis sur des côtes basses et sablonneuses comme celle de la Belgique⁽¹⁾. "

Parmi les questions relatives aux travaux maritimes, il n'en est pas qui soient de nature plus complexe.

Les forces naturelles en jeu, la marée, le vent, les lames, variables à chaque instant, agissent d'une manière différente d'une mer à l'autre, et aussi d'un atterrage à l'autre dans une même mer. Le phénomène de la marée, d'une grandeur imposante par l'immense masse d'eau qu'il met en mouvement, ainsi que par son action régulièrement périodique, fait naître des courants d'un caractère particulier, distincts des courants de pente ordinaires et qui provoquent des transports d'alluvion continuels. Le vent, lorsqu'il souffle vivement, soulève dans les couches supérieures de la nappe marine des vagues puissantes, qui ajoutent leurs effets à ceux produits directement par les brises et les tempêtes; ce sont les ennemis les plus redoutables non-seulement du marin, dont ils mettent souvent les navires en péril, mais aussi de l'ingénieur, dont ils menacent de compromettre les ouvrages édifiés à la mer parfois au prix de longs

(¹) Nous avons présenté à ce concours notre *Étude sur le régime de la côte de Belgique et sur les moyens d'améliorer les ports de ce littoral*, qui a paru en 1885 et à laquelle le prix a été attribué. Le rapport du jury se trouve en annexe au présent ouvrage, qui est une édition amplifiée du mémoire précité.

et de pénibles efforts. D'autre part, tandis que le vent chasse devant lui le long des plages et des dunes des tourbillons de sable, les lames remuent plus ou moins profondément les couches meubles de l'estran sous-marin et contribuent ainsi fort activement au transport des matières alluvionnaires.

On sait que les dernières dislocations qui ont précédé notre période géologique quaternaire ont tracé, dans leurs grandes lignes, le lit actuel des mers et le relief des continents, l'assiette des fleuves et la configuration des vallées. Depuis une longue série de siècles, les actions atmosphériques déterminent et continuent à déterminer d'une manière constante et régulière le fonctionnement de ces parties du globe, dont chacune a sa physionomie propre, tout en restant en voie permanente de transformation. Une des causes les plus apparentes de ces transformations consiste dans la marche des alluvions; c'est à elle que sont dûs les dépôts qu'on rencontre le long des rivages de la mer, où les apports fluviaux sont venus grossir ceux d'origine marine et ont constitué à la longue ces vastes plaines de cailloux roulés, de graviers et de sables, de terres végétales, de dunes, etc. Journallement, ces phénomènes agissent sous nos yeux; les matériaux enlevés le long des côtes ou du lit des fleuves sont entraînés vers les plages et les estuaires; là, ils sont roulés et broyés, et acquièrent peu à peu un degré de ténuité tel qu'ils sont emportés par la masse des eaux vers les parties profondes de la mer, pour y préparer des couches nouvelles destinées aux futures modifications des continents. Considérée à ce point de vue général, l'étude de cette œuvre incessante de transformation, dont les effets ne s'accroissent que par la suite des temps, appartient au domaine de la géologie.

Mais les dépôts marins et fluviaux qui se sont accumulés le long des côtes, ont créé en chaque point de celles-ci une situation hydrographique propre, tenant essentiellement des conditions dans lesquelles s'est produit, à l'origine, le relief des terres voisines; elle y constitue avec l'orientation des rivages, la force et la direction des courants et du vent, la puissance des lames, etc., ce qu'on appelle le *régime de la côte*.

Les déplacements d'alluvion qu'on observe le long des plages dépendent de ce régime. Dans certains cas, ils ont pu donner lieu, depuis des époques relativement récentes, à des modifications prononcées ou à la formation, en des endroits déterminés, de dépôts contemporains importants.

Lorsque des ouvrages à construire de main d'homme peuvent troubler plus ou moins la circulation des matières charriées ou en suspension, et provoquer

ainsi, par l'existence de digues ou de bassins d'arrêt, des apports locaux sur des surfaces relativement restreintes, on a de sérieuses difficultés à craindre, quand les travaux entrepris ont pour but d'améliorer ou de créer des accès à la mer à travers des plages ou des estuaires.

Ces difficultés sont d'ordinaire fort grandes le long des côtes où les dépôts sous-marins sont abondants et formés de matières alluvionnaires ténues. Le littoral des Flandres se trouve sous ce rapport dans des conditions toutes spéciales; les fonds qui précèdent le rivage y comprennent de nombreux bancs de sable, séparés par des couches de vase et de sable vasard d'une étendue considérable; en même temps les courants de marée y ont beaucoup d'intensité. Tandis que le sable des plages et des terrasses sous-marines n'est généralement déplacé qu'avec une certaine lenteur, les fonds vaseux constituent une source d'apports rapides, lorsqu'ils alimentent des espaces où les matières entraînées sont plus ou moins soustraites à la circulation des eaux. Il y a dans tout cela des distinctions essentielles à faire, des séries de nuances à observer suivant le littoral où l'on se trouve, et on comprend dès lors combien il est important, au point de vue des questions techniques et nautiques que soulèvent l'aménagement et l'entretien des ports, de procéder à une étude attentive du régime des atterrages où ils sont établis ou projetés.

Pareille étude exige d'ailleurs des observations nombreuses, des expériences répétées, permettant d'arriver à une connaissance suffisante des faits, cet élément indispensable à toute investigation dans le domaine des travaux à la mer.

Aussi convient-il d'user de beaucoup de prudence et de circonspection quant aux enseignements à déduire d'ouvrages construits ou de dispositifs adoptés à des ports existants, et de tenir bien compte dans les comparaisons à faire des caractères propres à chaque littoral, des circonstances locales et de toutes les conditions qu'on y rencontre. On doit se garder surtout, en fait de travaux maritimes, de vouloir systématiquement formuler des règles ou des conclusions absolues; les solutions proposées doivent pour chaque port en particulier faire l'objet d'une étude spéciale.

Si l'on voulait traiter d'une façon complète une matière aussi étendue et qui occupe depuis tant d'années la sagacité des savants et des praticiens, il faudrait passer en revue les travaux les plus importants et les essais nombreux faits aux principaux ports connus, exposer et analyser les résultats obtenus, les classer avec méthode et en déduire une série d'indications de nature à

faciliter la discussion des préceptes à suivre dans chaque cas. Notre service ordinaire d'ingénieur ne nous laisse ni le temps ni la liberté d'esprit que réclame pareille tâche, et la nouvelle édition de notre ouvrage, malgré nos efforts, est loin d'embrasser ce programme dans son ensemble.

La première partie en est consacrée à l'étude des mouvements de la mer et des marées fluviales, et à celle du régime des côtes et des plages. Nous y envisageons plus spécialement le littoral des Flandres, dont nous reproduisons dans notre atlas les cartes marines tant anciennes que récentes. Ces documents, que nous avons eu de la peine à réunir au complet, sont précieux; ils ont beaucoup facilité nos recherches hydrographiques et pourront encore être fort utilement consultés dans l'avenir. Pour la côte de Belgique, parsemée de bancs de sable limitant des passes plus ou moins profondes, l'examen des questions relatives à l'orographie des fonds sous-marins est d'une importance capitale, puisqu'il doit nous fixer non-seulement sur les conditions d'accessibilité actuelles des divers atterrages, mais aussi sur la probabilité des changements à craindre ou à espérer dans l'avenir.

Un chapitre spécial traite de l'Escaut maritime et de son estuaire, dont la passe la plus profonde, le Wielingen, longe au nord la côte de Belgique. Après avoir décrit les principaux caractères de ce beau fleuve, nous avons cherché à faire voir par une étude attentive de son régime que les craintes d'ensablement et d'oblitération de ses passes, souvent émises et même facilement partagées, ne doivent pas nous alarmer.

Sans doute, l'Escaut, comme tous les fleuves et estuaires en général, est sujet à recevoir et reçoit en effet des alluvions qui tendent à y produire des colmatages en tous les endroits où existent des zones plus ou moins calmes ou stagnantes; ces exhaussements du fond influent à leur tour sur l'importance des apports nouveaux, et c'est ainsi que s'accomplissent, avec la succession des années et des siècles, les transformations résultant des lois générales atmosphériques. Mais d'ici à longtemps, les eaux de la marée, dans leur incessante mobilité, jointes à celles amenées de l'amont, tout en étant les agents de transport des alluvions, continueront à creuser et à entretenir dans l'Escaut des profondeurs en rapport avec la puissance hydraulique du fleuve.

Ce n'est pas à dire que l'on doive être sans préoccupation à cet égard et se cantonner dans l'inaction. L'Escaut est susceptible d'améliorations et parmi celles-ci, il en est qui s'imposent en certains points; plus les rives des fleuves

à marée sont intelligemment tracées et fixées, plus les forces de la nature y agissent efficacement pour le bon maintien des passes, et mieux on y évite les déplacements locaux de sable, cause de formation des seuils; ce sont des mouvements de sable de l'espèce qui ont fait naître pour l'Escaut de vives inquiétudes, précisément parce qu'on les attribuait à un envahissement continu et rapide des alluvions.

Anjourd'hui d'ailleurs, s'il est vrai que les dimensions des grands navires modernes et les besoins toujours croissants de célérité et de régularité du commerce exigent des voies d'accès de plus en plus profondes, il faut reconnaître qu'on dispose aussi d'un procédé d'amélioration qui a acquis dans ces derniers temps un grand degré de puissance et de perfectionnement. Nous voulons parler du dragage.

La construction de dragues s'est surtout développée en Angleterre, en Hollande et en France. On y construit actuellement des dragues marines, bâties en forme de vrais navires à simple et à double hélice, capables de filer 8 à 10 nœuds à l'heure et de fonctionner à l'entrée des ports, dans les rades et même en pleine mer, par des houles relativement accentuées; la plupart portent elles-mêmes leurs déblais, et il en est bon nombre dont la puissance de rendement atteint 500 mètres cubes par heure. La grande drague qui fonctionne depuis un an à l'entrée de la Mersey, extrait jusqu'à 3000 mètres cubes de sable par heure. Dans la seconde partie de notre ouvrage consacrée aux questions relatives au mode d'établissement et d'entretien des ports, nous nous sommes arrêté assez longuement aux engins de dragage, dont l'emploi constitue sans doute, dans une foule de cas, un procédé aussi efficace que rationnel. Aussi constate-t-on quelque tendance à tomber dans l'exagération et à négliger, sans discussion approfondie, le concours qu'on peut obtenir en certains cas par d'autres moyens, notamment par ceux basés sur l'action naturelle ou artificielle de l'eau en mouvement, dont les effets dans la partie maritime et à l'embouchure des fleuves à marée, et aussi dans les chenaux des ports, sont de nature à donner des résultats fort avantageux. D'après nous, il convient de limiter judicieusement les dragages là où les circonstances le permettent, car le fonctionnement permanent et excessif de ces engins n'est pas sans créer des embarras et même de grandes sujétions.

C'est ce que nous avons tâché de faire ressortir en examinant les conditions qu'il convient d'observer dans l'agencement et la disposition des parties constitu-

tives des ports, pour qu'ils répondent aux besoins de la navigation moderne, sans créer pour l'entretien des profondeurs trop de difficultés ou des dépenses exagérées.

Remarquons à ce propos qu'il y a actuellement une sorte d'engouement pour les ports de mer et qu'on vise à faire grand un peu partout, ce que nous sommes loin de vouloir critiquer; mais, on croit parfois attirer le commerce en établissant des installations fort dispendieuses qui, en fait, peuvent manquer de côté pratique. C'est ainsi qu'on a vu naître de divers côtés des projets de rades artificielles et d'accostages en pleine mer, et ce devant des atterrages qui ne s'y prêtent guère. Séduisants en apparence, ces projets, malgré leur coût élevé, ne présentent la plupart du temps, à côtés de graves inconvénients au point de vue hydrographique, que des avantages chimériques, et quelquefois même des dispositions inadmissibles au point de vue de la navigation. Il est généralement bien plus pratique en pareils cas, au lieu d'avoir recours à ces solutions extraordinaires, de construire des ports d'accès, où l'on puisse, par des dépenses modérées, maintenir de bonnes conditions de navigabilité et de profondeur, et où les installations, d'une utilisation directe et certaine, soient susceptibles de recevoir par la suite toutes les extensions désirables. L'insuccès relatif d'anciens systèmes de ports, construits par parties successives et sans plan d'ensemble, ne provient fréquemment que des dimensions insuffisantes et du mauvais agencement des ouvrages dont ils sont constitués.

Ajoutons que dans ces systèmes, l'entrée du chenal est orientée et disposée en vue des navires à voiles. Depuis la création de la marine à vapeur, qui s'est substituée dans une si large mesure à la navigation à voiles tant pour les transports transatlantiques que pour ceux de cabotage, les questions relatives à l'orientation de l'entrée des ports et de leurs passes d'accès ont sans doute perdu de leur importance, d'autant plus que la plupart d'entre eux disposent d'un service de remorquage. Pour un port à marchandises générales et aussi pour ceux qui possèdent une importante flottille de pêche, ce serait cependant une erreur de ne plus s'en préoccuper. Les navires à voiles ne sont pas du tout près de disparaître, et chaque année on en construit de nouveaux; depuis quelque temps il se produit même en leur faveur une réaction accentuée. Mais les voiliers modernes sont en acier, de grandes dimensions et, comme ils sont munis d'appareils mécaniques pour la manœuvre des voiles et des ancres, le personnel en est fort restreint. N'ayant pas d'autre part à supporter les frais résultant des machines de propulsion, ni à en déplacer le poids mort et le combustible

qu'elles réclament, ils sont particulièrement économiques; c'est ainsi qu'ils conviennent très bien pour les transports à grande distance de marchandises ordinaires et pondéreuses.

Les ports en plage de sable, dont nous avons spécialement à nous occuper, appartiennent évidemment à la catégorie des " ports à la côte ", qui ont un rôle assez différent de celui des " ports intérieurs ou de pénétration ". Les premiers ne desservent souvent qu'une zone commerciale fort limitée; il en est parmi eux qui, grâce à leur situation géographique, servent de tête de ligne ou de ports d'escale et reçoivent des trafics de vitesse. Les ports intérieurs, au contraire, lorsqu'ils s'avancent profondément dans les terres, au milieu des centres de production et de consommation, trouvent là évidemment de grands éléments de prospérité, et ils sont aussi bien mieux à même de soutenir la concurrence pour le transit; ils prennent surtout du développement partout où les marchandises, après transbordement, peuvent continuer à être transportées à bon marché par des rivières ou des canaux bien aménagés. Aussi s'explique-t-on aisément les travaux considérables qui ont été entrepris dans ces dernières années pour l'amélioration des fleuves à marée, de ces " chemins qui marchent ", comme on les a appelés, où la circulation des navires est facilitée à la remonte par le flot et à la descente par le jusant, et qui resteront toujours les voies favorisées du commerce.

La Belgique, par sa position géographique au milieu des pays les plus peuplés de l'Europe et aussi par sa propre industrie qui lui permet de recevoir de nombreux produits étrangers et d'exporter les siens, a acquis dans ce dernier quart de siècle une importance commerciale considérable qui s'accroît de jour en jour. Celle-ci s'est concentrée en très grande partie dans le port d'Anvers qui, par l'étendue, la disposition et l'outillage de ses docks et de ses quais, peut rivaliser avec les ports les mieux aménagés, en même temps qu'en raison de sa situation, il répond admirablement aux convenances du commerce, aux conditions normales qui règlent le mouvement, la mise en entrepôt et le transit des marchandises. Aussi l'importance de son trafic qui n'était en 1863, année de l'affranchissement de l'Escaut, que de 593,000 tonnes, s'est élevée en 1880 à 3,117,754 tonnes, et a atteint en 1893, 4,692,211 tonnes.

Depuis quelques années cependant, un courant d'opinions s'est produit dans notre pays en faveur de la création d'un port de premier ordre sur la côte. D'après les uns, il servirait en quelque sorte de complément à celui

d'Anvers, et il serait d'un secours précieux pendant les hivers fort rigoureux, quand l'Escaut est bloqué par les glaces. D'après les autres, il s'agirait d'établir sur notre littoral, par des installations bien aménagées, un point d'arrêt où les navires des grandes lignes régulières pourraient aisément faire escale et se mettre en relation avec les voies ferrées de notre pays et par conséquent avec celles du centre de l'Europe. Ce serait un port de vitesse pour voyageurs et marchandises.

Dans ce but, on a successivement proposé d'améliorer les ports d'Ostende et de Nieuport ou de créer un port nouveau à Heyst, lequel serait relié à la ville de Bruges par un canal maritime à grande section.

Nous n'avons pas à examiner ici jusqu'à quel point les lois économiques, d'où dépend nécessairement le succès de pareilles entreprises, justifient ou non l'exécution des projets qui ont été conçus. Nous croyons de notre devoir de rester à ce sujet dans la plus scrupuleuse réserve et de n'envisager la question qu'au point de vue purement technique, sans aucune autre préoccupation.

Aussi, en indiquant quelle serait, d'après nous, la marche à suivre pour améliorer les ports de Nieuport et d'Ostende ou pour créer un nouveau port à Heyst, nous sommes nous attaché exclusivement à faire ressortir les avantages et les inconvénients que chacun de ces atterrages présente sous le rapport hydrographique ; nous n'avons pas eu l'intention de rechercher à d'autres points de vue si tel endroit de la côte ne convenait pas mieux que tel autre pour y établir un port de premier ordre, ni de discuter la question d'opportunité qu'il peut y avoir à exécuter pareil projet qui, dans l'idée d'un grand nombre, s'impose à l'attention du gouvernement.

Il est à peine besoin d'ajouter que les appréciations émises dans notre ouvrage nous sont absolument personnelles, et que les projets que nous y esquissons ne sont que de simples études, ne pouvant en rien engager la responsabilité de l'Administration à laquelle nous avons l'honneur d'appartenir ; leur mérite, si elles en ont, consistera probablement à fournir des indications précises sur le régime et sur les circonstances locales propres aux divers atterrages de la Belgique ; elles conduiront peut-être de plus habiles que nous à la conception de projets meilleurs. N'eussions-nous atteint que ce but, nous serions largement récompensé de nos efforts.

PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE I.

DES MOUVEMENTS DE LA MER.

I. — COURANTS GÉNÉRAUX DE L'Océan.

Les courants généraux de l'Océan sont dus à l'action calorifique inégale du soleil aux diverses latitudes du globe terrestre, combinée avec le mouvement de rotation de la Terre.

Les rayons du soleil agissent normalement sur la surface des mers situées dans le voisinage de l'équateur et y enlèvent, par une évaporation extrêmement active, une quantité d'eau supérieure à celle que les pluies y rapportent; dans les latitudes élevées, au contraire, l'apport des neiges, des pluies et des glaces dépasse la perte en vapeur.

L'excès d'évaporation occasionne dans les mers tropicales un vide immense, qui provoque la précipitation des eaux froides surabondantes des régions polaires et donne naissance, dans l'Atlantique comme dans le Pacifique, à deux grands courants dirigés des pôles vers l'équateur. Ce mouvement des eaux est facilité par la circulation verticale qui se produit dans la zone torride et qui provient de ce que les sels de l'Océan, restés libres par l'évaporation, augmentent la densité des couches superficielles, lesquelles tendent par conséquent à descendre et sont remplacées par des couches inférieures.

Il est à remarquer d'autre part que pour un même degré de salure, les

eaux froides des mers polaires sont plus denses que les eaux tièdes du bassin équatorial et qu'en affluant vers celui-ci, elles s'écoulent sous des couches moins lourdes, en restant dans les profondeurs.

Les courants polaires, pendant qu'ils se propagent du nord et du sud vers les tropiques, subissent constamment une déviation vers l'ouest à cause du mouvement de rotation de la Terre. Celle-ci tourne sur son axe, de l'occident à l'orient, animée d'une vitesse angulaire d'environ 0,000073 donnant une vitesse circonferentielle de 460 mètres par seconde pour un point situé à l'équateur, et diminuant de l'équateur aux pôles avec le rayon de chaque parallèle. Les eaux venant des régions élevées et traversant ainsi à chaque instant des latitudes dont la vitesse autour du globe est plus grande que la leur, éprouvent un retard continu qui devient, par rapport aux rivages de la mer, un mouvement apparent de l'orient à l'occident; et lorsqu'elles viennent se rencontrer obliquement dans la zone tropicale, leur vitesse suivant le méridien s'annule et elles se réunissent en un seul grand courant équatorial dirigé de l'est à l'ouest, en sens inverse du mouvement du globe.

Ce courant équatorial ou de rotation détermine, avec les courants polaires, le mouvement des eaux dans chacun des deux grands Océans. Arrêté dans l'Atlantique par la côte orientale de l'Amérique, dans le Pacifique par l'Asie et les archipels reliant ce continent à la Nouvelle-Hollande, il vient se heurter contre les rivages et se divise en deux grands remous, qui se propagent l'un vers le nord, l'autre vers le sud, et vont remplir les vides produits par l'afflux polaire. Mais ces couches liquides, subissant également l'influence du mouvement de rotation terrestre, obloquent en même temps constamment vers l'est, soit en sens inverse évidemment de la déviation imprimée aux courants polaires. Il se forme donc dans chaque bassin océanique un double système circulatoire, dont les eaux décrivent un circuit fermé qui s'étend des pôles à l'équateur.

La plus grande masse des eaux du courant équatorial de l'Atlantique, après avoir traversé cet océan de l'est à l'ouest, aborde le continent au nord du cap Saint-Roch, longe la côte septentrionale de l'Amérique du Sud et pénètre dans la mer des Caraïbes pour y former le *Gulf-stream*. L'autre fraction, après avoir longé les côtes du Brésil, passe à l'est des îles Falkland et va fondre les montagnes de glace tombées des terres antarctiques.

Le *Gulf-stream*, ou courant du Golfe, est de tous les fleuves océaniques, le plus important et le mieux étudié; son existence fut reconnue dès l'année 1513 par des navigateurs espagnols; mais ce n'est qu'en 1775 que le célèbre Franklin découvrit, aux eaux de ce courant, la propriété d'accuser au thermomètre une

température plus élevée que celle des eaux environnantes et le moyen, par conséquent, d'en suivre le cours à travers l'Atlantique.

Après avoir fait le tour de la mer des Caraïbes et du golfe de Mexique, le Gulf-stream contourne la pointe méridionale de la Floride, et s'élance dans l'Océan à travers le détroit de Bahama, avec une vitesse qui mesure d'ordinaire 5 kilomètres et demi par heure, et qui atteint parfois jusqu'à 7 et 8 kilomètres. (Pl. I, fig. 1). Au sortir du canal de la Floride, il se dirige vers le nord-est en longeant à distance la côte des Etats-Unis, s'infléchit à l'est près du banc de Terre-Neuve et s'étale ensuite vers les côtes de l'Europe suivant un immense éventail.

La partie du courant qui passe au nord de la Grande-Bretagne conserve sa direction première; elle baigne les îles Hébrides et Shetland, réchauffe les côtes de la Norvège et s'étend dans les mers polaires jusqu'au Spitzberg.

Au-dessus des îles Açores, il se forme deux courants secondaires; l'un d'eux, connu sous le nom de *courant de Rennell*, pénètre dans le golfe de Gascogne, longe le littoral français et va rejoindre le courant général en contournant la pointe sud-ouest de l'Irlande; l'autre aborde la péninsule ibérique près de Lisbonne et se dirige vers la Méditerranée à travers le détroit de Gibraltar.

L'illustre Maury, en parlant du Gulf-stream dans sa *Géographie de la mer*, s'exprime en ces termes pleins de poésie: " Il est un fleuve dans l'Océan: dans
" les plus grandes sécheresses jamais il ne tarit; dans les plus grandes crues,
" jamais il ne déborde. Nulle part sur le globe il n'existe un courant aussi
" majestueux. Il est plus rapide que l'Amazone, plus impétueux que le Mississipi
" et la masse de ces deux fleuves ne présente pas la millième partie du volume
" d'eau qu'il déplace.

" Ses rives et son lit sont des couches d'eau froides entre lesquelles coulent
" à flots pressés des eaux tièdes, d'un bleu sombre; la ligne de séparation est
" parfaitement appréciable à la vue. A la hauteur des Carolines, elle est si nette
" que souvent on peut voir l'avant d'un navire plonger dans les eaux bleues
" du courant, tandis que l'arrière se trouve encore dans les eaux vertes de l'Océan. "

Le courant du Golfe présente, à son entrée dans l'Océan, une largeur de 59 kilomètres et une profondeur moyenne de 370 mètres. A mesure qu'il se déploie et s'étale sur l'Atlantique, sa profondeur diminue et en arrivant près des côtes de l'Europe, il n'est plus qu'un courant superficiel. Les eaux du Gulf-stream se mêlagent à celles qui s'épanchent sans cesse des mers équatoriales vers le pôle boréal; elles ne constituent en réalité qu'un apport relativement faible dans la nappe immense d'eau tiède qui circule dans tout l'Atlantique septentrional, entre

le banc de Terre-Neuve, l'Islande et la Scandinavie, sur un espace de plus de 4 millions de kilomètres carrés, et dont on constate l'existence au moyen des instruments de sonde, jusqu'à 1500 mètres en dessous de la surface ⁽¹⁾.

En s'échappant du détroit de la Floride, les eaux du courant du Golfe sont échauffées à une température qui n'est pas inférieure à 30 degrés centigrades et dépasse d'environ 5 degrés la chaleur normale des couches liquides environnantes. A mesure qu'elles se propagent dans l'Océan, leur température décroît, mais fort lentement. Celle-ci est souvent de 27 degrés, en hiver, par le travers du cap Hatteras, excédant de 12 degrés au moins la chaleur du restant de l'Atlantique sous les mêmes latitudes, et lorsque le Gulf-stream atteint la hauteur de Terre-Neuve et vient rencontrer le courant polaire, le calorique de ses eaux mesure encore 20 ou même 25 degrés centigrades.

Pendant que la nappe d'eau chaude s'étend vers le nord, il se produit d'ailleurs, dans toute son épaisseur, un mouvement vertical des molécules liquides; car les couches en contact avec l'atmosphère se refroidissent, descendent à une certaine profondeur et sont remplacées sans cesse par des eaux plus chaudes et plus légères situées immédiatement au-dessous. En traversant le courant dans le sens de sa largeur, on reconnaît ainsi qu'il est formé d'une série de zones parallèles de température inégale.

Le Gulf-stream contient plus de matières salines que les couches froides de l'Océan qui lui servent de lit; le degré de salure de ses eaux est de près de 36 millièmes dans le canal de la Floride; il n'est plus que de 34 millièmes au large du golfe Saint-Laurent, où plusieurs grands fleuves, ainsi que la fonte des glaces et les fortes pluies, ont apporté dans la mer une quantité plus ou moins considérable d'eau douce.

On a évalué à 38 kilomètres par jour la vitesse avec laquelle les eaux du courant du Golfe traversent l'Atlantique pour venir réchauffer les côtes de l'Europe. Elles entraînent dans leur trajet des masses d'air chaud et de vapeur qui produisent à leur rencontre avec les couches d'air froid amenées par le courant polaire, les brouillards épais de Terre-Neuve. Le Gulf-stream sert aussi très souvent à conduire vers nos régions les ouragans des Antilles; c'est pour ce motif que les Anglais lui ont donné le nom de *Storm-king* ou roi des orages.

La connaissance des grands courants maritimes de l'Océan Atlantique a donné des résultats très importants pour le commerce, en abrégant et en régularisant les voyages de grande navigation.

⁽¹⁾ ELISÉE RECLUS, *La Terre*.

Le courant de Rennell qui dérive du Gulf-stream et pénètre dans le golfe de Gascogne, se propage à une distance plus ou moins grande des côtes; le long du littoral français, il présente une largeur d'environ 35 kilomètres; sa vitesse moyenne, à 100 kilomètres au large d'Ouessant, est de 0^m,64 par seconde.

En passant devant l'entrée de la Manche et devant celle du canal Saint-Georges, pour se diriger vers le cap Clear, ce courant doit produire à son tour, dans chacune de ces mers, des épanchements latéraux donnant lieu à des remous de troisième ordre. Celui qui pénètre dans la Manche y est sans doute peu appréciable, à cause de l'existence des courants de marée; mais il est possible que son effet devienne plus sensible dans le Pas de Calais.

II. — DE LA MARÉE ET DES COURANTS DE MARÉE.

Le phénomène de la marée se manifeste sur les côtes de l'Océan par un mouvement successif et régulier d'ascension et d'abaissement des eaux de la mer.

Pendant six heures environ la mer monte, puis elle descend pendant environ six heures pour recommencer ensuite son oscillation. Ce mouvement d'ascension et d'abaissement des eaux de l'Océan s'explique par la différence d'attraction que la lune et le soleil exercent sur le centre de la Terre et sur les points placés à la surface.

Que l'on s'imagine un instant que la Terre soit entièrement couverte d'une nappe d'eau d'épaisseur uniforme et soumise à la seule influence de la lune. Comme l'attraction réciproque des molécules des corps célestes est en raison inverse du carré des distances, les parties superficielles de la planète tournées vers l'astre subiront plus fortement cet effet que le noyau central; et celui-ci éprouvera de même une attraction plus prononcée que les couches liquides de l'hémisphère opposé, qui resteront pour ainsi dire en arrière, comme si elles tendaient à s'écarter du centre. Grâce à la mobilité des molécules des eaux de la mer et à la facilité avec laquelle elles obéissent séparément à l'action attractive qui les sollicite, il se formera de chaque côté du globe une intumescence des couches liquides, et la masse des eaux océaniques, considérées dans leur ensemble, prendra la forme d'un ellipsoïde ayant son grand axe dirigé vers la lune (Pl. I, fig. 2).

Lorsque la lune est dans le plan de l'équateur, la rotation de la Terre amènera successivement les deux intumescences sur tous les points de ce grand cercle, et dans toute l'étendue des mers, il se produira une double oscillation dont la durée moyenne sera de 24^h50^m28^s, correspondant exactement au jour lunaire, c'est-à-

dire à l'intervalle qui sépare deux passages consécutifs de la lune à un même méridien. Si la lune n'est pas dans le plan de l'équateur, les phénomènes resteront analogues, mais les sommets des deux masses d'eau proéminentes parcourront dans ce cas deux parallèles équidistants de l'équateur et dont les latitudes seront égales à la déclinaison de la lune.

Le soleil produit sur les eaux de la mer un effet semblable à celui de la lune; il fait prendre à leur surface la forme d'un ellipsoïde allongé dans le sens de la droite qui joint le centre de la Terre à celui du soleil, mais les deux intumescences qui en résultent sont beaucoup moins élevées; car la masse de cet astre, tout en étant 26,550,000 fois environ plus grande que celle de la lune, est 400 fois plus éloignée de notre planète et elle n'exerce pas par conséquent sur les diverses parties de cette dernière, une différence d'attraction aussi prononcée. En recherchant le rapport entre les forces théoriques qui donnent respectivement naissance à la marée solaire et à la marée lunaire, on trouve que la première est deux et demi fois moindre que la seconde (*).

Par suite de la grande mobilité des eaux, les deux vagues marées se combinent et marchent ensemble autour du globe pour produire la marée réelle.

Lors des syzygies, quand le centre de la Terre se trouve dans une même direction avec les centres de la lune et du soleil, les effets d'attraction des deux corps célestes sur les molécules liquides de l'Océan s'ajoutent et forment les *marées de vive eau*.

L'amplitude des marées de vive eau varie elle-même avec les distances de

(*) L'attraction de la lune sur la Terre, celle-ci étant supposée entièrement couverte d'eau, peut se représenter d'après la loi de Newton, par $\frac{f m T}{d^2}$; f étant la force attractive entre deux unités de masse, placées à l'unité de distance, m la masse de la lune, T celle de la Terre et d la distance entre le centre de la Terre et celui de la lune. Cette attraction produira sur le point C (Pl. I, fig. 2) une accélération $\frac{f m}{d^2}$ et sur un point P de la masse liquide, participant au mouvement de rotation de la terre, une accélération $\frac{f m}{(d-x)^2}$.

soit une différence de $f m \left\{ \frac{1}{(d-x)^2} - \frac{1}{d^2} \right\} = \frac{2 f m x}{d^3} \cdot \frac{1 - \frac{x}{2d}}{\left(1 - \frac{x}{d}\right)^3}$, ou $\frac{2 f m x}{d^3}$ puisque $\frac{x}{d}$ est négligeable. On peut donc poser: $\frac{d^2 e}{dt^2} = \frac{2 f m x}{d^3}$, où e représente l'écart du point P à l'instant t ; x est une fonction du temps résultant du mouvement de rotation de la terre. On trouvera ainsi que l'écart maximum aux points A et B est proportionnel à $\frac{f m r}{d^3}$.

On trouvera de même que l'intumescence résultant de l'attraction du soleil est proportionnelle à $\frac{f M r}{D^3}$, M étant la masse du soleil et D la distance de cet astre au centre de la Terre. Le rapport de la marée solaire à la marée lunaire est par conséquent égal à $\frac{M}{m} \frac{d^3}{D^3}$ ou à 0,41, puisque $M = 26550000 m$ et $D = 400 d$.

la lune et du soleil à la Terre; elle est par conséquent plus prononcée quand la lune est au périgée, et atteint son maximum aux équinoxes.

En dehors des époques de syzygies, les forces attractives du soleil et de la lune n'agissent plus dans le même sens. Elles se contrarient surtout lors des quadratures, quand les deux astres sont à 90° l'un de l'autre, et elles donnent alors lieu aux *marées de morte eau*. La hauteur de ces marées varie également avec la position du soleil et de la lune par rapport à la Terre.

Les principaux caractères de la marée sont d'accord, on le voit, avec les résultats de la théorie que nous venons de mentionner, mais il existe de nombreuses divergences quant aux détails. Ainsi, les oscillations de la mer sont toujours en retard sur le passage de la lune au méridien du point d'observation. Ce retard varie avec les lieux et avec la position des astres. Sur nos côtes, il est tel que la marée observée ne correspond pas même au passage de la lune au méridien qui l'a précédée; c'est ce qu'on reconnaît aux syzygies, puisque la plus haute mer n'arrive qu'un jour et demi après celui de la nouvelle ou de la pleine lune.

L'amplitude des marées est aussi beaucoup plus grande que celle donnée par le calcul et elle est très variable, même dans des ports rapprochés. Ensuite les oscillations, au lieu d'atteindre leur maximum dans les régions tropicales aux environs de l'équateur, sont au contraire plus accentuées vers notre latitude.

Cette discordance entre la théorie et l'observation provient d'abord de ce que la Terre n'est pas entièrement et uniformément couverte par les eaux, ainsi que nous l'avions supposé. Dans cette hypothèse, le sommet de l'intumescence qui produit les marées devrait suivre la lune dans ses mouvements et par conséquent se propager toujours de l'est à l'ouest; c'est ce que l'on constate dans les mers australes qui font le tour du globe sans interruption; mais il n'en est pas de même dans les deux grands Océans.

D'après une théorie due au physicien anglais Whewell, les actions attractives de la lune et du soleil s'exerceraient avec toute leur puissance dans le vaste réservoir océanique qui recouvre presque toute la surface de l'hémisphère austral, et auquel ce savant a donné le nom de *berceau des marées*. C'est de là que partirait l'intumescence-mère qui se propage successivement dans tous les Océans, de même qu'une onde soulevée à la surface d'une eau tranquille se transmet de proche en proche et imprime à toute la nappe liquide un mouvement d'oscillation.

Dans toute l'étendue du bassin Antarctique, et même dans le Pacifique central et dans la mer des Indes, la vague marée suivrait de l'est à l'ouest la marche apparente de la lune. Après avoir heurté les rivages de l'Australie, elle viendrait frapper, environ treize ou quatorze heures après, la côte orientale de l'Afrique

pour atteindre sept ou huit heures plus tard le littoral de l'Amérique du Sud, depuis la Terre-de-Feu jusqu'à l'estuaire de la Plata (Pl. I, fig. 3).

A partir de ce moment, l'ondulation de la marée, arrêtée par le continent américain, changerait de direction et se développerait dans l'Atlantique, du sud au nord; elle atteindrait à peu près simultanément la baie de Fundy, sur la côte est de l'Amérique septentrionale, et la mer d'Irlande, après avoir parcouru en quinze heures environ la distance qui sépare le cap de Bonne-Espérance de l'entrée de la Manche.

Cette théorie a été longtemps considérée comme exacte; mais les travaux de l'amiral Fitz-Roy, de Delaunay et de Chazallon ont prouvé qu'elle est en contradiction avec certains faits de l'observation. Ainsi, dans l'hypothèse de Whewell, c'est du sud au nord que la vague marée devrait se propager sur les côtes du Brésil, tandis que c'est l'inverse qui a lieu; puis on ne comprend pas que l'ondulation soulevée dans les mers australes, et dont l'amplitude moyenne ne paraît pas atteindre plus d'un mètre, puisse parcourir la distance énorme qui sépare son lieu de naissance des côtes de l'Atlantique et s'y élever à des hauteurs relativement considérables.

Il est plus rationnel d'admettre qu'il se forme dans chaque bassin océanique une intumescence-mère, partant du centre de ce bassin et se propageant dans tous les sens pour continuer ensuite son mouvement le long de nos côtes. Un fait qui confirme cette opinion, c'est que les grands réservoirs de l'Océan sont séparés par de larges zones, où l'oscillation de la marée est extrêmement faible. Pareille zone se rencontre dans la direction de la ligne joignant le cap Saint-Roch au cap Vert; elle correspond sans doute à l'étendue de la nappe liquide où viennent s'éteindre les ondulations soulevées respectivement au milieu de l'Atlantique septentrional et de l'Atlantique méridional.

Les ondes marées que l'on observe le long de nos côtes, ne sont donc que des ondes dérivées de l'ondulation première produite au centre de chaque grand Océan par l'influence directe des astres. Celle-ci imprime aux marées leur caractère de périodicité, mais les ondes dérivées, qui se propagent en vertu des lois du mouvement ondulatoire, subissent des retards et des variations de direction provenant principalement de l'existence des continents et des différences dans la profondeur des mers ⁽¹⁾.

(1) Le principe de la périodicité qui caractérise le phénomène de la marée, a été énoncé par LA PLACE, dans son *Traité de Mécanique céleste*, en ces termes : L'état d'un système de corps, dans lequel les conditions primitives du mouvement ont disparu par les résistances que ce mouvement éprouve, est périodique comme les forces qui animent le système.

Il existe une autre cause du retard de la marée sur le passage de la lune au méridien ; cette cause est générale et résulte de ce que les eaux, après avoir subi l'action des forces attractives auxquelles elles sont soumises, continuent à s'élever en vertu de la vitesse acquise ; elles n'atteignent leur hauteur maximum qu'au moment où les résistances passives ont détruit cette vitesse, ce qui ne peut avoir lieu que quelque temps après que l'attraction a agi avec sa plus grande énergie. Le retard de la marée doit par conséquent se produire dans tous les points du globe, ainsi que les observations les plus récentes semblent l'avoir établi.

Dans les mers intérieures, telles que la Baltique et la Méditerranée, les eaux subissent aussi les attractions de la lune et du soleil, mais pas à l'égal de celles de l'Océan ; ces mers, en effet, n'occupent pas une étendue assez vaste pour permettre le développement de l'onde, de sorte que les oscillations qui en résultent sont peu appréciables. Les marées qu'on y observe n'ont en général que quelques centimètres d'amplitude ; elles sont en réalité des dérivations de la grande onde de l'Océan, qui se propagent à travers le détroit par lequel celui-ci communique avec les mers intérieures⁽¹⁾.

Les ondes marées, pendant qu'elles circulent dans les mers profondes, ont une longueur énorme. Dans l'Atlantique, où la profondeur varie moyennement de 3000 à 4000 mètres, cette longueur est d'environ 8 millions de mètres ; elle se réduit à 900,000 mètres dans la Manche, dont la profondeur n'est que de 40 à 50 mètres. Si l'on assimile le mouvement des ondes marées à celui des ondes d'oscillation produites par une force verticale agissant périodiquement sur une nappe liquide, on doit conclure de ce qui précède, que l'influence de la marée se fait sentir dans toute la masse des eaux de la mer.

Pareilles ondulations, en se transmettant à des couches de plus en plus éloignées de la surface, diminuent en effet d'amplitude suivant une loi exponentielle

(1) L'amplitude de la marée dans la plupart des ports de la Méditerranée où des observations plus ou moins régulières ont été faites, varie moyennement de 0^m,15 à 0^m,20 ; elle dépasse rarement 0^m,25 et ne mesure parfois, à l'époque des quadratures, que 0^m,10 et moins encore.

Les marées de la Méditerranée se transmettent dans la mer Adriatique par le canal d'Otrante, tandis qu'elles sont arrêtées par l'étroite coupure des Dardanelles et ne pénètrent pas dans la mer Noire. Celles de la mer du Nord, dont l'amplitude est d'un mètre environ à l'entrée du Kattégat, ne se font guère sentir dans la Baltique, ce qui doit être attribué à l'étendue relativement grande occupée par cette dernière, et probablement aussi, aux obstacles que les nombreuses îles du Danemark opposent à la marche de l'onde marée. Dans la mer Rouge, au contraire, dont la surface est restreinte, les marées de la mer des Indes se transmettent d'une manière très apparente, quoiqu'elles n'aient pas une hauteur notablement supérieure à celles du Kattégat.

Nous verrons plus loin que dans les océans, le resserrement des rivages et le relèvement du fond produisent un accroissement important de l'amplitude de la marée. Le même fait se constate dans les mers intérieures ; c'est ainsi que dans l'Adriatique, au fond du golfe, la hauteur des marées mesure, dans les circonstances normales, de 1 mètre à 1^m,25 et quelquefois jusqu'à 2 mètres.

très rapide, mais qui l'est d'autant moins que l'onde a plus de longueur. M. de Bénazé, en s'occupant de l'étude de la houle, c'est-à-dire des vagues soulevées en mer par le vent et qui continuent à se propager avec une très grande régularité jusqu'au rivage après que le vent a cessé, a calculé que l'amplitude de ces ondulations, observée à une profondeur égale à la moitié de leur longueur, est encore $1/23$ de la demi-hauteur qu'elles présentent à la surface libre. Or il résulte des chiffres cités plus haut, que partout la profondeur de l'Océan ne constitue qu'une fraction très faible de la longueur des ondes. Celles-ci doivent par conséquent transmettre partiellement leur mouvement d'oscillation jusqu'au fond de la mer.

Lorsque des ondes d'oscillation périodiques⁽¹⁾ prennent naissance dans une nappe liquide dont la profondeur est moindre que la couche d'eau où l'agitation produite par le passage des ondes reste appréciable, et qu'elles ont en outre une très longue durée, comme c'est le cas pour les ondulations de la marée, leur vitesse de propagation dépend de la profondeur de la nappe d'eau. On peut admettre dans ce cas la formule $V = \sqrt{gH}$, dans laquelle H représente ce dernier élément et g la gravité, et que M. Boussinesq a déduite d'une équation transcendante en V , applicable en général au mouvement des ondes périodiques dans des eaux de faible profondeur.

Cette formule, donnée directement par Lagrange pour de petites ondulations se propageant dans une eau de profondeur uniforme, concorde avec les observations qui ont été faites sur la propagation de l'onde marée. On a constaté en effet que la vitesse de celle-ci est de 176 mètres par seconde entre le cap de Bonne-Espérance et Ouessant, et de 21 mètres entre Ouessant et Boulogne. Or, en remplaçant successivement dans la formule précitée, V par ces deux valeurs, on trouve pour les profondeurs de la mer en ces endroits, respectivement 3160 mètres et 45 mètres, chiffres qui diffèrent peu des moyennes obtenues par les sondages.

Si l'on représente en plan et pour toutes les heures de la journée, les lieux géométriques des points de la mer où la marée haute se produit en même temps, on obtient une série de courbes appelées *courbes cotidales*, qui correspondent aux positions successives de l'arête supérieure de l'onde marée.

L'aspect général de ces courbes, telles qu'elles ont été dressées d'après les

(1) On appelle ondes d'oscillation ordinaires, celles qui se forment toutes les fois que les eaux sont sollicitées par une force verticale; elles se succèdent toujours en plus ou moins grand nombre et les sommets et les creux sont situés respectivement au-dessus et au-dessous du niveau normal de l'eau. Les ondes d'oscillation sont dites périodiques lorsqu'elles résultent de plusieurs actions donnant lieu chacune à une onde, mais s'exerçant périodiquement, de manière que les diverses ondes se succèdent régulièrement. Les ondes marées peuvent être assimilées à des ondes d'oscillation périodiques.

renseignements recueillis par MM. Lubbock et Whewell, fait voir que la vitesse de propagation de la vague marée est plus grande au milieu des mers que près des côtes, ce qui prouve encore que cette vitesse diminue avec la profondeur de l'Océan. Celle-ci est d'ailleurs partout insuffisante pour permettre à l'onde marée de suivre le mouvement des astres, en admettant qu'il n'existât aucun continent pour en interrompre la marche régulière.

Le temps qui s'écoule entre le passage de la lune au méridien et l'instant de la pleine mer qui suit ce passage, variable en chaque lieu, avons-nous vu, suivant la position des astres, est cependant toujours le même aux jours de syzygies équinoxiales où la lune se trouve à ses distances moyennes de la Terre. C'est ce retard que l'on désigne sous le nom d'*établissement du port*, et que l'on détermine, dans les divers pays, pour les principaux points du littoral.

Comme il se produit deux oscillations complètes de la marée dans un jour lunaire, le temps que dure une oscillation, c'est-à-dire l'intervalle entre deux basses mers consécutives, est de 12^h25^m en moyenne. Ce temps, qui est inférieur de quelques minutes à la moyenne en vive eau et qui dépasse cette moyenne de quelques minutes en morte eau, ne change pas dans le parcours d'une même onde; mais il n'est pas également partagé par l'instant de la haute mer, et la durée relative de la montée et de la descente de la marée varie d'un point à un autre.

La hauteur totale des marées, mesurée depuis le niveau de la basse mer jusqu'à celui de la pleine mer, et que La Place, dans ses calculs, considère comme étant l'excès de la demi-somme des deux marées d'un jour sur la basse mer intermédiaire, acquiert des valeurs différentes, pour une même onde, aux divers points de la mer, tant au large que le long des côtes.

Au fond des baies resserrées, l'amplitude des oscillations devient généralement considérable. Dans le port de Panama elle atteint plus de 7 mètres, tandis qu'à une distance de 60 kilomètres, sur l'autre rivage de l'isthme, le flux et le reflux sont à peine appréciables. Au fond de la baie de Fundy, sur les côtes de la Nouvelle-Ecosse, l'amplitude de la marée est de 21 mètres, alors qu'elle ne mesure que $2^m,70$ à l'entrée de la baie. A l'embouchure de la Severn, sur la côte est d'Angleterre, et dans la grande baie du mont Saint-Michel, sur le littoral français, la hauteur des pleines mers de vive eau est de 14 à 15 mètres.

La surélévation du flux aux endroits où le rivage présente des parties rentrantes disposées en entonnoir, s'explique par le fait que la vague marée, en pénétrant dans ces enfoncements de la côte, y éprouve une diminution de vitesse produisant en même temps un accroissement de hauteur; mais elle peut



résulter aussi d'une autre cause non moins importante. Certaines mers sont parcourues en effet par deux ondes dérivées allant à l'encontre l'une de l'autre et qui, en s'entrecroisant, donnent lieu à un phénomène d'interférence analogue à celui qui se produit dans les vibrations sonores ou lumineuses. La marée n'en conserve pas moins tous les caractères du mouvement ondulatoire, mais l'amplitude de son oscillation dépend évidemment, en chaque point, des conditions suivant lesquelles les deux ondes s'y rencontrent.

Lorsque les deux vagues se croisent à l'instant qui correspond pour chacune d'elles à l'heure du plein, leurs effets s'ajoutent et elles donnent naissance à des marées très prononcées; si au contraire le sommet de l'une des ondes vient se placer au-dessus du creux de l'autre, les mouvements de l'eau dans le sens vertical tendent à se neutraliser et se détruisent dans certains cas entièrement. Enfin deux ondes peuvent se rencontrer dans des conditions intermédiaires, et il arrive qu'elles se présentent l'une par rapport à l'autre de façon à produire des *marées à deux eaux*, la montée passant successivement par deux hauteurs maxima pendant une même marée.

Les hauteurs d'une marée, observées en des points différents de la mer, conservent cependant entre elles certains rapports qui dépendent de la position des astres dans leur orbite et du mouvement de rotation de la Terre, et qui ne changent pas, quelle que soit l'amplitude de la marée. C'est ainsi que l'on a pu déterminer, pour chaque port, un chiffre de hauteur qu'il suffit de multiplier par un coefficient exprimant d'une manière générale l'importance de la marée à un jour donné, pour avoir la hauteur que la marée atteindra ce jour dans le port que l'on considère.

Le chiffre que l'on adopte à cet effet est la moitié de la moyenne amplitude totale des marées qui se produisent aux syzygies d'équinoxe, quand les astres se trouvent dans le plan de l'équateur, à leurs distances moyennes de la Terre et passent ensemble au méridien. Il est désigné sous le nom d'*unité de hauteur* et se déduit d'un grand nombre d'observations des hautes et des basses mers équinoxiales.

L'*Annuaire des marées* donne du reste, tous les ans, les coefficients représentant l'importance des marées pour chaque jour de l'année.

Si l'on représente graphiquement le mouvement d'oscillation de la marée, dans un lieu donné, en prenant le temps pour abscisse et les hauteurs de la mer pour ordonnées, on obtient la *courbe locale* de la marée de ce lieu. Cette courbe se rapproche beaucoup d'une sinusoïde régulière, lorsque la marée se propage au milieu d'une mer libre de profondeur sensiblement constante (Pl. II,

fig. 1.) ; son équation a été établie par La Place dans sa *Mécanique céleste* et peut se mettre sous la forme simple :

$$y = A \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

dans laquelle y représente la dénivellation positive ou négative au-dessus du niveau moyen de la mer, A la demi-amplitude totale de la marée, t le temps compté à partir de la basse mer, T la durée totale de la marée.

Mais les courbes locales que l'on observe dans nos ports, tout en conservant dans la plupart des cas une forme sinusoïdale, s'écartent plus ou moins de la forme théorique qui correspond à cette équation, par suite de l'influence que la configuration particulière de chaque rivage exerce sur la durée respective de la montée et de la descente des eaux. M. Chazallon est cependant parvenu à établir, pour un port déterminé, une équation donnant avec beaucoup d'exactitude la forme que la courbe de marée y présente. Pour y arriver, il a mis l'équation de La Place sous une autre forme, en y ajoutant en outre un certain nombre de termes, qui se rapportent également à des courbes sinusoïdes ; la combinaison des ordonnées correspondant à ces expressions, dont les coefficients sont déterminés par l'expérience, donne la courbe définitive.

L'ondulation de la marée, en parcourant l'étendue des mers, présente à chaque instant une allure d'autant plus régulière que la profondeur de l'eau, dans la zone qui correspond à la longueur de l'onde à l'instant que l'on considère, est plus uniforme. Coupée par un plan vertical mené parallèlement à sa direction, elle donne pour intersection à la surface, une ligne qu'on appelle courbe instantanée de la marée et qui généralement affecte aussi la forme sinusoïdale (Pl. II, fig. 2).

Dans une même marée, les eaux s'élèvent et s'abaissent plus ou moins par rapport à une certaine surface d'équilibre ou niveau moyen, qui reste sensiblement le même, en chaque lieu, pour toutes les marées, mais qui varie d'un lieu à un autre, à cause des circonstances locales ; parmi celles-ci, il convient de mentionner principalement la direction des vents régnants, l'orientation et la configuration des côtes, ainsi que les conditions suivant lesquelles se combinent les ondes partielles, constituant dans leur ensemble le phénomène de la marée. Le niveau moyen de la mer reste cependant compris entre des limites relativement resserrées⁽¹⁾.

(¹) D'après les nivellements de précision les plus récents, les différences d'altitude existant entre les niveaux moyens de l'Adriatique, de la Méditerranée, de l'Atlantique, de la Manche, de la mer du Nord et de la Baltique, sont bien moindres qu'on l'avait admis précédemment. Les nouvelles déterminations semblent

La détermination des différences que présentent les niveaux moyens des mers est une question très intéressante, et dont la solution réclame de grandes opérations de nivellement auxquelles l'Association géodésique internationale a donné une vive impulsion depuis un certain nombre d'années. Au même ordre d'idées se rattache le choix éventuel d'un zéro fondamental qui serait commun à tous les nivellements de précision européens. L'opinion a été émise, au sein de l'Association géodésique, que le niveau moyen du port d'Ostende conviendrait pour un tel repère international; mais jusqu'à présent aucune décision n'a été prise à cet égard, certaines objections ayant été faites à l'opportunité qu'il y aurait actuellement de choisir n'importe quel zéro de l'espèce. Cette question donnera lieu à un examen approfondi lors de la prochaine conférence générale qui se réunira à Berlin en 1895⁽¹⁾.

La Place adoptait pour ce niveau le milieu de la distance verticale qui sépare la haute et la basse mer. Mais d'après la définition qui est plus généralement admise aujourd'hui, le niveau moyen de la mer correspond au plan pour lequel, dans une même oscillation de la marée, les volumes d'eau situés respectivement au-dessus et en dessous de sa surface aux instants de la haute et de la basse mer, sont égaux. La position de ce plan se détermine, pour chaque port, en traçant sur la courbe de marée locale une ligne horizontale comprenant entre elle et les parties supérieure et inférieure de la courbe, des surfaces équivalentes.

Les ondes marées, comme les ondes en général, se propagent par communication de mouvement, ce qui veut dire que les molécules d'eau s'élèvent et s'abaissent au passage de chaque ondulation sans participer d'aucune manière à la vitesse de propagation de celle-ci. Mais cette transmission de mouvement ne peut s'effectuer cependant sans donner lieu à des transports de liquide dans le sens horizontal, résultant de ce que les quantités d'eau dont chaque onde diminue aux endroits où il y a mer descendante, se répartissent de manière à produire, par un déplacement des molécules s'opérant de proche en proche, les marées montantes voisines. Ce sont ces transports de liquide qui constituent la cause déterminante des *courants de marée*.

M. Comoy, dans une étude très remarquable⁽²⁾, examine de la manière

démontrer que le niveau moyen de ces mers est le même à quelques centimètres près. (CH. LALLEMAND, *Rapport sur les travaux du service du nivellement général de la France en 1890, suivi d'une note sur l'unification des altitudes européennes*.)

⁽¹⁾ Voir les *Comptes rendus* des sessions de la commission permanente et des conférences générales de l'Association géodésique internationale, et notamment les *Rapports* présentés par M. Helmert, directeur du Bureau central, dans la session de Florence, en 1891, et à la conférence de Bruxelles, en 1892.

⁽²⁾ COMOY. *Étude pratique sur les marées fluviales*.

suivante les conditions qui caractérisent ce mouvement particulier des molécules de l'eau dans les phénomènes ondulatoires de la marée.

Il représente par $DSD'S'$ la courbe instantanée de deux ondes consécutives observées à un moment donné et par $dsd's'$ la position que cette courbe occupe au bout d'un court intervalle de temps t , NM étant le niveau moyen de la mer (Pl. II, fig. 3). L'auteur considère d'ailleurs la courbe instantanée de l'onde marée comme une sinusoïde régulière, hypothèse qui ne s'écarte pas beaucoup de la réalité, surtout pour les ondes qui se propagent à une certaine distance au large; il néglige aussi les variations assez peu prononcées que l'on observe dans la hauteur et la durée de deux marées consécutives. D'un autre côté, comme les ondulations de la marée ont toujours une largeur considérable et qui ne varie pas sensiblement dans le temps très court pendant lequel la courbe $DSD'S'$ prend la position $dsd's'$, il suffit d'examiner les changements de volume qui se produisent, pour les différentes parties de l'onde, entre deux sections menées verticalement à l'unité de distance, dans le sens de la marche de la marée.

Cela étant, il doit y avoir égalité entre le volume de liquide correspondant à l'aire $IB'L'b'$, et celui correspondant à l'aire $IALa$, puisque dans tout mouvement ondulatoire, le volume dont l'onde s'accroît d'un côté, est égal à celui dont elle diminue de l'autre, abstraction faite de l'affaiblissement que son intumescence subit pendant la propagation et qui est extrêmement petit pour un très court intervalle de temps. Mais ce n'est pas l'eau perdue à la marée descendante qui vient elle-même se placer dans la zone de la mer occupée par la marée montante; le gonflement de l'onde à l'endroit de cette zone se forme au moyen des molécules liquides les plus rapprochées, lesquelles sont remplacées à leur tour par les molécules voisines, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive à l'endroit où la mer est baissante.

Pour établir de quelle manière s'opère cet échange de liquide, M. Comoy s'appuie sur *la loi de moindre action*, et dit :

« Le volume d'eau qui est échangé de proche en proche est toujours le même dans un temps donné, quelque hypothèse que l'on fasse sur son déplacement. Dès lors la question du volume n'exerce pas d'influence sur la quotité d'action produite. Par suite, le minimum d'action sera donné par la disposition qui assurera au volume déplacé la moindre longueur possible de transport.

« Cette condition ne peut être satisfaite que si le volume d'eau expulsé du côté du perdant, se partage en deux parties s'écoulant l'une dans le sens de la marche de l'onde pour participer à l'accroissement du gagnant⁽¹⁾ de

(1) Les expressions « gagnant » et « perdant » signifient respectivement marée montante et marée descendante.

« la même onde, et l'autre en sens contraire pour contribuer à former l'accroissement du gagnant de l'onde suivante.

« Par ce mode d'écoulement, en effet, la distance que parcourt le liquide est évidemment moindre que si toute la diminution du perdant s'écoulait dans le sens de la propagation pour former tout l'accroissement du gagnant de la même onde. »

Comme conséquence de cette théorie, l'auteur fait ressortir, ainsi qu'on peut le reconnaître aisément, que dans l'hypothèse admise d'une onde sinusoïdale régulière, il faut, pour avoir la distance de transport des volumes liquides déplacés la moindre possible, que la ligne qui détermine dans les courbes instantanées de la marée la position du plan de séparation des eaux provenant du perdant d'une onde et s'écoulant en sens contraire, soit placé au niveau moyen de la mer; les renversements des courants résultant du déplacement de ces eaux correspondent donc au même niveau moyen, ce qui revient à dire qu'ils doivent coïncider en chaque point avec la mi-marée.

Revenant ensuite aux ondes marées réelles, dont la forme s'écarte toujours de la courbe sinusoïdale régulière, il fait observer que pour ces ondes, les surfaces qui, dans la fig. 3, pl. II, correspondent aux volumes dont une ondulation s'est accrue du côté de la mer montante et a diminué du côté de la mer baissante, ne présentent pas cette régularité; mais que, d'après les conditions nécessaires à la propagation des ondulations, ces aires doivent être équivalentes et que l'échange des eaux dont elles indiquent la position dans les courbes instantanées de la marée, doit toujours se faire de manière à produire le minimum d'action. C'est ce qui se réalise si la surface déterminant la diminution de volume du perdant se partage en deux parties équivalentes, dont l'une correspondrait à la partie supérieure de l'accroissement de la même onde du côté où elle produit la mer montante, et l'autre à la partie inférieure de l'accroissement nécessaire à la marée montante de l'onde qui suit; dans ces conditions les renversements des courants ont lieu soit avant, soit après la mi-marée.

« Cependant, ajoute M. Comoy, de quelque manière que le renversement des courants dirigés en sens inverse du mouvement de l'onde, se place par rapport au niveau moyen de la mer, il arrive que le renversement des courants dirigés dans le même sens que l'onde, le suit dans ses écarts, mais en sens contraire; de manière que les temps qui séparent, en chaque lieu, les renversements consécutifs des courants soient à peu près égaux à la moitié de la durée totale de la marée. C'est là un fait naturel que l'on a constaté même dans des mers resserrées et peu profondes.

„ Pour que ce résultat se produise, il est nécessaire que les surfaces de
„ l'accroissement du gagnant et de la diminution du perdant présentent des
„ dispositions inverses, c'est-à-dire que si l'une d'elles a un excès de largeur
„ dans sa partie inférieure, l'autre ait un pareil excès de largeur dans sa partie
„ supérieure, afin que le partage de ces surfaces en deux parties d'aires égales
„ se fasse pour l'une d'un côté et pour l'autre de l'autre côté du niveau moyen
„ de la mer „.

Comme exemples de la disposition à laquelle il conclut, M. Comoy donne les formes sinusoïdales reproduites pl. II, fig. 4 et 5.

Il importe de remarquer, ainsi que l'auteur le dit d'ailleurs, que les considérations qui précèdent ne résultent point d'un examen analytique du phénomène de la marée; elles ne constituent que des moyens approximatifs d'appréciation, mais qui ont cet avantage de donner une idée claire du régime des courants que l'on observe au large des côtes et dont nous allons résumer les caractères principaux.

Les courants de marée se dirigent, en chaque point de la mer, alternativement dans le sens de la marche de l'onde et en sens contraire.

On appelle les premiers *courants de flot* et les seconds *courants de jusant*.

Les courants de flot et de jusant ont ensemble, en chaque lieu, une durée à peu près égale à celle de la marée qui les produit, et ils se partagent généralement cette durée dans un rapport se rapprochant de celui qui existe entre les intervalles de temps que les eaux mettent successivement à monter et à descendre. Mais les instants où les courants changent de direction, ne coïncident pas avec ceux de la haute et de basse mer. Le courant de flot continue quelque temps après la pleine mer, quoique la hauteur des eaux diminue; de même le courant de jusant continue quelque temps après la basse mer, quoique la hauteur des eaux augmente.

On nomme *étale de flot* la molle eau correspondant à l'état de la marée qui se produit entre la fin du flot et le commencement du jusant, et *étale de jusant*, la molle eau correspondant à l'état de la marée qui se produit entre la fin du jusant et le commencement du flot.

Il résulte de ce qui précède que la surface de la mer, observée à un même instant donné, présente une suite non interrompue de zones, occupées alternativement par les courants de flot et de jusant et séparées par les lignes qui correspondent aux étales de ces courants.

Dans les mers ouvertes, de profondeur peu variable, les lignes des étales se placent de façon à diviser à peu près également la distance qui sépare les

arêtes de pleine et de basse mer consécutives ; mais dans la plupart des cas, elles divisent la distance comprise entre ces dernières en deux parties de longueur plus ou moins différente, tout en restant sensiblement parallèles à ces arêtes.

La longueur totale de deux zones consécutives, l'une de flot, l'autre de jusant, est à peu près égale à celle de l'onde marée qui leur donne naissance.

Les zones de flot et de jusant se déplacent constamment dans le sens de la marche de l'onde, et comme la situation des deux courants par rapport aux positions successives de la pleine et de la basse mer change fort peu, la vitesse de ce déplacement est aussi très peu différente de celle de l'onde elle-même ; les étales des courants, qui limitent les zones, progressent évidemment dans la direction des courants de flot, et elles se succèdent périodiquement, en chaque lieu, comme les hautes et les basses mers.

Mais les molécules liquides soumises à l'action des courants de marée ne participent pas à la vitesse de propagation des zones de flot et de jusant ; la vitesse dont elles sont animées est beaucoup plus petite, et il est évident dès lors qu'elles ne peuvent appartenir au même courant que pendant un temps plus ou moins long et qui varie, dans chaque cas, avec les circonstances particulières du mouvement des ondes marées que l'on considère. Les molécules qui passent ainsi d'un courant dans un autre, par l'effet du déplacement plus rapide de la ligne des étales limitant d'un côté la zone où elles ont été temporairement engagées, sont remplacées sans cesse par de nouvelles molécules qui viennent se ranger à l'autre extrémité de la même zone, en raison du déplacement de la ligne des étales formant la limite opposée de celle-ci.

Si l'on se rappelle que le mouvement des ondes marées se fait sentir jusqu'au fond de la mer, on comprend aussi que les courants auxquels elles donnent lieu doivent se produire dans toute l'épaisseur de la nappe marine ; mais leur vitesse varie pour des points situés à des distances différentes de la surface.

En désignant par v la vitesse moyenne du courant de flot dans l'étendue d'une même section transversale par rapport à sa direction, et par V la vitesse de propagation de l'onde marée, M. Comoy obtient, par des considérations géométriques analogues à celles que nous avons reproduites plus haut, la proportion $\frac{v}{V} = \frac{h}{H}$, dans laquelle h et H représentent respectivement la demi-hauteur de l'onde et la profondeur de la mer.

Il fait voir d'autre part qu'on peut admettre que $h\sqrt{H} = \text{constante}^{(1)}$,

(¹) D'après l'auteur, cette constante, qui devrait être déterminée par l'observation en un lieu où la propagation des ondes marées se fait aussi régulièrement que possible, est différente pour chaque mer, dans les mêmes circonstances astronomiques et les mêmes conditions de profondeur. Elle affecterait en outre une valeur particulière dans la même mer pour les marées de vive eau et pour celles de morte eau.

c'est-à-dire qu'en chaque lieu la hauteur de la marée serait inversement proportionnelle à la racine carrée de H .

Si l'on remplace dans l'équation $\frac{v}{V} = \frac{h}{H}$, V par sa valeur \sqrt{gH} , on obtient $v = \frac{h\sqrt{g}}{\sqrt{H}}$; et comme $h = \frac{c}{\sqrt{H}}$, il en résulte que la vitesse du courant de flot varie en sens inverse de H . Les courants de marée doivent donc avoir une vitesse extrêmement faible au-dessus des grandes profondeurs de l'Atlantique et n'acquies de l'intensité qu'à l'approche des continents et dans les mers resserrées, telles que la Manche et le canal Saint-Georges, où les fonds sous-marins se relèvent et réduisent considérablement l'épaisseur de la nappe d'eau. Ce résultat s'accorde avec les faits observés.

Un point important à noter, c'est que les courants de marée, à l'exception de ceux qu'on rencontre à l'entrée des baies et des golfes, dont le remplissage et la vidange donnent lieu à des phénomènes d'écoulement, ne se produisent pas en raison des pentes variables que les ondes établissent à la surface des eaux de la mer, mais résultent exclusivement des transports de liquide qui s'opèrent de proche en proche pour assurer la continuité du mouvement ondulatoire.

L'ingénieur hydrographe Keller, rectifiant sous ce rapport la théorie de M. Beechey, qui attribuait les courants de marée à la pente des dénivellations de la surface des eaux et leur durée aux vitesses acquises, fait remarquer que dans la mer du Nord, les eaux sont basses à Yarmouth quand elles sont hautes à Brielle; or si ces courants étaient engendrés par la pente des dénivellations de la surface, ils devraient dans cette région osciller constamment sur la ligne qui relie ces points, dont la distance n'est que de 100 milles, tandis qu'ils se propagent au contraire dans une direction transversale à cette ligne (*).

Une autre preuve non moins concluante consiste dans ce fait que les courants de marée, outre qu'ils ne sont pas toujours dirigés dans le sens de la pente superficielle, offrent des vitesses trop grandes pour être le résultat de celle-ci. Dans la Manche ces vitesses atteignent jusqu'à 1^m,80 et 2^m,00 par seconde, tandis que la pente de la surface de l'onde n'y dépasse pas un centième de millimètre par mètre.

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que des ondes marées qui se propagent au large et dans des conditions normales; nous savons que les courants auxquels ces ondes donnent lieu, sont généralement alternatifs. Mais dans les mers étroites et à proximité des côtes, il arrive que les courants qui se succèdent en chaque

(*) KELLER. *Exposé du régime des courants observés depuis le XVI^e siècle jusqu'à nos jours dans la Manche et la mer d'Allemagne.*

point, deviennent giratoires, c'est-à-dire qu'ils changent constamment de direction, de manière à décrire un parcours orbitaire, soit en un sens, soit en sens inverse.

De pareils courants se produisent en différentes régions de la Manche, du Pas de Calais et de la mer du Nord; ils y ont fait l'objet de nombreuses observations, qui étaient dictées surtout par les besoins de la navigation et qui ont permis de déterminer plus particulièrement le régime des marées de ces mers.

III. — DU RÉGIME DES COURANTS DE MARÉE DANS LA MANCHE, LE PAS DE CALAIS ET LA MER DU NORD.

Lorsque l'onde marée de l'océan Atlantique arrive à l'entrée de la Manche, elle donne lieu à une onde dérivée qui parcourt cette mer de l'ouest à l'est et se dirige ensuite vers le nord, à travers le Pas de Calais. Elle s'engage en même temps dans la mer d'Irlande et continue d'autre part à se propager le long des côtes ouest de l'Irlande et de l'Ecosse, contourne les îles Orcades, pénètre dans la mer du Nord et vient rencontrer, au large des bancs des Flandres, l'ondulation de la Manche; mais de ces deux ondes qui se rencontrent, celle qui arrive du nord a quitté le point de départ commun douze heures plus tôt que l'autre (Pl. I, fig. 4).

Le régime des marées dans la Manche, le Pas de Calais et la mer du Nord, résulte donc de l'interférence de deux ondulations dirigées en sens inverse, l'une venant de l'ouest, l'autre du nord et dérivant toutes deux de la grande onde de l'Atlantique.

Cette opinion a été développée en 1855 par M. Keller dans son exposé sur le régime des courants dans la Manche et la mer d'Allemagne.

Avant lui, l'ingénieur hydrographe Monnier, se basant sur diverses observations qui avaient été faites dans la Manche, le Pas de Calais et la partie méridionale de la mer du Nord, par les ingénieurs de la Marine sous les ordres de M. Beaumont-Beaupré, et par les capitaines de vaisseau White et Dupetit-Thouars, formula une série de lois générales, destinées à rattacher le régime des courants au mouvement vertical de la marée et d'après lesquelles celle-ci résulterait de la propagation d'une seule onde, venant de l'ouest et circulant dans la Manche et le Pas de Calais, comme dans un canal ouvert à ses deux extrémités.

M. Keller, qui disposa des nouvelles observations recueillies depuis l'époque où M. Monnier avait publié son mémoire (*), fit voir que les lois énoncées par

(*) Le mémoire de M. Monnier a été publié en 1835; il fut suivi en 1839 d'un supplément, ainsi que d'un tableau dressé sous forme de carte marine, indiquant les diverses particularités relatives aux courants de marée dans la Manche et la partie méridionale de la mer du Nord, d'après les observations précitées.

cet ingénieur étaient erronées, et il mit en lumière de nombreux faits concernant le régime des marées de la Manche, en contradiction avec l'hypothèse de la propagation d'une seule onde et s'expliquant par l'interférence de deux ondes opposées.

Tels sont :

1° Les irrégularités que l'on constate dans les établissements de marée sur la côte anglaise, lesquels progressent en divers endroits en sens inverse par rapport aux établissements de la côte de France, et ont en outre des différences très faibles pour certains points, tandis que pour d'autres, beaucoup plus rapprochés, on observe des différences de trois heures.

2° L'existence de deux maxima de hauteur de marée, correspondant respectivement aux marées de Beachy-Head et de Cayeux et à celles de Start-Point et des Héaux et comprenant un minimum intermédiaire au droit de Poole et de Barfleur; ces maxima présentent une différence de près de 6 heures dans leurs établissements, lesquels diffèrent chacun de 3 heures environ avec l'établissement du minimum intermédiaire. Ils se produisent lorsque les ondes opposées coïncident, les sommets et les creux se superposant nécessairement en deux points, distants de la moitié de la longueur de l'onde et dont la différence d'établissement est de 6 heures, puisqu'il y a haute mer à l'un des points quand il y a basse mer à l'autre, et réciproquement; 3 heures avant ou après, à l'instant où le sommet de l'une des ondes occupe le milieu de la distance comprise entre les deux points précités et s'y trouve placé au-dessus du creux de l'onde opposée, la hauteur de la marée est représentée en cet endroit par la différence des deux ondes et elle doit par conséquent être très faible, comparée à celle qui se réalise aux endroits où les sommets se réunissent.

3° Enfin, la coexistence d'un maximum de vitesse des courants avec un minimum de hauteur de la marée que l'on observe dans le canal de Cherbourg, entre Barfleur et Poole, de même que le fait inverse qui se produit entre Start-Point et les Héaux, comme entre Beachy-Head et Cayeux, où la vitesse des courants est moitié moindre, alors que l'ondulation y atteint sa plus grande hauteur. Cette particularité, dont on ne pourrait se rendre compte dans l'hypothèse de la propagation d'une seule onde, est une conséquence toute naturelle de l'interférence de deux ondes opposées. Car pour tous les points où la hauteur de celles-ci s'ajoute, les courants résultant séparément du mouvement moléculaire de chacune d'elles sont dirigés en sens contraire et se neutralisent en partie; aux endroits où le mouvement vertical des deux ondes a lieu en sens inverse et où le sommet de l'une des ondes vient se placer au-dessus du creux de l'autre, le flot de la

première a la même direction que le jusant de la seconde, et la combinaison de ces deux courants coexistants fait naître le maximum de vitesse dans la région où l'amplitude de la marée est la plus faible.

M. Beechey, dans une étude publiée en 1851, avait déjà émis l'opinion que le régime des courants de la Manche et de la partie méridionale de la mer du Nord résulte de l'interférence de deux ondes opposées, mais il admettait en outre que ces ondes devaient être d'égale intensité, assimilant ainsi le régime des courants de la Manche à celui des courants du canal Saint-Georges, pour lequel il venait de mettre cette particularité en lumière. M. Beechey était arrivé à cette conclusion, en constatant certaines similitudes que le canal de la Manche offre avec celui de Saint-Georges, tant dans ses formes générales que dans les vitesses locales de progression des établissements correspondants, ainsi que l'identité des heures d'établissement dans le détroit de Calais et dans le détroit ouest de l'île de Man, comme celle des établissements de Bristol et de Saint-Malo. Il avait observé ensuite que dans la baie de la Seine et dans celle de la Tamise, les courants renversent à peu près simultanément et ce au moment du plein à Douvres, et qu'ils acquièrent aussi, dans tous les points de ces régions, presque en même temps leur vitesse maximum, laquelle a lieu sensiblement aux instants de la mi-marée observée à ce port.

M. Keller a démontré que les ondes marées de la Manche et de la mer du Nord sont au contraire d'inégale intensité, en faisant ressortir que les phénomènes distinctifs qui caractérisent nécessairement l'égalité de deux ondes opposées et qu'on observe dans le canal Saint-Georges, ne se produisent pas dans ces mers.

Ainsi, quand deux ondes égales se superposent, le flot de la première qui correspond, on le sait, à la partie de l'onde située au-dessus du niveau moyen de la mer, occupe la même zone que le flot de la seconde, et ces deux courants, étant de direction contraire, se neutralisent; il en est de même pour les courants de jusant qui correspondent respectivement à la partie de chacune des ondes situées au-dessous du niveau moyen de la mer, de sorte qu'une étale générale doit se produire dans toute l'étendue du canal occupée par la double ondulation. Ce fait se vérifie dans le canal Saint-Georges, tandis que dans la Manche et la mer du Nord, le renversement des courants s'opère bien simultanément dans la baie de la Seine et dans celle de la Tamise; mais ces régions sont séparées par une zone intermédiaire qui s'étend de Dieppe à Dunkerque, sur la côte de France, et de Beachy-Head à Nord-Foreland, sur la côte d'Angleterre, et où il y a flot au moment de la haute mer, et jusant au moment de la basse mer à Douvres.

Ensuite, au point occupé par les deux sommets à l'instant de la superposition de deux ondes égales, il n'existe aucune apparence de courants, car ceux qui s'y produisent sont constamment égaux et de direction contraire. Pareil point existe dans le canal Saint-Georges, à l'ouest de l'île de Man.

On reconnaîtra de même que dans le cas de deux ondes égales, lorsque le sommet de l'une des ondes est venu se placer au-dessus du creux de l'onde opposée, le niveau moyen s'établit sur tous les points, en même temps que le maximum de vitesse des courants; et au point de rencontre du sommet et du creux, où les mouvements verticaux de l'eau, aux autres instants, sont constamment égaux et de signe contraire, la marée verticale est insensible. Ces particularités, que l'on constate encore dans le canal Saint-Georges, ne se produisent pas dans la Manche, où les phénomènes observés semblent indiquer un régime intermédiaire entre le régime propre à l'interférence de deux ondes opposées égales et celui propre à la propagation d'une onde simple.

Mentionnons comme tels :

1° L'accélération de la vitesse de déplacement des étales par rapport aux établissements, accélération qui se produit dans la baie de la Seine, entre le cap la Hague et Dieppe, et dans la baie de la Tamise, entre North-Foreland et Cromer, et qui constitue un phénomène intermédiaire entre la progression des étales avec une vitesse peu différente de celle des établissements, répondant à l'hypothèse d'une seule onde, et les étales générales simultanées ou se propageant avec une vitesse infinie, répondant à l'hypothèse de l'interférence de deux ondes opposées égales.

2° Le ralentissement de la vitesse de déplacement des étales coïncidant avec l'accélération de la progression des établissements, que l'on constate dans le détroit, entre Dieppe et Dunkerque, et entre Beachy-Head et North-Foreland, phénomène intermédiaire entre la progression uniforme des étales et des établissements, et une étale fixe.

Après avoir établi que les ondes qui parcourent la Manche et la mer du Nord sont d'inégale intensité, M. Keller conclut des observations relatives à la progression des étales que dans la Manche, la prépondérance de l'onde de l'ouest doit être plus accentuée sur la côte de France que sur celle d'Angleterre; sur cette dernière côte, le régime des courants s'écarte en effet moins du régime propre au cas de deux ondes égales que sur celle de France; de plus, la hauteur de marée minimum qui correspond au point où le sommet de l'une des ondes coïncide avec le creux de l'autre, est plus faible sur le littoral anglais que sur le littoral français, ce qui prouve encore que l'excès de l'onde principale y est moindre.

Dans la mer du Nord, l'onde de l'ouest est affaiblie par son passage au détroit, et elle ne conserve sa prépondérance que sur la côte du continent, tandis que celle du nord prédomine sur la côte est d'Angleterre. Entre ces deux zones soumises respectivement à deux actions ondulatoires prédominantes inverses, il doit exister une ligne où les ondes opposées sont égales. Cette ligne paraît se trouver au droit du thalweg du canal des Flandres; son existence serait confirmée par la faible hauteur, 0^m,61, de la marée, observée par M. Hewitt à mi-chenal entre la côte de Hollande et celle d'Angleterre.

Il est à remarquer que dans la Manche, la prédominance de l'onde de l'ouest sur celle du nord est plus considérable dans les marées croissantes que dans les marées décroissantes, puisque la première prend naissance plusieurs heures plus tard que la seconde; dans la mer du Nord, au contraire, la prépondérance de l'onde du nord, sur la côte d'Angleterre, est plus considérable dans les marées décroissantes que dans les marées croissantes.

On voit que le régime des courants dans la Manche et dans la mer du Nord, outre qu'il est dû à l'interférence de deux ondes opposées dont l'intensité relative varie d'un point à un autre, subit encore, en chaque point, des variations périodiques suivant la position des astres. Il n'est donc pas possible de formuler des lois générales régissant le régime de ces courants, lesquels n'obéissent qu'à des lois strictement locales.

Pour définir celles-ci, M. Keller a divisé l'étendue de ces mers en différentes régions, suivant le caractère distinctif des courants qui se propagent dans chacune d'elles. Cette division, qui est indiquée par des traits pointillés sur la carte représentée pl. III, est la suivante :

A l'entrée de la Manche jusqu'au méridien de Start-Point ou des Sept-Iles, les courants ont un mouvement giratoire direct, c'est-à-dire qu'ils sont constamment variables et parcourent successivement toutes les aires du compas en allant de droite à gauche et passant par le nord, soit dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre. A l'est du méridien de Start-Point jusqu'à la ligne joignant le cap de Barfleur à Exmouth, les courants ont un mouvement giratoire inverse, soit de gauche à droite en passant par le nord.

Dans la mer d'Allemagne, ils ont un parcours giratoire direct sur le parallèle du Texel et depuis la Meuse jusqu'à l'azimut N.O. de Groningue, et un parcours giratoire inverse dans le golfe de Jutland, depuis ce dernier azimut jusqu'au Skager-Rack.

Pour toutes ces régions, le mouvement giratoire des courants se produit au large comme dans le voisinage des côtes.

Il n'en est pas de même pour l'étendue de la Manche et de la mer du Nord, comprise entre les deux lignes reliant respectivement le cap de Barfleur à Exmouth et Brielle à Lowestoft, où on doit considérer séparément la zone du large et les zones littorales. Dans la zone du large, les courants sont directement alternatifs, c'est à dire qu'ils ne présentent que deux directions à peu près opposées et restant alternativement invariables tant que leur vitesse est appréciable.

Le long de la côte anglaise, le régime des courants est giratoire direct; le long de la côte du continent, il est giratoire inverse. Ces zones littorales n'ont qu'une largeur relativement faible, sauf à l'embouchure de la Tamise, pour la côte anglaise, et à l'embouchure de la Seine, dans la baie de la Somme et le long du littoral des Flandres et de Zélande, pour la côte du continent.

Les courants alternatifs de la zone du large résultent des mouvements moléculaires provoqués par la transmission normale des ondes. Ceux qui se meuvent de gauche à droite et qui, dans la région comprise entre le détroit d'une part et les bancs des Flandres et de la Tamise d'autre part, sont dirigés vers le N.E., constituent les courants de flot; ceux qui se meuvent en sens inverse et qui dans la même région sont dirigés vers le S.O., constituent les courants de jusant. Les étales de flot et de jusant y occupent donc respectivement l'extrémité de droite et l'extrémité de gauche des courants de même nom, en considérant, bien entendu, ce qui se passe successivement pour les mêmes particules d'eau en mouvement.

Comme les étales progressent de gauche à droite, elles envahissent le courant de droite et sont envahies par le courant de gauche; et si l'on embrasse l'étendue occupée par les courants de flot et de jusant du large à un même moment donné, on remarquera que le flot et le jusant sont situés à droite de leur étale respective et à gauche de leur étale inverse. Il s'ensuit que les lignes des étales de flot séparent chaque fois des zones dont les courants s'éloignent d'elles, et que les lignes des étales de jusant séparent des zones dont les courants se dirigent vers elles.

Lorsque, par suite des inflexions du thalweg, les courants coexistant en avant et en arrière d'une étale n'ont pas une direction diamétralement opposée, ils donnent lieu à une résultante transversale qui les fait dévier et subsiste pendant l'étale intermédiaire. Dans la région définie plus haut et comprise entre les lignes reliant respectivement Barfleur à Exmouth et Brielle à Lowestoft, de pareils courants n'existent pas au large; on ne les observe que dans les zones littorales, et il est aisé de voir qu'autour des pointes et des côtes avancées, ces résultantes transversales se dirigent vers le large à l'étale de jusant et vers la terre à l'étale de flot, tandis que, dans les grandes baies ou dans les rivages

rentrants, elles se dirigent vers la terre à l'étalement de jusant et vers le large à l'étalement de flot.

M. Keller attribue le mouvement giratoire des courants que l'on observe dans les zones littorales, à la combinaison des courants longitudinaux de flot et de jusant avec les courants transversaux qui règnent dans le voisinage des côtes et y correspondent à la montée et à la descente alternatives de l'eau sur le rivage; car là où une étalement de flot coïncide avec un courant transversal portant à terre, l'étalement de jusant coïncidera nécessairement avec un courant transversal portant au large, et réciproquement. Et comme dans les régions dont il s'agit, l'onde venant de l'ouest est prédominante sur celle venant du nord, on comprend aussi que le long de la côte anglaise, où les courants transversaux qui se produisent sur les rivages pendant les étalements se trouvent à gauche de l'onde prédominante, le mouvement giratoire doit être direct, tandis que le long du continent, où ils se trouvent à droite de cette onde, le mouvement giratoire doit être inverse.

La cause déterminante du régime giratoire des courants existant au large dans les régions de la Manche situées à l'ouest de la ligne joignant Barfleur à Exmouth, et à l'est de celle joignant Brielle à Lowestoft, n'est pas la même. Dans l'opinion de M. Beechey, elle réside dans le croisement de deux ondes coexistantes, dont les directions se coupent sous un certain angle.

M. Comoy, sans discuter les théories qui précèdent, pense que les courants giratoires peuvent naître aussi des positions différentes que les étalements de flot et de jusant occupent par rapport à la haute mer aux diverses sections d'une onde marée, faites dans le sens de la marche de celle-ci, lorsque cette onde se propage parallèlement aux côtes.

Ce fait s'observe dans les régions littorales de la Manche et de la partie septentrionale de la mer du Nord; les retards que les renversements des courants y présentent par rapport à la haute mer littorale, vont en croissant à mesure qu'on s'éloigne du rivage et ne deviennent constants qu'à partir d'une certaine distance au large; pour les parties des côtes non situées à l'embouchure des fleuves, ou à l'entrée des baies, cette distance ne dépasse pas 5 à 6 milles. Si l'on considère par conséquent, dans le voisinage des côtes, deux sections verticales de l'onde, mais suffisamment rapprochées l'une de l'autre, le courant de jusant se manifeste dans une section, quand le courant de flot existe encore dans l'autre, circonstance qui semble en effet devoir transformer le mouvement alternatif des courants longitudinaux en un mouvement giratoire.

Pour terminer ce paragraphe nous indiquerons l'établissement du port et la

hauteur moyenne des marées de syzygies observées en divers points des côtes de la Manche et de la partie méridionale de la mer du Nord.

CÔTE DU CONTINENT.

	Établissement.	Hauteur de la marée aux syzygies.
Ouessant.	3 ^h 46 ^m	6 ^m ,40
Héaux	5 ^h 45 ^m	9 ^m ,45
Saint-Malo	6 ^h 5 ^m	11 ^m ,20
Cap la Hague	7 ^h 8 ^m	8 ^m ,25
Cherbourg	8 ^h 2 ^m	5 ^m ,85
Le Havre	9 ^h 18 ^m	7 ^m ,20
Dieppe	11 ^h 8 ^m	8 ^m ,55
Boulogne	11 ^h 26 ^m	7 ^m ,86
Dunkerque	12 ^h 13 ^m	5 ^m ,45
Ostende	12 ^h 23 ^m	4 ^m ,60
Flessingue	12 ^h 50 ^m	4 ^m ,20
Brielle (Meuse).	3 ^h 8 ^m	1 ^m ,70
Nieuwe Diep	6 ^h 00 ^m	1 ^m ,40

CÔTE D'ANGLETERRE.

	Établissement.	Hauteur de la marée aux syzygies.
I. Scilly	4 ^h 30 ^m	4 ^m ,80
Start-Point	5 ^h 32 ^m	5 ^m ,20
Exmouth	6 ^h 21 ^m	3 ^m ,70
Portland	7 ^h 1 ^m	2 ^m ,06
Portsmouth	11 ^h 41 ^m	4 ^m ,12
Brighton	11 ^h 15 ^m	6 ^m ,00
Dungeness	10 ^h 45 ^m	6 ^m ,80
Douvres	11 ^h 12 ^m	5 ^m ,80
Margate	11 ^h 45 ^m	4 ^m ,65
Harwick	12 ^h 6 ^m	3 ^m ,45
Orfordness	11 ^h 15 ^m	2 ^m ,44
Lowestoft	9 ^h 57 ^m	1 ^m ,98
Cromer	7 ^h 00 ^m	4 ^m ,40

A Ouessant, l'étalement de flot du large retarde de 2^h30^m sur la haute mer littorale; ce retard augmente jusqu'au cap la Hague, où il est de 4 heures. A partir du cap la Hague, l'étalement de flot du large se déplace avec une vitesse accélérée par rapport à celle suivant laquelle se propage la haute mer littorale; elle franchit la région qui s'étend de ce cap jusqu'à Dieppe en 1 heure environ, tandis que la haute mer emploie plus de 3 heures à parcourir cette distance, de sorte qu'à Dieppe, le retard de l'étalement de flot sur la haute mer littorale n'est que de 1^h20^m. De Dieppe à Dunkerque, l'étalement de flot acquiert au contraire une vitesse ralentie par rapport au déplacement de la haute mer; elle met près de 5 heures à franchir l'étendue qui sépare ces deux points, alors que la haute mer littorale n'emploie qu'une heure; le retard de l'étalement de flot est de 5 heures au large de Dunkerque, pour 12^h13^m d'établissement à ce port.

Sur la côte anglaise, le renversement du flot au large des îles Scilly se produit 3 heures après l'instant de la haute mer littorale. A l'est de cet endroit, l'étalement de flot présente une vitesse ralentie par rapport à celle avec laquelle s'opère le déplacement de la haute mer, et elle retarde de 5 heures sur celle-ci à Portland-Bill; elle acquiert ensuite une vitesse accélérée jusqu'à Portsmouth et y coïncide avec le plein de l'eau, observé à ce port. Au delà de Portsmouth, l'étalement de flot du large retarde de plus en plus sur la haute mer littorale et ne se produit, au Galloper, qu'à 6^h30^m, pour 12^h26^m d'établissement à Margate.

IV. — DES COURANTS DE MARÉE OBSERVÉS DANS LES PARAGES COMPRIS ENTRE LE DÉTROIT DU PAS DE CALAIS ET LES BANCs DES FLANDRES ET DE LA TAMISE.

Les caractères principaux du régime des courants de ces parages sont décrits dans le mémoire de M. l'Ingénieur Plocq : *Etude des courants et de la marche des alluvions aux abords du détroit de Douvres et du Pas de Calais, sur les côtes de France et d'Angleterre* (1), auquel nous empruntons les renseignements suivants :

Dans la zone du large, les étales des courants directement alternatifs, lesquels sont dirigés successivement vers la région du N.E. et vers la région du S.O., retardent d'autant plus par rapport aux heures des hautes et des basses mers au rivage, qu'on s'éloigne du détroit et de la côte française pour se rapprocher de l'embouchure de la Tamise; il s'agit, bien entendu, des étales qui se produisent à une distance de 5 à 6 milles au moins au large.

Par des marées moyennes de vive eau, la vitesse maximum des courants de flot, observée en différents points de cette région, varie de 1^m,50 à 2^m,00 par seconde et la vitesse maximum des courants de jusant, de 1^m,45 à 1^m,85 par seconde. Ainsi la vitesse du flot, à l'instant de son maximum, est de 1^m,80 par seconde sur la Bassurelle, de 2^m,00 sur le Colbart et de 1^m,50 sur le Sandettie; celle du jusant, observée aux mêmes points et dans les mêmes conditions, est respectivement de 1^m,50, de 1^m,85 et de 1^m,45 par seconde.

Dans les zones littorales, où les courants sont giratoires directs près de la côte anglaise et giratoires inverses près de la côte française, les étales de flot et de jusant, à quelque distance du rivage d'Angleterre, présentent un retard de 3 heures à 4 1/2 heures sur les hautes et les basses mers, de Dungeness à North-Foreland; et sur une largeur plus grande, le long du continent, un retard à peu près uniforme de 3 heures à 3 1/2 heures sur les hautes et les basses mers, de Gris-Nez à la frontière de Belgique.

La direction du courant de flot, au moment de sa plus grande vitesse, porte généralement entre le N. et le N.E. sur le littoral anglais, et entre le N.E. et l'E.N.E. sur le littoral français; cette vitesse varie de 1^m,30 à 1^m,50 par seconde le long de l'Angleterre, et de 1^m,50 à 2^m,30 par seconde le long du continent.

La direction du courant de jusant, au moment de sa plus grande vitesse, porte généralement entre le S. et le S.O. sur le littoral anglais, et entre l'O. et le S.O. sur le littoral français; cette vitesse varie de 1^m,30 à 1^m,50 par seconde, le long de l'Angleterre, et de 1^m,30 à 2^m,05 le long du continent.

(1) *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1863.

Les tableaux ci-dessous contiennent les principales données relatives à la vitesse et à la direction des courants de flot et de jusant, observées devant Boulogne et Calais, et dans les parages de Dunkerque.

Ces données ne s'appliquent qu'aux courants de surface; le long de la côte nord de France, il n'a pas été fait d'observations, à ce que nous sachions, sur les courants existant à diverses profondeurs sous le niveau de la mer. Ceux-ci doivent offrir certaines différences avec les courants de surface, non seulement en vitesse, mais encore en direction, du moins dans les parages où les fonds sous-marins comprennent des bancs plus ou moins élevés.

COURANTS DE FLOT DANS LES MARÉES MOYENNES DE VIVE EAU.			
LIEU DE L'OBSERVATION.	Vitesse maximum par seconde.	Heure à laquelle se produit la vitesse maximum par rapport à l'heure de la haute mer.	Direction du courant au moment de sa vitesse maximum.
Devant Boulogne	1 ^m ,50	3/4 d'heure après le plein	N. N. E.
Devant Calais.	2 ^m ,15	au moment du plein	N. E.
A l'entrée ouest de la rade de Dunkerque . .	1 ^m ,50	un peu après le plein	E. N. E.
Dans la rade de Dunkerque	1 ^m ,80	id.	E. N. E.
A l'entrée est de la rade de Dunkerque ou passe de Zuidcote.	1 ^m ,80	1/2 heure après le plein	E. N. E.

COURANTS DE JUSANT DANS LES MARÉES MOYENNES DE VIVE EAU.			
LIEU DE L'OBSERVATION.	Vitesse maximum par seconde.	Heure à laquelle se produit la vitesse maximum par rapport à l'heure de la basse mer.	Direction du courant au moment de sa vitesse maximum.
Devant Boulogne.	1 ^m ,35	un peu après la basse mer	S. S. O.
Devant Calais.	2 ^m ,05	id.	O S. O.
A l'entrée ouest de la rade de Dunkerque . .	1 ^m ,30	id.	O. 1/4 N. O.
Dans la rade de Dunkerque	1 ^m ,50	aux environs de la basse mer	Ouest
A l'entrée est de la rade de Dunkerque ou passe de Zuidcote.	1 ^m ,50	un peu après la basse mer	O 1/4 S. O.

Les vitesses des courants de morte eau, tant pour la zone du large que pour les zones littorales, sont environ dans le rapport de 5 à 12 avec celles des courants de vive eau, et les maxima se produisent entre les instants de 1/4 à 3/4 de flot et les instants de 1/4 à 3/4 de jusant.

La durée du jusant, en vive eau comme en morte eau, est généralement supérieure de 1 1/2 à 2 heures à la durée du flot.

Ainsi que M. Plocq le dit, toutes les indications qui précèdent résultent d'observations faites dans des conditions approximatives moyennes, car la force

et la direction du vent exercent une grande influence sur la vitesse, la durée et la direction des courants à la surface de la mer.

V. — DES COURANTS DE MARÉE OBSERVÉS LE LONG DE LA CÔTE DE BELGIQUE.

Les courants giratoires inverses occupent le long de la côte de Belgique une zone relativement étendue; on les observe notamment au feu flottant du Westhinder, qui se trouve à 17 milles au large.

A l'intérieur des bancs des Flandres on remarque, d'une manière générale, que la plus grande vitesse du flot se produit aux environs de l'heure de la haute mer; le courant porte à ce moment vers une région comprise entre l'E. et le N.E.; il s'incline vers le large à mesure que la marée descend, et diminue en même temps d'intensité pour s'éteindre à l'étales. Celle-ci dure de 15 à 20 minutes.

Après l'étales de flot commence le courant de jusant; sa vitesse, très faible d'abord, croît graduellement et atteint son maximum aux environs de l'heure de la basse mer; le courant porte alors vers une région comprise entre l'O. et le S.O.; puis il court peu à peu vers la côte, en diminuant d'intensité, et s'éteint à l'étales, dont la durée diffère peu de celle de l'étales de flot. Immédiatement après l'étales de jusant, le flot reparait avec une vitesse peu sensible d'abord, mais qui s'accroît de plus en plus, pendant que le courant s'incline lentement vers la direction qu'il occupe au moment de sa plus grande force, pour continuer ensuite son mouvement orbitaire.

Lorsque le vent n'intervient pas, la durée du courant de jusant est supérieure, en moyenne, de 1 heure à 1 1/2 heure à celle du courant de flot.

Les retards des étales de flot et de jusant sur les hautes et les basses mers au rivage augmentent à mesure qu'on s'éloigne de la côte; nous avons constaté que ces retards sont de 2 heures environ à 1/4 de mille, et de 3 heures environ à 3 milles de distance au large.

L'accroissement du retard des étales, pour des points de plus en plus éloignés de la côte, n'est d'ailleurs pas régulier; il semble subir l'influence des bancs et des passes qu'on rencontre le long de notre littoral.

Pendant les années 1864 et 1865, M. le Lieutenant de vaisseau Stessels a observé les courants de marée à bord du bateau-feu du Westhinder, mouillé par 31 mètres d'eau à marée basse, à 19 milles et dans l'O.N.O. 1/2 N. d'Ostende, et à bord du bateau-feu qui se trouvait encore à cette époque dans

la passe du Wielingen, au banc du Paardemarkt, à 4 1/2 milles N. 26°. E. de Blankenberghe.

D'après ces observations, l'heure de la marée haute au feu flottant du Westhinder précède de quelques minutes celle de la marée haute observée à Ostende. Le flot commence à porter vers terre 10^h22^m après la haute mer de ce port, avec une vitesse de près de 0^m,06 par seconde; il atteint sa plus grande vitesse dans la direction du N. 65°26' O. par compas. Cette vitesse est en moyenne de 0^m,60 par seconde et se produit 1 1/2 heure environ après le plein de la mer à Ostende. Le jusant commence à porter vers le large 4^h34^m après la marée haute à Ostende, avec une vitesse d'environ 0^m,10 par seconde; il atteint sa plus grande vitesse dans la direction du S. 68°10' O. par compas; cette vitesse est en moyenne de 0^m,68 par seconde et se produit 7^h44^m après le plein de la mer à Ostende.

Le courant de flot dure en moyenne, au Westhinder, 6^h36^m et le courant de jusant, 5^h48^m (1).

A l'ancien emplacement du feu flottant du Paardemarkt, le flot commence à porter vers terre 3^h49^m avant la marée haute observée à Ostende, avec une vitesse de 0^m,015 par seconde; il atteint sa plus grande vitesse dans la direction S. 77°40' E. par compas; cette vitesse est en moyenne de 1^m,08 par seconde et se produit 0^h55^m avant la haute mer à Ostende.

Le jusant commence à porter vers le large 2^h31^m après la marée haute à Ostende; il atteint sa plus grande vitesse dans la direction N. 78°40' O. par compas; cette vitesse est en moyenne de 0^m,95 par seconde et se produit 5^h23^m après le plein de la mer à Ostende.

Le courant de flot près du Paardemarkt dure en moyenne 6^h20^m et le courant de jusant 6^h44^m.

En 1879 et 1880, M. le Lieutenant de vaisseau Petit a procédé à de nouvelles expériences sur les courants de marée au bateau-phare du Wielingen, en opérant à l'aide du moulinet de Baumgarten, par une mer calme et à 2 mètres de profondeur sous la surface. La moyenne des résultats qu'il a obtenus, tant en vive eau qu'en morte eau, est représentée par les chiffres suivants :

Courant de flot :

3	heures avant la haute mer,	vitesse par seconde	0 ^m ,31
2 1/2	id.	id.	0 ^m ,40
2	id.	id.	0 ^m ,60
1 1/2	id.	id.	0 ^m ,88
1	id.	id.	1 ^m ,03

(1) Les données moyennes de M. Stessels résultent d'observations faites tant en morte eau qu'en vive eau. (*Annales des Travaux publics de Belgique*. Premier cahier. Tome XXV.)

1/2	heure avant la haute mer,	vitesse par seconde	0 ^m ,96
	haute mer	id.	0 ^m ,87
1/2	heure après la haute mer	id.	0 ^m ,76
1	id.	id.	0 ^m ,65
1 1/2	id.	id.	0 ^m ,55
2	id.	id.	0 ^m ,46
2 1/2	id.	id.	0 ^m ,33
3	id.	id.	0 ^m ,25

Courant de jusant :

3	heures avant la basse mer,	vitesse par seconde	0 ^m ,43
2 1/2	id.	id.	0 ^m ,61
2	id.	id.	0 ^m ,77
1 1/2	id.	id.	0 ^m ,88
1	id.	id.	0 ^m ,90
1/2	id.	id.	0 ^m ,83
	basse mer	id.	0 ^m ,73
1/2	heure après la basse mer	id.	0 ^m ,58
1	id.	id.	0 ^m ,49
1 1/2	id.	id.	0 ^m ,39
2	id.	id.	0 ^m ,31
2 1/2	id.	id.	0 ^m ,24
3	id.	id.	0 ^m ,22

A l'ancien emplacement du bateau-phare du Wielingen, le courant de flot atteint donc moyennement sa vitesse maximum une heure environ avant l'instant de la haute mer; le courant de jusant, en ce même point, atteint sa vitesse maximum une heure environ avant l'instant de la basse mer.

Les observations que nous avons faites nous-même avec le concours de M. Baey, Conducteur des Ponts et Chaussées, ont montré que le long de la côte des Flandres, la vitesse maximum du courant de flot, mesurée à la surface de la mer à l'aide de flotteurs, varie en temps calme et par des marées moyennes de vive eau, de 1^m,10 à 1^m,30 par seconde; la vitesse maximum du courant de jusant, mesurée dans les mêmes conditions, varie de 0^m,85 à 1^m,10 par seconde.

En morte eau, la vitesse maximum du courant de flot varie de 0^m,60 à 0^m,75 par seconde, et celle du courant de jusant de 0^m,45 à 0^m,60 par seconde.

Les courants de flot et de jusant sont généralement plus intenses le long de la côte de Heyst et dans la passe du Wielingen, à cause du voisinage de l'embouchure de l'Escaut.

Les tableaux ci-contre indiquent, pour les parages de Nieuport, d'Ostende, de Heyst et de Knocke, les principaux résultats des observations précitées. Nous devons ajouter que ces données proviennent d'un nombre relativement restreint d'expériences se rapportant exclusivement aux courants qui se produisent par une mer calme ou sous l'influence de brises légères. Elles se modifient notablement lorsque le vent souffle avec intensité. Ainsi les vents d'ouest ou d'aval

MARÉES DE VIVE EAU ORDINAIRES.

LIEU DE L'OBSERVATION.	Vitesse maximum du courant de flot par seconde.	Direction du courant de flot au moment de sa vitesse maximum.	Vitesse maximum du courant de jusant par seconde.	Direction du courant de jusant au moment de sa vitesse maximum.
1. A l'ouest de Nieuport, en deça du méridien d'Oostduinkerke, à 1000 m ^s du pied de la dune.	1 ^m ,20	N. E. 1/4 E.	1 ^m ,05	O. 1/4 S. O.
2. Rade de Nieuport à 3000 m ^s à l'est de ce port (4500 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,30	N. E. 1/4 E.	1 ^m ,10	O. 1/4 S. O.
3. Passe du Nord de la rade de Nieuport (7500 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,15	N. E.	0 ^m ,95	O. S. O.
4. Petite rade d'Ostende, immédiatement à l'est de ce port (1300 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,10	N. E. 1/4 E.	0 ^m ,85	O. 1/4 S. O.
5. Grande rade d'Ostende, immédiatement à l'est de ce port (5000 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,20	E. N. E.	0 ^m ,95	S. O. 1/4 O.
6. Fosse de Heyst, au droit de l'épi n° 39 ^{bis} établi sur l'estran, à 1500 m ^s à l'ouest des écluses de Heyst (1000 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,40	E. N. E.	1 ^m ,30	O. S. O.
7. Banc du Binnen-Paardemarkt au droit de l'épi n° 39 ^{bis} précité (2500 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,25	E. 1/4 S. E.	1 ^m ,05	O. S. O.
8. A l'ouest et près de l'emplacement occupé jusqu'en 1882 par le bateau-phare du Wielingen (5500 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,45	E. 1/4 S. E.	1 ^m ,35	O. S. O.
9. Fosse de Heyst, au droit du village de Knocke (1000 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,40	E. N. E.	1 ^m ,35	O. S. O.
10. Banc du Binnen-Paardemarkt, au droit du village de Knocke (1700 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,30	E. N. E.	1 ^m ,10	O. S. O.
11. Passe du Wielingen, au droit du village de Knocke (4000 m ^s du pied de la dune)	1 ^m ,50	E. 1/4 S. E.	1 ^m ,45	Ouest.

MARÉES DE MORTE EAU ORDINAIRES.

LIEU DE L'OBSERVATION.	Vitesse maximum du courant de flot par seconde.	Direction du courant de flot au moment de sa vitesse maximum.	Vitesse maximum du courant de jusant par seconde.	Direction du courant de jusant au moment de sa vitesse maximum.
1. A l'ouest de Nieuport, en deça du méridien d'Oostduinkerke, à 1000 m ^s du pied de la dune.	0 ^m ,65	E. N. E.	0 ^m ,45	O. S. O.
2. Rade de Nieuport à 3000 m ^s à l'est de ce port, (4500 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,70	N. E. 1/4 E.	0 ^m ,55	O. S. O.
3. Passe du Nord de la rade de Nieuport (7500 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,60	N. E.	0 ^m ,50	S. O. 1/4 O.
4. Petite rade d'Ostende, immédiatement à l'est de ce port (1300 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,60	N. E. 1/4 E.	0 ^m ,50	O. 1/4 S. O.
5. Grande rade d'Ostende, immédiatement à l'est de ce port (5000 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,75	E. N. E.	0 ^m ,60	O. S. O.
6. Fosse de Heyst, au droit de l'épi n° 39 ^{bis} établi sur l'estran, à 1500 m ^s à l'ouest des écluses de Heyst (1000 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,75	E. N. E.	0 ^m ,65	O. S. O.
7. Banc du Binnen-Paardemarkt au droit de l'épi n° 39 ^{bis} précité (2500 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,60	E. 1/4 N. E.	0 ^m ,45	O. S. O.
8. A l'ouest et près de l'emplacement occupé jusqu'en 1882 par le bateau-phare du Wielingen (5500 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,75	Est	0 ^m ,60	O. S. O.
9. Fosse de Heyst, au droit du village de Knocke (1000 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,80	E. N. E.	0 ^m ,70	O. S. O.
10. Banc du Binnen-Paardemarkt au droit du village de Knocke (1700 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,70	E. N. E.	0 ^m ,55	O. 1/4 S. O.
11. Passe du Wielingen, au droit du village de Knocke (4000 m ^s du pied de la dune)	0 ^m ,90	E. N. E.	0 ^m ,80	O. 1/4 S. O.

augmentent la durée et la vitesse du courant de flot et ce d'autant plus qu'ils sont plus violents; les vents d'est produisent un effet analogue sur la durée et la vitesse du courant de jusant. Avec de forts vents de terre, le courant de flot, en passant par le nord, conserve à son écale une vitesse appréciable dans la couche superficielle; le courant de jusant s'incline moins vers la côte et il se produit, à son écale, un courant de surface vers le large jusqu'au moment du flot. Les vents du large donnent lieu à des effets inverses.

VI. — DU MOUVEMENT DE LA MARÉE LE LONG DE LA CÔTE DES FLANDRES.

Les courbes relatives au mouvement vertical de la marée sont enregistrées journellement à Ostende, à l'aide du marégraphe installé à l'extrémité de l'estacade est du port⁽¹⁾; elles sont rapportées au busc de l'écluse des bassins de commerce. Ce busc est placé à 1^m,48 au-dessous de la côte qui a été admise en Belgique, par l'administration des Ponts et Chaussées, comme étant celle du niveau moyen des basses mers de vive eau. Nous indiquerons ce repère, appelé *zéro d'Ostende*, par le signe (Z).

M. l'Ingénieur Bovie a déterminé à nouveau, il y a quelques années, avec beaucoup de soin, les diverses données concernant la marée observée à Ostende, en se servant des diagrammes fournis par le marégraphe, depuis le 1^{er} janvier 1878 jusque fin 1885⁽²⁾.

D'après les calculs de cet ingénieur, on peut continuer à admettre que le niveau moyen des basses mers de vive eau correspond au zéro d'Ostende précité; les niveaux de la marée, rapportés à ce repère, sont les suivants :

Basses mers de vive eau ordinaires	0 ^m ,00
Hautes mers de vive eau ordinaires	4 ^m ,61
Basses mers de morte eau ordinaires	0 ^m ,70
Hautes mers de morte eau ordinaires	3 ^m ,68.

(¹) Le marégraphe d'Ostende trace les diagrammes de la marée à l'échelle de 1/50 sur des feuilles en zinc, préalablement préparées à cet effet et enroulées sur un cylindre vertical, effectuant une révolution complète en 24 heures.

Ce cylindre est posé sur un plateau qui reçoit le mouvement de rotation d'une montre à ressort, par l'intermédiaire de deux roues coniques. Le bord du plateau est gradué; il se meut au droit d'un vernier, fixé sur la boîte de la montre et donnant les minutes. Le flotteur se meut dans un tuyau cylindrique en cuivre, percé de petits trous à sa partie inférieure et protégé extérieurement par un tube en bois; le fil auquel le flotteur est suspendu, est en argent et s'enroule sur une poulie à gorge, à l'axe de laquelle est fixé un pignon engrenant avec une crémaillère verticale. Cette crémaillère porte la monture du diamant graveur, ainsi qu'un vernier glissant le long d'une échelle. Le même axe porte une petite poulie à gorge autour de laquelle s'enroule une corde à boyau avec contre-poids.

(²) *Annales des Travaux publics de Belgique*. — Tome XLIV, 1886.

Le niveau moyen de la mer se trouve à 2^m,18 au-dessus du (Z).

L'unité de hauteur est 2^m,40.

L'établissement du port est de 12^h23^m.

Les courbes de marées moyennes sont figurées pl. II.

Antérieurement le Dépôt de la guerre avait fait usage, en 1854, des observations des hautes et basses marées à l'échelle de l'écluse des bassins de commerce, du 1^r mars 1834 au 31 août 1853, et il en avait déduit que le niveau moyen de la mer à Ostende se trouverait à la cote + 3^m,782 par rapport au busc de cette écluse⁽¹⁾, soit à + 2^m,30 par rapport au (Z). Mais ces observations ne pouvaient offrir le même degré d'exactitude que celles qui sont enregistrées mécaniquement à l'aide du marégraphe. De plus, il se produit souvent une dénivellation entre la hauteur de l'eau dans l'avant-port et le niveau de la mer, soit à cause de l'écoulement des eaux supérieures à marée baissante, soit à cause de l'influence des vents du large sur les courants de remplissage qui pénètrent dans le chenal. D'autre part, il n'avait été tenu compte dans les calculs que des cotes des marées hautes et des marées basses, les cotes intermédiaires n'ayant pas été observées. Comme les diagrammes de la marée ne sont pas symétriques par rapport à la ligne située à égale distance des niveaux de haute et de basse mer, la moyenne des amplitudes des hautes et des basses marées ne coïncide pas exactement avec le niveau moyen de la mer.

Pour les nouveaux nivellements de précision qui ont été exécutés de 1889 à 1892, l'Institut cartographique militaire — auquel ont été transférées, en 1878, les attributions spécialement cartographiques du Dépôt de la guerre — a adopté comme plan de comparaison le niveau moyen de la mer à Ostende, fixé à la cote + 2^m,18 mentionnée plus haut. Afin de vérifier l'exactitude de ce chiffre, M. le Colonel Hennequin, directeur de l'Institut cartographique, a fait installer, en 1891, un médimarémètre sur le musoir de l'estacade est du port d'Ostende, à côté du marégraphe⁽²⁾. Cet instrument a fourni, du 1^r septembre

⁽¹⁾ *Nivellement général du Royaume de Belgique.* — Nivellement de base : 1889, p. 18.

⁽²⁾ Le mode de fonctionnement du médimarémètre, appareil imaginé par M. l'Ingénieur Lallemand, est basé sur ce fait qu'une onde liquide se transmettant par un canal capillaire, ou mieux à travers une paroi poreuse, diminue d'amplitude et se trouve retardée dans ses phases, sans que le niveau moyen du liquide éprouve de changement. L'instrument se compose d'un tube étanche, placé verticalement dans un puits et communiquant par un tuyau avec un vase ou plongeur, immergé au-dessous du niveau des plus basses mers. Ce plongeur est divisé en deux parties par une cloison poreuse en porcelaine déglazée. Le compartiment inférieur est rempli de sable; l'eau y a accès par des trous percés latéralement dans les parois. La surface poreuse est réglée de manière que la marée journalière soit réduite dans le tube à une oscillation fort petite.

Il suffit dès lors d'une observation par jour pour connaître la variation lente du niveau intérieur avec le temps. L'observation se fait au moyen d'une sonde graduée sur laquelle on fixe une bande de papier sensibilisé au sulfate de fer et à la noix de galle. On descend la sonde jusqu'à ce qu'elle vienne buter contre

1891 au 31 août 1893, 574 observations journalières qui assignent au niveau moyen de la mer à Ostende la cote $+2^m,176$ par rapport au (Z), concordant à 2^{mm} près avec la cote $(+2^m,178)$ calculée par M. Bovie au moyen des courbes marégraphiques de 1878 à 1885. Une coïncidence aussi complète entre des déterminations obtenues au moyen d'instruments différents et à des époques diverses est certainement très remarquable. M. le colonel Hennequin a fait à ce sujet les remarques suivantes, dans un rapport dont il a donné lecture lors de la réunion de la commission permanente de l'Association géodésique internationale à Genève, en septembre 1893 : « Les résultats que nous pouvons déduire, « jusqu'à présent, des observations de l'ancien marégraphe d'une part, et du « médimarémètre d'autre part, sont donc identiques, et, d'après les raccordements « de notre nivellement de précision avec les réseaux voisins, nous trouvons que « le niveau moyen de la mer à Ostende est à $0^m,151$ au-dessous du niveau « moyen de la mer à Marseille, à $0^m,339$ au-dessous du Normal-Null, et à $0^m,320$ « au-dessous de l'Amsterdamsche Peil⁽¹⁾ ».

Afin d'examiner dans quelles conditions d'amplitude et de vitesse la marée se propage le long du littoral des Flandres, nous avons procédé le 27 mars 1880, soit aux environs de l'équinoxe du printemps, aux observations nécessaires pour déterminer simultanément et d'heure en heure, avec des montres réglées d'avance, la hauteur de la marée aux ports de Dunkerque, de Nieuport, d'Ostende et de Blankenberghe, à l'écluse du Wielingen sur la côte de Cadzand, et au port de Flessingue⁽²⁾.

Les courbes ainsi obtenues sont représentées pl. II. Les cotes de hauteur y sont rapportées à un même plan de comparaison, qui correspond au (Z).

Il y avait eu pleine lune le 26 Mars à 1^h43^m du soir. Le jour de l'observation, le vent était N.O. le matin, petite brise et temps clair; vers midi, il a tourné au N. en augmentant d'intensité jusqu'à bonne brise.

On remarquera immédiatement que le niveau des basses mers se relève depuis

un diaphragme placé à l'extrémité inférieure du tube étanche. On la remonte ensuite, et comme la partie mouillée du papier devient noire, il est facile de lire la cote de l'eau.

(¹) Le Normal-Null est le repère fondamental des nivellements allemands. Il est établi dans le sous-sol de l'Observatoire de Berlin, et il est indiqué, suivant les cheminements de jonction qui interviennent dans les calculs, à $0^m,053$ ou à $0^m,065$ au-dessus du niveau moyen de la mer à Swinemünde. (*Nivellement de précision de la Suisse* exécuté sous la direction de A. Hirsch et E. Plantamour, 9^e livr., 1891, p. 650.)

L'Amsterdamsche Peil est le repère fondamental des nivellements néerlandais, renseigné comme se trouvant à $0^m,149$ au-dessus du niveau moyen de la mer à Amsterdam. (*Mededeeling omtrent de in 1875 en 1876 uitgevoerde nauwkeurigheidswaterpassing*, door Dr L. Cohen Stuart, p. 5.)

(²) M. Guillaïn, à cette époque ingénieur des Ponts et Chaussées à Dunkerque, MM. De Bruyn et Castendyk, respectivement ingénieurs du Waterstaat à Flessingue et à Breskens, de même que nos collègues MM. Bovie et Bourgoignie, nous ont obligeamment prêté leur concours pour ces observations.

Dunkerque jusqu'à Flessingue, et que l'amplitude de l'oscillation diminue d'une manière continue entre ces deux points, en allant de l'ouest à l'est. Les courbes présentent d'ailleurs, entre elles, une allure assez semblable et qui est, en général, plus régulière pour la partie correspondant à la descente de l'eau au rivage que pour celle correspondant à la montée.

En ce qui concerne la vitesse moyenne de propagation de la haute mer littorale, elle était, le jour de l'observation, d'environ 30 mètres par seconde de Dunkerque à Ostende, et d'environ 20 mètres par seconde d'Ostende à Flessingue.

Il est à noter que le niveau des hautes et des basses mers, de même que les établissements, ne varient pas seulement avec l'âge de la lune, mais qu'ils subissent aussi l'influence du vent.

Sur notre côte, l'amplitude de la marée augmente légèrement avec les vents de l'ouest au N.N.O. et diminue avec les vents de terre; les premiers amènent la marée haute un peu plus tôt que les seconds. Le niveau moyen éprouve des changements plus notables; il s'élève par les vents de l'O.N.O. au N.N.E. et s'abaisse par ceux de l'E.N.E. au S.S.O. C'est ainsi que l'on constate généralement, par de fortes tempêtes du large coïncidant avec des marées de syzygies, des hautes mers exceptionnellement élevées qui sont dues à l'accumulation des eaux sur le littoral, et par conséquent à la surélévation du niveau moyen.

La plus haute mer qui se soit produite dans nos parages pendant le siècle, est celle du 31 janvier 1877; elle atteignait à Ostende 6^m,60 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau ordinaires. La marée extraordinaire du 4 février 1825, la plus haute connue jusqu'alors, avait atteint la cote 6^m,50.

VII. — DES COURANTS DE MARÉE A L'EMBOUCHURE DE L'ESCAUT. — PROPAGATION DE LA MARÉE A L'INTÉRIEUR DU FLEUVE.

Les ondes marées, en passant devant l'embouchure d'un fleuve, déterminent dans ce dernier une onde dérivée qui se propage en remontant le cours des eaux. La marée de l'Escaut est surtout influencée par l'onde venant de la Manche; mais il arrive quelquefois que celle du nord, après avoir longé la côte est d'Angleterre, vient rencontrer la précédente à l'ouverture du fleuve. Cette circonstance se présente d'ordinaire après les coups de vent du N.O.; l'ascension de la marée est alors plus forte; le plein se produit plus tôt et dure plus longtemps, et la courbe des hauteurs de la marée offre parfois deux maxima bien distincts⁽¹⁾.

(¹) STESSELS. *Description hydrographique de l'Escaut.*

Dans l'estuaire de l'Escaut, en dehors du fleuve, les courants de marée conservent le même caractère que le long de la côte de Belgique; ils sont giratoires inverses.

A l'intérieur du Steenbank cependant, dans la fosse connue sous le nom de *Steendiep*, ils sont directement alternatifs et dirigés successivement vers l'E.N.E. et vers l'O.S.O., avec une molle eau intermédiaire⁽¹⁾.

Près des passes de l'embouchure (Pl. XIV), le flot commence, en temps ordinaire, deux heures avant la haute mer à Flessingue; il vient du nord et court bientôt à l'E.S.E. vers l'île de Walcheren et le littoral des Flandres. Au moment de la pleine mer à Flessingue, le courant s'écarte lentement de la côte et, une heure après, il porte au N.E., puis au N.N.E., en passant par son maximum de vitesse, dont la moyenne est d'un peu plus de 1 mètre par seconde. Après la mi-marée à Flessingue, le courant du fleuve commence à être sensible en dehors des bancs et porte déjà au nord; une heure plus tard il court vers l'O.N.O. et atteint l'O.S.O. un peu avant la basse mer; puis il tourne au S.O. $\frac{1}{4}$ O. en passant par son maximum de vitesse, qui diffère peu de celui du flot. Le jusant continue ensuite à s'incliner vers la côte pour se diriger vers le sud, trois heures avant la haute mer à Flessingue.

Dans la passe du Wielingen, le courant de flot se dirige vers l'E.S.E. deux heures avant la haute mer à Flessingue, puis il tourne à l'est et au N.E. L'étalement de ce courant à Flessingue se produit 50 minutes après l'heure du plein. A partir de ce moment, le jusant s'accroît nettement à l'entrée du fleuve et court ensuite dans la direction O.N.O. vers le canal du Wielingen; il se réunit au courant qui longe la côte de Breskens et porte au N.O. jusqu'à Nieuwe Sluis. Au delà de Nieuwe Sluis, il est O.N.O. et passe dans toute l'étendue du canal au-dessus des bancs du Hompel et du Ribzand. Il se dirige vers l'entrée du Wielingen une heure environ avant la marée basse à Flessingue et se prolonge d'autant plus qu'on avance vers l'ouest.

En ce qui concerne le Deurloo, le courant de flot, dirigé d'abord vers la côte des Flandres, commence à porter vers l'intérieur de cette passe deux heures avant la haute mer à Flessingue, pour tourner ensuite à l'est et au N.E. Le courant de jusant qui, au sortir de l'Escaut, court au N.O. et au N.N.O., s'y incline davantage vers le N. et passe au-dessus des bancs du Raan et de Zoutelande, jusqu'à une heure avant la marée basse à Flessingue. A partir de ce moment, le courant tourne à l'ouest, puis au sud et ce plus rapidement

⁽¹⁾ *Beschrijving behorende bij de hydrographische kaart der zeegaten van de monden der Schelde, door A. Blommendal, kapitein ter zee, 1875.*

que dans le Wielingen; il y conserve en outre cette direction plus longtemps que dans ce dernier canal, ce qui peut être attribué à cette circonstance que la partie extérieure du Deurloo n'est pas limitée au sud par des bancs raides et élevés.

Dans l'Oostgat, le courant de flot se produit plus tôt que dans le Wielingen. Près de la digue de West-Kappel, il commence à se diriger vers l'intérieur de la passe deux heures environ avant la basse mer observée à Flessingue, et longe la côte S.O. de l'île de Waleheren, en s'inclinant toutefois légèrement au-dessus du banc de Zoutelande; au Nolleplaatje, il court au S.S.O. pour se réunir au courant qui circule devant Flessingue. Le courant de jusant, depuis la rade de ce port jusqu'au Hoek de West-Kappel, suit la direction de la côte en s'inclinant constamment vers la rive, par suite de l'influence du jusant qui sort du Deurloo, et se dirige au-dessus du banc de Zoutelande jusque vers l'heure de la basse mer observée dans cette passe.

A l'intérieur de l'Escaut, comme à l'intérieur des fleuves en général, la propagation de la marée a lieu dans des conditions essentiellement différentes de celles qui caractérisent la marée de la mer. Tandis que les ondes marées de la mer peuvent être assimilées aux ondes d'oscillation périodiques, les ondes marées fluviales se rattachent aux ondes de translation.

Pareille onde, on le sait, prend naissance dans les eaux d'un canal, à l'extrémité duquel s'introduit spontanément une certaine masse liquide, ou bien lorsqu'on exerce sur la section transversale un effort de compression instantané. C'est ainsi qu'un bateau chargé en marche, en entrant dans une section rétrécie d'un canal, de longueur suffisante, refoule devant lui une certaine quantité d'eau, et lorsqu'on l'arrête brusquement, l'intumescence ainsi formée au-dessus de la surface de l'eau, se détache, prend la forme d'une ondulation et poursuit sa route dans le sens de la marche du bateau.

L'onde de translation est unique pour chaque effort développé sur la masse liquide; c'est pour ce motif qu'on l'appelle aussi onde solitaire. Elle a pour caractère de se détacher tout d'une pièce de la surface de l'eau, et d'après les théories de M. Boussinesq, son centre de gravité se trouve au tiers de sa hauteur au-dessus du niveau primitif.

Les expériences les plus remarquables qui aient été faites sur l'onde solitaire datent de 1837 et sont dues à sir Scott Russell; les résultats qu'il a obtenus ont été confirmés par les expériences de M. Bazin, dont l'exposé fut publié en 1866. Les travaux de ces savants ont mis en évidence les diverses propriétés des ondes de translation; nous en mentionnerons les principales :

Quoique la force horizontale qui donne naissance à pareille ondulation n'agisse que sur une partie des eaux, cette onde s'étend sur toute la largeur du lit, et elle met la masse liquide en mouvement sur toute sa profondeur.

Lorsque l'onde se propage dans un canal de section variable, elle prend plus de hauteur dans les sections retrécies, tandis qu'elle s'abaisse aux endroits où le canal devient plus large, mais en occupant en même temps toute la section du canal.

Dans une eau stagnante, de profondeur suffisante, chaque onde produite par une force comprimant la masse liquide dans le sens horizontal, prend peu à peu une certaine forme, qui se distingue par sa grande stabilité; celle-ci n'est influencée que par l'atténuation résultant des frottements et qui est très lente.

La vitesse de l'onde de translation, observée dans ces conditions, a pour expression $V = \sqrt{g(H+h)}$, g représentant la gravité, H la profondeur d'eau du canal, et h la hauteur de l'onde. Si dans une même section transversale la profondeur est variable, l'onde prend une vitesse de propagation unique, correspondant à la moyenne des profondeurs de la section.

Dans un canal rectiligne assez large et dont les eaux sont animées d'un mouvement uniforme, l'onde de translation, lorsqu'elle s'y propage dans le sens du courant, prend une forme régulière, d'une longévité remarquable et qui tend à se rapprocher de celle de l'onde solitaire parcourant une eau tranquille, de profondeur constante. Sa vitesse est donnée par la formule $V = \sqrt{g(H+h+v)}$, v étant la vitesse du courant.

Pour une onde qui se propage en sens contraire du courant, la formule devient $V = \sqrt{g(H+h-v)}$.

Dans ce cas, l'onde abandonne sa forme régulière, dont elle s'éloigne d'autant plus que le courant qu'elle remonte est plus rapide, et lorsque sa vitesse a diminué au point de se rapprocher de celle du courant, elle perd rapidement sa vitalité, pendant que la masse d'eau qui la compose est entraînée peu à peu par ce dernier. L'expression précitée de la vitesse paraît d'ailleurs, dans ces conditions, donner des valeurs trop fortes.

M. Boussinesq a déterminé par l'analyse une formule théorique générale, permettant de calculer la vitesse de propagation de chaque tranche dx de l'onde de translation, lorsque celle-ci n'a pas acquis la forme permanente que lui suppose la formule expérimentale $V = \sqrt{g(H+h)}$, et qui assure à toutes les tranches dont elle est formée la même vitesse de propagation. Ce savant a établi la relation

suivante : $V^2 = g \left(H + \frac{3}{2}h + \frac{H^3}{3h} \frac{d^2h}{dx^2} \right)$, c'est à dire que le carré de la vitesse de propagation d'une tranche de l'onde considérée isolément est égal, à un instant donné quelconque, au produit de deux termes, dont le premier est la gravité et le second, la somme de la profondeur primitive de l'eau, d'une fois et demie l'intumescence au point considéré, et de la courbure de la surface libre, multipliée par l'inverse de la même hauteur et par le tiers du cube de la profondeur primitive. Elle montre que la vitesse de propagation varie, en général, d'une section à une autre, quand la profondeur primitive varie, et que même dans le cas d'une profondeur primitive constante, les vitesses peuvent encore changer et produire des modifications dans la forme de l'onde. C'est ce qui arrive sans doute lorsque l'onde de translation tend à se rapprocher du profil donnant la même vitesse pour toutes les sections dont elle se compose, et à se propager comme les ondes solitaires qui ont fait l'objet des expériences de MM. Bazin et Russell.

Nous avons déjà vu que dans la propagation des ondes il n'y a que de simples transmissions de mouvement, pendant lesquelles les molécules d'eau sont successivement élevées et abaissées au passage de l'onde, sans participer d'aucune façon à la vitesse de propagation de celle-ci; mais que ces transmissions de mouvement ne peuvent avoir lieu sans être accompagnées de transports de molécules liquides, s'opérant de proche en proche dans le sens horizontal. Pour les ondes de translation, les transports dont il s'agit servent à accroître, à chaque instant, la partie antérieure de l'onde de la quantité dont elle a diminué sur le versant opposé, et ils font naître des courants dirigés nécessairement dans le sens de la marche de l'onde. M. J. Russell a constaté l'existence de pareils courants à l'aide d'expériences faites dans un canal à parois vitrées, où les filaments verticaux suspendus à de petits flotteurs se déplaçaient parallèlement à eux-mêmes d'une faible quantité pendant le passage de l'onde.

Mais les ondes de translation, en se propageant, s'affaiblissent sans cesse et perdent en volume; cet affaiblissement, avons-nous vu, est très lent lorsqu'elles circulent dans une eau stagnante de profondeur uniforme, tandis qu'il est prononcé au contraire dans un canal dont le fond se relève ou dont l'eau est animée d'une vitesse dirigée en sens inverse de la marche de l'onde. Dans tous les cas, l'onde de translation doit aussi donner naissance à des courants ou à des déplacements d'eau en sens inverse de sa marche et qui correspondent, à chaque instant, au volume d'eau plus ou moins grand expulsé de son intumescence.

Pour les ondes marées fluviales, la force horizontale qui les produit réside

dans l'ascension de la marée à l'embouchure; elles peuvent être assimilées de la manière suivante aux ondes de translation.

Dès que la mer, sous l'influence de son mouvement ondulatoire commence à dépasser le niveau des basses mers du fleuve, l'eau introduite dans ce dernier produit une première ondulation élémentaire qui marche vers l'amont; celle-ci est suivie aussitôt par une onde nouvelle, et ainsi de suite tant que dure la montée de l'eau. Toutes ces ondes se propagent avec des vitesses qui dépendent de la profondeur des basses eaux du fleuve et qui croissent en raison de l'exhaussement progressif du niveau de la mer; elles tendent donc à se rejoindre et se rejoignent en effet pour constituer, par leur ensemble, la partie antérieure de l'onde fluviale.

Après l'instant de la haute mer à l'embouchure, l'ondulation ainsi formée remonte le cours d'eau en se raccordant constamment, du côté du large, avec l'onde marée de la mer, dont le niveau le plus bas se rapproche en même temps de l'entrée du fleuve. Comme le lit de celui-ci se relève et que sa section, le plus souvent irrégulière, va en se rétrécissant, la force d'impulsion que l'onde a reçue de la mer, et par conséquent le volume qu'elle embrasse, diminue à mesure qu'elle marche vers l'amont; la vitesse de propagation de ses différentes sections verticales varie du reste d'une section à une autre en raison de la hauteur qu'elles occupent dans l'ondulation. C'est ainsi que le sommet de l'onde marchant plus vite que son arête antérieure, se rapproche sans cesse de celle-ci, de sorte que la pente de la partie antérieure de l'onde augmente continuellement, à moins de circonstances locales particulières et dont l'effet n'est que momentané.

Pendant que l'onde marée fluviale, en se propageant vers l'amont, s'affaiblit de plus en plus sous l'action des résistances dues à la configuration du lit du fleuve, le débit des eaux supérieures exerce aussi sur sa marche une influence toujours croissante, jusqu'à ce que l'intumescence disparaisse finalement à la limite de la partie maritime du fleuve. Si la longueur de celle-ci est assez grande, une nouvelle onde marée peut s'introduire à l'embouchure avant que la précédente soit éteinte, et il paraît même y avoir de grands cours d'eau, où l'on a constaté l'existence simultanée de plusieurs ondes.

Sur certains fleuves, il se produit à la tête du flot un ressaut brusque ayant la forme d'une ondulation régulière ou d'une onde déferlante, suivant la profondeur des eaux dans lesquelles il se propage. C'est le phénomène du mascaret. Là où il se manifeste, son apparition n'a lieu que pendant les marées atteignant une importance déterminée; sa hauteur, faible d'abord, augmente

graduellement pour décroître ensuite jusqu'au moment où il cesse d'exister.

Citons comme exemple la Seine, où l'on voit à certains jours et en certains endroits arriver brusquement du côté de l'embouchure une grande masse liquide, en forme de rouleau, remontant le courant de jusant avec violence. Aussitôt après son passage, le courant est renversé, et le niveau de l'eau est surélevé de 1^m,80 à 2^m,00.

On conçoit que le mascaret, dont la vitesse de propagation est réglée par des lois analogues à celles qui régissent les ondes de translation, doit causer de graves inconvénients pour la navigation. Sur le Gange et les Amazones, il atteint jusqu'à 5 et 6 mètres de hauteur et plus.

La raison d'être du mascaret se trouve dans l'abondance des eaux que le fleuve reçoit de la mer, eu égard à la configuration de son lit; il a pour effet d'augmenter dans celui-ci la capacité destinée à recevoir ces eaux, par l'accumulation d'une suite d'ondes élémentaires de la marée fluviale sur l'onde de la tête du flot, laquelle devient alors saillante sur les basses eaux du fleuve⁽¹⁾.

Le mascaret se manifeste en général sur les fleuves dont le lit est obstrué, à l'embouchure, par un haut fond ou barre; dans ce cas, l'endroit où il prend naissance, variable avec l'importance de la marée et la situation des eaux supérieures, ne présente aucune particularité ni modification dans la configuration du lit.

Ce n'est qu'exceptionnellement que le mascaret se produit sur les fleuves à embouchure libre. Il commence alors en un endroit, toujours le même, où le lit du fleuve présente un rétrécissement ou exhaussement du fond très apparent.

Nous ne nous arrêterons pas davantage à la description de ce phénomène, qui est inconnu sur l'Escaut et qu'il nous aura suffi de citer.

L'Escaut n'a en réalité pas de barre à son embouchure; le Deurloo y constitue la passe navigable la moins profonde et présente, à marée basse, 5^m,50 d'eau dans ses parties les plus sèches; dans le Wielingen, la profondeur minimum n'est pas inférieure à 8 mètres. Le lit du fleuve offre d'ailleurs sur tout son parcours, depuis Flessingue jusqu'à Anvers, des chenaux profonds, interrompus en divers points par des exhaussements du fond, mais dont le plus prononcé conserve encore 5^m,80 d'eau à marée basse. L'onde marée doit donc pénétrer dans l'Escaut dès que le niveau de l'eau commence à monter au large de son embouchure, et comme le fleuve traverse dans sa partie aval une plaine

(¹) COMOV. Ouvrage cité.

basse fort étendue, elle se transmet presque sans diminution jusqu'à plus de 90 kilomètres en amont de Flessingue.

Le sommet de l'onde s'avance avec une vitesse variable à chaque instant ; elle est d'un peu plus de 8 mètres par seconde, en moyenne, entre Flessingue et Terneuzen, d'environ 6 mètres entre Terneuzen et Anvers, et de 5 mètres entre Anvers et Termonde.

On remarque que pendant le flux, la marche de l'onde est retardée de Borselen à Hansweert, soit à l'aval du grand élargissement que le fleuve présente à Saeftingen, tandis que de Hansweert au fort Frédéric, elle est au contraire accélérée.

Les rétrécissements du lit, en même temps qu'ils diminuent l'amplitude de la marée en amont, provoquent une surélévation du niveau des pleines mers. On constate fort bien pareil effet dans l'étranglement que le fleuve présente immédiatement au delà des larges espaces couverts par la haute mer devant Bath (Pl. XVI). Dans ces parages, l'amplitude de la marée atteint sa plus grande hauteur ; elle diminue peu à peu vers l'amont où l'étiage des basses mers se relève et ce d'une manière très prononcée à partir du débouché du Callebeke.

D'après les chiffres des observations faites en 1862 et 1863 par M. Stessels, le sommet de l'onde, en s'avancant vers la limite de la partie maritime de l'Escaut, se relève depuis Flessingue jusque près de Tamise ; au delà de Tamise, il subit un léger abaissement et se relève ensuite de nouveau jusqu'à Gand.

Le lieu géométrique des basses mers s'abaisse moyennement depuis Flessingue jusqu'à Bath, puis il se relève jusqu'à Tamise, et plus rapidement encore depuis cette dernière localité jusqu'à Gand. Mais le niveau des basses mers aux différents endroits du fleuve varie beaucoup avec l'importance de la marée et avec l'état des eaux d'amont à l'époque que l'on considère. La situation de celles-ci en modifiant la pente sur une longueur plus ou moins considérable de la partie maritime de l'Escaut, y influe évidemment sur la hauteur de la marée. Quand les eaux sont basses l'oscillation de l'onde atteint en moyenne 3 mètres d'amplitude à Termonde, 1^m,60 à Wetteren et 1^m,40 (') à Gand, où elle est arrêtée par l'écluse de la Pêcherie ; mais par de fortes crues, le flot ne dépasse pas Wetteren. L'effet de la hauteur des eaux d'amont sur l'importance des marées se fait sentir jusque un peu à l'aval d'Anvers.

Le tableau ci-contre renferme les principales données relatives à la courbe de marée, observée en divers points du fleuve. Les cotes de hauteur y sont rapportées au zéro d'Ostende.

(') Tableaux de marée dressés pour la période décennale 1871-1880 par M. l'Ingénieur en chef Troost.

L'onde marée remonte aussi les affluents de l'Escaut : la Durme, le Rupel, la Dyle, la Senne et les deux Nèthes.

Sur la Durme, l'amplitude moyenne de la marée est de 3^m,74 à Hamme, de 1^m,74 à Lokeren, et 0^m,63 à Dacknam. Elle est de 4^m,06 sur le Rupel à Schelle (Tolhuis). Sur la Dyle, elle est de 3^m,28 au Sennegat et de 2^m,06 au pont de Winckt à Malines. Sur la Senne, au pont de Hombeck, l'oscillation moyenne mesure encore 0^m,52. Enfin sur la Nèthe, elle est de 3^m,05 au pont de Waelhem et de 1^m,90 sur la Nèthe inférieure, au pont S^t Jean, à Lierre.

Les vents exercent beaucoup d'influence sur la hauteur de la marée dans l'Escaut, en faisant varier le niveau moyen du fleuve.

La plus forte surélévation a lieu par les vents du N. N. O., lesquels arrivent à l'embouchure après avoir parcouru la plus grande étendue de mer libre. Les

LIEUX DES OBSERVATIONS.	Distances comptées suivant le thalweg	Établissement.	Retard moyen de la marée sur l'heure du passage de la lune au méridien.		Cote du niveau moyen.	Unité de hauteur.	Amplitude moyenne de la marée	Cote moyenne aux syzygies des		Cote moyenne des	
			hautes mers.	basses mers.				hautes mers.	basses mers.	hautes mers.	basses mers.
	kil.	h. m.	h. m.	h. m.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Flessingue . . .	"	0 54	0 39	7 6	1,65	2,07	3,63	3,72	— 0,42	3,465	— 0,165
Terneuzen . . .	20,6	1 35	1 26	7 59	1,68	2,24	3,93	3,92	— 0,56	3,645	— 0,285
Bath	52,0	3 4	2 47	8 56	1,77	2,44	4,35	4,21	— 0,67	3,945	— 0,405
Anvers	75,2	4 20	3 29	10 15	2,27	2,31	4,24	4,58	— 0,04	4,390	+ 0,150
Tamise	96,3	"	4 13	11 31	2,56	2,13	3,98	4,69	+ 0,43	4,550	+ 0,570
Termonde	118,9	6 17	5 18	12 56	3,07	1,45	2,74	4,52	+ 1,62	4,440	+ 1,700
Wetteren	147,2	"	7 1	15 19	3,40	0,72	1,30	4,12	+ 2,68	4,050	+ 2,750
Gand	168,4	"	8 21	16 35	4,00	0,61	1,03	4,61	+ 3,39	4,515	+ 3,485

vents du S. E. au S. S. E. produisent au contraire les plus fortes dépressions.

L'amplitude de la marée n'est pas beaucoup changée par l'effet des vents ; elle s'accroît légèrement par ceux de l'O. au N. N. O. et diminue par ceux de l'E. N. E. au S. S. O., qui viennent de terre.

La plus haute marée connue dans l'Escaut est celle du 31 janvier 1877, qui a atteint la cote + 6^m778 à Anvers.

A l'époque des équinoxes ou avec de forts vents du S. E. ou du S. S. E., le niveau des basses mers descend à 0^m70 environ sous le zéro d'Ostende. La plus basse marée connue à Anvers est descendue à 0^m,74 sous ce repère.

La courbe locale de la marée de vive eau que nous avons observée à Anvers le 27 mars 1880, simultanément avec celles des ports de la côte des Flandres, est représentée pl. II.

Les courbes des marées moyennes, en divers points du fleuve, sont reproduites pl. XVI.

VIII. — DES COURANTS DE MARÉE DANS L'ESCAUT.

Dès que l'onde marée commence à pénétrer dans le fleuve, elle imprime peu à peu à la surface de la partie aval de celui-ci une pente superficielle dirigée vers l'amont, et il se produit alors, en dehors du mouvement ondulatoire, un épanchement d'eau vers l'intérieur.

L'onde marée s'avance dans ces mêmes conditions jusqu'à ce que la haute mer arrive à l'embouchure et que toutes les plages de l'aval soient recouvertes; la partie dont elle se trouve engagée à cet instant dans le fleuve et qui s'arrête moyennement aux environs de Termonde, est entièrement parcourue par des courants dirigés dans le sens de sa marche, c'est à dire par des courants de flot⁽¹⁾.

Mais dans les marées fluviales et contrairement à ce qui a lieu pour les marées de la mer, ces courants ne résultent pas seulement du transport de liquide nécessaire à la transmission du mouvement ondulatoire, mais aussi, pour ceux de la partie attenante à l'embouchure, de la dénivellation qui s'établit à la surface des eaux à l'entrée du fleuve.

Pendant l'intervalle compris entre l'instant du plein et celui de l'étales de flot à l'embouchure, intervalle qui est en moyenne de 30 minutes, les eaux de la mer continuent à s'introduire dans le fleuve et l'onde marée atteint alors, en général, son maximum de volume.

Après l'étales de flot à l'embouchure, le jusant s'établit à l'aval du fleuve; la zone qu'il occupe reste limitée d'un côté par la mer, et elle s'étend évidemment de plus en plus vers l'intérieur à mesure que l'étales de flot remonte le cours des eaux, pendant que le flot persiste dans la partie de l'onde située immédiatement en amont du point occupé par l'étales, au moment que l'on considère.

Le sommet de l'ondulation arrive à Anvers 3 heures environ après la haute mer à Flessingue; à ce moment le jusant occupe déjà, en moyenne, toute la zone aval du fleuve jusque près du fort La Perle; la zone de flot s'étend depuis ce point jusqu'au delà de Uitbergen, où elle est limitée par la zone du jusant d'amont.

(¹) STESSELS. *Des marées de l'Escaut. (Annales des travaux publics. Tome XXI.)*

Lorsque la mer est basse à Flessingue, elle est haute à Wetteren et toute la partie de l'Escaut jusqu'à Uitbergen est occupée alors par les courants de jusant. Ceux-ci servent à écouler le volume des eaux dont l'onde diminue graduellement en marchant vers l'amont, et dans lequel intervient nécessairement le débit des eaux supérieures ; on comprend du reste que l'état de celles-ci doit modifier les durées respectives du flot et du jusant.

A Flessingue, le flot d'eau dure en moyenne 5^h47' et le jusant 6^h37'. Ces durées moyennes varient peu jusqu'à Bath, où elles sont respectivement de 5^h59' et de 6^h25'. A Anvers, le flot dure 5^h39' et le jusant 6^h45'. Plus loin, les différences croissent notablement, en amont du Rupel surtout ; le flot dure moyennement 5^h15' à Tamise, et 5^h8' à Termonde ; le jusant, en ces mêmes endroits, dure 7 h. et 7^h16'.

Le retard des étales de flot sur le plein est en général moins accentué pour les marées fluviales que pour celles de la mer. Il est en moyenne, dans l'Escaut, de 50 minutes à Flessingue, de 45 minutes dans la rade d'Anvers, et de 35 minutes à Termonde. Le jusant persiste également après l'heure de la marée basse, mais moins longtemps que le flot par rapport à l'heure du plein ; à Flessingue, il finit 30 minutes après le bas de l'eau ; il en est de même à peu près à Anvers et à Termonde.

Aux environs des étales et pendant un petit intervalle de temps, le courant est presque nul et les eaux paraissent immobiles. La durée de cet intervalle ou des étales de flot et de jusant varie plus ou moins, sur l'Escaut, d'une marée à une autre et d'un point à un autre. Elle est d'ordinaire de 15 à 20 minutes.

Le tableau (page 48) donne les vitesses moyennes de courants de marée observés par M. le lieutenant de vaisseau Stessels, en divers endroits du fleuve, à la surface de l'eau et au milieu du chenal principal.

On n'est pas parvenu, pour les courants des fleuves à marée, à formuler des lois concernant la distribution des vitesses dans une même section transversale.

La plupart des expériences qu'on a faites en vue de déterminer la vitesse de ces courants n'ont eu lieu qu'à la surface des eaux.

Les observations à une certaine profondeur de la nappe liquide présentent d'ailleurs de grandes difficultés, résultant surtout de ce que les instruments en usage, doubles flotteurs, moulinets de Woltman ou autres, sont difficiles à manier avec la délicatesse et la précision voulues ; lorsqu'il s'agit de fortes profondeurs et de courants intenses, les causes d'erreurs sont presque inévitables.

Sur les rivières ordinaires, la vitesse maximum qui, d'après les formules théoriques, devrait être à la surface, peut se trouver et se trouve généralement à une certaine profondeur au-dessous de celle-ci.

Cette particularité a été constatée par de nombreuses expériences; elle est attribuée à la résistance de l'air et à celle du fond et des rives, dont les rugosités et les inégalités, lorsqu'elles sont assez grandes, donnent lieu à des tourbillons qui s'étendent jusqu'à la surface libre et y développent des frottements ayant pour effet de modifier, concurremment avec le vent, la position de la vitesse maximum. Il peut d'ailleurs arriver, ainsi que M. Baumgarten l'a constaté sur la Garonne, et M. Graëff sur la Loire supérieure, que dans un même profil transversal, la vitesse maximum est à la surface dans une partie du profil et en dessous dans une autre. La profondeur à laquelle elle se trouve sur la verticale, paraît plus spécialement influencée par la pente de surface; elle augmente ou diminue avec cette dernière.

Quant à la distribution des vitesses à différentes profondeurs, les hydrauliciens sont généralement d'accord aujourd'hui pour admettre qu'elle varie à partir

Flux.

STATIONS.	Durée du flot.	Marée station- naire.	0 h. 30 m.	1 h.	1 1/2 h.	2 h.	2 1/2 h.	3 h.	3 1/2 h.	4 h.	4 1/2 h.	5 h.	5 1/2 h.	6 h.	6 1/2 h.	7 h.
	h. m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Flessingue.	5.47	0.0	0.23	0.44	0.65	0.75	0.82	0.95	1.13	1.27	1.32	1.00	0.54	"	"	"
Bath.	5.59	0.0	0.33	0.47	0.57	0.64	0.75	0.88	1.06	1.16	1.11	0.90	0.50	"	"	"
Lillo	5.45	0.0	0.30	0.43	0.50	0.56	0.60	0.83	1.00	1.07	1.01	0.89	0.40	"	"	"
Anvers.	5.39	0.0	0.47	0.66	0.74	0.75	0.93	1.10	1.22	1.13	0.99	0.76	0.07	"	"	"
Termonde.	5.08	0.0	0.05	0.15	0.26	0.43	0.66	0.77	0.75	0.67	0.53	0.40	"	"	"	"

Reflux.

STATIONS.	Durée du flot.	Marée station- naire.	0 h. 30 m.	1 h.	1 1/2 h.	2 h.	2 1/2 h.	3 h.	3 1/2 h.	4 h.	4 1/2 h.	5 h.	5 1/2 h.	6 h.	6 1/2 h.	7 h.
	h. m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Flessingue.	6.37	0.0	0.40	0.61	0.80	1.04	1.23	1.36	1.46	1.14	0.81	0.60	0.46	0.28	0.02	"
Bath.	6.25	0.0	0.43	0.70	0.93	1.09	1.16	1.23	1.17	1.03	0.96	0.74	0.57	0.35	"	"
Lillo	6.39	0.0	0.50	0.76	0.98	1.08	1.16	1.20	1.24	1.23	1.16	0.97	0.83	0.51	0.12	"
Anvers.	6.45	0.0	0.60	0.81	1.02	1.09	1.16	1.16	1.12	1.15	0.97	0.86	0.76	0.57	0.30	"
Termonde.	7.16	0.15	0.31	0.54	0.75	0.83	0.89	0.93	0.95	0.97	1.00	0.96	0.94	0.86	0.77	0.30

du point où se produit la vitesse maximum, comme les ordonnées d'une parabole dont le sommet serait situé au-dessous du fond.

Les résultats des observations qui ont été faites sur quelques grands cours d'eau d'Europe : la Seine, la Saône, la Garonne et le Rhin, répondent d'une manière satisfaisante à la loi parabolique. Ils font voir que le rapport de la vitesse maximum à la moyenne de toutes les vitesses sur la verticale ne varie

d'habitude qu'entre 1,10 et 1,13; pour une d'entre elles, celle effectuée sur le Rhin à Bâle, il atteint la valeur de 1,17 à cause de la nature du lit du fleuve, formé en cet endroit de gros galets⁽¹⁾.

Sur l'Irrawady où Sir Robert Gorden, ingénieur anglais, a fait de nombreuses expériences au moyen de doubles flotteurs, la vitesse maximum est d'ordinaire à la surface, et elle décroît dans les couches de plus en plus profondes suivant les ordonnées d'une courbe se rapprochant beaucoup de la parabole, tant que les vitesses n'atteignent pas une certaine valeur limite, au delà de laquelle elle s'en écarte, et ce d'autant plus rapidement que le courant devient plus intense.

Quand les eaux sont très élevées, les vitesses croissent même de nouveau à partir d'une distance plus ou moins notable du fond, et ne diffèrent plus beaucoup, près de celui-ci, des vitesses mesurées à la surface.

Les observations auxquelles MM. Humphrey et Abbot, officiers au corps des ingénieurs topographes de l'armée fédérale, ont procédé sur le Mississipi, ont donné des résultats qui s'écartent plus encore de la loi parabolique, et ils ont constaté que dans certains cas la vitesse maximum s'y trouve à une grande profondeur sous la surface. Mais ainsi que M. Bazin l'a fait remarquer, ces résultats sont discutables à cause de l'usage des doubles flotteurs, qui doivent, dans leurs indications, atténuer la décroissance des vitesses et peuvent donner des annotations fort erronées pour les couches profondes d'un courant rapide.

Citons encore les observations du général Ellis dans le Connecticut aux États-Unis; elles furent exécutées en partie à l'aide de flotteurs et en partie avec des moulinets, en des endroits où la rivière présente 300 à 400 mètres de largeur et 6^m,00 de profondeur; mais elles n'ont point permis de formuler une loi quelque peu précise. Pour de faibles courants, le rapport de la vitesse du fond à celle de la surface, très variable du reste, était le plus souvent compris entre 0,40 et 0,20; pour des courants intenses, les résultats étaient plus réguliers et donnaient en moyenne pour le rapport de la vitesse du fond à celle de la surface le chiffre 0,44⁽²⁾.

Dans la partie maritime des fleuves à marée où les courants sont dus, soit à la dénivellation de la surface des eaux, soit à la transmission du mouvement ondulatoire, soit à ces deux causes réunies, suivant la période de la marée et la zone de l'ondulation que l'on considère, le mode de répartition des vitesses dans une même section transversale doit être fort complexe. Ainsi le courant de flot qui se produit dans le fleuve à la partie de l'onde attenant

⁽¹⁾ BAZIN. *Annales des ponts et chaussées de France*. Année 1875.

⁽²⁾ *Minutes of proceedings of the Institution of civil engineers*, 1881-1882.

à l'embouchure, pendant que la mer monte, est à la fois, avons-nous vu, un courant d'ondulation et un courant de pente.

Comme courant d'ondulation, il se fait sentir dans toute la masse liquide en même temps que l'agitation causée par l'intumescence; cette propriété des ondes de translation résulte de la loi même qui régit leur propagation, dont la vitesse dépend principalement de la profondeur totale des eaux; elle a d'ailleurs été confirmée par les expériences de M. Russell, ainsi que par des observations que l'on a faites pour l'étude du phénomène du mascaret⁽¹⁾. D'autre part, la distribution des vitesses dans le sens vertical dépend aussi des conditions propres aux courants de pente.

Dans l'Escaut, on constate que le flot, lorsqu'il commence à s'introduire à l'embouchure, sans présenter ce caractère de violence qu'on observe à certains fleuves tels que la Seine, se manifeste cependant par un mouvement brusque et intense jusque dans les couches profondes des eaux; il tend aussi à suivre un chemin plus direct que le jusant, en heurtant les atterrissements en saillie sur les rives, tandis que ce dernier courant, dès qu'il se développe à l'aval du fleuve, se transmet plus régulièrement que le flot, d'autant plus qu'il parcourt des sections qui vont en s'élargissant. Le jusant d'aval étant d'ailleurs un courant de pente, sa vitesse augmente rapidement dès que l'eau baisse, et dans une même section transversale, elle doit aller en décroissant à mesure qu'on descend du point où se produit la vitesse maximum vers le fond du fleuve.

M. le lieutenant de vaisseau Petit a procédé, en 1876 et 1877, à des observations sur la vitesse des courants en diverses stations de l'Escaut et à différentes profondeurs à l'aide du moulinet de Baumgarten. Il a opéré en un seul point de chaque section transversale, correspondant non pas au milieu du thalweg, mais à l'endroit où le courant ne subissait point d'entraves, c'est à dire en dehors des bancs, là où il devait avoir à peu près sa vitesse normale moyenne.

Voici les résultats obtenus par cet hydrographe devant Termonde et devant Anvers :

A cette première station, le flot n'acquiert une vitesse appréciable que 4 heures environ avant la haute mer.

Il a une durée moyenne de 4^h 45' et atteint sa vitesse maximum entre 1 et 2 heures avant marée haute.

Les vitesses moyennes du courant, observées respectivement à 1, 2, 3, 4, et 5 mètres au-dessous de la surface, étaient de 0^m,56, 0^m,60, 0^m,59, 0^m,54 et

⁽¹⁾ PARTIOT. *Étude sur les fleuves à marée.*

0^m,54 par seconde, de sorte que dans l'étendue du champ des expériences, c'est vers la profondeur de 2 mètres que le courant semble le plus intense; mais ce maximum de vitesse se déplaçait parfois dans la même section.

La vitesse du flot sur la verticale variait, en moyenne, pendant la durée du courant, de 0^m,25 à 0^m,87 par seconde. L'étalement de flot s'observe d'ordinaire quand l'eau a baissé d'environ 0^m,50.

Le jusant commence à Termonde 6^h 30' avant la basse mer; il a une durée d'environ 7 heures avec des vitesses moyennes de 0^m,50, 0^m,54, 0^m,54, 0,57, et 0^m,54, mesurées respectivement à 1, 2, 3, 4 et 5 mètres sous la surface de l'eau.

Aux observations faites à Termonde, le maximum de vitesse ne se trouvait jamais à la surface et rarement à 2 et 3 mètres au-dessous de celle-ci.

Devant Anvers, les expériences ont eu lieu dans la rade du port à 1, 2, 3, et 4 mètres sous la surface; l'intensité des courants ne permettait pas de descendre plus bas à l'aide des instruments dont on disposait.

Le flot dure environ 5^h45'; il étale 45 minutes après marée haute. Le renversement se fait en une vingtaine de minutes, en y comprenant le courant transversal de 0^m,08 à 0^m,16 de vitesse par seconde, qui se produit entre la fin du flot et le commencement du jusant.

Pendant la durée du flot, la vitesse du courant sur la verticale variait en moyenne de 0^m,25 à 1^m,25. La vitesse maximum s'observait à 1 et 2 mètres sous la surface, vers 1^h30' avant marée haute; elle a atteint jusqu'à 1^m,92 par seconde. Mesurée à 1, 2, 3 et 4 mètres de profondeur, la vitesse moyenne du flot était respectivement de 0^m,82, 0^m,81, 0^m,74 et 0^m,66 par seconde.

Le jusant devant Anvers commence 6^h15' environ avant marée basse et se prolonge jusqu'à 0^h30' après.

Pendant 5^h45', le courant est intense; sa vitesse varie en moyenne de 1^m,00 à 1^m,11, sans grands écarts dans l'intervalle qui s'écoule de 4^h30' à 1^h0' avant marée basse. Les vitesses moyennes observées à 1, 2, 3 et 4 mètres sous la surface étaient respectivement de 0^m,94, 0^m,92, 0^m,90 et 0^m,82 par seconde. Le courant le plus rapide qui fut constaté pendant la durée des expériences mesurait 1^m,40.

La vitesse maximum semble généralement se produire à 1 et 2 mètres de profondeur.

M. Petit a calculé la vitesse moyenne générale du flot et du jusant; il a obtenu :

à Tamise : 0^m,73 par seconde pour le flot et 0^m,85 pour le jusant

à Hemixem :	0 ^m ,73	par seconde pour le flot et 0 ^m ,75 pour le jusant
à Anvers :	0 ^m ,75	" " 0 ^m ,88 " "
à Lillo :	0 ^m ,66	" " 0 ^m ,80 " "

Les observations n'ayant été faites en chaque station que suivant une seule verticale, ces chiffres ne représentent pas les vitesses moyennes du flot et du jusant des sections du fleuve, mais ils font cependant voir que dans l'Escaut, la prépondérance du dernier de ces courants est bien prononcée.

Nous savons que les molécules liquides soumises à l'action de la marée fluviale, ne participent pas à la vitesse de propagation de la zone de flot; la vitesse dont elles sont animées est beaucoup plus petite, de sorte que celles qui se déplacent dans cette zone sont laissées en arrière par celle-ci, après un temps plus ou moins long, variant avec les circonstances particulières au mouvement des marées du cours d'eau que l'on considère; elles sont aussitôt reprises par le courant de jusant et dirigées vers la mer, pendant que la zone de flot continue à se propager vers la limite de la partie maritime du fleuve.

Dans l'Escaut, où la vitesse maximum du flot ne dépasse pas 2^m,00 par seconde, et où la vitesse de propagation de l'onde est en moyenne d'un peu plus de 8 mètres entre Flessingue et Terneuzen, et de 6 mètres environ entre Terneuzen et Anvers, le rapport de la vitesse du courant de flot à celle de la propagation du sommet de l'onde varie de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$ environ⁽¹⁾.

Il va de soi que la longueur du trajet d'une molécule liquide dans le courant de flot dépend de ces vitesses; il varie aussi avec le temps qui s'écoule, au point primitivement occupé par la molécule, entre le passage de l'étalement de jusant et celui de l'étalement de flot, et ce temps décroît à mesure que l'onde avance vers l'amont.

Ce sont en général les molécules introduites dans le fleuve au début de la mer montante, à l'embouchure, qui remontent le plus loin et y déterminent la limite de la salure des eaux. Mais cette limite n'est jamais nettement tranchée, et la salure diminue graduellement sur une distance plus ou moins notable; les filets fluides, en effet, qui pénètrent les premiers de la mer dans le fleuve ont des vitesses différentes dans une même section transversale, puisque l'eau voisine des bords et du fond subit un certain retard par rapport à celle qui occupe la partie centrale de la section; il en résulte un mélange d'eau de mer et d'eau douce dans les parages où les molécules entraînées sont arrivées à la fin du flot.

(¹) Quand il s'agit des ondes de la mer, qui se propagent beaucoup plus librement, même dans les mers de faible profondeur, ce rapport est évidemment beaucoup moindre. En vive eau, il est d'environ $\frac{1}{16}$ pour les ondes qui se propagent le long de la côte de Belgique.

L'eau de mer ne pénètre guère dans l'Escaut au delà d'Anvers.

Devant ce port, l'eau ne devient saumâtre qu'à marée haute et présente alors, en été, une densité de 1002. Près du Rupel, elle reste constamment douce à mer basse et d'ordinaire même à marée haute, bien que l'amplitude de la marée y soit encore de 4 mètres en moyenne. La densité de l'eau à Bath est de 1014 à marée haute et de 1007 à marée basse ; dans la passe de Terneuzen, elle est de 1018, et devant Flessingue de 1020. En pleine mer, elle est de 1025.

On ne possède jusqu'à présent pas de données précises au sujet des volumes d'eau de marée de l'Escaut.

D'après des cubatures faites par M. Blommendael, capitaine lieutenant de vaisseau de la Marine Néerlandaise, le volume du flot serait de 500,000,000 de mètres cubes à Flessingue, et de 140,000,000 de mètres cubes à Bath.

Avant M. Blommendael, M. l'ingénieur Belpaire avait évalué le volume du flot à Flessingue à 533,000,000 de mètres cubes pour une marée de 4 mètres d'amplitude.

Quant au débit des eaux du fleuve, on estime qu'en temps ordinaire il est de 40 mètres cubes par seconde à Gand, et de 100 mètres cubes à Anvers ; quand les eaux sont basses à Gand, il ne s'élève pas, en cet endroit, à plus de 20 mètres cubes par seconde.

Dans les très fortes crues, le débit de l'Escaut atteint jusqu'à 250 mètres cubes à Gand, et 500 à 600 mètres cubes par seconde à Anvers ; le volume total des eaux supérieures débitées pendant une marée est alors de 25,000,000 de mètres cubes environ, et le courant de flot ne dépasse pas en ce cas un point situé à 30 kilomètres en aval de Gand.

Il est à remarquer que les eaux d'amont ne descendent que lentement vers la mer ; en arrivant dans la partie maritime du fleuve, elles sont prises et reprises par les courants de flot et de jusant, qui se succèdent régulièrement, et elles n'avancent vers l'embouchure qu'en raison de l'espace plus long que le jusant fait parcourir aux molécules liquides par rapport à celui correspondant au flot.

M. Petit, se basant sur les résultats des observations auxquelles il avait procédé pour déterminer la vitesse des courants de marée de l'Escaut, a indiqué la marche qu'aurait suivi un flotteur, lancé à Termonde à la marée descendante du 31 juillet 1880. D'après ces indications, le flotteur aurait mis 7 jours, 10 heures et 10 minutes à parcourir, de Termonde à Lillo, une distance de 60234 mètres ; il aurait été soumis à l'action du jusant pendant 97^h30', et à celle du flot pendant 83^h30' ; la vitesse moyenne de ces courants était respectivement de 0^m,72 et de 0^m,67 par seconde, ce qui donne pour les trajets

correspondants 251,550 mètres et 200,400 mètres, et pour leur différence 51,150 mètres, soit assez approximativement la distance entre les endroits précités, si l'on tient compte des écarts qui doivent nécessairement se produire dans la vitesse et la durée des courants de flot et de jusant, se succédant alternativement pendant plusieurs jours, par rapport aux données moyennes obtenues pour ces éléments par l'observation.

Le lit de la partie maritime de l'Escaut renferme donc à chaque instant l'eau débitée par le fleuve pendant un certain nombre de jours; cette eau y est mélangée à celles des marées et constamment mise en mouvement avec cette dernière, en même temps qu'elle s'écoule peu à peu à la mer.

IX. — DES VAGUES.

Avant de terminer le chapitre relatif aux mouvements de la mer, il nous reste à parler des vagues, dont l'action constitue un élément des plus importants dans les questions relatives aux travaux des ports et des côtes.

L'étude de la constitution des ondes et de leurs effets a occupé nombre de savants illustres, tant en France, qu'en Allemagne et en Angleterre; elle a donné lieu à des théories assez différentes, basées pour la plupart sur des considérations d'un ordre transcendant et au sujet desquelles nous ne pouvons nous étendre dans cet ouvrage. Nous nous bornerons à mentionner les caractères principaux du mouvement des vagues de la mer.

La surface des eaux marines est rarement calme; dès que le vent se lève, elle subit le frottement des masses d'air déplacées, et il se forme dans les couches supérieures de la nappe liquide, des ondulations désignées sous le nom de *lames* ou de *vagues*. De même que nous l'avons vu en parlant des ondes marées, les lames se propagent par communication de mouvement; elles ont pour effet principal de faire osciller, à leur passage, les molécules liquides, sans que celles-ci participent à leur vitesse de propagation.

Le plus souvent, les vagues se heurtent et se croisent, ou se superposent à des vagues préexistantes, de manière à présenter dans leur ensemble un aspect confus et qui change à chaque instant, à cause de la nature variable de la force qui les a fait naître. Même lorsque le vent reste constant de direction et d'intensité, il se forme, sur le versant de chaque vague, des ondes secondaires dont l'amplitude va en augmentant, et qui finissent par se confondre avec l'onde principale; l'action prolongée du vent produit de même des ondes tertiaires et

ainsi de suite. L'ondulation qui détermine dans ce cas la forme générale de la surface de la mer, résulte par conséquent de la combinaison de plusieurs ondes différentes, mais elle présente cependant dans son ensemble une certaine régularité.

Quand le vent cesse, l'eau n'est plus soumise qu'aux forces de la pesanteur et de l'inertie, ainsi qu'à celles provenant de l'adhérence des couches élémentaires liquides entre elles et qui ont pour effet d'éteindre progressivement la force vive des molécules en mouvement; et, comme les oscillations disparaissent d'autant plus vite qu'elles ont moins d'amplitude, ces résistances intérieures détruisent d'abord les ondes secondaires, de sorte qu'au bout de quelque temps, on n'observe plus à la surface de la nappe marine qu'une ondulation principale très régulière, dont les sommets et les creux se trouvent alternativement au-dessus et au-dessous du niveau moyen des eaux. Ce mouvement ondulatoire est désigné sous le nom de *houle*; il réalise très sensiblement les conditions théoriques des ondes périodiques, dont la science a déterminé les principales lois de propagation, et se prête d'ailleurs à des observations suffisamment précises.

Pour les vagues ordinaires de la mer, il est difficile au contraire d'évaluer, avec une certaine approximation, les données qui déterminent leur forme et leurs dimensions.

L'expérience montre que les dimensions et la vitesse d'une onde augmentent avec l'intensité du vent qui lui a donné naissance, et surtout avec la durée de cette action; elles croissent aussi avec la profondeur et avec l'étendue des mers. Les vents de tempête cependant, plus variables d'intensité et de direction, donnent des lames de volume et de vitesse moindres.

Dans la Méditerranée, les vagues soulevées par les grands vents ont de 3 à 4 mètres de hauteur entre la crête et le creux; elles atteignent rarement 5 à 6 mètres. M. Cialdi mesura en 1858 des vagues de 10^m,25 de hauteur près d'Ouessant. D'après les observations du navigateur Scoresby, les fortes lames de l'océan Atlantique ont moyennement de 6 à 9 mètres et peuvent s'élever exceptionnellement jusqu'à 13 mètres. Dans l'Atlantique du Sud, l'élévation des lames atteint des dimensions plus considérables encore; mais 14 mètres de crête en creux paraît être la plus grande hauteur qu'on ait jamais rencontrée. Ajoutons toutefois que les vagues de 6 à 8 mètres ne sont pas fréquentes et que celles de plus de 12 mètres sont tellement rares, que peu de marins ont eu l'occasion d'en voir.

Le rapport de la hauteur des lames à leur longueur, c'est à dire à la distance qui sépare deux creux successifs, est très variable. Pour des vagues de quelques mètres de longueur, relevées dans la mer d'Irlande avec le trace-vagues de M. Pâris,

ce rapport atteint 0,16. Il était de 0,127 pour des lames de 100 mètres de longueur, observées près du cap de Bonne-Espérance, de 0,065 pour des lames de 150 mètres de longueur mesurées par M. Cialdi, et de 0,052 pour d'autres de 170 mètres de longueur mesurées par M. Scoresby.

Mais le rapport de la hauteur à la longueur des ondulations paraît diminuer moins rapidement avec les dimensions de la houle que ne l'indiquent les chiffres qui précèdent. C'est ce que M. Bertin a conclu du classement d'un grand nombre d'observations recueillies par M. Pâris, classement d'après lequel la décroissance de l'inclinaison des vagues, quoique continue, n'augmente que fort peu avec la longueur des houles⁽¹⁾.

Ce rapport est sensiblement plus élevé quand il s'agit de vagues en voie de formation que pour les houles, et il ne peut dépasser une certaine limite, à partir de laquelle des déferlements se produisent à la crête des ondulations; on voit alors au large et par de grandes profondeurs, des flots blanchissants et on dit que la *mer moutonne*.

Le maximum de hauteur des vagues de la mer correspondant à une longueur donnée dépend de l'action du vent sur l'eau et ne peut être déterminé que par l'observation. Il est bien inférieur à la limite, fixée par le calcul pour les ondes théoriques se propageant dans des eaux profondes, et qui découle des lois physiques auxquelles les liquides sont soumis dans leur mouvement; cette limite est donnée par l'inégalité $\frac{\pi h}{L} < 1$ ou $h < \frac{L}{\pi}$, en appelant h la hauteur et L la longueur de l'onde, de sorte que la plus grande hauteur que puisse prendre une ondulation, ne peut dans aucun cas dépasser le tiers environ de sa longueur.

D'après M. de Bénazé, la forme de la surface libre des vagues est ordinairement une trochoïde, courbe intermédiaire entre la sinusoïde et la cycloïde; elle prend l'allure d'une sinusoïde, quand la hauteur de l'ondulation est très faible par rapport à sa longueur, et elle devient une cycloïde lorsque cette hauteur atteint la limite pour laquelle le déferlement commence à se produire.

En observant les vagues avec attention, on constate d'ailleurs que leur saillie au-dessus du plan moyen de l'eau est toujours un peu plus prononcée que leur creux en dessous de ce plan.

La vitesse V de propagation des ondes périodiques dans des eaux de grande profondeur est donnée par la relation :

$$V = \frac{g}{2\pi} T,$$

(1) *Revue coloniale et maritime*. Année 1874. Tome XL.

T étant la durée de l'oscillation, ou le temps qui s'écoule entre le passage de deux sommets ou de deux creux successifs en un même point, et comme $L=VT$

$$V = \sqrt{\frac{g}{2\pi} L}, \text{ et } L = \frac{g T^2}{2\pi}.$$

Cette dernière formule, dont l'exactitude a été vérifiée par de nombreuses observations, notamment par celles de Pâris, de Scoresby et de Wilkes, fait voir que dans le phénomène de la houle, la longueur des vagues reste constante à mesure qu'elles s'éloignent du point de départ, tandis que la hauteur va en diminuant; le nombre des oscillations qui passent en un point dans un temps donné, doit en effet être invariable et égal au nombre de celles produites au centre d'action; T reste donc constant et il en est de même pour L, qui dépend uniquement de T.⁽¹⁾

La durée de l'oscillation des grandes vagues de la Manche et de la Méditerranée paraît varier de 4 à 9 secondes, et correspondrait à une longueur d'ondulation de 25 à 60 mètres et une vitesse de propagation de 6 à 14 mètres par seconde. Dans les mers étendues, on a observé plusieurs fois des houles ayant jusqu'à 600 mètres de longueur totale et 20 secondes de durée; les vagues les plus considérables qui aient été signalées et que l'on peut considérer comme une limite extrême, mesuraient 900 mètres environ de longueur totale et avaient une durée de 24 secondes.

Dans les mers soumises à des vents réguliers, les vagues ont une durée sensiblement déterminée, qui dépend de la vitesse du vent; les données moyennes recueillies à ce sujet par M. Pâris, dans les principales mers du globe, sont les suivantes :

Alisés de l'Atlantique	2 ^s 90
Atlantique sud (région des vents d'ouest) . . .	4 ^s 75
Mer des Indes sud (région des vents d'est). . .	3 ^s 80
Alisés de la mer des Indes	3 ^s 80
Mers de la Chine et du Japon.	3 ^s 45
Pacifique ouest	4 ^s 10

Tandis que les ondulations de la houle ne sont animées que d'un mouvement d'oscillation, les vagues qui se propagent en pleine mer sous l'action des vents violents, semblent subir, indépendamment de ce mouvement, un transport de masse, mais qui n'est plus guère sensible dès que le vent devient modéré. M. Cialdi, dans son ouvrage sur les vagues de la mer, attache à ce transport

(¹) E. BERTIN. *Les vagues et le roulis.*

de masse liquide, qu'il désigne sous le nom de *flot courant au large*, une grande importance. " Le vent, dit-il, s'incarne pour ainsi dire dans l'eau; il prend la " forme de l'onde et passe dans elle; il la précipite et, par choc, par pulvérisation et par frottement, la force à couler dans le sens où elle se propage. " (')

Des idées analogues sur la solidarité qui existerait entre les vents et les vagues ont été émises par le géologue de la Bèche, et elles ont été partagées par plusieurs savants qui se sont spécialement occupés de l'étude de cette question, notamment par M. de Tessan et par M. Brighenti. Ce dernier s'exprime en ces termes dans une brochure publiée en 1859 : " Nos navigateurs, maintes et " maintes fois interrogés par moi, assurent que par de fortes tempêtes, les vagues " se meuvent dans le sens du vent dominant et sont transportées en partie par " le vent même, en partie par le courant auquel il donne naissance. Ces deux " effets, il me semble, ne peuvent manquer de se produire. "

M. Cialdi pose en fait que les marins doivent tenir compte, dans le calcul de l'estime de leurs navires, de l'élément de transport dû aux lames, lequel varie avec la force et la durée du vent et peut dépasser, avec des vents furieux et continus, quatre milles et plus à l'heure.

La constitution des ondes a été expliquée différemment. Newton assimilait leur mouvement aux oscillations que prendrait l'eau dans un siphon renversé à deux branches verticales, l'amplitude de l'oscillation variant depuis zéro jusqu'à la hauteur des vagues et la distance des branches verticales étant égale à la demi-longueur de celles-ci. C'est le principe de la théorie du siphonnement, d'après lequel on admettait que, dans la propagation des ondes, les molécules liquides ne font que monter et descendre, et que ce n'est qu'à la limite inférieure de l'agitation des eaux que leur mouvement vertical est transformé en un mouvement horizontal, établissant la communication entre les eaux déprimées dans l'une des branches du siphon et surélevées dans l'autre.

La comparaison du mouvement de l'eau dans les ondes avec les oscillations de l'eau dans des siphons a soulevé de nombreuses objections, cette hypothèse ne pouvant subsister avec les lois générales du mouvement des liquides. La théorie admise aujourd'hui est celle du mouvement orbitaire, due au colonel Emy et dans laquelle les molécules d'eau sont considérées comme étant animées de mouvements orbitaires simples ou complexes, dont les croisements forment les surfaces apparentes des vagues. Pour une même onde et pendant le temps qu'elle met à avancer d'une quantité égale à sa longueur, chaque molécule

(') CIALDI. *Du mouvement ondulatoire de la mer.*

liquide décrit une courbe fermée, cercle ou ellipse; les molécules supérieures se meuvent suivant des courbes voisines du cercle; les molécules situées plus bas décrivent des ellipses dont le diamètre vertical diminue à mesure qu'on descend, et celles de la région où se termine l'agitation, ne sont plus animées que d'un mouvement d'oscillation suivant une ligne horizontale.

Cette théorie est très plausible. On se rappelle en effet que, dans les ondes d'oscillation en général, les molécules d'eau sont sollicitées, au passage des ondulations, à subir un mouvement horizontal, dirigé alternativement dans le sens de la marche de l'onde et dans le sens opposé; ces molécules sont soumises en même temps à des déplacements verticaux, dirigés dans chaque tranche de bas en haut pendant que la hauteur de l'eau y augmente au passage de l'ondulation, et de haut en bas pendant que la hauteur de l'eau y diminue, et l'on comprend que la combinaison de ces deux actions sollicitantes donne naissance à des mouvements orbitaires. Ces derniers ont d'ailleurs été constatés par les frères Weber et par Scott Russel dans un canal à parois vitrées, où ils avaient reproduit, en petit, le phénomène des vagues avec de l'eau renfermant des corpuscules en suspension.

Le colonel Emy, et d'autres savants après lui, ont démontré aussi que lorsque deux houles égales et de sens contraire se propagent dans une eau profonde, elles forment, en se combinant, un mouvement à oscillations stationnaires ou " clapotis ". Dans ce mouvement, les ondulations s'élèvent et s'abaissent sur place, les crêtes et les creux restant toujours sur la même verticale, et elles ont une hauteur double de chacune des houles qui les produisent. C'est ainsi que les ondes clapoteuses déferlent bien plus vite que les ondes ordinaires.

Une question d'hydraulique maritime qui a été l'objet de beaucoup de discussions et de controverses, consiste à savoir à quelle profondeur l'agitation produite par les vagues peut se faire sentir au-dessous de la surface libre de l'eau; question importante du reste au point de vue de l'action qu'elles peuvent exercer sur les matériaux formant le fond de la mer.

Il est hors de doute que l'amplitude du mouvement des ondes soulevées par le vent décroît rapidement à mesure que l'on descend vers les couches inférieures de la nappe liquide; on admettait autrefois que ce mouvement n'est plus appréciable à 8 ou 10 mètres de profondeur, mais de nombreuses observations ont démontré qu'il s'étend au delà. D'après les expériences de M. le Professeur Aimé, à Alger, l'agitation ne s'éteint complètement au large, pour des lames de 3 à 4 mètres de hauteur, qu'à 40 mètres en dessous de la surface. L'appareil dont M. Aimé fit usage se compose essentiellement d'une lame de plomb que

l'on descend dans la mer, et à laquelle est attachée, par une ficelle très mince, une espèce de toupie un peu plus légère que l'eau et munie au pourtour de sa plus grande section circulaire, de pointes en métal dur. Lorsque l'appareil est convenablement manœuvré, la toupie se tient verticalement au-dessus de la lame de plomb tant que l'eau est calme, mais à la moindre agitation elle s'incline et les pointes dont elle est garnie, indiquent ce mouvement sur le plomb par les empreintes qu'elles y produisent.

M. Cialdi soutient que l'effet des vagues de la mer se transmet à des profondeurs plus considérables encore; il cite à ce sujet les observations des navigateurs qui ont vu fréquemment, dans la Méditerranée, dans l'Adriatique et dans la Manche, des ondes se briser à la surface au-dessus d'écueils situés à 30 mètres sous le niveau de la nappe marine. Sur le banc de la Case notamment, qui se trouve entre les îles de Corse et de Minorque, à 23 mètres de profondeur, un navire aurait reçu, par des coups de vent, des lames chargées de sable provenant du fond. M. Cialdi est convaincu que les grandes vagues conservent assez de force au-dessous de la surface de la mer pour remuer le sable sur des fonds recouverts de 40 mètres d'eau dans la Manche et dans l'Adriatique, et de 50 mètres d'eau dans la Méditerranée. En plein océan, ce phénomène se produirait par des profondeurs de 150 à 200 mètres; l'auteur cite, comme preuve, ce fait remarquable que sur le banc des Aiguilles, au cap de Bonne-Espérance, l'eau présente une couleur trouble pendant les tempêtes et même lorsque le vent s'est déjà calmé, et il en attribue la cause à l'action exercée par les vagues sur le fond de ce plateau, qui se trouve à 200 mètres sous le niveau des eaux.

L'opinion de M. Cialdi n'a pas laissé que de soulever des doutes dans l'esprit de bien des ingénieurs, à qui il semble difficile d'admettre que les vagues de la mer, même quand elles sont très puissantes, puissent transmettre leur agitation aux couches liquides inférieures au point de soulever, à de pareilles profondeurs, les matériaux du fond; d'après eux, les troubles observés au banc des Aiguilles peuvent fort bien résulter de courants sous-marins ou de toute autre cause de nature à mettre en mouvement les eaux de la partie profonde de la nappe marine. Elle compte d'autre part des défenseurs parmi lesquels nous citerons M. Cornaglia, Ingénieur en Chef du Génie civil.

Ce savant, en recherchant par l'analyse les effets qui se produisent dans le mouvement des ondes à cause de l'inclinaison du fond, est arrivé à une série de conclusions dont voici les principales :

« Il se forme le long du fond un flot dirigé alternativement dans le sens
« de la propagation des ondes et dans le sens opposé. Le premier de ces

„ mouvements ou le *flot de fond direct*, correspond en général à la partie convexe de l'onde; le second ou le *flot de fond inverse*, correspond à la partie concave.

„ Dans le cas où le fond s'élève, le flot direct est montant, et il est descendant quand le fond s'abaisse; le contraire a lieu pour le flot inverse.

„ *L'énergie du flot peut être grande, même à de grandes profondeurs.*

„ Le flot montant tend à prévaloir de plus en plus sur le flot descendant à mesure qu'on avance dans le sens de la marche des ondes; cette tendance a lieu pour le fond ascendant comme pour le fond plongeant, mais elle est plus rapide pour le premier que pour le second.

„ Dans le voisinage de la rive, le flot direct a la prépondérance.

„ La composante du poids des corps exposés au flot, parallèle au fond, paralyse, et même surpasse plus ou moins la prépondérance d'un flot sur l'autre.

„ Les flots agissent sur les corps placés sur le fond comme à coup de bélier. Le chemin que les corps parcourent, est en forme de dents de scie.

„ Les points où, par une cause quelconque, les flots montants et les flots descendants se contrebalancent suivant la ligne de plus grande pente du fond, constituent sur celui-ci une *ligne neutre*.

„ La ligne neutre occupe différentes positions selon l'amplitude et la direction des ondes, la situation des côtes et la configuration des fonds marins, et selon les matériaux dont ceux-ci sont formés.

„ Sous l'action des ondes, les corps sur la ligne neutre peuvent marcher le long de cette ligne, sans monter ni descendre, en se maintenant sur le fond. Du côté de la rive par rapport à la ligne neutre, les corps se trouvent jetés à la côte; du côté du large au contraire, ils sont entraînés vers les grandes profondeurs. „ (1)

M. Cornaglia explique le fait de la stabilité relative constatée par l'expérience dans les fonds de sable situés devant les côtes ouvertes de la Méditerranée, à la profondeur d'une dizaine de mètres à peine sous le niveau de la mer, par la circonstance que sur ces plages sous-marines, la ligne neutre qui correspond aux plus fortes bourrasques, ne descend pas plus bas. Il en résulterait que la contradiction qui existe entre ce fait et la théorie de la transmission de l'action des vagues à de grandes profondeurs, ne serait qu'apparente.

Le colonel Emy attribuait également aux flots de fond qui accompagnent les grandes vagues, des effets puissants; mais il n'admettait leur existence qu'au-

(1) CORNAGLIA. *Du flot de fond dans les liquides en état d'ondulation. Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1881.

dessus d'un accore voisin des côtes et expliquait leur formation comme suit : Lorsque l'ondulation interne $abcdef$ est tangente à un exhaussement du fond AB, toutes les molécules placées au-dessus du plan oo' , ont suffisamment d'espace pour décrire leurs trajectoires orbitaires, mais il n'en est pas de même pour celles qui sont placées en dessous de ce plan (Pl. II, fig. 6). Ces molécules ne participent plus au mouvement général de l'ondulation; elles forment une série de bourrelets correspondant aux segments bcd , def et qui sont forcés de se déplacer sans changer de forme, dans le sens de la marche de l'onde, par suite de la pression exercée par les molécules qui descendent sur les flancs bc , de , pour aller occuper les espaces laissés libres par les molécules qui s'élèvent au-dessus des flancs cd , ef .

Cette théorie est en contradiction avec différents faits de l'observation, parmi lesquels nous mentionnerons les deux suivants, cités dans le mémoire de M. Cornaglia :

Suivant Emy, les flots de fond marcheraient constamment vers le rivage; les matières soulevées par les vagues se trouveraient par conséquent toujours entraînées dans cette direction, et l'on ne saurait dès lors se rendre compte comment la mer peut amaigrir certaines plages et y envahir la côte.

Les bourrelets, dont le mouvement constitue les flots de fond, avanceraient avec les ondulations de la surface et ils auraient la même vitesse horizontale, quelles que soient la distance parcourue à partir du ressaut qui leur a donné naissance et la profondeur existant au point considéré, de sorte que l'intensité et les effets du flot ne changeraient pas sensiblement avec la configuration du fond, ce qui est contredit par l'expérience.

Sans nous arrêter davantage à la question concernant la profondeur limite à laquelle se fait sentir l'effet des vagues, question dont la solution ne paraît du reste pas encore avoir acquis un grand degré de certitude, ajoutons que, sur la côte des Flandres, les plus fortes lames sont soulevées par les vents du N.O. au N.N.O. et atteignent quelquefois, au dire des pêcheurs et des pilotes, 3 à 4 mètres de hauteur depuis le creux jusqu'à la crête. Or, en étudiant au moyen des anciennes cartes marines les changements survenus, depuis environ trois quarts de siècle, dans les bancs et les passes qui précèdent ce littoral, nous avons acquis la conviction que les vagues de gros temps n'y conservent plus assez d'action, au delà des profondeurs de 8 à 10 mètres, pour opérer des déplacements importants dans les sables de la terrasse sous-marine; mais il est hors de doute qu'elles remuent les fonds de vase et de sable vasard par des profondeurs plus considérables. (1)

(1) Voir chapitre IV.

Lorsque les ondulations venues du large remontent le plan incliné qui s'étend au pied du rivage et où le défaut de profondeur ne permet plus leur libre développement, on voit qu'elles se déforment en avançant; leur hauteur augmente peu à peu en même temps que leur longueur diminue, jusqu'à ce qu'elles se replient en avant et se brisent pour venir déferler sur la plage. En s'étalant, la lame perd progressivement sa vitesse et, quand elle est arrivée à l'extrémité de sa course, elle redescend, reprend une certaine vitesse et va frapper, au pied, la nouvelle lame qui arrive; celle-ci grossit à la rencontre, et, comme les molécules d'eau dont elle est composée, éprouvent des résistances moindres à sa partie supérieure, elle prend une forme plus aiguë encore et s'enroule en volute pour se briser ensuite à son tour. On observe aussi que périodiquement une lame s'étale plus haut que les autres, ce qui semble pouvoir être attribué à ce que les vagues qui se brisent successivement, sont combinées avec les ondulations d'une houle ayant une amplitude notablement plus grande; les lames qui correspondent aux sommets de ces ondulations, doivent ainsi recevoir une impulsion plus prononcée et se reproduire périodiquement.

Un fait important à noter, c'est que quand les lames, où les mouvements des molécules vont en diminuant avec la distance à laquelle celles-ci se trouvent sous la surface, arrivent des grands fonds du large au-dessus de plages peu profondes, la partie des ondulations qui correspond à ces profondeurs restreintes ne présente plus, entre les mouvements de la surface et ceux des couches inférieures, des différences notables dans le sens horizontal; les sections liquides se déplacent plutôt parallèlement à elles-mêmes, et elles subissent en outre un certain transport de masse par l'effet du vent, jusqu'au moment où les lames viennent déferler sur la grève.

Quant aux lames en retour, leur vitesse de descente sur le plan incliné de la plage s'accélère d'abord, jusqu'à ce que les résistances résultant principalement des frottements sur le fond et de la pression de l'air, soient devenues supérieures à la composante de la gravité; puis elle se ralentit et ce plus rapidement lorsque les lames, à la rencontre des nouvelles vagues qui suivent, éprouvent les résistances de cette masse liquide, au milieu de laquelle elles s'éteignent.

On comprend que les vagues qui se meuvent dans les zones attenantes aux rivages, et dont l'action se combine avec celle des lames en retour auxquelles elles donnent lieu, doivent occuper une place importante parmi les causes qui déterminent les modifications des plages. Comme nous le verrons au chapitre suivant, les effets qu'elles produisent sous ce rapport varient avec les gisements des côtes, avec l'inclinaison des estrans et avec les dimensions et le poids

spécifique des matériaux dont ceux-ci sont formés. Ils sont d'ailleurs très différents selon qu'il s'agit de vagues se propageant sous l'influence de vents modérés ou de celles soulevées par les tempêtes; car les transports d'eau dus aux lames directes se produisent surtout à la surface, tandis que les lames en retour, qui acquièrent, en cas de gros temps, une très grande puissance, agissent par le fond.

Lorsque, par des vents impétueux, les vagues rencontrent un écueil sous-marin ou une côte abrupte, elles se raccourcissent et se surélèvent presque instantanément, et les jets d'eau qu'elles lancent, en se brisant par l'effet des flots de fond, atteignent dans certains cas des hauteurs considérables. On en a vu au phare de Bell-Rock, établi sur un rocher du littoral d'Ecosse, qui s'élevaient à plus de 30 mètres au-dessus du niveau de la mer; au phare d'Eddystone, sur la côte de Cornouailles, les eaux sont lancées parfois à une hauteur de 50 mètres.

Pour apprécier la force que les vagues sont capables de développer, on ne peut que se baser sur les résultats de l'observation. Les expériences faites par l'ingénieur Thomas Stewenson, près de Tirree et de Serryvor, sur la côte ouest de l'Ecosse, avec un appareil spécial de son invention, ont donné comme pression moyenne des lames de tempête environ 3000 kilogrammes par mètre carré; mais dans quelques cas isolés, il a observé des efforts beaucoup plus grands, dont un de 16732 kilogrammes au phare de Bell-Rock, et un autre de 30415 kilogrammes par mètre carré à l'île de Serryvor.

M. l'ingénieur Leferme a également cherché à déterminer la valeur de l'effort maximum des vagues de la mer, à l'occasion d'un accident survenu pendant la tempête du 8 Janvier 1867 à la tour-balise du Petit-Charpentier, établie à l'embouchure de la Loire; il est arrivé à des résultats assez semblables à ceux de Stewenson et qui permettent de conclure, que si l'effort maximum des lames de gros temps ne dépasse d'ordinaire pas 3000 à 4000 kilogrammes par mètre carré, il peut cependant s'élever exceptionnellement à des valeurs beaucoup plus considérables et atteindre jusqu'à 30000 kilogrammes. (1)

Dans les constructions à la mer, il importe non seulement de tenir compte de l'action des vagues au point de vue des efforts considérables qu'elles peuvent exercer sur les ouvrages exposés directement aux flots, mais on doit en outre, lorsqu'il s'agit de travaux destinés à l'établissement ou à l'amélioration de ports, rechercher quelles sont les meilleures dispositions à adopter pour éviter que les lames ne créent, à l'intérieur de ces derniers, des embarras ou des entraves à la navigation.

(1) *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1869.

Ainsi, lorsque la houle pénètre trop librement dans les avant-ports, elle y occasionne souvent des intumescences dangereuses pour le stationnement des navires; et quand elle vient s'y heurter contre un obstacle à paroi verticale ou inclinée, tel qu'un mur de quai, elle donne lieu aussi à des clapotis et à des ressacs consistant en ce fait, que la lame, après s'être élevée près de l'obstacle, descend de nouveau avec une vitesse croissante et produit à la surface de l'eau un creux qui est remplacé aussitôt par une nouvelle intumescence, laquelle se surélève et descend à son tour. Ce clapotement de l'eau, lorsqu'il est intense, constitue un grave inconvénient pour les navires de faibles dimensions et surtout pour les embarcations, qui sont ballottées alors dans tous les sens. Ensuite les vagues, en venant frapper obliquement un ouvrage ou un obstacle quelconque, subissent le phénomène de la réflexion, en obéissant plus ou moins à la loi de l'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion, tant que ces angles ne sont pas trop aigus; il faut donc, dans chaque cas, examiner avec attention si le tracé adopté pour l'ensemble des parties constitutives d'un port, est choisi de façon que les lames réfléchies puissent le moins possible, par leur propagation ou par leur croisement avec les lames incidentes, causer de l'agitation ou des ressacs, en des endroits où ceux-ci seraient nuisibles ou dangereux pour les navires.

CHAPITRE II.

DES CÔTES ET DU FOND DE LA MANCHE, DU PAS DE CALAIS ET DE LA MER DU NORD. — MARCHÉ DES ALLUVIONS.

I. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES CÔTES DE LA MANCHE, DU PAS DE CALAIS ET DE LA MER DU NORD.

Les côtes de la Manche, du Pas de Calais et de la mer du Nord, comme les côtes de la mer en général, peuvent être classées, au point de vue de leur conformation, en deux types bien distincts : les côtes rocheuses et les côtes basses.

Les côtes rocheuses sont formées par des massifs montagneux et des falaises plus ou moins élevées, dont les profils accidentés se dessinent nettement sur l'horizon et sont faciles à reconnaître. Les parties saillantes, ou caps, et les sommets les plus élevés servent d'*amers*, c'est à dire de points de repère pour la navigation. Ainsi le cap Gris-Nez annonce aux marins l'entrée du Pas de Calais ; les roches escarpées d'Aurigny et d'Ouessant signalent l'ouverture de la Manche. Ces côtes ont d'ordinaire une inclinaison en rapport avec celle des versants auxquels elles appartiennent, et sont par conséquent profondes et accores. Le long des contrées froides, elles sont coupées par des échancrures nombreuses, disposées suivant une série de golfes ramifiés ou *fjords*.

On désigne sous le nom de côtes basses, celles qui sont formées par des atterrissements sablonneux ou limoneux, ou par des terrains stratifiés sous de faibles inclinaisons. Elles présentent, en projection horizontale, des lignes courbes régulières et quelquefois des lignes droites, et coupent le niveau de la nappe marine par des pentes qui sont généralement très douces ; la mer y est donc peu profonde et l'estran, c'est à dire la zone abandonnée par les eaux à marée basse, très développé.

Lorsqu'on parcourt la rive de la Manche du côté du continent, en partant de la pointe d'Ouessant, on rencontre en premier lieu les côtes de la Bretagne qui, d'Ouessant au Grouin, sont surtout granitiques et dont les roches escarpées présentent en plan des découpures profondes; elles s'avancent dans la mer en caps, en îles détachées et en pointements isolés, qui résistent de temps immémorial aux assauts des vagues. La côte rocheuse s'infléchit entre le Grouin et Granville de manière à raccorder, par une courbe de 10 kilomètres de rayon, le littoral de la Bretagne avec celui du Cotentin; les principales saillies y sont formées de granit, à l'exception du roc de Granville, composé de schistes métamorphiques, lesquels constituent en réalité les roches dominantes de cette partie de la côte. (Pl. III).

La ligne littorale présente des aspects moins rocheux depuis Granville jusqu'au cap Carteret, et des dunes s'y sont formées en plusieurs points. Plus loin on trouve les falaises schisteuses et granitiques de Flamanville et de la Hague, qui se maintiennent jusqu'à Barfleur. Au delà de Barfleur, la côte du Cotentin devient déjà calcaire, mais ces calcaires n'y forment qu'une simple couche superposée aux roches de transition. Vient ensuite la plaine des Weys, qui interrompt les côtes rocheuses sur une largeur d'environ 10 kilomètres et n'est autre chose qu'une ancienne baie comblée par les alluvions.

A partir de l'estuaire des Weys jusqu'à Arromanche, la côte est bordée de falaises composées de calcaires jurassiques inférieurs qui s'étendent sous la mer suivant une pente très faible; le littoral n'y est donc pas accore; mais on trouve une dépression devant Port-en-Bessin, où le fond rocheux disparaît sous une couche d'argile et de sable vaseux. Au delà d'Arromanche apparaissent les roches du Calvados qui commencent par la *Tête du Calvados* et se terminent par les écueils des *Essarts*, vis-à-vis de Langrune. Elles forment un plateau sous-marin ou banc calcaire, attenant au rivage et ayant plus de 3 kilomètres de largeur. La surface de ce plateau a fort peu d'inclinaison et présente plusieurs fosses plus ou moins profondes, ainsi que des parties saillantes, dont quelques-unes émergent à marée basse.

De l'embouchure de l'Orne à celle de la Dive, on se trouve en présence d'un estuaire remblayé par les alluvions et bordé par un bourrelet de dunes. On rencontre plus loin, jusqu'à Honfleur, des falaises très élevées et de nature argileuse, ce qui leur donne une teinte sombre et des contours arrondis; elles sont formées à leur partie supérieure de calcaires crétacés glauconieux reposant sur des argiles, superposées à leur tour à des grès et des sables, et présentent vers la base des couches marneuses et calcaires de l'étage jurassique supérieur.

L'aspect des falaises qui s'étendent au nord de l'embouchure de la Seine et qui terminent, au rivage, les hautes terres de la plaine de Caux, est tout différent. Ce sont des falaises crayeuses escarpées, d'une blancheur éclatant au soleil; le cap la Hève, qui en forme la pointe sud-ouest, s'élève à plus de 100 mètres au-dessus du niveau de la mer et est taillé à pic depuis son sommet jusqu'à la moitié de sa hauteur.

Le terrain crétacé de toutes les falaises, depuis le cap la Hève jusqu'au bourg d'Ault, est composé de dépôts calcaires stratifiés régulièrement les uns sur les autres suivant des couches très multiples, d'un parallélisme remarquable. Il est probable que ces dépôts présentaient primitivement des surfaces sensiblement horizontales, mais que des perturbations, postérieures à leur formation, y ont provoqué des soulèvements; l'existence des failles ou cassures que l'on remarque en plusieurs endroits, entre autres à Fécamp, semblent confirmer cette opinion. Parmi ces failles, il en est qui occupent toute l'épaisseur du terrain et où une même couche se trouve dans la partie fracturée à deux niveaux différents. Le soulèvement général des dépôts se dessine de l'est à l'ouest; ainsi la craie blanche, étage supérieur, se maintient de Dieppe à Etretat; la craie marneuse, étage moyen, se dégage vers le cap d'Antifer et se trouve à la partie supérieure des falaises entre Heuqueville et Octeville; en ce dernier endroit, la craie glauconieuse occupe déjà la partie inférieure de la falaise et est supportée par le gault, lequel monte d'environ 40 mètres jusqu'au cap la Hève. (1)

Au delà du bourg d'Ault jusqu'à Equihen, la côte est plate et encombrée par les sables; elle comprend les baies de la Somme, de l'Authie et de la Canche, et présente de vastes estrans bordés de dunes.

On arrive ensuite à la côte du Boulonnais, formée par un soulèvement des terrains jurassiques et crétacés, dont les falaises atteignent des hauteurs de plus de 100 mètres; les plus avancées en mer sont les caps Blanc-Nez et Gris-Nez, ainsi nommés parce que le premier est composé de craie blanche, et le second de craie glauconieuse, de couleur plus sombre.

A l'est des relèvements crétacés du Blanc-Nez et de Sangatte s'étendent les alluvions quaternaires du delta de l'Aa, limitées du côté de la mer par des estrans sablonneux, avec des chaînes de dunes plus ou moins larges; celles-ci se prolongent jusqu'à l'entrée de la mer du Nord, et à partir de cette région, sur toute l'étendue du littoral de la Belgique et de la Hollande, on ne rencontre plus que des côtes basses d'alluvion, offrant partout le même caractère, et interrompues seulement par les vastes estuaires de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin.

(1) A. BURAT. *Voyages sur les côtes de France.*

Si l'on passe aux rives de la Manche et de la mer du Nord formées par l'île de la Grande-Bretagne, en commençant par la côte sud d'Angleterre, on remarque que les terrains qui constituent cette côte ont beaucoup d'analogie avec ceux de la côte nord de France.

Le long du Cornouailles on rencontre, aux environs de Lands-End, des roches granitiques, rappelant celles de la Bretagne et où s'intercalent des trapps feldspathiques, et plus loin, le vieux grès rouge du terrain dévonien. Ce dernier se maintient jusqu'à Paington, au delà de l'embouchure du Dart, mais il est interrompu, de Pradanack à Saint-Keverne, par le greenstone et le basalte, et de Gull-Rock à Black-Head, comme aussi de Bolt-Tail à Start-Point, par le terrain silurien inférieur. (')

A l'est de Paington jusqu'à Bridport apparaissent successivement le nouveau grès rouge, la nouvelle marne rouge du trias et les diverses roches du lias, sauf de Sidmouth à Beer-Head, où l'on trouve le grès vert supérieur (*upper greensand*) et le gault du terrain crétacé supérieur.

Entre Bridport et Durlstone-Head, comme à la presqu'île de Portland, se montrent les roches de l'oolithe inférieure, de l'oolithe moyenne et de l'oolithe supérieure, et plus loin jusqu'à Bognor, les sables siliceux formant les couches de Bagshot et de Bracklesham du terrain éocène moyen. Ce dernier est interrompu en face de l'île de Wight par l'éocène supérieur, lequel se retrouve également dans toute la partie septentrionale de cette île.

A partir de Bognor, on trouve les couches crayeuses du terrain crétacé supérieur, puis les sables de Hastings qui se terminent à Fairlight. Le long de cette partie de la côte, les falaises sont interrompues par quelques dépressions normales au littoral, correspondant aux vallées de l'Arun, de l'Adur, de l'Ouse, de la Cuckmeere, et à la plaine de Pevensey, où l'on trouve partout des dépôts d'alluvion.

Immédiatement à l'est de Fairlight, il existe encore une grande étendue de terrain plat d'alluvion, le *Romney-Marsh*, dont l'extrémité sud-est forme la pointe de Dungeness et qui se termine à Hythe.

Passé ce dernier endroit, on rencontre le grès vert inférieur et ensuite les falaises de craie de la côte de Douvres. Celles-ci s'abaissent à partir de South-Foreland, pour disparaître près du château de Walmer.

De Sandwich à Ramsgate, la côte est basse et sablonneuse.

Les falaises crayeuses se montrent de nouveau vers le cap de North-Foreland et s'étendent sur la rive sud, à l'entrée de la baie de la Tamise, jusqu'à

(') Voir la carte géologique de l'Angleterre et du pays de Galles, par ANDREW C. RAMSAY.

Reculver. A l'intérieur de cette baie apparaissent les terrains éocènes inférieurs : l'argile de Londres, l'argile plastique et les sables de Thanet, ainsi que du terrain d'alluvion.

En remontant vers le nord, on a les couches coquillières connues sous le nom de *crag de Suffolk* et puis, jusqu'à la baie du Wash, des falaises de craie.

Sur la rive est de cette baie, on trouve le grès vert supérieur et l'oolithe supérieure ; à l'ouest et au sud, le Wash est limité par des côtes basses d'alluvion, et il est encombré de bancs de sable.

Le terrain d'alluvion se maintient jusqu'à Bridlington, situé au delà de l'embouchure de l'Humber.

Entre Bridlington et Hartlepool, on retrouve la craie, les trois couches de l'oolithe et les roches du lias et du trias ; à partir de cette dernière localité, apparaissent successivement le calcaire magnésien du terrain permien et les diverses couches du terrain carbonifère.

Une particularité à noter, c'est qu'il existe une parfaite conformité entre la côte de Calais et celle de Douvres ; les terrains situés de part et d'autre du détroit présentent les mêmes conditions de composition géologique et de structure. Aussi les géologues sont-ils généralement d'accord pour admettre que le Pas de Calais a été formé à la suite d'un affaissement du terrain, qui, de chaque côté de la fracture, a laissé en regard les falaises de la France et de l'Angleterre.

II. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU FOND DE LA MANCHE, DU PAS DE CALAIS ET DE LA MER DU NORD.

La profondeur des eaux à l'entrée de la Manche varie de 80 à 120 mètres ; le fond de cette mer se relève dans l'est, principalement aux approches du Pas de Calais et n'offre en moyenne que 45 mètres de profondeur. Le long des côtes, on rencontre généralement des terrasses sous-marines plus ou moins étendues, présentant en divers endroits des plateaux surélevés. (Pl. III).

Il existe vis-à-vis de la Bretagne une fosse centrale, de forme irrégulière et contournée, se prolongeant jusqu'au delà de l'île de Wight ; elle est très peu large, mais sa profondeur dépasse notablement celle des fonds environnants et atteint près de 175 mètres à l'ouest du cap la Hague. Cette fosse ne peut avoir été creusée par les courants ; elle provient sans doute d'une ancienne dislocation du terrain.

Le fond de la Manche et du Pas de Calais ne présente pas partout des

dépôts, à cause de l'intensité des courants qui circulent dans ces mers ; il est formé sur une grande partie de son étendue de roches pierreuses, antérieures à l'époque actuelle. On en trouve jusque dans le thalweg de la partie ouest de la Manche, mais c'est principalement le long des côtes de la Bretagne et du Cotentin qu'elles occupent de vastes surfaces, qui vont rejoindre à travers le canal, par des branches séparées, les côtes de Cornouailles et celles du Dorset.

Elles se montrent plus loin en divers endroits, près des côtes, et sur une étendue considérable dans le Pas de Calais, ainsi qu'au nord de l'embouchure de la Tamise. La composition de ces roches est variable ; celles que l'on trouve dans l'ouest de la Manche appartiennent au granit et au terrain de transition ; celles de la partie est sont de même nature que les terrains secondaires qui y forment les rives de la France et de l'Angleterre, et dont elles ne sont que les prolongements sous-marins. (')

On trouve aussi, en plusieurs points de la Manche, de l'argile, notamment dans le voisinage des côtes ; elle est recouverte le plus souvent de vase. L'argile kimmérienne se montre à Honfleur et autour du cap la Hève, l'argile oxfordienne entre les embouchures de la Touque et de l'Orne ; et les sondages exécutés dans le Pas de Calais, pour le creusement d'un tunnel entre la France et l'Angleterre, ont indiqué un affleurement de l'argile du gault, entre Folkstone et Escalle, près de Wissant.

Mais la plus grande étendue du fond de la Manche est couverte de dépôts de sable mêlé de coquillages. La composition minéralogique de ce sable varie avec la région que l'on considère ; c'est ainsi qu'il est feldspathique près des côtes granitiques de la Bretagne et du Cotentin, tandis qu'il est essentiellement quartzeux dans les parages qui se trouvent plus à l'est et où il provient de couches sableuses, ainsi que de la destruction des grès et des silex.

Près du rivage, le sable est fréquemment mêlé de gravier. Ce dernier forme aussi de vastes dépôts dans les grands fonds de la Manche ; le plus important s'étend entre les méridiens passant par Etretat et par Dieppe, et semble relier le greensand de la Haute-Normandie avec celui de l'Angleterre.

Ces accumulations de gravier à de grandes profondeurs ne se sont point formées sous l'action des courants actuels, et comme elles se trouvent au-dessous de la craie blanche, M. De Lesse les attribue à un remaniement des couches graveleuses et imparfaitement cimentées qui sont à la base du terrain crétacé.

La vase se montre fort peu dans le milieu de la Manche, mais il en existe

(') DE LESSE. *Lithologie des mers de France et des mers principales du globe.*

de nombreux dépôts près des côtes, surtout dans les baies qui sont situées à proximité des terrains argileux ou schisteux affleurant au rivage. Ces dépôts de vase ou de sable vasard ont d'ailleurs peu d'étendue.

En quittant la Manche et le Pas de Calais pour entrer dans la mer du Nord, on constate que, dans la région sud de celle-ci, la profondeur est peu considérable ; celle-ci ne dépasse nulle part 50 mètres dans le thalweg qui sépare la côte nord de France et celle des Pays-Bas de la côte est d'Angleterre. Mais le fond sous-marin s'incline en pente douce vers le nord ; il atteint jusqu'à 150 mètres de profondeur à la hauteur des îles Orcades, et, contrairement à ce qu'on observe d'ordinaire, il est plus élevé dans son milieu que dans les zones littorales ; le long de la Norvège, il existe des dépressions ayant de 300 à 400 mètres de profondeur.

De nombreux bancs de sable s'étendent à proximité des côtes est et sud-est d'Angleterre, dans le Pas de Calais, devant la côte des Flandres et aux embouchures de la Tamise, de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin ; ces bancs sont remarquables par leur forme allongée ainsi que par leur direction, qui est à peu près parallèle à celle des côtes le long desquelles ils se développent. Plusieurs d'entre eux offrent fort peu de profondeur d'eau, et il en est même dont la crête émerge à marée basse.

En remontant plus au nord, on rencontre des plateaux fort étendus, mais relativement peu élevés ; nous citerons : le Bruine Bank, le Zwarte Bank, l'Amelander Plaat et le Wellbank, qui se trouvent entre la côte est d'Angleterre et la côte des Pays-Bas ; les Brée Veertien, situés près de celle-ci ; les bancs de Jutland et d'Amrum et le long Fortien, qui s'étendent, les deux premiers le long du littoral du Danemark, et le dernier le long de celui de l'Ecosse.

Au milieu de la mer du Nord se trouve le Doggerbank, lequel se dirige du sud-ouest au nord-est entre 54° 10' et 56° 55' latitude et dont la profondeur varie de 14 à 25 mètres ; entre ce banc et la côte sud-ouest de la Norvège, il existe encore un vaste plateau, le Groote Visscher Bank, mais dont la profondeur est notablement plus grande.

Les divers plateaux de la partie méridionale de la mer du Nord sont séparés par quelques chenaux profonds ; le principal d'entre eux, connu sous le nom de *Tiefe Rinne*, prend son origine dans le Pas de Calais et se dirige au large de l'embouchure de la Tamise jusqu'à la partie ouest du Zwarte Bank ; on y sonde 50 mètres d'eau environ. Les fonds situés dans le sud du Wellbank, sont sillonnés par le Coal Pit, le Sole Pit et le Silver Pit ; au nord de ce banc se trouve l'Outer Silver Pit, qui se dirige de l'ouest à l'est et communique avec le Modderkanaal, lequel longe le talus sud-est du Doggerbank.

La nature des fonds de la mer du Nord est variée. On rencontre des roches pierreuses le long des côtes de l'Ecosse et de l'Angleterre, dans l'archipel Danois et surtout le long des fjords de la Norvège; les sondes en accusent aussi au large des côtes, notamment au nord-ouest du Danemark et en face du littoral ouest de la péninsule Scandinave, à la hauteur des îles Orcades.

L'argile se montre par zones fort étendues au sud-est des îles Shetland, à l'est du Doggerbank, et d'une manière plus prononcée encore le long des côtes sud-ouest de la Norvège et dans le Skager-Rack.

Mais de même que pour la Manche, c'est le sable qui constitue le fond dominant de la mer du Nord; il forme les nombreux bancs dont est parsemée la région méridionale de cette mer, ainsi que la plus grande partie des vastes plateaux et des terrasses sous-marines qu'on rencontre plus au nord; les dépôts sablonneux couvrent en outre des surfaces considérables autour de ces plateaux et se prolongent jusqu'au delà des îles Shetland et des côtes septentrionales de la Scandinavie.

La vase et le sable vaseux sont aussi très abondants dans la mer du Nord; ces alluvions y accompagnent généralement les fonds d'argile. On en trouve sur des surfaces considérables dans le voisinage de la côte nord-est de l'Ecosse et des îles Orcades, le long de la côte ouest de la Norvège et au large de la péninsule du Danemark. Dans la partie centrale de la mer du Nord, à l'est et au sud-est du Doggerbank, ces matières occupent une grande étendue; elles se montrent encore au large du golfe de la Tamise, vers l'entrée du Pas de Calais, à l'embouchure de la Meuse et de l'Escaut, et le long de la côte des Flandres.

Tandis que dans la Manche les dépôts coquillers sont très répandus, ils sont relativement rares dans les parties sud et est de la mer du Nord, mais il y en a cependant à l'entrée du Pas de Calais et dans le voisinage du Doggerbank; ils apparaissent en plus grande quantité dans la région du nord, notamment le long des côtes de l'Ecosse et des Orcades. Tous ces dépôts se trouvent sur des fonds sableux, à une profondeur ne dépassant pas 200 mètres et qui est d'ordinaire inférieure à 100 mètres.

Les sondages ont permis de constater que dans la Manche, et surtout dans le Pas de Calais et à l'entrée de la mer du Nord, il existe aussi des accumulations de galets à de grandes distances du rivage, le plus fréquemment au large des falaises crayeuses à silex qui bordent la France et l'Angleterre. Ces galets doivent appartenir à une époque antérieure, car ils sont à de trop grandes profondeurs pour que leur formation et leur transport puissent résulter de

l'action combinée des courants et des vagues qui se propagent actuellement dans les mers précitées.

„ Si ces galets se sont accumulés à la sortie du Pas de Calais et à l'entrée de la mer du Nord, dit M. De Lesse, cela tient sans doute à ce qu'ils ont été entraînés par des courants violents, qui remontaient la Manche et qui les ont déposés lorsque leur vitesse s'est ralentie à la rencontre avec les eaux de la mer du Nord. De pareils courants peuvent d'ailleurs se concevoir facilement, et il a même dû s'en produire d'une puissance exceptionnelle au moment de la formation du Pas de Calais. C'est par la même raison que les galets se sont accumulés à l'embouchure de la Seine, vraisemblablement à l'époque diluvienne, lorsque les eaux de ce fleuve, extrêmement gonflées, avaient assez de puissance pour charrier jusqu'à la Manche les silex arrachés le long de son cours. „

III. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA MARCHÉ DES ALLUVIONS.

Les courants généraux de l'Océan produisent des érosions le long des rivages et aussi sur le fond de la mer; leur action est extrêmement faible sur les terrains de roche, eu égard surtout à l'immense masse d'eau qu'ils mettent en mouvement; mais elle est plus prononcée sur les fonds composés de dépôts meubles. En parcourant la mer, ils mettent en suspension et transportent, à des distances considérables, les vases et les sédiments qui sont déposés dans les grandes profondeurs et auxquels on a donné le nom d'*oases*(¹); ils entraînent également les sables fins et les menus fragments de coquilles, soit directement, soit en les faisant rouler sur le fond, et ils contribuent donc spécialement à la formation des dépôts *pélagiques* ou de haute mer.

Cette puissance de transport est parfaitement constatée pour le Gulf-stream, qui apporte des bois flottants de l'Amérique jusqu'aux côtes de l'Islande et du Spitzberg.

Les courants dérivés qui sont projetés par le Gulf-stream dans la Manche, le Pas de Calais et la mer du Nord, ne sont guère appréciables et les transports d'alluvions auxquels ils peuvent donner naissance à l'intérieur de ces mers, sont de minime importance, comparés à ceux qui sont dus aux courants beaucoup plus intenses de la marée. Ainsi que nous le verrons au paragraphe suivant, ces derniers entraînent avec la masse des eaux qu'ils mettent en mouvement, les

(¹) Les *oases* sont des vases visqueuses et adhérentes, composées en partie de débris d'animaux microscopiques, appelés *foraminifères*, *rhizopodes*, *globigérines*, etc., mélangés d'éléments siliceux ou calcaires.

matières ténues, telles que les vases et les sables fins, et ils agissent aussi sur les graviers et les sables, qu'ils charrient sur le fond dans le sens de leur marche.

A côté des courants, il faut considérer les vagues soulevées par le vent à la surface de la mer et dont l'action, on le sait, se fait sentir à des profondeurs qui varient avec l'amplitude des ondulations. En se brisant sur les hauts-fonds et sur les plages, elles ont pour effet de désagréger les éléments constituant les terrasses sous-marines, par des chocs plus ou moins énergiques, et de mettre en mouvement les galets, les sables, l'argile et les menus débris de la côte. Lorsque le vent souffle avec violence du large, les vagues acquièrent une grande force; elles entament alors les sables meubles et même les roches pierreuses qui forment le rivage, et tendent, l'influence des courants de marée aidant, à produire des empiètements sur les côtes.

L'action érosive des vagues sur les falaises varie avec la disposition et avec la nature des roches dont celles-ci sont composées. Elle est très prononcée, quand les falaises présentent à leur base des couches de roches tendres, comme la craie, la marne ou l'argile, disposées horizontalement; mais, quand ces couches plongent vers les grands fonds, elles résistent beaucoup mieux aux assauts de la mer. Les roches dures et compactes sont également entamées, mais avec une extrême lenteur.

Parmi les matériaux enlevés le long des côtes, il en est qui sont délayés dans la masse des eaux et emportés avec elle; tels sont les roches crayeuses, les argiles et les schistes tendres; les sables sont plus difficilement entraînés, tandis que les galets et les débris grossiers ne se meuvent ordinairement qu'à la partie des grèves, située au pied des rivages. On remarque d'ailleurs que, par un temps agité, les eaux qui baignent les côtes formées de roches tendres, sont troubles, limoneuses et de couleur jaunâtre. La zone occupée par ces eaux s'étend d'autant plus en mer que l'agitation est plus grande et que la marée est plus forte; elle varie évidemment d'un point à un autre avec la profondeur et la nature du fond de la terrasse sous-marine située devant la côte, et avec la composition et la configuration des terrains formant la côte elle-même.

Comme la marche des alluvions soulevées du fond de la mer, ou désagréées et mises en mouvement le long des plages, dépend à la fois de l'action des courants et de celle des vents, le transport des détritits est le plus rapide lorsque ces deux forces agissent dans le même sens; lorsqu'elles agissent en sens contraire, leurs effets se détruisent en partie et se réduisent souvent, près du rivage, à des mouvements de peu d'amplitude, usant les débris sur place et d'autant plus puissants que la mer est houleuse.

Sur les côtes rocheuses, les caps avancés sont le plus vivement attaqués par les flots ; les lames s'épanchent entre ces parties saillantes, et la limite à laquelle elles s'arrêtent en déferlant sur la plage, présente à l'intérieur de chaque anse la forme d'une courbe elliptique dont la corde correspond à la ligne qui joint les deux pointes de l'anse. Les matériaux provenant de la destruction des promontoires sont rejetés vers les échancrures voisines et, après avoir été broyés et roulés en galets, graviers et sables, ils vont former à la partie supérieure des plages, sous l'action continuelle des lames, des bordures surélevées ou bourrelets, désignés sous le nom de *cordons littoraux*. Ces cordons littoraux s'avancent en flèche à partir des rochers des caps, dans le sens déterminé par la direction des courants et des vents régnants, et ils s'allongent sans cesse, jusqu'à ce que l'anse soit entièrement fermée par un bourrelet continu, disposé suivant une courbe dont la convexité est tournée vers l'ancien rivage. On remarque en général que les galets les plus lourds se trouvent à la partie supérieure des levées ; à mesure qu'on descend vers le pied du talus, on rencontre des zones de matériaux ayant des dimensions de plus en plus petites et disposées sous des pentes de plus en plus faibles. Cette succession d'étages résulte de ce que les galets subissent des impulsions dont l'amplitude augmente avec la force des lames ; ceux qui se tiennent au sommet des bourrelets, ont été relevés à cette hauteur par les vagues de gros temps et ils y sont restés, malgré l'effet de la lame en retour, grâce à leur poids ; ceux qui suivent, correspondent à des vents moins violents, et ainsi de suite jusqu'à la zone inférieure, laquelle correspond à des vents modérés. Il arrive aussi, par de fortes tempêtes, que les vagues s'élèvent jusqu'au delà du cordon littoral et qu'elles le dégradent en retombant, en même temps qu'elles balayent les sables de la plage ; mais quand les tempêtes ont cessé, la mer rétablit peu à peu les levées de galets dans leurs conditions primitives.

Quelquefois les levées de galets se développent en mer, soit pour aller rejoindre une île détachée, qu'elles transforment en presqu'île, soit pour relier deux îles entre elles.

Les rivages entièrement sablonneux présentent, comme les côtes rocheuses, une série d'inflexions comprises entre des pointes avancées, mais celles-ci sont en général beaucoup moins accentuées que les promontoires des rochers ; elles sont exposées également à subir des érosions rapides, et les sables provenant de ces érosions sont entraînés dans les anses, dont ils relèvent peu à peu le fond ; à marée basse, lorsque la grève découvre, les molécules de ces sables perdent peu à peu leur humidité, cessent d'adhérer les unes aux autres et sont chassées par les vents du large vers le rivage, où elles s'accumulent et constituent le bourrelet littoral.

On voit que les matériaux enlevés par les flots aux pointes saillantes des côtes, servent en partie à édifier des bords nouveaux dans les anses et dans les anfractuosités, de sorte que l'action de la mer tend en définitive à régulariser la ligne des rivages suivant des courbes à grand rayon.

Dans certains cas particuliers cependant, la marche du galet s'arrête en un même point, dont il augmente successivement la saillie, et il existe aussi des anses où, par suite du régime des courants et des vents, la côte continue lentement à se creuser.

Beaucoup de baies ont été ensablées et fermées par des cordons littoraux. Mais, lorsqu'elles sont alimentées par un fleuve, la masse des eaux déversées par ce dernier doit nécessairement se frayer une issue vers la mer, en se creusant des passes plus ou moins profondes à travers les levées d'alluvions ; les atterrissements se prolongent d'ailleurs sous ces passes et y forment des hauts-fonds ou *barres*. Dans les contrées où l'année comprend une période prolongée de sécheresse, le cordon littoral peut fermer temporairement la baie pour être percé à nouveau pendant la saison pluvieuse.

Comme la mer emplit, à chaque flot montant, les lagunes situées en arrière des levées, d'une masse d'eau en rapport avec l'amplitude de ses oscillations, pour l'écouler à la marée descendante qui suit, elle donne elle-même naissance à des courants de va-et-vient qui creusent les chenaux d'accès et y maintiennent souvent de grandes profondeurs. Ces chenaux, qu'ils soient temporaires ou permanents, subissent des modifications continuelles suivant la situation des eaux d'amont et l'état de la mer, et ils se déplacent tantôt dans un sens et tantôt dans un autre.

Si les cours d'eau s'ouvrent un passage à travers les cordons littoraux situés devant les baies, ils exhausent en revanche le fond de celles-ci en y déposant leurs alluvions ; à ces dépôts viennent s'ajouter ceux apportés par la mer, car les eaux marines qui s'introduisent à chaque marée dans les lagunes intérieures, abandonnent une partie des matières qu'elles tiennent en suspension, grâce au calme relatif qu'elles y acquièrent, et qui est le plus souvent favorisé encore par des remous et des contre-courants donnant lieu à des zones stagnantes. C'est ainsi que d'anciennes baies sont transformées en marais et soustraites lentement au domaine de la mer, par l'accumulation des alluvions et des détritux végétaux pendant la succession des années et des siècles, pour devenir finalement une terre ferme, rattachée au rivage.

Sur le littoral des contrées froides, telles que la Scandinavie, la côte a conservé sa forme dentelée primitive, à cause de l'existence des glaciers qui y encombraient les golfes et les fjords jusqu'à une époque relativement récente, par

rapport à celle à laquelle la période glaciale a cessé sous la zone torride et dans les régions tempérées; l'eau qui baigne ces côtes accores et profondes, est du reste fort peu chargée et n'apporte qu'une très faible quantité de débris comparativement à ce qui se passe le long des côtes plus basses. (¹)

On rencontre généralement, au-dessus des plages sablonneuses, des monticules de sable rangés parallèlement au rivage et connus sous le nom de *dunes*. Ces monticules sont formés par l'action des vents du large, qui chassent devant eux les sables desséchés de l'estran; ceux-ci s'arrêtent à la partie supérieure de la plage, partout où il existe des inégalités de surface, des cailloux, des branches, des plantes ou d'autres corps interceptant leur marche. En même temps que la hauteur d'une première série de monticules augmente et que les sables, arrivés au sommet, se déversent du côté opposé, les vents agissent sur les parties latérales et en enlèvent des couches superficielles, qui vont retomber plus loin pour constituer d'autres monticules soudés aux précédents; et, par cette action incessante et prolongée, le littoral se trouve à la longue bordé d'une chaîne de dunes plus ou moins puissantes.

Le long des rivages baignés par des marées d'une grande amplitude et bordés de vastes estrans, les dunes sont d'ordinaire larges et élevées. Celles qui se trouvent sur le littoral des landes de Gascogne, où le volume de sable rejeté chaque année par la mer a été évalué à 6 millions de mètres cubes, occupent une longueur de 240 kilomètres entre les embouchures de l'Adour et de la Garonne, sur une largeur variant de 300 à 8000 mètres, et elles s'élèvent en certains points à près de 100 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer (²). Sur la côte des Pays-Bas, les dunes sont aussi très puissantes et atteignent en plusieurs endroits plus de 40 mètres de hauteur; le plus haut monticule est situé près de Schoorl et mesure 59 mètres jusqu'à la crête (³).

Les dunes offrent généralement beaucoup de mobilité, et ce d'autant plus que le sable en est plus sec. Pour les fixer, on y fait des plantations, en choisissant des plantes à racines traçantes ou superficielles nombreuses, et convenant évidemment au climat.

M. Brémontier a fixé les dunes de Gascogne à l'aide de semis de pins maritimes et les a transformées en de belles forêts. Le long du littoral de la Méditerranée, c'est le tamarix qui donne les meilleurs résultats, tandis que sur les côtes de la mer du Nord, où les vents du large sont particulièrement froids

(¹) ÉLISÉE RECLUS. Ouvrage cité.

(²) LAVAL. *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1847.

(³) *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, année 1869-1870.

et durs, on a recours à des plantations d'arundo d'arenaria, appelé oya ; c'est une espèce d'herbe à brins fort abondants et qui se repique facilement.

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que des alluvions d'origine essentiellement marine, mais les fleuves interviennent aussi dans la formation des dépôts littoraux et sous-marins.

On sait que les eaux qui tombent à l'état de pluie, de neige ou de rosée sur une surface inclinée, y forment de nombreux filets, dont la réunion engendre les ruisseaux, puis les rivières et les fleuves. En descendant vers le fond des vallées, ces eaux, par leur propre action et aussi par celle de l'atmosphère, dégradent et désagrègent sans cesse les roches de leur bassin hydrographique et entraînent avec elles une certaine quantité de détritits.

La force d'érosion et de transport d'un cours d'eau augmente rapidement avec sa vitesse, et par conséquent avec la pente de son lit. Celle-ci est généralement fort irrégulière et interrompue, dans bien des cas, par des parties sensiblement de niveau ou même en contre-pente ; mais l'abaissement moyen du fond diminue d'ordinaire d'autant plus qu'on se rapproche de la mer. Les quantités d'alluvion qui descendent des régions supérieures de nos fleuves et de leurs affluents, varient d'ailleurs avec la nature plus ou moins résistante des terrains qu'on y rencontre, tandis que la distance à laquelle elles sont transportées, dépend non seulement de l'intensité du courant, mais aussi du volume, de la forme et de la densité des débris.

Disons toutefois que les fleuves, contrairement à ce que l'on pourrait être tenté de croire, ne roulent pas les gros matériaux d'une manière continue et à de grandes distances, pour les faire marcher, dans une certaine mesure, avec la masse des eaux en mouvement. Les galets et même les graviers et les gros sables ne se déplacent qu'avec beaucoup de lenteur de l'amont vers l'aval, sous la seule action du courant de l'eau. Voici l'explication donnée par M. Breton sur le déplacement des galets : " Il considère un galet dans deux positions différentes, suivant qu'il est calé à l'amont ou à l'aval par d'autres galets. Dans le premier cas, les filets liquides subissent des déviations d'autant plus accentuées qu'ils courent plus près du fond ; il en résulte des pressions autres que la pression hydrostatique, dont la résultante est dirigée de l'amont vers l'aval et qui agit sur le galet pour le renverser, en le faisant tourner autour de son arête inférieure.

C'est ce qui arrive lorsque la composante de ces pressions, dans le sens du courant de l'eau, est supérieure à la résistance du galet due à son inertie et à son frottement sur le fond. Si le galet est calé à l'aval, les pressions

engendrées par les déviations inégales des filets liquides ne font que le raffermir dans sa position, en le pressant contre le fond jusqu'à ce que les remous aient dérangé ou fait partir la cale, et l'amènent ainsi à la position instable du cas précédent; il est alors également sujet à des déplacements en attendant que, par suite de la disposition d'autres galets ou des aspérités du fond, il intervienne un nouvel arrêt, lequel finit par disparaître à son tour et ainsi de suite. "

Les mouvements des galets sur le fond des fleuves sont toujours petits. Un entraînement général de gros matériaux ne peut avoir lieu que là, où le courant acquiert une grande intensité, et où l'action de sa masse devient prépondérante.

Pareil phénomène se constate dans les gorges des torrents des Alpes; les alluvions entraînées, par les pluies, des flancs ravinés des montagnes, s'accumulent dans le bassin de réception que ces torrents présentent à leur partie supérieure; pendant les grandes crues, elles s'échappent par la gorge, faisant suite au bassin de réception, et forment plus loin le cône de déjection, auquel correspond la plaine du cours d'eau; or la pente dans les gorges étant généralement très rapide, il se produit dans celles-ci un transport de masse, capable d'entraîner dans sa marche des débris de dimensions relativement considérables (*).

On comprend que les fleuves dont les thalwegs conservent sur tout leur parcours une forte inclinaison, peuvent amener jusqu'à leur embouchure des graviers et des galets; mais lorsqu'ils traversent des contrées peu inclinées, ces matériaux se déposent évidemment avant d'arriver à la mer; il en est de même des gros sables, de sorte que celle-ci ne reçoit alors que les sables fins et les limons.

Pendant les crues intenses, alors que la vitesse de l'eau s'accroît en même temps que son volume, les quantités de matières entraînées peuvent atteindre de fortes proportions et comprendre dans certains cas des matériaux de dimensions exceptionnelles.

Les expériences de Telford ont donné comme vitesses nécessaires pour corroder le fond des cours d'eau les valeurs indiquées à la page suivante.

(*) M. l'Ingénieur Du Boys a établi la formule $F = \Pi H I$ pour mesurer l'intensité de la force d'entraînement d'un courant, rapportée à l'unité de surface du lit; Π est le poids de l'unité de volume du liquide formant le courant, H la profondeur et I la pente. Partant de cette formule, M. Graëff, dans son traité d'hydraulique, pose $HI = BV^2$, en supposant le mouvement uniforme, ce qu'on peut admettre avec une certaine approximation pour l'étale des crues à leur maximum et lorsque la largeur du lit est très grande par rapport à la hauteur d'eau; B est un coefficient variant avec la rugosité du lit, et V la vitesse moyenne du courant. L'expression précédente devient ainsi $F = \Pi BV^2$, c'est à dire que la force d'entraînement est proportionnelle à la densité du liquide du courant et au carré de sa vitesse.

Roches du fond.	Vitesse par seconde.
Terre détrempée.	0 ^m ,076
Argile tendre.	0 ^m ,152
Sable	0 ^m ,305
Gravier	0 ^m ,609
Cailloux	0 ^m ,914
Pierres cassées	1 ^m ,220
Cailloux agglomérés }	1 ^m ,520
Schiste tendre }	
Rocher en couches	1 ^m ,830
Rocher dur	3 ^m ,050

Dans les mers sans marées et offrant des côtes peu profondes, les atterrissements s'accumulent rapidement à l'embouchure des fleuves et finissent par l'obstruer; puis ils s'étendent vers le large en se bifurquant, pour constituer à la longue des deltas. C'est que dans ces mers, les chenaux d'issue des eaux qui s'y déversent ne sont creusés et maintenus qu'en raison du débit du fleuve, et que les matières entraînées de l'amont n'y subissent pas l'action d'autres courants.

Les saillies des deltas augmentent sans cesse et l'on peut, dans la plupart des cas, suivre leur développement d'année en année. Le delta du Mississipi, le plus grand fleuve de l'Amérique septentrionale et qui débite, pendant les fortes crues, 34,000 mètres cubes par seconde, a une étendue considérable formée entièrement de terrains peu consistants; il avance annuellement de 60 mètres en moyenne.

On évalue à 21,000,000 de mètres cubes la quantité de limon et de sable versés chaque année à la mer par le Rhône, et dont la plus grande partie s'arrête à l'embouchure; ces dépôts d'alluvion y augmentent sans cesse jusqu'à ce qu'ils émergent pour constituer finalement une terre ferme reliée à la côte et aux rives du fleuve. C'est ainsi que se sont formées les plaines d'Arles et d'Aiguesmortes, ainsi que l'île de la Camargue, et l'on voit encore aujourd'hui le delta du Rhône, dont la ligne littorale n'a pas moins de 120 kilomètres de développement, s'allonger régulièrement.

La superficie des deltas dépend évidemment de l'importance des fleuves auxquels ils appartiennent, de la composition des terrains que ces fleuves traversent, et aussi des conditions géologiques qui caractérisent le rivage à l'embouchure. Lorsque la côte y est profonde, les deltas se forment plus difficilement, et il y a même des fleuves débouchant dans des mers sans marées qui n'en ont pas.

Quand il s'agit de fleuves à marées, le caractère des atterrissements que l'on rencontre à l'entrée est différent. Là les dépôts d'alluvion ne font généralement pas saillie sur le rivage, mais se réduisent à un ensemble de bancs et de passes occupant parfois une grande surface. Cette différence résulte précisément de

l'existence du flux et du reflux, qui tendent continuellement à creuser les hauts-fonds de l'embouchure et sont cause que les matières fines, amenées par le fleuve, ne peuvent s'y déposer et s'y accumuler librement. La puissance de ces hauts-fonds et la profondeur des passes qu'ils comprennent, sont encore, dans chaque cas, en rapport avec le régime du fleuve, mais aussi avec le régime de la côte à l'endroit où il se jette dans la mer.

Il est aussi de grands cours d'eau, tels que le Gange et l'Irrawady qui se déversent dans des mers à marées par des deltas. C'est que ces fleuves, outre que les eaux en sont très chargées, ont un débit considérable, comparativement à l'importance de la marée, de sorte qu'on se rapproche des conditions existant à l'embouchure des fleuves sans marée.

En terminant ce paragraphe relatif à la marche des alluvions, et pour résumer brièvement les conditions suivant lesquelles se répartissent, d'une manière générale, les dépôts actuels de la mer, y compris les apports amenés par les fleuves qui s'y déversent, disons que les débris grossiers, galets, graviers et sables ne se rencontrent qu'à la partie supérieure des plages; ces éléments, à chaque instant soulevés et remués par la houle, subissent des frottements continuels; ils participent en même temps au mouvement de translation des couches d'eau inférieures, et cheminent lentement sur le fond pour s'arrêter dans les endroits où les plus fortes vagues n'ont plus assez de force pour les déplacer. A cette première zone succède une autre zone de sables fins, qui ont pu être tenus en suspension dans les eaux et déposés plus au large; puis viennent les zones couvertes de vases, lesquelles, après avoir été promptement délayées par la houle et s'être dissoutes pour ainsi dire dans la masse des eaux, sont entraînées à de grandes distances par les courants. Plus loin enfin, dans les parties profondes des mers, on trouve les oases et les craies, composées en grande partie de débris d'infusoires, mélangés à des éléments minéraux impalpables.

IV. — EROSIONS DES CÔTES DE LA MANCHE. — MARCHE DES ALLUVIONS DANS LA MANCHE, LE PAS DE CALAIS ET LA PARTIE MÉRIDIONALE DE LA MER DU NORD.

Les côtes granitiques de la Bretagne, de même que celles du Cornouailles, quoique très dures et très résistantes, subissent cependant des érosions fort apparentes, ainsi qu'il est constaté par les blocs que l'on trouve à leur pied et qui proviennent de la destruction des parties avancées. Les vagues repoussent ces blocs, ainsi que les galets, les graviers et les sables dans les anfractuosités rentrantes et y forment des cordons littoraux.

La composition minéralogique des gros fragments, blocs et galets, indique d'ailleurs qu'ils proviennent des roches environnantes; dans les graviers, les éléments s'isolent et proviennent en général de points plus éloignés; on y distingue surtout le quartz, le feldspath et les micas; dans les sables fins, le quartz hyalin est l'élément dominant, mais il renferme aussi en beaucoup d'endroits des calcaires, bien que la contrée en soit dépourvue. Cette particularité doit être attribuée aux innombrables mollusques des côtes de la Bretagne, qui s'assimilent une partie des calcaires, amenés par les courants des falaises de la Normandie et dissous ou tenus en suspension dans les eaux; leurs débris se mélangent aux dépôts littoraux et donnent lieu à des tangues riches en carbonate et phosphate de chaux, connues sous le nom de *traëz*.

Les végétaux nullipores, qui croissent en abondance le long du littoral de la Bretagne et dont le développement paraît être favorisé par les sables feldspathiques, ont également la faculté d'absorber une partie des calcaires contenus dans les eaux, et leur mélange avec les sables constitue pour les terres du littoral un véritable engrais, désigné sous la dénomination de *maërl*⁽¹⁾.

Le long du Cotentin, l'action érosive de la mer n'est pas moins importante; son effet se fait surtout sentir dans la baie du mont Saint-Michel, où l'accumulation des sables enlevés des côtes rocheuses tend constamment à augmenter la largeur de la zone littorale remblayée. M. l'Ingénieur Marchal évalue à 600,000 mètres cubes l'apport des sables qui se fait annuellement dans cette baie⁽²⁾; leur mélange avec les débris de coquilles y produit encore des tangues très abondantes, dont la proportion de calcaire atteint sur certains points, de 50 à 60 pour 100.

On rencontre aussi des tangues sableuses sur les côtes du Cornouailles et du Devonshire; elles y présentent une composition analogue à celles du littoral français, et sont exploitées sur une vaste échelle pour servir à l'amendement des terres.

Les érosions sont beaucoup plus considérables sur les côtes du Calvados et de la Seine-Inférieure, et sur les côtes sud d'Angleterre, depuis le Dorset jusqu'au Kent, lesquelles sont formées par des terrains tertiaires très friables, ou par des terrains secondaires d'une résistance bien moindre que les roches de transition schisteuses et métamorphiques et les roches granitiques.

M. Bouniceau évalue au chiffre minimum de 0^m,25 l'épaisseur de la tranche de falaise enlevée chaque année le long du Calvados et, d'après M. Lamblardie, le rivage de la Seine-Inférieure serait rongé annuellement de 0^m,30 en moyenne.

(1) BURAT. Ouvrage cité.

(2) *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1854.

La destruction causée par la mer sur la côte d'Angleterre ne paraît pas être moins active que sur la côte de France.

En prenant ces données pour base et en évaluant approximativement, d'après la longueur et la hauteur moyennes des falaises, le volume total des matières enlevées chaque année sur les deux rives de la Manche, dans l'étendue des côtes précitées, on obtient le chiffre de 10 à 12 millions de mètres cubes qui vont s'ajouter régulièrement aux dépôts littoraux et sous-marins.

Les études de M. Lennier tendent cependant à démontrer que l'appréciation de M. Lamblardie sur le degré de destruction des falaises, est exagérée. Il se produit sans doute de grands éboulements en certains points, tels que le cap la Hève et le cap Antifer, qui, par suite de leur position avancée et de leur composition, sont plus exposés à l'action destructive de la mer et des agents atmosphériques. Au cap la Hève, la désagrégation des roches est principalement due à l'influence des eaux pluviales. Ces eaux s'infiltrant dans les calcaires crayeux de la partie supérieure, puis dans les sables inférieurs; arrêtées par les argiles kimmériennes, elles s'écoulent du côté de la mer, entraînant peu à peu une partie des sables, jusqu'à ce que la falaise, déjà crevassée, ne trouve plus de soutien suffisant, s'écroule et projette ses débris sur la plage. Au cap Antifer, les éboulements ont lieu dans des conditions différentes. Le pied du rocher y est formé par la craie marneuse; celle-ci se délite et se creuse par suite du battement continuel des lames, de manière à faire surplomber de plus en plus la craie blanche de la partie supérieure, qui finit par se détacher et par glisser jusqu'à la base.

Mais les falaises formées entièrement de craie plus ou moins compacte et qui, grâce à leur homogénéité, sont à l'abri de l'infiltration des eaux, comme les falaises situées au sud de Dieppe, résistent beaucoup mieux à l'action des vagues, et les éboulements y sont rares. Il en est de même de celles que l'on rencontre vers Cauville; le pied en est précédé d'une espèce de terrasse, formée par les argiles et les calcaires kimmériens, et qui s'avance de plus de 100 mètres sur le rivage. Cette terrasse offre une grande résistance et est seule attaquée par la mer.

« Si je devais estimer la destruction annuelle de nos falaises, dit M. Lennier, « je croirais être près de la vérité en disant que, si l'on répartissait sur toute « la longueur les parties éboulées annuellement, on reconnaîtrait qu'elles ne « formeraient qu'un ruban de 20 à 25 centimètres de largeur, *dans les années* « *où les éboulements sont considérables.* »

Voyons quelle est la marche des alluvions provenant de la destruction des côtes de la Manche et quelle est leur influence sur les fonds sous-marins situés de l'autre côté du détroit.

Nous savons que les galets et les gros débris ne se meuvent pas en dehors de la zone qui s'étend au pied des rivages ; ils y obéissent presque exclusivement au choc des lames, en se déplaçant en zigzag. Soit AB la ligne de la côte en plan (Pl. II, fig. 7) ; lorsqu'une lame se propage obliquement vers la rive dans la direction mn , le galet porté de m en n redescend avec l'eau suivant la ligne de plus grande pente nm' du talus, d'où il est repris par la lame qui suit et transporté en n' et ainsi de suite ; il se déplace donc successivement, dans le sens parallèle à la plage, des quantités nn' , $n'n''$, etc. Le maximum de vitesse de transport paraît se produire lorsque la lame est inclinée à 45° sur la côte⁽¹⁾

Roulés et transportés sans cesse par les vagues, tantôt dans un sens, tantôt en sens opposé, les galets avancent en définitive dans la direction des vents régnants qui, dans les parages de la Manche, soufflent de l'ouest⁽²⁾ ; et lorsqu'ils rencontrent dans leur marche un obstacle BC transversal à la côte, soit une pointe avancée naturelle, soit un épi ou une jetée artificielle, ils s'accumulent dans l'angle ABC, où la plage prend bientôt la forme EF. Si l'obstacle présente peu de saillie, les galets le contournent rapidement ; si au contraire il s'avance à une distance suffisante du rivage, pour déboucher dans des fonds où l'action de la lame n'est plus guère sensible, la plage se développe du côté des vents régnants, tandis que de l'autre côté, les galets continuent leur mouvement le long de la côte, sans que de nouveaux apports viennent les remplacer, et ils doivent par conséquent y diminuer sans cesse.

Les plages à galets de la Normandie ne s'étendent pas beaucoup au delà des dernières falaises exposées à la mer, qui se trouvent au bourg d'Ault ; immédiatement à l'est de ces plages, on rencontre les sables de la baie de la Somme. A une époque reculée, la Somme coulait au pied des rochers reliant Saint-Valéry à Ault ; mais les galets rejetés par la mer, dans leur marche du sud-ouest au nord-est, la refoulèrent peu à peu vers le nord et formèrent le vaste terrain d'alluvion situé devant cette ligne de falaises, et terminé au nord-est par la pointe du Hourdel, pendant que les sables rétrécirent la baie sur la rive opposée. La pointe du Hourdel, qui n'a jamais été dépassée par le galet, se trouvait encore au XVII^e siècle à 3 kilomètres au sud de sa position actuelle ; elle n'avance plus guère aujourd'hui, mais la baie de la Somme n'en continue pas moins à s'ensabler⁽³⁾.

(1) DE BAUVE. *Manuel de l'Ingénieur*.

(2) On appelle « vents régnants » d'une contrée, ceux qui y soufflent plus souvent que les autres, et « vents dominants » ceux qui y acquièrent le plus d'intensité.

(3) *Les ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur GEOFFROY.

Sur le littoral anglais, les galets se déplacent aussi de l'ouest vers l'est; ils se sont accumulés en grande quantité près de l'ancienne île de Portland et y forment une levée d'environ 26 kilomètres de longueur, le *Chesilbank*, qui s'étend à peu près parallèlement au rivage et relie la presqu'île à la côte. Plus loin, et presque en face de la pointe du Hourdel, se trouve la pointe de Dungeness, qui est des plus remarquables.

Elle provient de l'accumulation des galets enlevés des falaises de grès, qui bordent le littoral aux environs de Hastings; sa saillie sur la ligne générale de la côte est de plus de 4 milles.

Sir John Coode, qui s'est occupé spécialement de l'étude des phénomènes relatifs à la destruction des falaises et au mouvement du galet le long de cette partie de la côte anglaise, a fait voir que la pointe de Dungeness s'est avancée de 530 pieds, depuis l'année 1792 jusqu'en 1850, soit en moyenne de 9 pieds par an; tandis que depuis 1850 jusqu'en 1871, l'avancement a été de 280 pieds, soit d'environ 13 à 14 pieds en moyenne par an; le développement de la plage se fait sentir à une distance considérable à l'ouest de la pointe, mais à une distance très faible du côté opposé.

C'est à l'influence de la saillie de Dungeness, laquelle constitue une entrave à la marche régulière du galet, que l'on doit attribuer la diminution de cette alluvion le long des plages situées à l'est; cette diminution se constate jusque dans la baie de Sainte-Marguerite et les parages de Douvres. En certains points, elle est tellement prononcée que la mer y attaque directement les falaises et menace d'empiéter sur le rivage.

Dans la baie de New-Romney et sur les plages de Dymchurch, de Hythe et de Sandgate, on ne rencontre que des galets de peu d'épaisseur et beaucoup plus de sable; car ce n'est qu'après avoir été réduits à de très faibles dimensions par suite des ballottements et des frottements incessants, que les débris parviennent à contourner la pointe de Dungeness et à continuer leur mouvement vers l'est, en abandonnant en même temps une partie de leurs molécules à l'état de gravier ou de sable.

Sur la côte sud-est d'Angleterre, le régime du galet s'éteint près de Sandwich, à 9 kilomètres environ au delà des dernières falaises de South-Foreland.

En voyant la quantité considérable de galets qui se trouvent généralement au pied des falaises, on est porté à croire à une production rapide de ces matériaux. Mais il ne faut pas perdre de vue que les amas de galets sont le résultat d'effets séculaires, et les observations qui ont été faites en plusieurs points, prouvent qu'ils ne se forment qu'avec beaucoup de lenteur. Comme nous venons de le voir, la pointe de Dungeness, où le galet provenant des falaises

d'Hastings s'accumule d'une manière exceptionnelle, n'a avancé en effet que de 9 pieds en moyenne par an de 1792 à 1850, et de 13 à 14 pieds en moyenne de 1850 à 1871. De même, la pointe du Hourdel qui arrête le galet amené des côtes de la Normandie, n'avance plus guère aujourd'hui, et sa position est restée sensiblement la même depuis 1833, époque à laquelle on a construit un quai en charpente et une digue en pierrailles, pour abriter le port du Hourdel.

D'autre part, la quantité de galets enlevés chaque année à l'ouest des jetées de plusieurs ports de la côte de Normandie, suffit pour faire disparaître l'encombrement produit par cette alluvion à l'entrée des chenaux, et celui-ci ne se renouvelle qu'à la suite d'une série continue de coups de vent de l'ouest. Tel est le cas pour Dieppe, où le volume enlevé annuellement n'est cependant pas très considérable; M. Lamblardie n'estimait qu'à 24000 mètres cubes, en moyenne, la masse de galets qui passe par an, de l'ouest vers l'est, devant ce port.

Citons encore l'exemple du port de Fécamp, où les pouliers qui obstruaient le chenal ont cessé de se former depuis que la jetée sud a été prolongée; ce prolongement date de 1850, et, à partir de cette époque, on a observé ce fait remarquable que, près du chenal, la laisse des basses mers tend plutôt à reculer qu'à avancer, par suite de circonstances locales spéciales, auxquelles viennent en aide les enlèvements de galets nécessaires au lestage des navires⁽¹⁾.

Il est certain aussi que la durée du galet, variable évidemment suivant la nature des roches dont il est formé, est généralement beaucoup plus grande qu'on ne le suppose. Ceux qui sont composés de matières dures et tenaces, telles que le quartz, le granit de la Bretagne et le silex de la Normandie, peuvent résister longtemps aux chocs et aux frottements mutuels, de sorte que leur renouvellement n'a pas besoin de se faire rapidement pour produire à la longue des accumulations considérables le long des plages.

Tandis que les galets ne se meuvent guère en dehors de la zone attenante au rivage, là où l'agitation des eaux est grande, les graviers et les sables provenant des érosions de la côte et du frottement mutuel des galets et des gros débris, descendent sur les parties basses de l'estran et continuent à y être soulevés et déplacés par les lames; et quand les sables sont suffisamment fins, ils sont entraînés vers les fonds du large, où ils subissent plus particulièrement l'action des courants. Les matières ténues, comme les argiles et les molécules de craie, sont plus facilement emportées encore, et transportées avec la masse des eaux qui les tient en suspension.

(1) *Ports maritimes de France*. Notice de M. l'Ingénieur RENAUD.

Examinons ce qui se passe sous ce rapport dans les parages de la Manche, du Pas de Calais et à l'entrée de la mer du Nord, en commençant par la zone centrale, où les courants sont directement alternatifs, et entraînent par conséquent les matières en suspension tantôt dans un sens, tantôt dans un sens opposé.

Nous avons vu que dans cette zone, comme dans les zones littorales d'ailleurs, la vitesse maximum du courant de flot, en temps calme ou sous l'influence de brises légères, est généralement supérieure à celle du courant de jusant, tandis que la durée du flot est en chaque point moindre que celle du jusant. Avec ces conditions de vitesse et de durée respectives, il serait difficile de conclure quel est l'effet que les courants doivent, en définitive, produire sur les matières contenues dans les eaux, ainsi que sur les sables du fond qu'ils charrient constamment dans le sens de leur mouvement.

Mais les courants de marée subissent aussi l'influence des vents. Dès que le vent souffle avec quelque force de la région de l'ouest, le courant de flot acquiert une grande prédominance, du moins dans les couches supérieures de la nappe liquide; l'inverse a lieu quand le vent souffle de la région de l'est. Par des vents d'aval violents, coïncidant avec de petites marées, on voit le flot durer presque constamment, mollissant ou renversant à peine, pour reprendre ensuite avec plus de force. Il en est de même pour le jusant par de forts vents de l'est. Et comme les vents d'aval sont les vents régnants, ils tendent à déterminer, vers cette dernière région, un excès de transport des sables fins et des vases, qui se trouvent en suspension dans les eaux de la mer.

La prédominance de transport vers l'est s'accroît davantage encore, à cause de cette circonstance que, pendant le flot, qui a lieu entre la mi-montée et la mi-baissée en passant par le plein, le volume d'eau mis en mouvement est beaucoup plus grand que pendant le jusant, et aussi parce qu'une même masse d'eau, à mesure qu'elle avance vers le nord sous l'influence du flot, arrive dans des régions où la durée de ce courant se prolonge, tandis que les eaux entraînées par le jusant rencontrent successivement des régions où ce dernier courant cesse plus tôt.

Cet effet de l'action combinée des courants et des vents, tendant à transporter définitivement, dans le sens du courant de flot, les matières que les eaux de la mer contiennent, est parfaitement constaté dans la Manche, dans le Pas de Calais et à l'entrée de la mer du Nord; il est désigné sous la dénomination de *gain de flot*. On comprend toutefois que les alluvions qui nous arrivent ainsi de l'autre côté du détroit, après avoir été prises et reprises par les courants de

flot et de jusant, mettent un temps fort long à parcourir leur trajet ; et ce temps varie nécessairement suivant que l'intervention du vent accentue plus ou moins énergiquement la prédominance du premier de ces courants sur le second. L'effet du gain de flot doit du reste être peu prononcé en ce qui concerne les gros sables du fond, car ceux-ci ont trop de densité pour se mêler à la masse des eaux, comme c'est le cas pour les vases et les vases sableuses⁽¹⁾ ; ils sont plutôt roulés par les courants sur le lit de la mer, et ne se déplacent que par de petits mouvements successifs, dans des conditions analogues à celles qui caractérisent les déplacements des galets et dont nous avons parlé au paragraphe précédent. Dans la zone du large, ces sables lourds ne se meuvent donc guère en dehors de la couche d'eau qui court sur le fond, et l'influence exercée par le vent sur la prédominance de l'un des courants de marée relativement à l'autre, ne peut plus être bien sensible à cette profondeur.

Dans les zones littorales les courants sont giratoires, mais le flot et le jusant, pendant la plus grande partie de leur durée comprenant la période où ils ont le plus d'intensité, sont dirigés vers des régions comprises respectivement entre l'est et le N. E. et entre l'ouest et le S. O. ; et sous l'influence des vents régnants de l'ouest, ils doivent tendre également à provoquer un transport résultant vers l'est, surtout en ce qui concerne les sables fins et les vases.

Pendant la période où les courants effectuent leur mouvement de giration, et changent peu à peu de direction, en parcourant successivement toutes les aires du compas et en tournant de gauche à droite ou de droite à gauche, suivant que l'on considère la côte anglaise ou la côte du continent, ils donnent lieu à des échanges continuels et alternatifs de matières entre les dépôts du large et ceux du rivage.

Ainsi, le long de notre littoral, où les courants sont giratoires inverses, le flot porte vers la terre pendant la première période de son mouvement, en même temps que la mer monte sur le rivage ; il passe ensuite par son maximum de vitesse, en continuant son parcours orbitaire, et étale enfin vers le large ; les

(1) Pour des côtes alluvionnaires comme celles existant à l'entrée de la mer du Nord, le long des Flandres et de la Hollande, on classe d'ordinaire les alluvions en deux catégories bien distinctes : les sables et les vases ; mais outre que les sables et les vases proprement dites varient beaucoup dans leurs caractères physiques et minéralogiques, il n'existe évidemment pas de limite précise entre ces deux espèces d'alluvions. La distinction s'établit surtout au point de vue de la ténuité des matières dont elles sont composées ; le sable est considéré comme formé de grains apparents, sensibles au toucher ; il prend le nom de gravier lorsque ces grains sont grossiers. La vase se compose principalement d'argile, dont les éléments alumineux et siliceux se trouvent à l'état de particules microscopiques. Entre ces deux espèces d'alluvions, viennent se ranger, par ordre de ténuité, une série de sables vaseux et de vases sableuses qu'il n'est pas possible de définir ; le sable siliceux ou calcaire peut même être formé de particules d'une finesse telle qu'il prend des caractères physiques analogues à ceux de la vase argileuse.

matières mises en suspension sur les plages pendant la marée montante, tant par les courants eux-mêmes que par l'agitation résultant de l'action du vent, sont entraînées à une certaine distance de l'estran et vont se déposer, en partie, sur les plateaux et principalement dans les passes qui s'étendent devant la côte. Mais à l'étalement de flot succède presque immédiatement le courant de jusant, qui augmente peu à peu d'intensité pendant que la marée descend, et porte ensuite vers la terre pour étaler aussi dans cette direction. Les matières ténues soulevées par les courants ainsi que par les lames, lesquelles agissent avec intensité au-dessus des parties peu profondes de la terrasse sous-marine bordant le littoral, sont donc ramenées vers les plages, où elles tendent à se déposer au moment de l'étalement⁽¹⁾.

Les transports d'alluvion, occasionnés par les courants giratoires, ne paraissent donc pas devoir modifier sensiblement la situation définitive des fonds sous-marins des zones littorales, si ce n'est aussi dans le sens d'un accroissement des dépôts à résulter de l'effet du gain de flot. Toutefois remarquons encore ici que dans ces transports, il s'agit plus particulièrement des matières extrêmement fines, telles que les vases et les sables vasards, qui flottent dans la masse des eaux et qui sont entraînées par les courants, même quand ceux-ci, en se rapprochant des régions vers lesquelles ils s'étalent, ont notablement diminué d'intensité.

Nous verrons plus loin, par l'étude des changements survenus depuis plus de trois quarts de siècle dans les bancs et les passes de la côte de Belgique, que l'influence du gain de flot sur les atterrissements de ces parages maritimes ne se fait sentir qu'avec une extrême lenteur. Le même fait a été signalé par M. l'Ingénieur de la Roche-Poncié pour la côte nord de France, entre Calais et la frontière de Belgique, à la suite d'une reconnaissance hydrographique effectuée en 1861⁽²⁾, et il ne présente rien d'anormal; car les quantités d'alluvions qui sont fournies annuellement par les érosions des côtes de la Manche, et auxquelles viennent s'ajouter les apports fluviaux, sont peu considérables, comparées à l'énorme étendue des estrans et des fonds de la mer sur lesquels ces matières se répartissent, sous la double action des courants et des vents. Et si la forme allongée des bancs que l'on rencontre à l'entrée de la mer du Nord, de même que leur orientation par rapport à la direction des courants de flot et de jusant, peuvent faire présumer que les dépôts alluvionnaires de ces parages maritimes sont nourris par les transports dus au gain de flot, il est certain, d'autre part, que ces dépôts ne peuvent être que le résultat d'effets millénaires, et que la

⁽¹⁾ PLOCQ *Annales des Ponts et Chaussées*, année 1863. Mémoire cité.

⁽²⁾ *Recherches sur le régime hydrographique des côtes*. Deuxième cahier.

formation des bancs qu'ils comprennent remonte sans doute à une époque de la période quaternaire antérieure à la dernière transformation de notre littoral.

Les additions lentes d'alluvions qui proviennent, pour la région méridionale de la mer du Nord, de l'action du gain de flot, s'observent d'ailleurs principalement dans les grands fonds du large et dans les passes plus ou moins abritées longeant la côte ; cette circonstance résulte précisément de ce que les matières qui arrivent de l'autre côté du Pas de Calais, se composent en majeure partie de vases et d'argiles, ainsi que de sables devenus de plus en plus fins pendant ce long trajet, et ne se précipitent que dans les endroits où, par suite de la grande profondeur de la nappe d'eau ou de la situation abritée du fond, il existe un degré de calme suffisant dans les couches liquides inférieures.

Dans la partie de la mer du Nord située aux environs du littoral des Flandres, il se produit aussi des effets de " gain de jusant " sur le flot, par rapport à la transmission de l'onde venant du détroit, ou en d'autres termes, des effets de gain de flot dus à l'onde du Nord sur le jusant correspondant, et qui doivent s'accroître surtout par les périodes de vents du N. au N. E.

On s'explique ainsi l'existence des dépôts de vase et de sable vasard si abondants qui se trouvent tout le long de ce littoral, et plus encore dans les estuaires de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin, où l'existence des passes et des fausses passes de l'embouchure favorise la précipitation des matières entraînées. Dans ces parages, la mer est grise ou jaunâtre et ressemble, après les temps de houle surtout, à une immense vasière offrant aux marins un singulier contraste avec la nappe liquide, d'une teinte bleue et claire, qui couvre l'océan.

Ajoutons que les alluvions amenées par des fleuves comme ceux qui débouchent sur la côte des Flandres, n'interviennent que pour une faible part dans les atterrissements existant à l'embouchure ; car, par suite du peu de pente que ces cours d'eau offrent dans leur partie aval, les matières ténues arrivent seules jusqu'à la mer ; elles y sont mélangées aussitôt à une énorme masse d'eau par l'action des courants et des vagues, et entraînées en grande partie vers le large. Pour de pareils fleuves, le volume total des apports n'est du reste pas très considérable. D'après des observations de M. Marchal, le cube de matières charriées par la Seine n'excéderait pas 368000 mètres cubes par an, et les recherches de cet ingénieur concernant la puissance d'apport de la Meuse, de l'Escaut et du Rhin, l'ont conduit à conclure que la proportion qui existe dans la formation des polders de la Hollande, entre l'apport fluvial et l'apport maritime, est inférieur à $\frac{1}{45}$ ⁽¹⁾.

Les courants de marée étendent leurs effets jusque sur les estrans et y

(1) *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1854, mémoire cité.

produisent également des transports d'alluvions dans le sens de leur mouvement ; mais les vagues qui y circulent concurremment avec les courants, exercent sous ce rapport une action prédominante et qu'il importe de bien distinguer, suivant qu'il s'agit de vagues se propageant par des vents modérés ou de celles soulevées par les tempêtes.

On se rappelle qu'en temps ordinaire, les lames, en s'approchant du rivage par des couches d'eau de moins en moins profondes, se propagent comme si elles étaient animées d'un mouvement de translation horizontal, et qu'elles y subissent aussi un transport de masse dû à l'effet du vent ; elles ont donc pour effet d'entraîner peu à peu les sables de l'estran sous-marin vers la partie supérieure des plages, et cet effet d'entraînement est accentué encore par la poussée de l'eau qui s'étale sur la grève, au moment du déferlement des lames, à marée montante surtout. Les lames en retour, en beau temps, ne ramènent qu'une partie des sables entraînés, de sorte que les plages s'engraissent et se relèvent⁽¹⁾.

Mais pendant les tempêtes, les vagues viennent se briser avec impétuosité dans toute l'étendue de l'estran et y remuent profondément le sable ; et comme les lames en retour, qui agissent par le fond, acquièrent alors une très grande puissance, leur action devient prépondérante sur celle des lames directes, et elles entraînent les matériaux soulevés vers l'estran sous-marin ; d'autre part, pendant les gros temps du large, l'eau s'accumule sur le rivage et il s'y produit, à marée baissante, des courants de descente qui interviennent énergiquement pour emporter les sables accumulés sur les zones élevées de la plage au delà de la laisse des basses mers ; il arrive même que les lames de tempête ne balayent pas seulement les sables de l'estran, mais qu'elles entament aussi les dunes en les coupant à pic sur une épaisseur plus ou moins notable.

Cet effet des vagues de tempête se constate nettement sur nos plages ; celles-ci sont généralement amaigries en hiver, et se reforment pendant la période des temps calmes qui suit. Lorsqu'on se trouve en présence d'une côte où, par suite de circonstances hydrographiques spéciales, l'estran a peu de largeur et est précédé d'un talus sous-marin à forte pente, les apports de sable qui, en temps ordinaire, doivent nourrir la plage, sont très restreints, et ils sont en outre beaucoup plus vite repris par les lames de grosse mer ; ces dernières tendent alors à rompre l'équilibre entre les apports du large et les sables enlevés de l'estran et de la dune, au point d'envahir le rivage.

⁽¹⁾ Voir Chap. I, page 63.

Les vents, on le sait, exercent aussi une influence directe sur l'état des plages. Ceux du large chassent devant eux les sables de la partie de l'estran qui tombe à sec à marée basse, et les accumulent à la partie supérieure de ce dernier, où ils servent à entretenir les dunes ou à former des dunes nouvelles. Mais comme le vent souffle le plus souvent suivant une direction inclinée par rapport à la ligne générale des côtes, les sables qu'il soulève sont entraînés en outre le long de la plage, tantôt en un sens, tantôt en sens opposé, et évidemment d'une manière prédominante dans le sens déterminé par les vent régnants.

Il n'existe d'ordinaire pas de trace de dépôts de vases sur les estrans qui sont recouverts régulièrement par la marée; ces matières y sont continuellement mises en suspension par l'agitation des eaux et entraînées avec la mer descendante. Sur les côtes où les vases sont abondantes, on en rencontre cependant, après quelques jours de temps calme, dans les sillons plus ou moins profonds dont la plage est labourée par l'effet des courants; mais ces dépôts ne constituent que des couches superficielles de peu d'épaisseur et disparaissent dès que la mer devient houleuse. Les vases se déposent au contraire dans les zones plates situées à la partie supérieure des plages et qui, par suite de leur niveau surélevé, ne sont submergées que par les grandes marées; elles s'accumulent surtout très rapidement dans les espaces en libre communication avec la mer, tels que les anciennes baies et les criques, où l'agitation des eaux ne se fait plus que faiblement sentir, et les transforme lentement en terrains propres à l'agriculture, que l'on soustrait définitivement aux assauts des flots au moyen d'endiguements.

CHAPITRE III.

SITUATION HYDROGRAPHIQUE DE LA CÔTE DES FLANDRES DEPUIS CALAIS JUSQU'A LA FRONTIÈRE NEERLANDAISE. — ESTUAIRE DE L'ESCAUT ET PARTIE MARITIME DE CE FLEUVE JUSQU'A ANVERS.

I. — RÉGIME DES PLAGES.

La côte des Flandres, depuis Calais jusqu'à l'entrée de l'Escaut, offre partout les mêmes caractères généraux ; on y rencontre des estrans plus ou moins larges avec des bordures de dunes, et en arrière de celles-ci, des terres plates d'alluvions qui émergent par pentes très faibles, et présentent une grande uniformité.

Autrefois, toute la plaine basse comprenant la Zélande, une partie des Flandres et la province d'Anvers était couverte de vastes criques et de marais, et ressemblait plutôt, en beaucoup d'endroits, à une mer vaseuse où venaient se jeter les eaux libres et incertaines des contrées avoisinantes. Tour à tour envahie par les flots de tempête de la mer et submergée par les eaux d'inondation des fleuves, cette plaine essentiellement instable a dû subir, pendant des siècles, des changements continuels, modifiant plus ou moins profondément la configuration des cours d'eau et de leurs embouchures, ainsi que la disposition et l'étendue des bas-fonds de ces frontières maritimes.

Ce n'est qu'avec grande lenteur que les alluvions apportées de la mer et les débris terreux transportés par les débordements des fleuves, se sont accumulés dans ces espèces de vastes réservoirs, dont le fond s'est graduellement atterri et exhaussé jusqu'au-dessus de la surface de l'eau pour former à la longue des terres fermes plus ou moins continues, fractionnées par des coupures par où les eaux de la mer continuaient à pénétrer dans les marais et les lagunes de l'intérieur.

Parmi les principales criques et anses que l'on voit figurer sur les anciennes

cartes, nous citerons l'estuaire de l'Aa, dont la base s'étendait du cap Blanc-Nez à la frontière de Belgique et dont le sommet intérieur se trouvait à Saint Omer ; les moères de Furnes, actuellement converties en riches polders ; les diverses criques qui existaient dans les environs de Nieuport, de part et d'autre de l'Yser, de même que celles qui s'ouvraient près d'Ostende et se prolongeaient jusqu'à Oudenbourg et Eerneghem.

Vers l'époque de la domination romaine, toute la Zélande était encore formée de petites îles, séparées par de nombreuses criques et bras de mer ; ceux-ci comprenaient le Zwijn, qui fut fréquenté jusque vers la fin du XVI^e siècle par les grands navires de ce temps, ainsi que les embouchures de l'Escaut, de la Meuse et de la branche occidentale du Rhin, appelée Waal.

L'histoire fait mention de nombreuses inondations que les marées exceptionnellement élevées, accompagnées souvent de pluies continuelles, occasionnèrent sur le littoral des Flandres et de la Hollande.

Parmi les plus désastreuses, on cite celle de 1223, qui submergea une grande partie de la Frise, et celle de 1421, lorsque le Waal rompit ses digues en amont de Dordrecht et bouleversa une immense étendue de terrains, appelée le Biesbosch.

En 1334, 1337, et 1377, les îles situées aux embouchures de la Meuse, du Rhin et de l'Escaut, l'île de Walcheren notamment, subirent de grands ravages, de même que la partie de la côte, depuis Blankenberghe jusqu'à Ostende ; celle-ci fut encore fortement attaquée par les flots en 1477.

Au XVI^e siècle, l'assaut le plus violent de la mer eut lieu le 1^{er} novembre 1570 ; il jeta la dévastation sur une grande partie des côtes, depuis Calais jusqu'au Jutland, mais principalement sur celles de la Hollande, où il produisit des inondations terribles⁽¹⁾.

A partir de cette époque, les incursions de la mer, sur le littoral des Flandres, devinrent de plus en plus rares, grâce aux endiguements que l'on n'avait cessé d'étendre et de consolider et qui constituèrent finalement, avec la ligne des dunes, et aussi avec les écluses qui furent construites au débouché des cours d'eau, une barrière non interrompue contre l'envahissement de la mer.

Le long de ce littoral, les alluvions modernes forment une couche de terre argileuse grisâtre, quelquefois sableuse, qui se prolonge sur les rives de l'Escaut jusqu'à Anvers. Cette bande glaiseuse, protégée du côté de la mer par le cordon des dunes, est limitée à l'intérieur par des terrains qui sont presque partout

(1) BELPAIRE. *La plaine maritime depuis Boulogne jusqu'au Danemark.*

très sablonneux. La ligne de démarcation part des hauteurs bordant le bassin de l'Aa, longe d'assez près le canal de la Colme et comprend les moères de Furnes; elle se dirige ensuite vers Oeren, passe à Loo et Knocke, puis à Merckem, Woumen et Dixmude. Au delà de Dixmude, elle rentre vers l'intérieur suivant les rives du canal de Handzame, revient sur Beerst et Zevecote, et présente une nouvelle saillie entre Eerneghem et Ghistelles; plus loin, elle traverse les territoires de Westkerke, Oudenbourg, Stalhille, Damme, Aardenbourg, Assenede et passe près de Sas-de-Gand, pour suivre enfin les bords de l'Escaut jusque vers la Tête-de-Flandre, vis-à-vis d'Anvers.

La couche argileuse présente, dans le voisinage de la côte, une épaisseur variant en moyenne de 1^m,50 à 3^m,00; elle repose généralement sur une couche de tourbe, d'une épaisseur également variable, atteignant en certains endroits jusqu'à 4^m,50. En dessous de la tourbe, on trouve encore quelquefois de l'argile ou de la vase bleue, mais le plus souvent du sable fin.

Les couches de glaise et de tourbe s'étendent aussi au delà des dunes, car on les voit apparaître en certains points de la plage; et ce qui prouve que la tourbe doit même se prolonger en mer, et y affleurer à la surface de l'estran sous-marin, c'est que les vagues de tempête en rejettent fréquemment des débris sur le rivage.

A l'ouest de Dunkerque, l'épaisseur de la couche d'argile est d'ordinaire beaucoup plus faible qu'à l'est; on n'y rencontre plus de tourbe, sauf dans la petite vallée marécageuse et très étroite qui s'étend de Sangatte jusque vers Ardres.

Si l'on parcourt la côte de l'ouest à l'est, à partir des dernières falaises du Boulonnais, on rencontre d'abord les plages des environs de Sangatte, dont la largeur ne dépasse pas 500 mètres en moyenne; l'estran se rétrécit ensuite, mais devient plus large près de Calais, où il mesure 900 mètres environ le long du chenal du port. A l'est de celui-ci et jusqu'à la pointe de Walde, il acquiert un développement de 1300 à 1800 mètres, avec une inclinaison de 0^m,010 à 0^m,015 par mètre entre la laisse des plus basses mers de vive eau et la laisse des hautes mers de morte eau, et avec une inclinaison beaucoup plus faible, de 0^m,0015 à 0^m,002 par mètre, dans la zone comprise entre les laisses des hautes mers de morte eau et de vive eau; on y observe à la partie supérieure, principalement au droit de la pointe de Walde, une zone de sables mobiles dont le niveau dépasse à peine celui des hautes mers de vive eau ordinaires, mais qui est entièrement submergée dans les grandes marées. La largeur de la plage se réduit plus loin à 900 ou 1000 mètres, et les hautes mers de vive eau déferlent

près de la dune. Arrivé à une distance de 6 à 7 kilomètres de Gravelines, l'étendue de l'estran croît de nouveau et atteint de 1200 à 1300 mètres, avec une inclinaison de 0^m,010 à 0^m,015 par mètre dans la zone inférieure, jusqu'au niveau des hautes mers de morte eau; la zone supérieure, d'une largeur de 700 à 800 mètres, est presque horizontale; on y rencontre des dépôts argileux provenant des anciens écoulements de l'Aa.

De Gravelines à Dunkerque, l'estran mesure partout de 1200 à 1600 mètres, avec une inclinaison de 0^m,010 à 0^m,015 par mètre pour la superficie comprise entre la laisse des basses mers de vive eau et celle des hautes mers de morte eau, et avec une inclinaison presque nulle (0^m,001 à 0^m,0015) pour la partie qui est recouverte en vive eau seulement. La situation est différente cependant à la pointe de Gravelines; la dune présente, en cet endroit, une saillie assez notable sur la ligne générale de la côte, tandis que la laisse des basses mers se maintient suivant une direction sensiblement régulière, de sorte que l'estran n'y conserve que 450 mètres de largeur, avec une inclinaison à peu près uniforme de 0^m,010 à 0^m,012 par mètre jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau, où se trouve le pied de la dune.

Quant aux dunes qui bordent la côte depuis Calais jusqu'à Dunkerque, elles ont une largeur variant de 500 à 1500 mètres; leur hauteur par rapport au niveau des basses mers reste généralement comprise entre 15 et 25 mètres.

A l'est de Dunkerque et sur une distance de 1 kilomètre environ du chenal de ce port, l'estran a une largeur de 900 mètres avec une inclinaison de 0^m,007 à 0^m,008 par mètre pour la superficie comprise entre le niveau des basses mers de vive eau et celui des hautes mers de morte eau, et de 0^m,003 par mètre pour la zone supérieure; il se rétrécit ensuite rapidement et n'offre plus, sur la partie de la côte qui se termine à Nieuport, que 340 à 475 mètres de largeur, avec une inclinaison de 0^m,011 à 0^m,015 jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau; celle-ci s'arrête en moyenne à une distance de 30 à 40 mètres de la dune. (Pl. XVII).

Les dunes sont très puissantes entre Dunkerque et Nieuport; elles ont de 1200 à 2300 mètres de largeur et de 15 à 25 mètres de hauteur au-dessus de la marée basse. Il existe près de la frontière française, aux environs de la Panne, un monticule ayant 35 mètres d'élévation; c'est la plus haute dune de la côte de Belgique.

A l'est du port de Nieuport, la largeur de la plage est en moyenne de 360 mètres; elle diminue peu à peu lorsqu'on avance vers Middelkerke, où elle est réduite à 300 mètres; son inclinaison reste comprise entre 0^m,013 et 0^m,016

par mètre, et la laisse des hautes mers de vive eau se trouve à une distance du pied de la rive variant de 12 à 25 mètres. La plage se maintient sensiblement dans les mêmes conditions entre Middelkerke et Ostende; elle tend plutôt à s'y rétrécir en quelques endroits.

En ce qui concerne les dunes que l'on rencontre le long de cette partie de la côte, elles ont une largeur de 1000 à 1200 mètres de Nieuport à Westende; plus loin, elles deviennent moins puissantes et n'offrent plus que 350 mètres de largeur à Middelkerke, et 120 à 150 mètres entre Middelkerke et Mariakerke. Devant ce dernier village, elles ont une partie faible, de 50 mètres de largeur seulement, qui est protégée par l'ancienne digue dite : *d'Albertus*. Cet ouvrage avance de 35 mètres sur l'alignement des dunes avoisinantes; il est consolidé au moyen d'un revêtement en moëllons, précédé de deux épis en maçonnerie de briques et en fascinages, établis sur la plage. Entre la digue d'Albertus et celle existant devant la ville d'Ostende, les dunes ont une largeur moyenne de 130 mètres; leur talus est revêtu d'un perré en briques maçonnées, dont la partie située au droit du fort Wellington a été placée à 85 mètres en saillie du côté de la mer, en vue de l'aménagement des constructions à élever sur ces dunes.

La digue de mer d'Ostende, de 650 mètres de longueur, est déjà ancienne; elle comprend un perré en moëllons dont la construction date du commencement du siècle et qui avance de 160 mètres environ par rapport à la ligne générale des dunes. Comme la laisse des basses mers se maintient régulièrement jusqu'au chenal du port, l'estran n'a que 180 mètres de largeur devant la digue; il est défendu contre les affouillements par quatre épis en maçonnerie de moëllons.

Au delà d'Ostende et jusqu'à une distance d'à peu près 2 kilomètres de l'aubète *du Coq*, située sur le territoire de la commune de Nieuwmunster, l'estran conserve une largeur sensiblement uniforme, de 375 mètres en moyenne, avec une inclinaison de 0^m,013 environ par mètre dans la zone limitée par la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires; la largeur de la zone supérieure jusqu'au pied de la dune varie de 20 à 40 mètres. L'estran se rétrécit un peu en se rapprochant de l'aubète du Coq; il n'a en ce point que 320 mètres de largeur et les hautes mers y arrivent tout près de la dune. Passé l'aubète, sur une étendue d'environ 2 kilomètres, il semble plutôt s'élargir légèrement, pour se rétrécir ensuite de nouveau; sa largeur n'est plus que de 240 mètres devant le village de Wenduïne, où la côte présente une certaine saillie, connue sous le nom de *pointe de Wenduïne*. (Pl. XVII).

Entre Ostende et Wenduïne, la largeur des dunes varie de 150 à 875 mètres. A partir de ce village jusqu'à Heyst, les plages et les dunes deviennent

particulièrement amaigries et offrent tous les caractères d'un littoral qui tend à être envahi par la mer. C'est ainsi qu'entre la pointe précitée et Blankenberghe, les dunes se réduisent à un amas de sable, adossé contre la digue du Comte Jean, d'une hauteur de 12 à 15 mètres au-dessus du niveau des basses mers et d'une largeur de 20 mètres en moyenne à la base; elles sont protégées, près de Wenduïne, par un perré en briques de 600 mètres de longueur. La digue du Comte Jean, construite au XIV^{me} siècle, constitue en cette partie de la côte la principale défense contre les assauts de la mer; elle est entièrement formée de terre glaise et couverte en partie par le sable des dunes. Devant la station balnéaire de Blankenberghe, la dune est revêtue, du côté de la mer, et sur 1900 mètres de longueur, d'un perré maçonné en moëllons de Tournai, de construction récente; un pavement en briques maçonnées, de 18 mètres de largeur, est établi au niveau du couronnement du perré et sert de promenoir.

Les dunes de la partie de la côte comprise entre Blankenberghe et les écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de Schipdonck, qui débouchent à la mer près de Heyst, n'ont qu'une largeur moyenne de 40 à 50 mètres à la base, et beaucoup moins en plusieurs endroits (Pl. XVII). La digue du Comte Jean se trouve en arrière de ces dunes; elle en est séparée par des parties de terrains plats, situés sous le niveau des hautes mers et désignés sous la dénomination de *pannez*. Au delà des écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de Schipdonck, il existe un perré entièrement semblable à celui de Blankenberghe, d'une longueur totale de 1600 mètres, et se terminant à l'extrémité est du village de Heyst.

Dans toute l'étendue de la côte comprise entre Wenduïne et ce village, l'estran n'a en moyenne que 230 mètres de largeur, avec une inclinaison sensiblement uniforme de 0^m,018 à 0^m,020 par mètre; il est défendu contre l'action érosive de la mer par de nombreux épis en fascinages ou en maçonnerie.

Les dunes s'élargissent rapidement lorsqu'on quitte Heyst pour se rapprocher de Knocke; elles ont 300 mètres de largeur environ devant l'ancienne station du chemin de fer de Heyst, et près de 1500 mètres au phare de Knocke; leur hauteur varie de 15 à 25 mètres au-dessus du niveau des basses mers. A l'est de ce dernier village, elles se divisent en trois chaînes différentes, séparées par de vastes pannes et des parties de terrains cultivés. La première, située près de la mer, a environ 400 mètres de largeur et 13 mètres de hauteur moyenne; elle limite au nord les schorres sableux et les sables couverts d'herbe et d'argoussiers, qui s'étendent devant le polder du Hazegras et va rejoindre, en se rétrécissant et en s'inclinant vers le sud, la digue du nouveau polder Willem-

Léopold; la seconde, d'une largeur très variable, se trouve au sud de la première et va se terminer à la digue Saint-Paul; enfin, la troisième, de 150 à 200 mètres de largeur, longe les terres intérieures jusqu'au polder du Prince. (Pl. XVII).

Près de l'ancienne crique du Zwyn, il se forme une nouvelle dune, qui prend son origine à l'extrémité de la dune de mer de Knocke et s'étend déjà, suivant la direction de celle-ci, jusqu'à un point situé à 500 mètres environ du chenal de cette crique; ce bourrelet de sable a une largeur de 20 à 30 mètres et une hauteur de 6 à 7 mètres; on en favorise le développement au moyen de plantations d'oyats et d'épines.

L'estran situé à l'est du perré de Heyst a 250 mètres de largeur jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau, avec une inclinaison moyenne de près de 0^m,02 par mètre; il se rétrécit ensuite et n'a plus que 220 mètres devant le phare de Knocke; la dune avance légèrement en ce point par rapport à la direction générale de la partie de la côte comprise entre Heyst et le Zwyn. Au delà du phare de Knocke, la largeur de l'estran augmente rapidement et atteint plus de 600 mètres à l'extrémité de la nouvelle dune en voie de formation; la plage offre en cet endroit une inclinaison de 0^m,010 à 0^m,015 par mètre jusqu'au niveau des hautes mers de morte eau, et une inclinaison beaucoup plus faible dans la zone supérieure, de 350 mètres de largeur environ, qui se termine à la laisse des hautes mers de vive eau. La nouvelle dune se trouve au-dessus de cette zone, et derrière elle on rencontre les relais limoneux de l'ancien Zwyn.

Le Zwyn était au moyen-âge un bras de mer large et profond, qui s'étendait par une de ses nombreuses ramifications jusqu'à Damme, où il formait un port important. (¹) Le long de ce bras de mer et de ses affluents, il existait de vastes criques, où d'énormes masses d'eau s'épanchaient à chaque marée et entretenaient, par leur mouvement alternatif de montée et de descente, de grandes profondeurs dans les artères principales. Mais à mesure que les endiguements successifs ont fait disparaître ces criques, ainsi que les terres basses riveraines submergées par les hautes mers, le Zwyn s'est envasé progressivement; déjà au commencement de ce siècle, toutes ses ramifications étaient converties en polders, et la profondeur du bras de mer lui-même était devenue très faible.

Aujourd'hui le Zwyn est complètement fermé. Le dernier endiguement a eu lieu en 1872, lors de la construction de la digue internationale du Zwyn, et comprenait 629 hectares de terrains de schorre, se trouvant en partie sur le territoire de la Belgique et en partie sur le territoire de la Hollande; il existe

(¹) ANDRIES. *Recherches historiques sur les voies d'écoulement des eaux des Flandres.*

devant cette digue un vaste plateau, le Zeehondenplaat, qui est protégé à l'ouest par le nouveau bourrelet littoral situé en prolongement des dunes de Knocke. Au delà du Zeehondenplaat, et tout le long de la côte de Cadzand, l'estran n'a qu'une largeur relativement faible et est défendu par des épis en fascinages.

On voit par la description qui précède que le régime des plages varie beaucoup entre Calais et l'embouchure de l'Escaut.

Le long de la côte française, jusqu'à Dunkerque, l'estran est généralement très développé; il présente à la pointe de Walde, de même que dans le voisinage des ports et des anciens chenaux, une zone inférieure de 350 à 500 mètres de largeur, s'arrêtant au niveau des hautes mers de morte eau, et une zone supérieure, de 800 à 1000 mètres de largeur, terminée par la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires; en quelques endroits, principalement à l'ouest des ports de Dunkerque et de Gravelines et à la pointe de Walde précitée, on rencontre une troisième zone qui n'est submergée que par les hautes mers des grandes marées.

La plage est beaucoup moins large entre Dunkerque et Nieuport; elle mesure 350 à 450 mètres et n'atteint qu'exceptionnellement 500 mètres; son inclinaison y est à peu près uniforme jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires, qui se tient à une trentaine de mètres en moyenne du pied des dunes.

A l'est de Nieuport, la largeur de la plage est de 360 mètres, et elle diminue à mesure qu'on approche d'Ostende, pour augmenter de nouveau légèrement au delà de ce port. Mais, à partir de la pointe de Wenduïne jusqu'au village de Heyst, l'estran n'offre plus que 230 mètres de largeur moyenne et la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires y longe le pied des dunes; celles-ci ont généralement une très faible épaisseur et ont dû être renforcées en divers endroits par des travaux de main d'homme.

Enfin, au droit de l'embouchure de l'ancien Zwyn, la plage atteint 600 mètres de largeur environ; on y rencontre, entre le niveau des hautes mers de morte eau et celui des hautes mers de vive eau, une zone faiblement inclinée, de 300 à 400 mètres de largeur, offrant beaucoup d'analogie avec les parties correspondantes des plages qui se trouvent le long de la côte française, à l'ouest de Dunkerque et de Gravelines.

II. — DES BANCs ET DES PASSES DE LA CÔTE DES FLANDRES, DEPUIS CALAIS JUSQU'À BLANKENBERGHE. — CONDITIONS D'ACCESSIBILITÉ DES PORTS DE CE LITTORAL.

Atterrages de Calais et de Gravelines. — Le premier banc que l'on rencontre le long de la côte française, au N.E. du cap Gris-Nez, et qui est appelé à *la Ligne*, s'étend à 2 milles⁽¹⁾ au large du rivage, entre Wissant et le cap Blanc-Nez; sa partie S.O. présente un petit plateau découvrant à basse mer; les hauts-fonds de son extrémité N.O., qu'on nomme *la Barrière*, n'offrent que 1^m30 à 3^m00 d'eau à marée basse.

L'approche du banc à la Ligne est très dangereuse pour les navires, à cause de la grande vitesse des courants dans ces parages; cette vitesse atteint jusqu'à 2^m,15 pour le flot et 2^m,05 pour le jusant pendant les marées moyennes de vive eau.

On remarque plus loin les fonds de roches des Quenocs, situés à 2 milles au large du rivage entre les rums N.O. et N.E. du cap Blanc-Nez, et où il ne reste que 2^m,00 d'eau à marée basse.

Le port de Calais se trouve à l'entrée de la mer du Nord, à 11 1/2 milles au N.E. 1/4 E. du cap Gris-Nez. L'estran sous-marin qui précède le chenal, présente une inclinaison de 0^m,015 par mètre et se prolonge jusqu'aux fonds de plus de 10 mètres sous marée basse, qui séparent la plage du Riden de Calais, et forment la rade du port.

Le Riden de Calais est un banc long et étroit, situé presque parallèlement à la côte, et où l'on trouve, à marée basse, près de 7^m,00 d'eau à l'endroit le plus élevé. Il ne peut être considéré comme un abri pour la rade, quoique les lames se brisent sur toute sa surface pendant les coups de vent du nord.

A un mille au N.O. de l'entrée du chenal, se trouvent les Ridens de la rade, sur lesquels il reste au moins 8^m,00 d'eau à basse mer.⁽²⁾

Les navires qui arrivent de l'ouest pour Calais, de même que ceux en destination pour Gravelines ou Dunkerque, tâchent d'approcher de la côte à la hauteur du cap Blanc-Nez, lequel, pendant le jour, est très reconnaissable à une grande distance en mer; ils gouvernent ensuite vers le N.E., de manière à passer en dehors de la Barrière et des Quenocs. Pendant la nuit, cette partie de la côte est signalée par le phare du cap Gris-Nez, feu de premier ordre, électrique, à

(¹) Le mille marin équivaut à 1852 mètres.

(²) *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur Aron.

éclipses de 30 en 30 secondes, et par celui de Calais, feu de premier ordre, varié par des éclats de 4 en 4 minutes.

En venant du nord, et par une brise fraîche et favorable, les navires gouvernent directement sur le port et peuvent passer au-dessus du Riden de Calais entre le tiers du flot et les deux tiers du jusant. Si le jusant est trop avancé, ils se dirigent parallèlement à la côte vers la rade.

Le chenal du port de Gravelines est situé à 10 milles dans l'E.N.E. de Calais et forme actuellement l'embouchure de la rivière de l'Aa.

L'estran sous-marin, situé en prolongement de la plage dans le voisinage du port, est fort peu incliné et ce n'est qu'à 2 ou 3 kilomètres de la côte que l'on trouve les fonds de 10 mètres. (1)

Les navires qui viennent de l'ouest, en destination de Gravelines, longent la côte, en se tenant en dehors des bouées qui signalent la Barrière, les Quenocs et le Riden. A partir du méridien de Calais, ils gouvernent sur le port en laissant le Dyck occidental à bâbord.

Ceux qui arrivent du nord se dirigent sur le phare de Calais, mais de façon à éviter les bancs de Sandettie et du Buiten-Ruytingen, dont nous parlons plus loin.

Bancs des Flandres, situés dans le nord de Gravelines et de Dunkerque.

— On désigne spécialement sous ce nom, l'agglomération des bancs de sable qui s'étendent du S.O. au N.E., sur un développement d'environ 40 milles marins, devant Dunkerque, Nieuport et Ostende (Pl. IV).

Le premier que l'on rencontre, en arrivant du nord vers les parages de Calais ou de Dunkerque, est le Sandettie. Ce banc, dont l'extrémité S.O. se trouve à 14 milles au N. 1/4 N.E. de Calais, s'étend dans la direction N.E. sur une longueur de 12 milles environ, avec des talus très raides au S. et au S.E. On y sonde 10 à 14 mètres d'eau et en quelques points 7 à 8 mètres seulement.

Le Buiten-Ruytingen, situé à mi-distance entre la côte et le Sandettie, est séparé de ce dernier par un canal de 5 milles de largeur, avec des fonds de 27 à 36 mètres de profondeur, formés de gros sable, coquillages et pierres; sa longueur est de près de 16 milles; mais, à une distance de 7 kilomètres de son extrémité S.O., il est interrompu par une dépression, où l'on trouve 12 à 22 mètres d'eau et qui peut toujours être utilisée par les navires en destination pour Calais ou Gravelines. Les talus du Buiten-Ruytingen sont raides du côté intérieur; ils le sont moins du côté N.O. Sur le sommet du banc, on trouve en moyenne

(1) *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur en chef Plocq.

5 à 8 mètres d'eau à marée basse, avec des parties surélevées où il n'y a que 3 à 4 mètres.

A l'est du Buiten-Ruytingen et dans la direction de ce plateau, on rencontre le banc de Bergues, et entre ces deux bancs, un peu vers l'intérieur, le Binnen-Ruytingen. La profondeur du banc de Bergues est d'environ 8 mètres dans ses parties les plus élevées; celle du Binnen-Ruytingen varie en moyenne de 7 à 11 mètres.

La passe qui sépare le Buiten-Ruytingen du Binnen-Ruytingen, a une profondeur de 20 à 30 mètres, avec fonds de sable, gros graviers et coquillages; pour la traverser, les navires tiennent le phare de Gravelines au S.15°O. par le feu flottant de Ruytingen.

Au sud des Ruytingen se trouve une seconde ligne de bancs, séparée de la première par un chenal large et profond, et comprenant le Dyck occidental, le Dyck central et le Dyck oriental ou Clif d'Islande.

Le Dyck occidental a 9 milles de longueur, près de $\frac{1}{2}$ mille de largeur et 6 à 7 mètres de profondeur au sommet; les talus en sont fort raides des deux côtés. Il est relié au Dyck central par une partie étroite où l'on trouve 8 à 10 mètres d'eau à marée basse. Ce dernier banc, d'une largeur d'environ 1000 mètres, est accore partout et de profondeur fort inégale; il occasionne beaucoup de brisants par les vents du N.O. Le Dyck oriental s'étend en pointe jusqu'à 51°21' de latitude nord; on n'y sonde que 2^m80 à 4^m00 d'eau dans la partie culminante située du côté S.O., et 5^m50 à 8^m00 à l'extrémité N.E. Il est entouré par des fonds de 20 à 30 mètres.

Le banc du Binnen-Ratel est situé au sud du Dyck central, à l'extrémité S.O., auquel il est presque réuni par un étroit plateau de sable offrant 6 à 9 mètres d'eau. Il a des talus très raides et présente une partie surélevée, où l'on ne sonde que 1^m00 à 3^m,00 de profondeur à marée basse. Le Buiten-Ratel s'étend dans la direction du Binnen-Ratel et à peu près parallèlement au Clif d'Islande, dont il est séparé par un chenal de 2 $\frac{1}{2}$ milles de largeur avec 20 à 25 mètres d'eau. Ce banc, qui a 8 $\frac{1}{2}$ milles de longueur et 1 mille de largeur moyenne, présente des endroits ayant à peine 3^m,00 de profondeur à marée basse.

Au sud des plateaux du Ratel, on rencontre la ligne des bancs du Breedt, formée du Breedt occidental et du Breedt oriental ou Kwintebank, dont l'extrémité N.E. s'étend jusque devant le littoral de Belgique par 0°20' de longitude est.

Le Breedt occidental est très large dans le N.N.O. de Dunkerque; on n'y trouve, sur une grande partie de son étendue, pas plus de 2^m,00 à 3^m,50 de profondeur sous marée basse.

Le chenal situé entre le Breedt et le Binnen-Ratel est traversé par un haut-fond où il ne reste que 6^m,00 à 7^m,00 d'eau à marée basse; il offre partout ailleurs 15 à 20 mètres de profondeur moyenne.

Le Kwintebank a $\frac{3}{4}$ de mille de largeur environ et 5^m,00 à 6^m,00 d'eau au sommet; il est séparé du Buiten-Ratel par des fonds de 20 à 25 mètres.

A l'intérieur de la ligne des Breedt se trouve le Smalbank. Celui-ci présente, dans sa partie ouest, un plateau surélevé d'environ 7 milles de longueur, avec 1^m,00 à 4^m,00 d'eau à basse mer. Il se soude du côté S.O. au Hills, en barrant par des profondeurs de 5^m,50 le chenal qui se dirige au sud du Breedt vers la rade de Nieuport; sa pointe ouest se relève vers le nord et va rejoindre la partie centrale du Breedt suivant un plateau où l'on ne sonde que 4^m,50 d'eau au sommet. Le Smalbank est relié au banc de Nieuport par des fonds offrant 7^m,00 à 8^m,00 d'eau à marée basse.

En se rapprochant du rivage, on rencontre une nouvelle suite de bancs soudés les uns aux autres et connus sous les noms de haut-fond de Gravelines, Snouw, Braeck, Hills et Traepegeer. Ces deux derniers bancs sont séparés par une dépression de 7^m,00 de profondeur minimum à marée basse, dépression qui constitue la passe de Zuydcote et relie la rade de Dunkerque à celle de Nieuport. Le Traepegeer se réunit à la plage près d'Adinkerke. Le haut-fond de Gravelines, de 1 mille de surface environ, est situé à 2 milles dans l'O.S.O. de l'extrémité occidentale du Breedt et présente 6^m,00 de profondeur au sommet.

Le Snouw est un plateau étroit, situé à peu près parallèlement à la côte depuis la pointe de Gravelines jusqu'au Braeck; on y sonde de 5 à 10 mètres d'eau à l'extrémité ouest, mais il se relève beaucoup du côté est. Le Braeck commence par 0°4'20" de longitude ouest et 51°4'30" de latitude, et forme le prolongement du Snouw, auquel il est réuni par des fonds de 6^m,00 à 7^m,00; sa partie culminante forme un plateau d'environ 500 mètres de largeur, avec une profondeur d'eau variant de 1^m,50 à 4^m,00. C'est un banc fort accore, dont les talus semblent s'élever des fonds de la rade de Dunkerque comme un mur. Quant au Hills, il est compris entre l'extrémité est du Braeck et la passe de Zuydcote, le long de laquelle il se relève suivant une direction N.E.; son talus sud est également raide. A marée basse, ce plateau ne présente, dans la plus grande partie de son étendue, que 1^m,00 à 3^m,00 d'eau et affleure en plusieurs points, situés dans le N.E. de Dunkerque.

Le Traepegeer constitue la limite est de la rade de Dunkerque; il offre des profondeurs variant de 2^m,00 à 5^m,00 dans sa partie la plus élevée et est séparé

par des fonds de 5^m,50 à 6^m,20 du plateau nommé *le Broers*, situé en face de Coxyde, à une distance de 2 kilomètres environ du rivage.

Rade de Dunkerque. — La rade de Dunkerque est formée par le sillon étroit qui longe la côte et qui est limité au nord par le Braeck et le Hills, et à l'est par le Trapegeer. Elle a environ 20 kilomètres de longueur, 1 kilomètre de largeur et un tirant d'eau de 12 à 18 mètres à marée basse. Le fond est d'une bonne tenue et la mer y est le plus souvent assez calme pour que les bâtiments de commerce, et notamment les grands vapeurs charbonniers anglais, puissent transborder sans difficulté une partie de leur chargement. Elle est accessible par deux passes, celle de l'est ou de Zuydcote et celle de l'ouest.

La première court N. 30° E. et S. 30° O. entre le Hills et le Traepegeer ; on y trouve 7^m,00 de profondeur à basse mer. La seconde, de 4 milles de longueur environ, est limitée par les hauts-fonds qui tiennent à la terre et par le Snouw. Elle est notablement plus profonde ; la soudure ou barre qui la traverse près de l'entrée de la rade, entre la plage du Mardick et la pointe occidentale du Braeck, offre encore 10 mètres d'eau au moins à marée basse, sur une largeur de 200 à 300 mètres.

Cette dernière passe est celle qui est le plus généralement fréquentée par les navires, non seulement à cause de sa profondeur, mais aussi de sa situation plus avantageuse par rapport au régime des courants de marée du littoral.

Le port de Dunkerque se trouve à peu près au milieu de la longueur de sa rade ; l'estran sous-marin qui fait suite aux atterrissements existant devant l'entrée du chenal, est relativement raide et se raccorde avec les fonds de 10 mètres de la rade, sous une inclinaison d'environ 0^m,05 à 0^m,07 par mètre.

La rade de Dunkerque se présente dans d'excellentes conditions pour la fréquentation des navires et constitue un des grands avantages naturels de ce port. Elle est abritée de la grosse mer, pendant les coups de vent du nord, par les nombreux bancs qui s'étendent devant elle, surtout par le Braeck et le Hills. Grâce à l'organisation d'un bon service de remorquage, de l'éclairage flottant et du balisage, elle est actuellement accessible aux plus gros bâtiments, lesquels peuvent y stationner en sécurité dans toutes les saisons et par tous les vents, sans avoir d'autres sinistres à craindre que ceux provenant de ruptures de chaînes ; et encore les accidents de ce genre n'ont-ils lieu que fort rarement.

Pendant le jour, la limite extérieure des bancs des Flandres, depuis le banc de Bergues jusqu'à l'extrémité occidentale du Buiten-Ruytingen, est indiquée au moyen de sept bouées en tôle, de grandes dimensions et faciles à distinguer. A l'entrée de la passe comprise entre le Buiten et le Binnen-Ruytingen, se trouve

un ponton, portant une sphère rouge en tête de mât et le nom de *Ruytingen* inscrit sur ses flancs. Il est muni d'une sirène qui, en temps de brume, fait entendre un groupe de deux sons de même hauteur, alternant toutes les 30 secondes avec un son unique.

Les deux passes d'entrée et les limites nord et sud de la rade sont signalées au moyen de quatorze autres bouées en tôle de forme et d'aspect différents; six de ces bouées ont des feux fixes rouges ou blancs. Deux pontons, semblables à celui des *Ruytingen* et désignés par les noms de *Dyck* et de *Snouw*, sont placés à 4 milles de distance l'un de l'autre; ils indiquent plus spécialement l'entrée de la passe de l'ouest. Ces trois pontons portent, pendant la nuit, des feux de couleur et de portée distinctes, de manière à être parfaitement reconnaissables. De la combinaison des feux du cap Gris-Nez, de Calais et de la pointe de Walde avec ceux de Gravelines, de *Ruytingen* et de Dunkerque, les navigateurs déduisent les indications nécessaires pour éviter les bancs des Flandres. En se rapprochant de la côte, ils se guident sur le feu flottant du *Dyck*, et ceux qui arrivent de l'ouest se dirigent vers la rade, en prenant ce feu par le phare de Dunkerque, jusqu'à ce qu'ils voient le feu flottant du *Snouw* par le feu flottant du *Dyck*. Cet alignement donne le gisement de la rade depuis son entrée ouest jusqu'à l'est du port.

Le phare de Dunkerque est un feu de premier ordre éclairé à la lumière électrique; il est scintillant et présente une succession de groupes de deux éclats blancs, l'intervalle entre deux groupes consécutifs étant triple de celui existant entre les éclats d'un même groupe. Le foyer est à 59 mètres au-dessus du niveau des hautes mers et la portée lumineuse, en temps ordinaire, est d'environ 20 milles.

Les navires qui viennent du nord peuvent entrer dans la rade, sans doubler à l'ouest toute la partie occidentale des *Ruytingen*, en suivant la direction donnée par la combinaison du phare de Gravelines avec le feu flottant du *Ruytingen*. Pour passer de la rade dans le port, ils se guident au moyen des deux fanaux placés à l'extrémité des jetées. Un troisième feu est allumé sur la tour du *Leugenaar*, située à l'angle formé par la direction du chenal et celle des bassins à flot, à 2200 mètres dans le S. 39° E. de l'entrée du port. Comme le courant de flot porte à travers la passe d'entrée et acquiert sa plus grande vitesse vers l'heure du plein, c'est à dire au moment où les grands bâtiments peuvent attaquer le port, ceux-ci éprouvent souvent des difficultés, tant à l'entrée qu'à la sortie; mais l'emploi de remorqueurs et l'existence des signaux de marée facilitent notablement la communication entre la rade et le port.

Il y a un certain nombre d'années, la rade de Dunkerque était considérée

encore comme un simple mouillage provisoire, dans lequel les navires attendaient le moment favorable pour entrer dans le port. Ce n'est que depuis 1863, lorsque le balisage des passes d'accès a été terminé et que les premiers feux flottants ont été allumés, que les bâtiments de commerce ont commencé à y stationner; peu à peu, l'habitude a été prise et la confiance est venue aux marins. Mais c'est surtout pendant l'hiver de 1870-1871, époque de la guerre franco-allemande, que l'expérience a été décisive. Des escadres cuirassées, comprenant les plus gros vaisseaux de la Marine militaire française, le *Solferino* et l'*Océan*, sont venues y séjourner, pendant des mois entiers, sans éprouver la moindre avarie et sans causer aucun embarras aux navires marchands. On y a embarqué en rade, du 18 au 26 février 1871 et du 1 au 4 mars, 20,249 hommes, officiers, sous-officiers et soldats, 1,784 chevaux de cavalerie et d'artillerie, 60 pièces de canons et 226 voitures d'artillerie et d'ambulance⁽¹⁾.

Bancs des Flandres, situés dans le nord de Nieuport et d'Ostende. (Pl. IV). — Le banc de Middelkerke s'étend au large de la côte, devant le village de ce nom; il est dirigé du N. 30° E. au S. 30° O. et présente une longueur d'environ 5 milles, avec 5 à 8 mètres d'eau, en moyenne, à marée basse. A 1 1/2 mille dans l'ouest de ce plateau se trouve le Kwintebank, mentionné plus haut; le canal du Nord, qui conduit vers la rade de Nieuport, est situé entre ces deux bancs.

A l'est du banc de Middelkerke on rencontre le banc d'Ostende, dont l'extrémité S.O. est soudée au précédent par des fonds de moins de 10 mètres; on y sonde 7 à 8 mètres d'eau à marée basse, sauf en quelques endroits où il y a à peine 6 mètres.

Le banc de Nieuport est situé devant la plage de Nieuport et par le travers de l'extrémité S.O. du banc de Middelkerke. Il court à peu près parallèlement à la côte et n'a que 4^m,00 de profondeur environ dans ses parties les plus élevées; il est relié du côté ouest au Smalbank par un plateau étroit, où l'on sonde de 8 à 10 mètres.

Le Stroombank est un plateau allongé, de peu de profondeur qui s'étend à l'est de Nieuport et devant Ostende, et rejoint la plage au droit de Clemskerke; sa partie culminante est limitée au nord par une courbe très irrégulière et présente une largeur variant de 450 à 1000 mètres, avec 2^m,50 à 5^m,00 d'eau à marée basse. Ce banc sépare la petite rade de la grande rade d'Ostende; il est très accore du côté sud.

(1) PLOCQ. *Ports maritimes de la France*. Notice citée.

Au N. E. du Stroombank, on observe le banc de Wenduïne, situé dans une direction E. N. E., depuis Ostende jusque par le travers de Blankenberghe; on y sonde partout 4 à 6 mètres d'eau, sauf à la partie centrale, où il existe des plateaux de 4 mètres de profondeur seulement.

Rade de Nieuport. — La rade de Nieuport, désignée sur les cartes marines sous le nom de *Westdiep*, est limitée à l'ouest par les bancs du Hills et du Smal, au nord par ce dernier banc et le banc de Nieuport, à l'est par le Stroombank, au sud par le Traepegeer, le Broers et la terrasse sous-marine qui longe la côte. Elle a une longueur d'environ 16 kilomètres, une largeur moyenne de 2 kilomètres et un tirant d'eau de 12 à 18 mètres à marée basse. Le fond, presque exclusivement composé de sable mêlé de coquillages, est d'un bon ancrage pour les navires.

Cette rade est accessible par quatre passes : le canal du Nord, situé entre le Smalbank et le Kwintebank, d'un côté, et les bancs de Nieuport et de Middelerke, de l'autre; le canal du Nord-Est, compris entre l'extrémité orientale du banc de Nieuport et l'extrémité occidentale du Stroombank; le canal de l'Est, qui se trouve au sud de ce dernier banc et forme la continuation de la rade intérieure d'Ostende; enfin le canal de l'Ouest ou de Zuydcote, qui communique avec la rade de Dunkerque.

La canal du Nord offre une profondeur de 10 à 15 mètres, interrompue près de son extrémité sud par le haut-fond qui relie le Smalbank au banc de Nieuport. En 1866, la profondeur d'eau constatée au-dessus de ce haut-fond par M. Stessels n'était que de 5^m,50 à marée basse; mais les sondages, auxquels M. le lieutenant de vaisseau Petit a procédé en 1883, montrent que la passe du Nord s'est beaucoup améliorée. Sa profondeur, dans la partie la plus sèche, est de 8^m,30 à 9^m,00 sous le niveau de basse mer, de sorte que la rade de Nieuport est accessible de ce côté aux navires de commerce du plus fort tonnage⁽¹⁾. Le Smalbank s'est en même temps approfondi à son extrémité est; on y trouve actuellement une dépression avec 7^m,00 d'eau au moins, conduisant des grands fonds compris entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank vers la rade, tandis que la carte de 1866 ne renseigne en cet endroit que 4^m,50 à 5^m,30.

Jusqu'à présent, la passe du Nord n'est pas balisée, et, comme elle est très éloignée de la côte, les navigateurs ont beaucoup de peine à distinguer les amers. Pour la traverser, ils tiennent d'ordinaire l'église de Furnes par le côté ouest du Broersduyn au S. 18° 30' E.

(1) Voir chapitre IV.

Le canal du N. E. établit la communication entre la rade de Nieuport et la grande rade d'Ostende. Il présente de 600 à 1000 mètres de largeur entre les courbes de niveau limitant les fonds de plus de 8^m,00 de profondeur sous marée basse. Les navires qui viennent de la rade de Nieuport, traversent cette passe en amenant le clocher de Nieuport au S. 27° E. et en gouvernant au N. 27° O. jusqu'à ce que Middelkerke reste au S. 80° E.; ils prennent ensuite la direction N. 50° E. pendant 4 milles environ, et débouchent dans la rade d'Ostende. Lorsqu'ils arrivent de cette dernière rade pour se rendre dans celle de Nieuport, ils tiennent Ostende au S. 80° E. et Middelkerke au S. 10° E.; puis ils font un mille à l'O. 24° S. et traversent la passe en gouvernant au S. O., jusqu'à ce que le clocher de Nieuport soit amené au S. 27° E.

Le canal de l'Est relie la rade de Nieuport à la petite rade d'Ostende; il s'étend parallèlement à la côte par des fonds d'environ 10 mètres de profondeur.

Le canal de Zuydcote donne accès aux navires qui viennent de l'ouest par la rade de Dunkerque. C'est une route sûre pour approcher du port de Nieuport, car elle est praticable, en tout temps, aux plus grands navires jusqu'à l'entrée de la passe, et ceux-ci peuvent attendre, le cas échéant, dans la rade de Dunkerque, le moment favorable pour se rendre dans celle de Nieuport. La passe elle-même offre 7^m,00 d'eau à marée basse et est signalée au moyen de quatre bouées, dont deux sont placées au nord du banc du Traepegeer et les deux autres, de couleur différente, le long du talus est du Hillsbank. Elle est accessible à toute heure de la marée et par tous les temps aux navires de 5^m,50 de tirant d'eau, mais les grands bâtiments ne peuvent s'y engager que vers la marée haute et avec un vent favorable. Pour la traverser, les navigateurs tiennent le grand clocher de Bergues visible à l'ouest de l'église de Leffrinckoucke, au S. 15° O., en ayant soin de ne pas trop approcher de la pointe du Traepegeer; en entrant dans la rade, ils gouvernent à l'E. 27° N., afin d'éviter le Smalbank, qui est extrêmement accore et dangereux dans le nord de la Tour des sables.

Vers l'extrémité est de la rade de Nieuport se trouve le port de ce nom; l'estran sous-marin qui le précède a une inclinaison moyenne de 0^m,01 environ par mètre jusqu'à la courbe des fonds de 5 mètres sous marée basse; au delà de cette courbe, il est beaucoup moins incliné, mais il se raidit ensuite de nouveau en se raccordant avec les fonds de plus de 10 mètres du Westdiep.

Nous avons à faire ressortir ici que la rade de Nieuport est de beaucoup la meilleure du littoral belge. Elle est profonde et spacieuse, et le fond y est d'une bonne tenue. L'on ne pourrait cependant lui reconnaître des conditions d'accès et de sécurité aussi favorables que celles de la rade de Dunkerque. Le

simple aspect de la carte des bancs des Flandres montre en effet qu'elle est moins abritée contre les coups de vent du nord, et que les abords en sont plus difficiles pour les navires.

Tandis que la passe de l'Ouest de la rade de Dunkerque est profonde et bien orientée par rapport à la direction du flot, la passe de l'Ouest de la rade de Nieuport ne peut être traversée par les grands bâtiments que vers l'heure de marée haute; quant à celle du N.E., elle est difficilement praticable par les vents de l'O. au S.O., qui sont les vents régnants. Mais comme nous l'avons dit plus haut, l'accès de la rade s'est notablement amélioré dans le nord depuis 1866, et la passe existant de ce côté offre aujourd'hui une profondeur minimum de 8 mètres à marée basse.

Il est à remarquer d'ailleurs que les difficultés d'accès, résultant de l'orientation des passes, perdent de jour en jour de leur importance, depuis que la navigation à vapeur tend à se substituer de plus en plus à la navigation à voiles, et qu'elles peuvent être considérablement diminuées par le balisage et l'éclairage flottant, ainsi que par l'organisation d'un bon service de remorquage. Le meilleur exemple à citer sous ce rapport est celui de Dunkerque; comme on le sait, ce n'est qu'à partir de 1864, après que l'administration de la Marine française eût établi un ensemble de bouées et de feux flottants, pour signaler aux marins, d'une manière parfaitement reconnaissable, tant le jour que la nuit, le gisement de la rade de ce port et de ses passes d'accès, que les navires marchands ont commencé à y prendre leur mouillage; et il a fallu quelques années d'expérience, complétées en 1870, époque de la guerre franco-allemande, par le stationnement dans ces parages des escadres cuirassées de la Marine militaire française, pour reconnaître définitivement à la rade de Dunkerque toutes les qualités que sa situation hydrographique avait laissé prévoir.

Sans être compétent en cette matière, qui est essentiellement du domaine du marin, nous croyons qu'en adoptant la voie qui a été suivie avec tant de succès à Dunkerque, on pourrait également rendre la rade de Nieuport d'un accès relativement facile aux navires du plus fort tonnage. Mais ce mouillage est considéré comme étant trop peu abrité pour permettre le stationnement des grands bâtiments par les coups de vent du large. Aujourd'hui la rade de Nieuport est fréquentée par les navires de faible tirant d'eau, qui ont la ressource, en cas de chasse sur les ancres ou de rupture de chaînes, de pouvoir se sauver par l'une des trois passes de l'Est, du N.E. ou de l'Ouest, suivant la direction du vent. Cependant, d'après les renseignements des pilotes, les accidents de cette nature n'y ont eu lieu que fort rarement et il est possible que, si dans l'avenir

le port de Nieuport était destiné à recevoir un développement sérieux et à subir à cet effet les transformations nécessaires, l'expérience établirait que les qualités de sa rade sont meilleures qu'on ne l'a cru jusqu'à présent.

Rades d'Ostende. — Il existe deux rades devant le port d'Ostende : la rade extérieure et la rade intérieure. La première, appelée *Grande rade*, est située au nord du Stroombank, entre les bancs de Nieuport, d'Ostende et de Wenduyne ; elle a 7 milles de longueur de l'E. N. E. à l'O. S. O., un mille de largeur et 10 à 12 mètres de profondeur, sur des fonds de sable et de vase.

Les navires qui arrivent de la direction de l'Escaut, en destination pour Ostende, se rendent généralement vers cette rade en passant au sud du banc de Wenduyne ; ceux qui viennent du N. O., prennent le chenal qui sépare les bancs de Middelkerke et d'Ostende, et passent au-dessus de l'extrémité est du banc de Nieuport. Ils mouillent d'ordinaire en relevant le grand clocher d'Ostende au S. 60° E. et le clocher de Nieuport au S. 27° O., par 10 à 12 mètres d'eau. Mais la rade extérieure d'Ostende n'est qu'un mouillage provisoire, où les grands navires attendent le moment favorable pour entrer dans le port. Lorsqu'ils sont surpris par un gros temps du S. O. ils prennent le plus promptement possible le large ; quand le vent souffle en tempête d'une région comprise entre le nord et l'ouest, ils courent de préférence vers l'Escaut.

La rade intérieure d'Ostende, ou *Petite rade*, s'étend le long de la côte au sud du Stroombank, entre Middelkerke et le Spaniardduin ; elle a 8 à 10 mètres de profondeur depuis son extrémité ouest jusque par le travers de Mariakerke, 5^m,50 à 6^m,50 devant Ostende, et 4^m,20 à 5^m,00 seulement devant la plage de Breedene. Le fond, composé principalement de vase, est d'une tenue médiocre, dans le voisinage du port surtout.

En temps ordinaire, les navires d'un faible tirant d'eau peuvent passer, vers la mi-marée, de la rade extérieure au-dessus du Stroombank, en tenant la tour de l'église d'Ostende au S. 64° E. Les grands navires franchissent ordinairement le Stroom à son extrémité ouest, où il est le plus profond, et profitent du flot pour entrer dans le port⁽¹⁾. Ceux qui viennent de l'est, peuvent se tenir entre le banc de Wenduyne et la côte, et traverser le Stroombank à son extrémité orientale, en face du Spaniardduin. Mais cette passe est fort dangereuse ; outre qu'elle se trouve trop près de terre, elle est étroite et peu profonde. Elle avait, en 1866, 450 mètres de largeur, avec 5^m,30 d'eau à marée basse ; depuis cette

(1) Ces conditions d'accès ont été améliorées par le creusement d'une passe à travers le Stroombank dans l'ouest d'Ostende. Voir chapitre VIII.

époque, elle a encore diminué; les sondages de 1880 n'y accusent plus que 360 mètres de largeur avec 4^m,60 d'eau⁽¹⁾.

Au droit du port d'Ostende, les fonds de 5^m,50 à 6^m,50 de la rade intérieure se trouvent à 500 mètres environ de la laisse des basses mers et se maintiennent jusqu'au Stroombank.

Mentionnons en passant la rade de Blankenberghe; elle est comprise entre le banc de Wenduyne et la terrasse sous-marine qui longe la côte, et offre des profondeurs de 5 à 7 mètres, sur des fonds de vase. Elle n'est guère abritée contre les vents du large, car le banc de Wenduyne n'est pas assez élevé pour constituer un abri.

Au nord des bancs de la côte des Flandres, que nous avons décrits, il y a encore le banc de Fairy, le Westhinder, le Noordhinder, l'Oosthinder, le Bligh-bank et le Thornton-Rug.

De ce groupe de bancs, le premier que l'on rencontre, en arrivant de l'ouest, est le Fairy-bank. Situé à la limite est du chenal profond que doivent suivre les navigateurs entre le détroit et la mer du Nord, il s'étend au N.N.E. sur une longueur de 10 milles environ; sa plus grande largeur ne dépasse pas 1000 mètres. On y sonde 7 à 10 mètres d'eau en basse mer dans la partie centrale; partout ailleurs la profondeur du banc varie de 11 à 18 mètres, sauf en un point situé à l'extrémité nord, où elle atteint à peine 10 mètres.

Le Westhinder est un plateau de forme allongée, de 15 milles de longueur, situé à l'est du Fairy-bank et séparé de ce dernier par un chenal de 2 1/2 milles de largeur et de 30 à 35 mètres de profondeur. Il existe, dans presque toute son étendue, une partie culminante de 400 à 500 mètres de largeur, où l'on ne sonde que 5 à 8 mètres d'eau à marée basse. L'extrémité sud du banc se trouve à 0° 5' longitude et 51° 23' latitude nord; elle est signalée par le bateau-phare du Westhinder, qui porte un feu catoptrique à éclipses de 12 milles de portée.

A 1 1/2 mille au nord de la pointe supérieure du Westhinder commence le banc du Noordhinder; la passe qui sépare ces deux bancs a 20 à 27 mètres de profondeur. Le Noordhinder est situé, comme le banc Fairy, à la limite est du chenal profond, conduisant du Pas de Calais vers l'entrée de la mer du Nord; il a 7 milles de longueur du N. 1/4 N.E. au S. 1/4 S.O., 1000 à 1200 mètres de largeur et présente 11 à 16 mètres d'eau à marée basse, sauf à l'extrémité sud, où il ne reste que 7 à 9 mètres. Un bateau-phare est mouillé

(1) Voir chapitre IV.

près du bord oriental du banc par $0^{\circ}14'21''$ longitude est et $51^{\circ}36'45''$ latitude nord; il porte un feu catoptrique blanc et fixe, de 11 milles de portée.

L'Oosthinder s'étend à l'est et parallèlement à la direction des deux bancs précités, sur une longueur de 10 milles environ; son extrémité sud se trouve à 2 milles de la partie centrale du Westhinder. Ce plateau a 1200 à 1400 mètres de largeur et 7 à 11 mètres de profondeur à la crête.

Dans l'est et à 3 milles de distance environ de l'Oosthinder, on trouve le Blighbank, dont la direction est sensiblement parallèle à celle de ce plateau. Il a une longueur de près de 10 milles et une largeur variant de $\frac{1}{2}$ mille à 1 mille. On y sonde 9 mètres d'eau en moyenne sur la partie centrale, et 11 à 15 mètres sur les autres parties du banc.

Le Thornton-Rug s'étend de l'E.N.E. à l'O.S.O., entre les méridiens de Middelkerke et de Wenduine, à une distance de 15 milles de la côte. La partie culminante du banc, située du côté est et offrant près de $2\frac{1}{2}$ milles de longueur et $\frac{1}{2}$ mille de largeur, n'a que 5 à 8 mètres de profondeur sous la basse mer et comprend un petit plateau avec moins de 4^m,00 d'eau. Partout ailleurs on trouve 11 à 16 mètres.

Le chenal qui sépare l'extrémité ouest du Thornton-Rug de l'extrémité sud du Blighbank, est le canal le moins dangereux à suivre pour les grands navires qui veulent passer au milieu des bancs, avec des vents du S.O., lorsqu'ils arrivent de Dunkerque pour aller dans le nord.

A l'est de la partie nord du Thornton-Rug, à 1 mille de distance environ, se trouve un plateau de peu d'étendue, désigné sous le nom de *Rabs*, où l'on sonde 7 à 9 mètres d'eau; enfin, quelques hauts-fonds s'étendent au sud du même banc jusqu'au Buiten-Ratel; ces bancs ont partout au moins 15 mètres de profondeur et ne sont pas dangereux pour la navigation.

III. — L'ESCAUT ET SON ESTUAIRE.

L'Escaut prend sa source en France, près de St-Quentin, à une altitude de 93 mètres au-dessus du niveau moyen des basses mers observées à Ostende. Il entre en Belgique à l'altitude de 18 mètres et reçoit, dans sa partie supérieure, à part quelques affluents de moindre importance, la Haine à Condé, la Scarpe à Mortagne et la Lys à Gand. L'étendue du bassin hydrographique du fleuve, à la sortie de cette ville, est de 1,050,000 hectares.

La Lys, qui a également sa source en France, a comme principaux affluents la Deule et la Mandel. Le bassin hydrographique de cette rivière mesure environ 367,500 hectares.

Depuis fort longtemps, la navigation se fait sur la partie de l'Escaut, située en amont de Gand et connue sous le nom de Haut-Escaut, par bonds d'eau ou lâchures, obtenus au moyen de barrages. Mais l'État a entrepris dans ces dernières années, une série de travaux, ayant pour but de canaliser entièrement le fleuve jusqu'à Gand et de soustraire en même temps sa vallée aux inondations. Ces travaux consistent principalement dans la construction d'écluses à sas aux barrages existants ou projetés, dans l'exécution de redressements, de coupures et d'approfondissements du lit, et dans le creusement de voies d'écoulement auxiliaires ou maîtresses-rigoles, ayant leur origine à l'amont d'une retenue pour aboutir en aval d'une retenue suivante.

Le Haut-Escaut et la Lys alimentent le canal de Gand à Bruges et le bassin de l'Yser, ainsi que le canal de Terneuzen, élargi récemment à grande section. En temps de crue, ces canaux servent à l'évacuation des eaux surabondantes du fleuve; le canal de Deinze à Heyst conduit directement à la mer, aux périodes de rouissage du lin, les eaux corrompues de la Lys.

Immédiatement en amont de Gand commence la dérivation de l'Escaut dite du " Strop ", qui se subdivise en deux branches, la branche orientale et la branche occidentale.

Le lit naturel du fleuve traverse la ville, et il est rejoint par ces deux branches à proximité de l'écluse et du barrage de Gentbrugge.

En sortant de la ville de Gand, l'Escaut tourne brusquement à l'est et prend le nom de Bas-Escaut ou Escaut maritime. Là encore, son lit n'offre pas une section suffisante pour écouler les eaux des crues ordinaires, et les nombreux coudes que l'on y rencontre, outre qu'ils constituent une gêne pour la navigation, entravent la propagation de la marée.

Pour améliorer cette situation, des travaux importants ont été exécutés ou sont en exécution entre Gand et Termonde, où le total des raccourcissements à obtenir par les coupures et les rectifications, sera d'environ 12 kilomètres. Lorsque ces travaux seront achevés, le lit du fleuve à l'aval de Gand sera en état d'écouler les eaux des grandes crues de son bassin, sans provoquer des inondations à Gand. Provisoirement au moins, on continuera à recourir aux canaux d'évacuation existants pour écouler vers Bruges, Terneuzen et Heyst les sommets des crues extraordinaires⁽¹⁾.

L'Escaut reçoit à Termonde la Dendre, à Thielrode la Durme et à Rupelmonde le Rupel. Les versants de ces deux premiers cours d'eau se développent respec-

(1) TROOST et VANDERVIN. *Amélioration de l'Escaut*. Rapport présenté au Congrès international de navigation intérieure. Paris, 1892.

tivement sur une surface de 140,000 et de 77,000 hectares ; celui du Rupel, formé des bassins secondaires des deux Nèthes, du Démer, de la Dyle et de la Senne, comprend une superficie totale de 652,000 hectares. Devant Anvers, le bassin hydrographique du fleuve a 2,094,000 hectares d'étendue.

En aval de Rupelmonde, mais surtout à partir d'Anvers, l'Escaut s'élargit rapidement ; on y rencontre des passes larges et profondes, ayant une section hors de proportion avec le débit des eaux d'amont et dont l'importance est due à l'action régulière des marées.

La largeur du fleuve varie comme suit :

A Burght.	400 mètres à marée basse, 500 mètres à marée haute.		
A Anvers, en face de l'écluse du Kattendyck.	400	id.	550 id.
A Lillo	740	id.	840 id.
A Doel	550	id.	1440 id.
A Bath	2400	id.	5750 id.
A Terneuzen.	3480	id.	4860 id.
A Flessingue	4280	id.	4870 id.

En aval de Doel, le lit du fleuve est encombré de bancs qui rejettent le courant d'une rive à l'autre et rendent la passe navigable entièrement sinueuse ; il est formé de sable, mêlé en divers endroits de vase ; celle-ci se rencontre surtout au fond des chenaux et des faux chenaux situés entre les bancs, ainsi que sur les plateaux saillants des coudes.

L'Escaut se divisait précédemment à Bath en deux bras, le Hont ou Escaut Occidental et l'Escaut Oriental, reliés par une branche secondaire, le Sloe, qui séparait l'île de Walcheren de l'île de Beveland.(Pl.XVI).

L'Escaut Oriental et le Sloe ont été barrés et isolés du Hont en 1867, lors de la construction du railway reliant le port de Flessingue au réseau des chemins de fer de la Hollande.

L'histoire ne possède pas d'indications précises sur la succession des changements que l'Escaut a subis avant le XV^e siècle, surtout en ce qui concerne son embouchure. Celle-ci semble s'être confondue autrefois avec les bouches de la Meuse, qui recevaient aussi les eaux de la branche occidentale du Rhin, appelée le Waal. L'Escaut se serait séparé peu à peu de ces deux fleuves, pour se jeter directement dans la mer par une large voie qui s'étendait au nord du pays de Beveland et de Walcheren, suivant l'emplacement du bras oriental actuel.

D'après plusieurs auteurs, l'Escaut Occidental n'était du temps de César, qu'un bras de mer en voie de formation. Il comprenait une baie profonde, située à l'emplacement de l'embouchure actuelle du fleuve, ainsi qu'une suite

d'affluents, de marais et de lagunes, qui couvraient une grande partie de la Zélande, du Cadzand et des environs du Brackman.

L'un de ces affluents se prolongeait jusqu'à Gand et communiquait, aux environs d'Axel, avec une autre branche qui allait rejoindre le cours de l'Escaut à quelques kilomètres en amont d'Anvers. Ce n'est qu'à partir de 1200 que le Hont s'est élargi rapidement, sans doute à la suite de quelque débordement de la mer, ayant triomphé des digues que la nature ou l'art avaient opposées à la violence des flots ; vers 1500 déjà, il constitua la branche principale du fleuve⁽¹⁾.

Chacun sait que l'eau de la mer, en remontant la partie maritime des fleuves à marée et en pénétrant dans les criques et anfractuosités que l'on y rencontre, apporte dans ces espaces plus ou moins abrités, ainsi que sur le sable des rives où le courant vient s'épanouir, des couches de vase dont l'épaisseur croît insensiblement ; lorsque le niveau de ces atterrissements se rapproche de celui des hautes mers, on les appelle " Schorres ". Dès que les schorres atteignent une hauteur assez élevée pour n'être plus submergés que par les marées de syzygies, la végétation s'y établit et ils sont, comme on le dit ordinairement, parvenus à l'état de maturité. Ils peuvent dès lors être conquis sur le lit du fleuve au moyen d'endigements, pour être transformés en polders.

L'époque des premiers endiguements de l'Escaut n'est pas bien connue. D'après les anciennes chroniques de la Zélande, elle remonterait au IX^e siècle ; on y affirme en effet, que dès 833, les îles de Walcheren, de Schouwen et de Borselen étaient déjà protégées par des digues et même couvertes de villages. Mais le long du Bas-Escaut, en Belgique, c'est vers 1100 seulement que l'on paraît avoir commencé.

Dès le début et jusque vers le milieu du XVI^e siècle, les digues de l'Escaut eurent beaucoup à souffrir des inondations. Les plus terribles eurent lieu en 1164, 1334, 1377 et 1421 ; elles rompirent en plusieurs points ces barrières artificielles, construites avec tant de peine et de persévérance, et engloutirent des étendues de terrains considérables.⁽²⁾

Après cette première période, alors que l'industrie humaine, venant en aide à l'œuvre de la nature, avait fini par édifier sur les bords de l'Escaut des défenses suffisamment puissantes contre les assauts de la mer, celles-ci eurent beaucoup à souffrir par les guerres continuelles, dont les rives du fleuve furent le théâtre et pendant lesquelles les troupes belligérantes provoquèrent l'inondation des polders

(1) D^r MEYNNE. *Des transformations du littoral des Flandres.*

(2) KÜMMER. *Essai sur les travaux de fascinage et la construction des digues.*

riverains, en perçant les digues et en détruisant les écluses et les barrages.

Les premiers désastres de cette nature datent du temps de la domination espagnole. Après le siège d'Anvers en 1585, l'inondation occupait une étendue immense, sur les deux rives de l'Escaut. Plusieurs polders inondés furent réendigués vers la fin du XVI^e siècle et au commencement du siècle suivant. Mais depuis cette époque jusqu'à la date du traité de Munster, conclu le 30 janvier 1648, ils eurent à subir des désastres continuels. La plupart cependant avaient été asséchés de nouveau dans les premières années qui suivirent le traité de Munster, lorsqu'en 1682, une tempête violente du N.O. suréleva les eaux du fleuve à un niveau tel, que la mer endommagea fortement bon nombre de digues et envahit une partie des polders à peine reconquis.

La guerre de la succession, déclarée en 1702 par l'empereur Léopold I, allié avec l'Angleterre et les Provinces Unies contre Louis XIV, et qui ne se termina que le 13 avril 1713 par la paix d'Utrecht, fut cause de nouvelles calamités. Elles furent suivies par la marée extraordinaire de 1715, pendant laquelle le polder de Namen fut entièrement submergé; abandonné depuis, il figure encore sur les cartes actuelles sous le nom de " Polder inondé de Namen ". Les rives de l'Escaut continuèrent à être éprouvées pendant les guerres qui éclatèrent successivement sous les règnes de Marie-Thérèse et de Joseph II, et lors de l'invasion de l'armée française en 1794. Les inondations n'y ont cessé définitivement que le 24 décembre 1832, date de la reddition de la citadelle d'Anvers.

Actuellement le Bas-Escaut, à partir de Burght, sur la rive gauche, et de Stabroeck, sur la rive droite, est bordé de vastes terrains conquis sur le fleuve et dont le niveau est généralement inférieur à celui des hautes mers. Aussi l'Escaut a-t-il fort peu de pente dans la ligne qui joint ses plus bas étiages; depuis le Rupel jusqu'à la mer, sur une longueur de près de 90 kilomètres, la différence n'est que de 0^m,40 environ.

Estuaire de l'Escaut; passes de l'embouchure. — L'estuaire de l'Escaut s'ouvre au N.E. des bancs des Flandres, entre l'île de Walcheren et la côte de Cadzand.(Pl.XIV).

Il comprend quatre passes navigables : le Wielingen, le Spleet, le Deurloo et l'Oostgat. Le Wielingen constitue la passe principale; c'est celle que prennent les grands navires, lorsque dans nos parages, ils sont surpris par la tempête et vont se réfugier dans l'Escaut.

Le système d'éclairage de l'Escaut est aujourd'hui fort complet; il se compose d'un ensemble de phares et de bateaux-phares, avec feux fixes ou à

éclipses, blancs ou colorés, de feux de direction, etc. permettant aux navires d'attaquer et de remonter aisément le fleuve, même quand ils vont en louvoyant contre un vent contraire. Les principales passes sont en outre signalées à l'aide de bouées, tant dans l'estuaire qu'à l'intérieur du fleuve.

Le long de notre littoral, on voit le phare d'Ostende, feu fixe de premier ordre, ainsi que les phares de Nieuport, Blankenberghe et Knocke, feux fixes de 3^e ordre. Sur la côte S. O. de l'île de Walcheren s'élève celui de Westkappel. Trois bateaux-phares sont en outre mouillés dans les eaux de l'estuaire : les feux du Wandelaar, du Wielingen et du Schouwenbank.

Pour se diriger vers l'entrée de l'Escaut, les navires qui arrivent de la Manche ou de la Tamise, doivent se tenir au Nord des bancs du Ruytingen et du Dyck oriental et au sud du Fairy-bank et du Westhinder. Cette route est signalée par les feux flottants du Buyten-Ruytingen et du Westhinder et par la bouée rouge à tête noire, établie à l'extrémité nord du Dyck ; pour la suivre, les navires au sortir du Pas de Calais, se guident sur South-Foreland ; lorsqu'ils sont à 5 ou 6 milles de ce point, ils gouvernent à l'E. 23° N. pendant 38 à 39 milles, ce qui les conduit près du feu du Westhinder. En partant du cap Grisnez, on peut relever le cap à 5 milles dans le S. 65° E. et se diriger au N. 37° E. pendant 34 milles ; on passe ainsi à 2 1/2 milles environ dans le N. O. de la partie la moins profonde du Sandettie et l'on continue jusque par 50° 22' N. Il suffit de se tenir sur ce parallèle pour être conduit par des fonds de 14 mètres à 16 mètres de profondeur, sur la pointe S. O. du Fairybank, et après avoir fait 17 milles, on arrive par le travers du bateau-feu du Westhinder. Les navigateurs attaquent le Wielingen en passant au sud de ce feu et en courant à l'E. 2° N., de manière à passer au N. E. des bancs de Middelkerke et d'Ostende ; lorsque le temps est clair, ils aperçoivent successivement sur la côte les feux d'Ostende, de Blankenberghe et de Knocke.

La passe du Wielingen commence par le travers de Blankenberghe et s'étend suivant une direction E. 1/4 N. E. vers Flessingue. On y sonde 8^m,00 d'eau au moins à marée basse, sur des fonds mous de sable et de vase ; la profondeur augmente dans la partie de la passe située devant la côte de Cadzand et désignée plus spécialement sous le nom de Passe française.

Au sud, le Wielingen est limité par le plateau Het Zand et par le banc du Binnen-Paardemarkt.

Le premier de ces plateaux longe la côte de Blankenberghe, depuis l'extrémité est du banc de Wenduyne jusqu'au banc du Binnen-Paardemarkt ; il offre 5^m,50 à 6^m,20 de profondeur, et est séparé du rivage par des fonds avec 6^m,50

à 7^m,00 d'eau à marée basse. Quant au Binnen-Paardemarkt, c'est un banc long et étroit, situé à 1 kilomètre de distance moyenne de la côte, depuis les écluses de Heyst jusqu'au Sluissché Gat, suivant une direction sensiblement parallèle à celle de la plage; il présente, dans sa partie est, un plateau d'environ 6 kilomètres de longueur, n'ayant que 0^m,60 à 2^m,00 de profondeur à mer basse. Du côté ouest, le banc est plus profond; on y sonde jusqu'à 5^m,00 d'eau à marée basse.

Au nord, le Wielingen est limité par le banc du Wandelaar, par le Ribzand, qui comprend les bancs de Heyst et de Knocke, et par le banc du Hompel.

Le Wandelaar est formé de plusieurs petits plateaux, situés à l'entrée de la passe, et offrant environ 8^m,00 de profondeur; une bouée conique, peinte en bandes horizontales noires et rouges, avec mât et ballon, est mouillée près de son extrémité S. O. par 8^m,75 d'eau.

En septembre 1882, un bateau-phare a été établi à 700 mètres dans le S. O. 1/4 O. de cette bouée; il est peint en rouge avec des bandes et porte de chaque bord, en grandes lettres, le mot *Wandelaar*; le mât est garni de deux sphères rouges à claire-voie, superposées. Pendant la nuit, le bateau du Wandelaar montre un feu blanc de 11 milles de portée; il est en outre pourvu d'une sirène, qui, par des temps brumeux, émet un signal formé de deux sons successifs, répétés de deux en deux minutes.

La partie ouest du Ribzand est plate et se trouve à 7^m,50, en moyenne, sous le niveau de marée basse. Le banc de Heyst est plus raide et n'offre en quelques points que 3^m,00 d'eau. Celui de Knocke, de profondeur très inégale, a 4^m,00 à l'endroit le plus élevé; il se prolonge par un plateau plus régulier et plus profond jusqu'au Hompel.

Ce dernier banc, dirigé à l'est, s'incline à son extrémité orientale vers le rivage et fait saillie dans la passe du Wielingen. Il est très accore du côté sud et présente en son milieu un plateau qui émerge à marée basse.

Lors de l'établissement du nouveau feu flottant du Wandelaar, le bateau-phare, qui se trouvait au sud du Ribzand, à 4 1/2 milles N. 26° E. de Blankenberghe, et dans l'alignement de Bruges par Lisseweghe, a été placé dans la passe du Wielingen même. Il est mouillé par 10^m,50 d'eau à marée basse, sur un fond vaseux noir, et dans le relèvement croisé de l'alignement des feux de Nieuwe-Sluis et de Bruges par Heyst. Ce bateau porte le nom de *Wielingen* inscrit sur ses flancs et deux écrans à claire-voie en tête des mâts; il montre un feu catoptrique rouge et à éclipses. Le Wielingen est en outre balisé dans toute son étendue au moyen de huit bouées noires, placées de distance en distance au sud du Ribzand et du Hompel, et de trois bouées blanches, dont deux sont établies au

nord du Binnen-Paardemarkt et la troisième près de la pointe ouest du banc de Breskens.

Pour traverser le Wielingen, les navires passent au sud du feu du Wandelaar, suivant une direction E. 10° N., jusqu'à ce qu'ils arrivent près de la seconde bouée noire sur l'alignement de Bruges par Lisseweghe, puis ils gouvernent à l'E. 4° N. le long du feu du Wielingen, dans l'alignement des deux feux de Nieuwe Sluys et traversent ainsi la Passe française, en laissant les bouées noires du Ribzand et du Hompel à bâbord; arrivés à la dernière bouée, ils passent l'extrémité du Hompel, en tenant le clocher de Ritthem bien visible au sud de celui de Flessingue, puis ils se dirigent au sud de la bouée blanche, établie sur la pointe intérieure du Elleboog, et entrent dans la rade de Flessingue, quand le phare de Westkapelle disparaît derrière la dune de Dishoek. Pendant la nuit, les navires, après avoir doublé le bateau du Wandelaar au sud, prennent l'alignement du feu du Wielingen et des feux de Nieuwe-Sluis, et ils suivent cette route jusqu'à ce que le feu placé près du Kruyshoofd, entre Nieuwe-Sluis et le Zwarte Polder, de rouge devienne blanc; ils se trouvent alors dans l'est du Hompel et se dirigent à l'E. 30° N. sur le feu de Flessingue.

La passe du Spleet est limitée au sud par le Ribzand et le banc du Hompel que nous venons de citer; au nord, par le grand plateau du Raan et par les bancs du Elleboog et du Walvischstaart.

Sur le plateau du Raan, on sonde 2^m,50 à 8^m,00 d'eau à marée basse; il comprend le Raan proprement dit et le banc de Schooneveld, situés respectivement dans la partie S.E. et dans la partie S.O. du plateau, où la profondeur est partout inférieure à 5 mètres. Le Walvischstaart et l'Elleboog peuvent être considérés, le premier surtout, comme le prolongement du Raan. Ce sont deux bancs très élevés, qui se trouvent même en quelques endroits au-dessus du niveau des basses marées; ils sont séparés par un faux-chenal qui s'exhausse vers l'est, et se soudent à l'extrémité de celui-ci par des fonds de 3 à 4 mètres de profondeur seulement.

On trouve dans le Spleet des profondeurs de 7 à 8 mètres, depuis son entrée par le travers de l'extrémité ouest du Ribzand, jusque dans le nord du banc de Knocke, où il n'y a que 6 à 7 mètres au maximum; au delà de cet endroit, on sonde des profondeurs d'eau beaucoup plus grandes, sur des fonds de vase molle. Ce canal est sinueux et non balisé; il n'est guère fréquenté que par des navires d'un tirant d'eau inférieur à 5^m,00, qui passent à l'ouest du banc de Schooneveld et traversent le Ribzand entre les bancs de Knocke et de Heyst, pour entrer dans le Wielingen.

La passe du Deurloo est séparée de l'Oostgat par les bancs du Rassen, de Zoutelande et de Caloo, qui forment ensemble un vaste plateau.

Le banc du Rassen a partout moins de 5^m,00 de profondeur; il présente une partie assez étendue, où il reste à peine 2^m,50 d'eau, et dont plusieurs points émergent à basse mer. Il en est de même du banc de Zoutelande, qui longe l'Oostgat et s'étend dans une direction à peu près parallèle à la côte S.O. de l'île de Walcheren, jusqu'en face de Koudekerke. Sur le banc de Caloo, que l'on peut considérer comme formant la partie N.E. du Rassen, on sonde généralement 4^m,50 à 5^m,50 d'eau; en quelques endroits il ne reste que 3^m,30 à 4^m,00.

Entre le Caloo et le Rassen, il existe un passage nommé *Botkil*, qui est accessible aux navires d'un faible tirant d'eau. Ceux-ci s'en servent lorsque, par des vents du nord surtout, le jusant est trop avancé pour leur permettre de sortir par l'Oostgat.

A l'extérieur du Deurloo et dans toute l'étendue du Westpit, la sonde accuse des fonds mous; entre le Westpit et l'entrée du canal, il existe des dépôts de sable qui se maintiennent à l'intérieur et au milieu de ce dernier, tandis qu'on rencontre de l'argile molle le long des bords du Raan et du Rassen.

Le Deurloo est balisé au nord par une bouée rouge, mouillée par 9^m,00 d'eau, à 2 milles de distance environ en dehors de l'extrémité N.O. du Rassen, et par cinq bouées noires, placées de distance en distance, à la limite inférieure du même banc et de celui de Zoutelande; au sud, par sept bouées blanches, mouillées du côté N.E. du Raan et du Elleboog. Il est très difficile à attaquer par les navires; les bancs qui le bordent des deux côtés s'étendent à une trop forte distance de la côte pour qu'il soit possible de bien reconnaître les amers; de plus, les grands bâtiments ne peuvent passer au-dessus des hauts-fonds de l'entrée avant la mi-marée, et, comme les courants portent au sud jusqu'au moment qui précède de deux heures la haute mer, ils sont exposés à être entraînés sur le Raan.

Le canal de l'Oostgat est compris entre le banc de Caloo et le Rassen, d'un côté, et entre les Kueerens et le Domburger Rassen de l'autre, puis entre le banc de Zoutelande et la côte de Walcheren; il est balisé au moyen de deux bouées rouges, d'une bouée noire et de quatre bouées blanches, et se réunit au Deurloo en face de Kaapduinen. C'est un chenal facile à suivre pour les navires à voiles, surtout avec des vents du nord. Les amers sont généralement très visibles; la route est droite jusqu'à la pointe de Westkapelle; là elle change du S. 18° E. au S. 50° E. Le Nolleplaatje s'avance dans cette passe, à l'ouest de Flessingue, et rejette le chenal navigable vers la rive opposée; ce banc, dont

la profondeur varie de 2 à 5 mètres, contribue à protéger la rade de Flessingue contre les vents du N.O.

Dans le Nord et le N.O. de l'Oostgat, au large de l'entrée de cette passe, se trouvent le Steenbank, le Middelbank et le Schouwenbank.

Le premier de ces plateaux, situé en face de l'île de Walcheren suivant une direction N.E., comprend deux plateaux étroits, le Noordsteenberg et le Zuidsteenberg, séparés par une dépression de 1 mille de largeur avec 9 à 14 mètres d'eau à marée basse. Le premier de ces bancs est le moins profond; on n'y sonde que 4^m,80 d'eau à la crête, et 1^m,80 seulement en un point culminant situé à la partie S.O. Au-dessus du Zuidsteenberg, il y a 6^m,75 d'eau en moyenne; la mer y est très mauvaise. Ces deux bancs sont signalés au moyen de bouées.

Le Middelbank s'étend à deux milles au large du Steenbank et forme la continuation du Rabs dans le N.N.E.; il gît devant l'entrée du bras oriental de l'Escaut et offre des profondeurs variant de 5^m,50 à 13 mètres.

Le Schouwenbank est séparé du Middelbank par un chenal de deux milles de largeur environ et de 30 mètres de profondeur; ce plateau, d'une étendue de 15 milles du N.E. au S.O. et de 1 mille de largeur moyenne, est relativement profond; ses parties culminantes offrent au moins 7^m,50 d'eau à marée basse.

Un bateau-phare est établi près du talus sud du Schouwenbank, par 25 mètres d'eau, fonds de sable et de coquillages. Il porte un feu blanc à éclipses et est pourvu d'une sirène pour les temps de brume.

Les plateaux dont nous venons de parler abritent au N.O. le Steendiep, appelé quelquefois " rade de Walcheren ". Les navires qui y mouillent choisissent de préférence l'endroit où l'on relève le clocher de Middelburg par l'extrémité ouest du bois situé entre Oostkapelle et Domburg au S.36° E., et l'église de Westkapelle au S.2° E.; on y sonde près de 14 mètres d'eau à mer basse.

Pour entrer dans l'Oostgat, les navires passent entre les plateaux du Schaar et de Schouwen et tiennent le clocher de Middelburg par l'église de Domburg au S.49° E.; ils traversent ainsi les grands fonds du Middelbank et arrivent par la passe existant entre les plateaux du Steenbank, dans le Steendiep. Lorsque le clocher de Westkapelle est à peu près par le Kaaphuisje, au S.23°30' E., on est dans l'alignement qui conduit à $\frac{3}{4}$ de mille dans l'ouest de la bouée rouge, placée sur le côté S.O. du plateau du Kucerens; puis on gouverne de manière à passer à 200 mètres environ de la pointe de Westkapelle et jusqu'à ce que le phare de ce village reste par le moulin, pour se guider après et successi-

vement sur l'alignement des phares de Kaapduinen et celui des phares de Westkapelle et de Zoutelande, et passer enfin entre la bouée noire du Nolleplaatje et la bouée blanche du Elleboog.

Pendant la nuit, la route vers l'Oostgat est signalée par le bateau-phare de Schouwen. On traverse les plateaux du Steendiep, en tenant l'un par l'autre le feu de direction de la digue de Westkapelle par le phare de même nom; on doit quitter cet alignement quand le feu de Domburg de rouge devient blanc, et amener ensuite les deux feux de Kaapduinen l'un par l'autre au S. 51° E., jusqu'à ce que le phare de Zoutelande soit par celui de Westkapelle; la route est alors indiquée par les feux de direction du Galgenschaaar, et quand on aperçoit la lumière blanche du feu de Flessingue, on a doublé le Nolleplaatje et on peut gouverner sur la rade.

Au sud du banc du Binnen-Paardenmarkt que nous avons mentionné plus haut, en parlant de la passe du Wielingen, se trouve la fosse de Heyst, qui longe la côte et est désignée sur les cartes marines sous le nom de " Appelzak ". Elle s'étend devant les villages de Heyst et de Knoeke, jusqu'à la côte de Cadzand et offre 8 à 10 mètres de profondeur sur 450 mètres de largeur moyenne.

Au sud du plateau Het Zand, situé vers l'ouest et en prolongement du Binnen-Paardenmarkt, on sonde des profondeurs qui varient entre 6^m,00 et 7^m,50; les courbes des fonds de 9^m,00 ne se trouvent, en certains endroits, qu'à 800 mètres de la côte. L'estran sous-marin se relève, à partir de cette courbe, suivant une pente sensiblement régulière vers le niveau de marée basse.

IV. — ESCAUT OCCIDENTAL.

Depuis Flessingue jusqu'à Bath, l'Escaut offre de très grandes largeurs et forme une espèce d'estuaire intérieur. Celui-ci tient cependant beaucoup plus du fleuve lui-même; on y observe notamment, d'une manière caractéristique, l'influence exercée par les rives sur la marche des alluvions, comme nous le verrons plus loin. C'est ce qui nous a déterminé à admettre que l'estuaire proprement dit de l'Escaut ne commence qu'à Flessingue.

A l'entrée du fleuve, les passes de l'embouchure se réunissent en une seule, désignée plus spécialement sous le nom de Hont et comprenant la rade de Flessingue. (Pl. XVI).

Le Hont offre partout une profondeur minimum de 9 mètres sous le niveau des basses mers de vive eau. Dans la rade de Flessingue, on sonde en moyenne 10 à 15 mètres d'eau et jusqu'à 25 à 30 mètres au droit du fort du Ruyter;

ces grandes profondeurs se maintiennent plus loin, et elles longent de très près la rive Nord du fleuve, ainsi que le talus particulièrement raide du banc du Kaloot.

La rade de Flessingue est assez abritée contre les vents du N.O., ce à quoi l'existence du Nolleplaatje contribue beaucoup ; mais par les tempêtes de l'O. ou du S.O., la mer y est houleuse et les bâtiments sont quelquefois obligés de se réfugier dans la rade de Terneuzen.

A l'Est de Flessingue se trouve le Sloe, qui établissait précédemment la communication entre le Hont et l'Escaut oriental. Les navires de faible tirant d'eau jettent généralement l'ancre à l'entrée de cet ancien bras de mer, par des fonds de 7 à 9 mètres, à la hauteur de la bouée rouge qui est mouillée près de la pointe ouest du Kaloot. Ils y sont mieux abrités contre les vents du N.O. que dans la rade de Flessingue. Mais les bateaux de la petite navigation mouillent à l'intérieur du Sloe, en face ou immédiatement au sud de Rammekens, en un endroit appelé encore " rade de Rammekens " quoique celle-ci, en réalité, n'existe plus ; elle était abritée, il y a un certain nombre d'années, contre les vents du S.O. par la pointe ouest du Kaloot, qui s'avancait à cette époque jusque devant Flessingue.

Le Hont est limité au sud par le banc du Hooge Springer auquel viennent se souder l'Oostspringer et le Westspringer, ainsi que les bancs du Staart et de Breskens. Ces vastes plateaux émergent en partie à marée basse ; les sommets les plus élevés se trouvent à 2^m.00, 2^m.50, et jusqu'à 3^m.50 au-dessus du zéro.

Entre les bancs de Breskens et du Westspringer, d'un côté, et la rive sud du fleuve de l'autre, il existe un chenal de 500 mètres de largeur moyenne et de 10 à 24 mètres de profondeur, connu sous le nom de chenal de l'Hoofdplaat. Il est barré à son extrémité est par un haut-fond reliant les sables du Lage Springer à la rive, au droit du Thomas polder, et n'offrant que 3 à 4 mètres d'eau à marée basse ; il se prolonge plus loin par une section fort rétrécie, de profondeur variable, jusqu'à la passe de Terneuzen.

Immédiatement à l'est du Lage Springer se trouve l'entrée du Brackman, qui est encombré par des atterrissements, comprenant l'Angelina polder et le Kleine Stallepolder ; il existe encore, le long de la rive est de ce bras du fleuve, un chenal étroit et sinueux, dont la profondeur varie de 6 à 12 mètres sous le niveau des basses mers ; il se dirige, à partir du Koudenpolder, au sud du Savoyardplaat et le long de l'Angelina polder jusqu'à Bouckhaute ; mais sa profondeur y devient notablement moindre et elle n'est plus que de quelques décimètres près de ce dernier endroit.

Au nord-est de l'Oostspinger, le Hont se divise en deux passes : celle d'Everinge et celle de Terneuzen.

La première s'étend le long de la rive nord du fleuve jusqu'à la pointe d'Ellewoutdyck ; elle se prolonge, sous le nom de passe de Baarland, vers le Middelgat, tandis qu'elle est reliée actuellement par un autre chenal, séparant le Suykerplaat du Middelplaat, à la passe de Terneuzen. A l'origine de ce chenal, il existe un sèche où l'on ne sonde que 7^m,00 d'eau sous le niveau des basses mers ; le sèche situé à l'entrée de la passe de Baarland n'a que 5^m,00 à 6^m,00. Partout ailleurs la profondeur dans l'Everinge est supérieure à 10 mètres et atteint en certains points jusqu'à 20 et 25 mètres.

Le chenal de Terneuzen est séparé des passes précitées par le Suykerplaat et le Middelplaat, plateaux fort élevés et auxquels se rattachent, du côté sud, les bancs de Terneuzen et le Margriet. Il y a peu d'années, le Margriet se terminait à l'est par un plateau allongé occupant la zone centrale du fleuve ; ce plateau, qui, comme le Suykerplaat et le Middelplaat, offre des points culminants dépassant de 1^m,90, de 2^m,20 et même de 3^m,40 le niveau de marée basse, est aujourd'hui séparé du Margriet par des fonds de 10 à 12 mètres de profondeur, de sorte que la passe de Terneuzen communique librement avec le Middelgat. Dans cette passe, on sonde 25 à 30 mètres d'eau et plus ; ces grandes profondeurs longent de très près la rive concave du fleuve entre le Brackman et l'Eendrachtspolder. Le port de Terneuzen, placé à l'entrée du canal conduisant de Terneuzen à Gand, débouche dans ces fonds.

Le Middelgat offre des profondeurs variant moyennement de 15 à 20 mètres, et atteignant en quelques endroits 30 à 34 mètres ; elles ne sont interrompues que par le banc de Capelle, situé dans le creux du coude. Cette passe se prolonge au nord du banc de Welsoorden suivant un faux chenal, large et profond, appelé le Schaar de Waarde, qui se termine aux hauts-fonds reliant le plateau de Valkenisse aux atterrissements du Hoek van Valkenisse.

Au sud du Middelgat, on rencontre le Brouwersplaat qui se rattache du côté sud au banc d'Ossenissee, relié lui-même au banc de Hulst. Ces derniers plateaux sont séparés des atterrissements de la rive, depuis le Hooglandpolder jusqu'à la pointe d'Ossenissee, par une fausse passe où l'on sonde encore 4 à 12 mètres d'eau.

Le Middelgat communique avec le Zuidergat par la dépression avec 5^m,60 d'eau existant à l'ouest de la pointe occidentale du banc de Waarde. On sonde dans cette dernière passe 10 à 15 mètres d'eau en moyenne, et jusqu'à 20 et 30 mètres en plusieurs points. Elle est limitée au nord par les bancs de Waarde, de Welsoorde et de Valkenisse, qui la séparent du Schaar de Waarde. A partir du Perkpolder

jusqu'à Welsoorde, le Zuidergat longe la rive sud du fleuve et plus loin, les vastes schorres et atterrissements connus sous le nom de Konynenschoor, Marlemontscheplaat, Polder van Namen, Saeftingen, Verdrongen land van Saeftingen et Saeftingen Schorren. Ces plateaux se trouvent à une hauteur variant en moyenne de 0^m,60 à 3^m,00 au-dessus du niveau des basses marées; ils sont sillonnés par quelques chenaux étroits, dont le plus profond est le Speelmansgat. A l'est, le Zuidergat communique avec le Schaar du Nord, qui se termine aux sables des bancs de Saeftingen et du Duyster.

Immédiatement en aval de Bath, on rencontre du côté est le banc dit Ballastplaat, et le Slikken van Hinkelenoord, lesquels occupent dans l'ancienne branche de Bergen-op-Zoom, la majeure partie de la surface située au sud de la digue. A la hauteur de Santvliet, le thalweg est rejeté vers la rive est, et bordé, du côté opposé, par le banc de Doel. Ce banc se rattache à la rive en face des feux Frédérik et s'avance en pointe dans le lit du fleuve. Au delà de Doel, le chenal se tient dans les parties concaves des coudes que le fleuve présente successivement à Liefkenshoek, Kruisschans, Calloo, Pipe de Tabac et au droit des nouveaux quais à Anvers. La profondeur y varie de 9 à 20 mètres. Aux endroits où le courant croise le thalweg, pour se jeter de la rive concave de l'un des coudes du fleuve vers la rive concave du coude qui suit, on rencontre quelques bancs ou surélévations du fond, notamment en amont de Liefkenshoek et de l'ancien fort Philippe, mais ces parties sèches offrent au moins 5^m,80 d'eau aux marées basses de vive eau ordinaires.

Les chenaux navigables de l'Escaut sont signalés à l'aide d'un ensemble très complet de bouées, de balises et de feux de direction, qui indiquent aux navigateurs, tant la nuit que le jour, la route qu'ils ont à suivre dans le fleuve.

Près de l'embouchure, on remarque que le flot, après avoir passé devant Flessingue, pénètre d'abord dans la passe d'Everinge, et ne s'établit complètement dans la passe de Terneuzen qu'environ une heure après. Il court alors avec plus d'intensité entre Flessingue et Borselen, le long du Springer. Aussi, les navires en destination pour la rade de Terneuzen doivent, à la hauteur de Borselen, gouverner au sud, le long du plateau de ce nom, pour ne pas risquer d'être entraînés au nord de la pointe du Suykerplaat vers la passe d'Everinge. Les courants de marée sont également fort intenses le long de la rive sud de la rade de Terneuzen, et l'on y trouve de grandes profondeurs; la sonde accuse jusqu'à 33 mètres aux environs du port.

La rade de Terneuzen, comme nous l'avons déjà dit, offre un bon mouillage pour les bâtiments qui ne peuvent plus tenir en rade de Flessingue par les coups

de vent de l'O. et du S.O. Ils jettent de préférence l'ancre dans la partie nord de la passe, près des plateaux de Neuzen, où l'on est moins exposé aux courants de marée.

Lorsque les navires sont obligés, pendant leur trajet de Flessingue à Terneuzen, d'étaler la marée, ils trouvent un bon mouillage dans la passe d'Everinge, près de la rive nord du fleuve, à l'est d'Ellewoutsdyk. En cet endroit, les courants ne sont pas aussi intenses et on est à l'abri des vents du N.O. et de l'O. Lorsque le vent souffle du sud, il est préférable de jeter l'ancre près du talus nord du Suykerplaat, à peu près en face d'Ellewoutsdyk.

A peu près à mi-chemin de la route de Flessingue à Anvers, les navires trouvent une bonne rade dans le coude de Welsoorde, où ils peuvent généralement, en remontant ou en descendant l'Escaut, arriver pendant la première marée et faire étale.

CHAPITRE IV.

RÉGIME DES FONDS SOUS-MARINS, SITUÉS DEVANT LA CÔTE DES FLANDRES.

Nous venons de voir que les conditions d'accessibilité des ports de la côte des Flandres dépendent essentiellement de la situation des bancs et des passes, dont la mer est parsemée dans le voisinage du littoral. Avant d'aborder l'étude de projets, soit pour l'amélioration des ports existants, soit pour la création de ports nouveaux sur cette côte, il importe donc de rechercher avec soin, par la comparaison des reconnaissances hydrographiques effectuées aux différentes époques, quels sont les changements survenus dans les fonds sous-marins qui s'étendent devant elle, et d'étudier les causes de ces changements, pour en déduire certaines indications sur ceux que l'on peut craindre ou espérer par la suite. L'importance du sujet justifiera, nous osons l'espérer, les développements dans lesquels nous allons entrer.

Il n'existe qu'une seule carte marine exacte et précise, comprenant la partie du littoral de Belgique située entre la frontière française et le port d'Ostende, antérieure à celle qui a été levée en 1866 par M. le Lieutenant de vaisseau Stessels et dont un extrait figure pl. VII; c'est la carte de la côte nord de France, depuis Gravelines jusqu'à Ostende, dressée en 1801 et 1802 par le célèbre ingénieur hydrographe M. Beautemps-Beaupré. Elle est reproduite partiellement pl. VI; pour que la comparaison avec la carte de M. Stessels en soit facile, nous l'avons réduite à la même échelle de 1 millimètre pour cent mètres, et nous avons transformé en mètres les chiffres de sondes qui y sont exprimés en pieds de France. Toutefois, il faut encore tenir compte de cette circonstance que, sur la carte de M. Beautemps-Beaupré, les cotes de sondage sont rapportées au *niveau des plus basses mers observées* et que le repère adopté par M. Stessels correspond à la

hauteur moyenne des *basses mers de vive eau ordinaires*. La différence entre ces deux niveaux, devant la côte de Belgique, est d'environ 0^m,70.

Un autre plan de la côte nord de France, depuis Nieuport jusqu'à Ambleteuse, a été levé en 1776 par La Couldre La Bretonnière, lieutenant de vaisseau, et Méchain, astronome hydrographe de la Marine française ; mais on ne connaissait pas encore, à cette époque, les méthodes exactes qui ont été employées depuis pour faire les reconnaissances hydrographiques, de sorte que cette carte ne renseigne pas d'une manière précise la configuration des fonds, ni leur position réelle ; elle semble avoir été dressée plus spécialement pour indiquer la hauteur des bancs et la profondeur des passes, et, sous ce rapport, elle peut être consultée avec utilité (Pl. V) (*).

En mars 1804, M. Beautemps-Beaupré a levé le plan de la petite rade d'Ostende ; le même plan a été levé en 1867 par M. Stessels et en 1882 par M. le lieutenant de vaisseau Petit. (Pl. VIII) (*).

Trois autres reconnaissances hydrographiques ont été faites, dans les parages de Dunkerque, depuis 1802 ; la première en 1836, par les ingénieurs hydrographes français sous la direction de M. Beautemps-Beaupré ; la seconde en 1861 par M. de la Roche-Poncié ; la troisième en 1879 par M. Ploix ; mais elles ne s'étendent pas au delà de la frontière de Belgique.

Enfin, une nouvelle carte a été dressée en 1879 et 1880 par M. Petit pour la zone maritime qui longe notre littoral, depuis le village d'Oostduinkerke jusqu'à celui de Knocke, sur une longueur d'environ 10 kilomètres (*).

Les cartes marines de l'estuaire de l'Escaut, qui comprennent la côte de Blankenberghe et de Heyst, sont plus nombreuses. La plus ancienne, à notre connaissance, est encore due à M. Beautemps-Beaupré et a été levée et dressée de 1799 à 1811. (Pl. IX). Les autres ont été dressées par la Marine néerlandaise, et datent respectivement de 1825, 1842, 1855, 1865 et 1878. (Pl. X, XI, XII, XIII, et XIV) (*).

(*) Cette carte est mentionnée dans le mémoire de M. Ploix, de 1863. M. Guillaïn, aujourd'hui Directeur des routes, de la navigation et des mines, à Paris, et précédemment Ingénieur en chef à Boulogne et à Dunkerque, a eu la gracieuseté de nous en procurer une copie. Nous en avons reproduit un extrait sur une échelle moitié moindre.

(*) Nous avons réduit ces trois plans à la même échelle de 5 millimètres pour 300 mètres ; pour celui de M. Beautemps-Beaupré, nous avons transformé en mètres les chiffres de sondes, qui y sont exprimés en pieds de France. Mais les cotes de sondage renseignées sur ce dernier plan sont rapportées au niveau des plus basses mers, tandis que celles du plan de MM. Stessels et Petit sont rapportées au niveau des basses mers de vive eau ordinaires.

(*) Les résultats de cette reconnaissance hydrographique sont indiqués sur la carte de la côte des Flandres, représentée pl. IV.

(*) Les extraits des cartes de la Marine néerlandaise ont été réduits à l'échelle de 1 millimètre pour 150 mètres. L'extrait de la carte de M. Beautemps-Beaupré a été réduit à la même échelle ; les cotes de

I. — RÉGION COMPRISE ENTRE CALAIS ET LA FRONTIÈRE DE BELGIQUE.

M. de la Roche-Poncié, dans son rapport sur la reconnaissance hydrographique de la côte nord de France, faite en 1861 entre Calais et la frontière de Belgique, a étudié les modifications que les hauts-fonds sous-marins, ainsi que les estrans de ces parages maritimes ont successivement subies de 1801 à 1836, et de 1836 à 1861⁽¹⁾.

Il constate tout d'abord que les cartes de ces différentes époques, considérées dans leur ensemble, offrent une très grande ressemblance entre elles; les mêmes bancs et les mêmes chenaux y occupent les mêmes positions relatives et paraissent avoir subi tout au plus quelques légères variations de hauteur ou de profondeur. Mais un examen attentif lui montre que ces fonds éprouvent cependant des changements très appréciables.

Les sables qui composent les bancs sont sujets à des déplacements, modifiant jusqu'à un certain point la position ou l'étendue des plateaux, ainsi que l'allure de leurs lignes de niveau. Ces modifications sont très accentuées et, en même temps, fort irrégulières à la partie culminante des bancs, principalement aux endroits qui émergent à marée basse.

Les lignes des fonds de 8 à 10 mètres sous marée basse, limitant les bancs dans le sens de leur longueur, semblent en général être moins variables de position; celles qu'on trouve aux extrémités subissent au contraire des déplacements continuels, soit dans un sens, soit dans un autre, mais qui le plus souvent ont simplement pour effet d'allonger ou de raccourcir le plateau sans l'écarter de son gisement.

Les chenaux profonds, tels que la passe qui sépare le Breedtbank du Braeck, celle qui s'étend au sud du haut-fond de Gravelines et du Snouw, le chenal situé au sud du Dyck occidental ou Orteil, ainsi que les grands fonds de la rade de Calais, tendent généralement à s'exhausser, mais d'une manière extrêmement lente. Les petits fonds, au contraire, n'ont pas changé; ainsi la rade de Dunkerque et ses passes d'accès ont conservé sensiblement les mêmes limites et les mêmes profondeurs.

sondage qui, sur l'original, sont exprimées en pieds de France et indiquent la profondeur de l'eau sous le niveau des plus basses mers observées, y sont transformées en décimètres. Ces mêmes cotes sont rapportées au niveau des basses mers de morte eau ordinaires sur les cartes de 1825, 1842 et 1855, et à celui des basses mers ordinaires sur les cartes de 1865 et 1878. On peut admettre que les différences entre ces deux derniers repères et le repère de la carte de M. Beautemps-Beaupré sont respectivement de 1^m,25 et de 1^m,00 environ.

(1) *Recherches hydrographiques sur le régime des côtes. Deuxième cahier.*

En ce qui concerne l'estran sous-marin qui s'étend au sud de cette rade jusqu'au rivage, voici comment s'exprime le rapport de M. de la Roche-Poncié :

„ La laisse de basse mer de grande marée n'a pas varié dans l'est de
„ Dunkerque ; mais, à l'ouest, le prolongement des jetées, de 300 mètres, exécuté
„ depuis 1836, a provoqué presque immédiatement un avancement égal de la
„ plage vers le large, avancement qui se fait sentir jusqu'à plusieurs milles à
„ l'ouest, où la nouvelle plage se raccorde avec l'ancienne.

„ A terre, les travaux exécutés depuis le commencement du siècle, pour
„ endiguer le chenal, créer des écluses de chasse et relier le fort Risban à la
„ terre, ont modifié la côte dans l'ouest.

„ Ces ouvrages avancés en mer ont provoqué des atterrissements, des relais
„ de mer protégés ensuite par des digues et acquis à l'agriculture ; mais partout
„ ailleurs, où il n'a pas été fait de travaux à terre, la côte ne semble pas
„ avoir varié ; les dunes se sont peut-être élevées.

„ L'avancement de la plage n'a pas changé les limites de la rade ; la ligne
„ des fonds de 10 mètres se trouve exactement à la même distance de terre
„ qu'auparavant ; l'inclinaison du fond, entre les lignes de 0 mètre et 10 mètres,
„ a seulement un peu augmenté.

„ Il faudrait bien se garder de conclure de l'observation précédente, à la
„ possibilité de conduire et d'entretenir le chenal de Dunkerque jusque par les
„ fonds de 10 mètres en dessous des basses mers.

„ A Gravelines, l'enlèvement d'une petite portion de jetée basse a produit
„ immédiatement un retrait vers la côte de la laisse de basse mer. A l'ouest de
„ Gravelines, la laisse de basse mer et les petits fonds qui l'avoisinent n'ont
„ pas changé d'une manière sensible jusqu'à Calais, où la prolongation des
„ jetées, de 250 mètres, l'a reportée de la même quantité vers le large. Les
„ travaux d'art seulement ont donc produit quelques changements sur les
„ plages. „

M. de la Roche-Poncié résume en ces termes les changements constatés de 1801 à 1836, et de cette dernière époque à 1861, dans les fonds de la côte nord de France, depuis Calais jusqu'à la frontière de Belgique :

„ Les fonds de la côte nord de France, de Calais à la frontière de Belgique,
„ ne semblent pas, à première vue, avoir varié depuis 1801 à 1836 ; les bancs
„ et les chenaux occupent, à fort peu près, les mêmes positions ; mais un examen
„ plus approfondi montre que les bancs n'ont pas une fixité absolue en position
„ et en hauteur, et que les grands fonds de plus de 20 mètres en dessous des
„ basses mers tendent à s'exhausser lentement, tandis que les petits fonds, comme

« ceux de la rade de Dunkerque, n'ont pas changé. La côte n'a varié qu'à la suite des travaux d'art qu'on y a exécutés. »

La carte de l'atterrage de Dunkerque, levée en 1879 par M. l'Ingénieur hydrographe Ploix, n'accuse aucun changement important dans la configuration des fonds de ces parages. La rade de Dunkerque et ses passes d'accès ont conservé la même profondeur et le même gisement; les divers bancs qui précèdent la rade du côté du large n'ont subi que des modifications très secondaires, résultant pour la plupart de déplacements de sable qui se sont opérés à la partie la plus élevée de ces plateaux, et qui sont assez accentués pour le Hills, le Braeck, le Smal et le Breedt.

II. — RADE DE NIEUPOORT, BANCs ET FONDS ENVIRONNANTS.

Pour suivre les modifications qui se sont produites successivement dans les fonds situés devant la côte de Nieuport et devant celle d'Ostende, nous avons à comparer les reconnaissances hydrographiques faites respectivement en 1801 par M. Beaupré, en 1866 par M. Stessels, et de 1880 à 1883 par M. Petit; il y a en outre, pour les bancs et les passes attenants à l'atterrage de Dunkerque, les reconnaissances de 1836 et de 1879 que nous venons de citer.

Commençons par la rade de Nieuport et ses passes d'accès.

Les limites et les profondeurs de cette rade ont peu varié depuis le commencement du siècle. Les courbes de 10 mètres qui la terminent au nord et au sud, depuis son extrémité occidentale jusqu'au Broersbank, se sont déplacées de 300 mètres en moyenne vers le large, pendant la période comprise entre les années 1801 et 1866; depuis cette dernière époque, la limite sud s'est rapprochée de nouveau de la côte, au droit de la passe de Zuydcote et du banc du Traepegeer.

La carte de 1776, pl. V, renseigne 8 à 10 brasses (13 à 16 mètres) pour la profondeur générale de la rade, soit environ celle que l'on y trouve aujourd'hui; et il est probable que cette profondeur date de plus loin encore, car ce document porte une note, où il est dit que *la partie des bancs situés à l'orient du méridien de Zuydcote n'a point été levée, mais qu'on l'a tirée des cartes ordinaires les plus détaillées.*

Dans la passe de Zuydcote, la petite saillie des fonds de 4^m,00, formée par le talus du Hillsbank près de la rade de Dunkerque et indiquée sur la carte de 1801, disparaît à partir de 1836. A cette première époque, on sondait en cet

endroit de la passe 6^m,20 d'eau sous le niveau des plus basses marées; les reconnaissances hydrographiques françaises de 1836 et de 1861 ne renseignent que 5^m,20 au même point; mais la carte de M. l'Ingénieur Ploix, de 1879, indique de nouveau 6^m,20, ce qui correspond à une profondeur de 7^m,00 à peu près sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, adopté comme repère sur la carte de M. Stessels. (¹)

La passe du Nord n'a subi de changements notables qu'à son entrée dans la rade; le haut-fond qui y relie l'extrémité S. E. du Smalbank à la pointe S. O. du banc de Nieuport, à travers le canal, s'est exhaussé de 1801 à 1866; on y trouvait en 1801 6^m,50 à 7^m,80 d'eau sous le niveau des plus basses marées, soit 7^m,20 à 8^m,50 sous celui des basses mers de vive eau ordinaires, tandis que la carte de 1866 n'indique que 5^m,50 à 5^m,60 au point le plus élevé. Mais, ainsi que nous l'avons déjà dit au chapitre précédent, ce canal s'est approfondi derechef depuis 1866. Les sondages exécutés par M. Petit en 1880 et en 1883, y accusent une profondeur minimum de 8^m,00; de plus, le plateau avec 4^m,00 d'eau environ qu'on rencontre près de l'extrémité N. E. du Smalbank, a disparu pour faire place à des fonds de 7 mètres, donnant accès au chenal compris entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank; et immédiatement à l'est de la passe du Nord, à l'emplacement occupé en 1866 par la pointe ouest du banc de Nieuport, on trouve également 7^m,00 à 7^m,50 d'eau sous marée basse.

Quant à la passe du N. E., les lignes de niveau qui la comprennent se sont rapprochées l'une de l'autre de 1801 à 1866, et ont pris une allure plus régulière; les fonds de plus de 10 mètres faisant suite, d'un côté à ceux de la rade de Nieuport, et de l'autre à ceux de la rade extérieure d'Ostende, se sont prolongés suivant l'axe de la passe, et le haut-fond qui les sépare pour relier le banc de Nieuport au Stroombank est devenu moins élevé; sa profondeur sous le niveau des plus basses marées n'était, en 1801, que de 5^m,50 à 6^m,20, soit 6^m,20 à 6^m,90 sous celui des basses mers de vive eau ordinaires; elle atteint 9^m,00 en 1866. De 1866 à 1880, les courbes des fonds de 8 et de 10 mètres, limitant au sud la passe du N. E., se sont rapprochées du Stroombank.

La passe de l'Est enfin, qui conduit de la rade de Nieuport vers la petite rade d'Ostende, a perdu en profondeur depuis 1801; la carte de M. Beauteemps-Beaupré y renseigne en effet, jusque devant Middelkerke, des profondeurs de 10 et de 12 mètres sous les plus basses marées, soit 10^m,70 et 12^m,70 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, tandis que la carte de M. Stessels

(¹) Voir page 129.

n'indique que 9^m,50 et 10^m,50. De 1866 à 1880, la profondeur de cette passe n'a pas sensiblement varié, mais les fonds de 8 et de 10 mètres se sont étendus en plusieurs endroits vers la côte.

Arrivons aux bancs que l'on rencontre dans le voisinage de la rade de Nieuport.

Le Hills, situé à la limite orientale de la passe de Zuydcote, a un peu diminué de largeur dans le nord de Dunkerque; du côté est, il est resté compris entre les mêmes limites de 10 mètres. La carte de l'atterrage de Dunkerque, levée en 1836, renseigne, en plusieurs endroits du banc, des parties qui émergent aux basses mers des grandes marées, notamment un plateau assez étendu situé à l'ouest du méridien de Coudekerque. Sur la carte de 1879, on remarque que ce plateau s'est développé, mais sa hauteur au-dessus du niveau de marée basse a en même temps diminué.

Le col reliant le Hills au Smal et séparant le chenal compris entre le Breedt et le Snouw de la rade de Nieuport, tend à s'exhausser d'une manière continue. D'après la carte de 1776, la profondeur de la partie culminante de ce col était à cette époque de 5 1/2 brasses ou de 9 mètres; elle n'est plus que de 7^m,10 en 1801 et se réduit à 4^m,60 en 1836; de 1836 à 1879, la profondeur ne change pas sensiblement, mais la largeur du col, entre les courbes de niveau de 5 mètres, diminue.

De 1801 à 1836, le Smalbank s'est soudé à la partie centrale du Breedt par des fonds de 5^m,50 à 6^m,50, en un endroit où l'on sondait à cette première époque plus de 10 mètres à marée basse. Cette soudure s'est exhaussée encore depuis 1836; sur la carte de 1879, elle comprend un plateau non interrompu ayant partout moins de 5 mètres d'eau et 3^m20 seulement sur la crête. Dans le nord de Dunkerque et de Leffrinckoucke, le banc s'est approfondi de 1801 à 1866, pendant qu'il s'est exhaussé en son milieu, jusque par le travers d'Adinkerke.

Pendant la même période, les fonds de la rade de Nieuport ont refoulé, de 300 mètres environ, la limite sud du plateau, tandis que la partie plus profonde qui termine le Smalbank à l'est, a peu varié. De 1866 à 1879, les fonds de 10 mètres limitant ce plateau au nord et au sud se sont maintenus à peu près dans la même position, sauf à l'extrémité N.E., laquelle s'est raccourcie; toutefois les sables culminants, avec moins de 2^m,00 d'eau, qui couronnent le banc, ont gagné en profondeur à droite du méridien de Leffrinckoucke; l'approfondissement est surtout sensible près de la pointe N.E. du banc.

La situation des fonds de 6 à 10 mètres formant les talus sud et nord du banc de Nieuport, est peu différente sur la carte de 1866 et sur celle de 1801;

les sables avec moins de 4 mètres d'eau, qui constituent les sommets les plus élevés du banc, ont subi certains déplacements dans l'étendue même du plateau et paraissent s'être développés dans le nord de Nieuport. De 1866 à 1880, le banc, considéré dans son ensemble, a conservé le même gisement; mais il s'est creusé à l'ouest; la profondeur de sa partie culminante est devenue moins inégale et mesure partout 4^m,50 au moins sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires.

Le Stroombank n'a pas subi, de 1801 à 1866, des changements bien apparents dans la partie située du côté du Westdiep; toutefois les fonds de moins de 4^m,00 s'y sont rapprochés du talus sud du banc, qui est resté très raide. En 1880, les points culminants, situés dans les méridiens de Nieuport et de Westende, sont devenus moins élevés.

Vers l'extrémité est du plateau, il y a eu des modifications très accentuées, sur lesquelles nous reviendrons en parlant de la rade d'Ostende.

Au sud du Westdiep, on a le Traepegeer, dont la pointe occidentale s'est exhaussée de 1801 à 1866; mais les fonds de 6 mètres, terminant de ce côté la passe de Zuydcote, ont peu varié. La crête du banc, entre les fonds de 4 à 5 mètres, a subi au contraire des modifications importantes; elle était formée en 1801, dans l'est du méridien de Zuydcote, d'un plateau allongé, où il ne restait que 1^m,00 à 1^m,90 d'eau aux plus basses marées et qui était relié aux sables de la côte devant le Broersduyn. De 1801 à 1866, il s'est produit, à travers cette partie surélevée du banc, une dépression de 1000 à 1500 mètres de largeur, et de 5^m,00 de profondeur minimum sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires. Dans le N.O. de la Panne, le plateau s'est étendu vers le large, en refoulant les fonds de la rade de Nieuport de 350 mètres en moyenne. L'extrémité est du Traepegeer, plus spécialement connue sous le nom de *Broers*, est restée comprise entre les mêmes limites, tandis que le sommet s'en est déplacé de près de 1000 mètres vers le S.O. De 1866 à 1883, il s'est opéré quelques mouvements de sable à la partie surélevée du banc, mais sa situation générale est restée sensiblement la même. La dépression qui s'est produite, de 1801 à 1866, devant la Panne, entre le plateau et la côte, s'est creusée encore en s'étendant vers le rivage; on y trouve actuellement des profondeurs variant de 6^m,00 à 7^m,70. Pendant la même période, le Broers s'est notablement abaissé.

En ce qui concerne la terrasse sous-marine située le long de la côte, entre le Broers et Middelkerke, en prolongement du Traepegeer, elle a subi peu de changements de 1801 à 1866; les courbes de niveau des fonds de 2, de 4 et de 6 mètres ont pris une allure moins irrégulière, suivant une direction à peu

près parallèle à celle du rivage. Mais, d'après la reconnaissance hydrographique de 1880, l'estran sous-marin de cette partie de la côte tendrait à raidir depuis 1866; la ligne des fonds de 8 mètres a avancé de 200 à 300 mètres en moyenne vers la plage, et, immédiatement à l'est de Nieuport, elle présente même une saillie dont la pointe se trouve à 700 mètres à peine de la laisse des basses mers.

Entre Zuydcote et Oostduinkerke, les cartes marines de 1801 et de 1866 accusent des changements assez sensibles dans les plages et dans les fonds attenants. La laisse des basses mers présentait en 1801 deux saillies à l'ouest de la frontière française et se tenait relativement près de la dune devant la Panne; en 1866, l'estran est devenu d'une largeur plus uniforme le long de cette partie du littoral, tout en se rétrécissant, tandis qu'il a légèrement gagné, au contraire, au droit du Broersduin et devant la Panne. D'après les sondages exécutés en 1883 par M. Petit, l'inclinaison de la plage sous-marine dans l'est de Zuydcote s'est accentuée encore depuis 1866; mais, passé Coxyde, elle est restée la même.

Les modifications de l'estran que l'on constate dans l'est de Zuydcote, sont probablement la conséquence de la dépression qui s'est formée à travers le Traepegeer. Tant que ce banc présentait la configuration indiquée sur la carte de 1801, les eaux, en arrivant de la rade de Dunkerque, s'engageaient en partie dans le faux-chenal situé au sud du sommet du Traepegeer, en s'appuyant contre la côte en face de la Panne. A mesure que ce plateau, subissant lui-même l'action des courants, s'est abaissé à l'endroit de la dépression, renseignée pour la première fois sur la carte de 1866, une partie des eaux a pu se propager graduellement dans cette nouvelle direction vers la rade de Nieuport, et l'ensemble de la plage et du talus sous-marin, depuis Zuydcote jusqu'à Oostduinkerke, a pris insensiblement une autre configuration, en rapport avec la tendance du flot à se frayer un passage à travers l'extrémité est du Traepegeer.

Occupons-nous un instant des bancs et des chenaux situés au large de la rade de Nieuport.

La configuration générale du Binnen-Ratel ne s'est guère modifiée de 1801 à 1866; la reconnaissance de 1879 accuse également fort peu de différence. Au Buiten-Ratel, les courbes de niveau de 8 et de 10 mètres, terminant le plateau à son extrémité nord-est, ont avancé de près de 1000 mètres vers le large.

De 1801 à 1866, le Kwintebank s'est élargi de 300 à 400 mètres au S.O.; il s'est développé de 1000 mètres à son extrémité N.E. et de 2000 mètres à son extrémité S.O., en se soudant, de ce dernier côté, à la pointe orientale du Smalbank, par des fonds avec 9^m,00 d'eau à marée basse. La partie culminante

du banc paraît s'exhausser. Quant au Middelkerkebank, on remarque seulement que son extrémité S. O. est devenue moins large et plus profonde.

Le courbe des fonds de 20 mètres, qui contourne, du côté du large, les Ruytingen, le Clif d'Islande et les bancs dont nous venons de parler, n'a presque pas changé d'allure ni de position; l'étendue des grandes profondeurs qu'elle limite à l'intérieur des chenaux situés entre ces bancs, est restée sensiblement la même de 1801 à 1866. Ainsi, dans le chenal existant entre les bancs du Dyck et ceux du Ratel, on observe des exhaussements en certains points, des abaissements en d'autres, mais ces modifications sont comprises entre des limites relativement restreintes et il serait difficile d'établir, au moyen des sondes trop peu nombreuses renseignées sur les cartes de 1801 et de 1866, s'il y a eu en définitive addition d'alluvions.

Il en est de même pour les grandes passes situées respectivement entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank, et entre ce dernier banc et le banc de Middelkerke. La première s'est creusée dans la zone du milieu; à l'entrée de la seconde, les profondeurs de plus de 20 mètres du large se sont développées dans la partie centrale d'environ 3000 mètres vers le sud, à travers des fonds où l'on ne sondait en 1801 que 11^m,40 à 17^m,50.

Mais en comparant la reconnaissance hydrographique de l'atterrage de Dunkerque de 1879 à celle de 1836 et à la carte de 1801, on constate que le chenal compris entre le Breedt et le Smal s'est exhaussé d'une manière très prononcée le long de la partie centrale du Breedt, à l'est de la soudure qui s'est produite entre ce banc et l'extrémité ouest du Smal et qui s'est plus particulièrement accentuée depuis 1836. L'exhaussement du chenal est sans doute une conséquence de cette soudure; car à mesure qu'elle s'est formée, la masse des eaux qui circulent pendant le flot et le jusant entre les deux bancs doit avoir diminué, et avec elle l'action érosive de ces courants sur le fond.

Résumons ce que nous venons de dire au sujet des changements survenus dans les fonds de la rade de Nieuport et de ses abords.

La situation hydrographique de ces parages maritimes est restée relativement stable depuis le commencement du siècle. Les profondeurs de la rade se sont bien maintenues depuis 1801, et la carte dressée en 1776 fait voir qu'elles datent de beaucoup plus loin encore. Les grands chenaux situés au nord, entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank et entre ce dernier plateau et le Middelkerkebank, ont conservé le même gisement et paraissent s'approfondir dans la partie centrale; les passes par lesquelles ils débouchent dans la rade se sont creusées également et tendent à s'améliorer encore; on y trouve actuellement des

fonds non interrompus avec 8^m,00 d'eau au moins à marée basse. Les autres passes d'accès de la rade ont relativement peu changé et leur profondeur n'est pas inférieure à celle que l'on y trouvait en 1801.

Pour ce qui est de l'estran sous-marin situé entre la rade et la plage, son inclinaison s'est notablement accrue à partir de 1866; sur la carte des sondages de 1880, les courbes de niveau de 4, de 6 et de 8 mètres sont en effet plus rapprochées de la côte, dans les environs de Nieuport, que sur la carte de 1866. Cet approfondissement des fonds attenants au rivage se manifeste dans l'est de Nieuport jusqu'au delà de Middelkerke.

III. — RADES D'OSTENDE ET FONDS ENVIRONNANTS.

Les lignes de niveau limitant les fonds avec plus de 10 mètres d'eau de la grande rade d'Ostende n'ont presque pas varié depuis 1801, et la profondeur de cette rade paraît plutôt augmenter.

Pour le banc d'Ostende, situé au nord de la rade, on remarque, sur la carte de 1866, un léger exhaussement près de l'extrémité S.O. et dans la partie centrale; la bande étroite et allongée, avec moins de 8^m,00 d'eau sous les plus basses marées, qui terminait en 1801 le banc au N.O., s'est au contraire plus ou moins creusée. De 1866 à 1880, le banc d'Ostende, de même que les sables reliant ce plateau à ceux de Wenduïne et de Nieuport, ont gagné en profondeur.

Le banc de Wenduïne a conservé le même gisement de 1801 à 1866. Le talus terminant du côté du large la partie ouest du plateau est devenu un peu plus raide vers le sommet; les sables de moins de 4^m,00 de profondeur, qui occupaient en 1801 une surface assez grande à la crête, ont subi des déplacements vers l'est, en diminuant en même temps d'étendue. De 1866 à 1880, les lignes de niveau de 6 mètres limitant le banc de Wenduïne au nord et au sud, se sont rapprochées l'une de l'autre; la profondeur du banc a légèrement augmenté du côté ouest et les petits sommets, avec moins de 4^m,00 d'eau, ont disparu. Dans le chenal situé au nord de la rade extérieure, entre les bancs de Middelkerke et d'Ostende, de même qu'au-dessus des fonds que l'on rencontre au sud de ces plateaux jusqu'au banc de Nieuport, et dans l'est de celui d'Ostende, la profondeur ne semble pas avoir changé depuis le commencement du siècle.

Quant à la ligne de niveau limitant les fonds de plus de 10 mètres qui s'étendent vers le large, dans le nord des bancs de Wenduïne et du Wandelaar, elle occupe à peu près exactement la même position sur les cartes de 1801 et de 1866; mais, sur cette dernière carte, son allure est moins sinueuse.

Parlons du Stroombank et de la petite rade d'Ostende.

De 1801 à 1866, les courbes de niveau des fonds de 8, de 6 et de 4 mètres de profondeur, formant le talus nord du Stroombank, ont avancé vers la crête de celui-ci; le talus sud est resté également raide. A l'ouest d'Ostende, on remarque, à la partie culminante du plateau, des déplacements de sable qui ont modifié la configuration et l'étendue des surfaces comprises entre les courbes de 4^m,00, en donnant naissance à de nouveaux points surélevés.

La carte levée en 1882 par M. Petit, indique surtout un abaissement général de la crête du plateau; les chiffres de sonde, rapportés au niveau des basses mers de vive eau, n'y sont en effet nulle part inférieurs à 2^m,50 et renseignent plutôt près de 3 mètres aux points les plus élevés, tandis que la carte de 1866 mentionne des parties saillantes où la profondeur n'est que de 1 mètre à 1^m,70; les courbes de niveau de 5 et de 6 mètres limitant le banc au nord se sont en outre rapprochées l'une de l'autre.

Mais c'est dans l'est d'Ostende que l'on constate des modifications très importantes. En 1801 le Stroombank, dans la partie limitée aux courbes de niveau de 4 mètres, ne s'étendait qu'à 1500 mètres au delà du chenal du port; il s'y tenait à une distance minimum de 1200 mètres des fonds de 4 mètres attenants à la côte, laissant ainsi de ce côté une large passe d'accès vers la petite rade d'Ostende. Dans toute l'étendue de celle-ci, on sondait en moyenne 7 à 8 mètres sous le niveau des basses mers de vive eau.

La situation se trouve bien changée en 1866.

La largeur du Stroombank a diminué et le plateau s'est allongé de plus de 4000 mètres vers l'est, suivant la direction légèrement inclinée qu'il présente par rapport à la côte.

Il en résulte que la passe de l'est, qui sépare son extrémité des fonds de 4 mètres longeant le rivage, n'a plus que 550 mètres de largeur avec 5^m,30 de profondeur sous le niveau des basses mers de vive eau.

D'autre part, toute la partie de la petite rade située à l'est du méridien de Mariakerke a subi un exhaussement très prononcé. On n'y trouve plus, en 1866, que 5^m,20 à 6^m,20 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, et 7 mètres du côté de Mariakerke, soit 1^m,50 environ en moins qu'en 1801. C'est ce qu'on voit plus clairement encore par la comparaison des plans de la rade d'Ostende dressés sur une échelle plus grande, le premier en 1804 et le second en 1867 par les mêmes hydrographes, M. Beaupré et M. Stessels. La carte de cette dernière époque indique en outre deux petits plateaux, avec moins de 5^m,00 d'eau, qui se sont formés près de la limite sud de la rade, le

premier dans l'ouest d'Ostende, le second dans le nord du chenal de ce port; plus loin, devant la plage de Breedene, les sables de moins de 5^m,00 de profondeur qui se rattachent à la côte, ont fait saillie dans la rade en deux endroits différents; à l'un d'eux, ils sont allés rejoindre le talus de la partie prolongée du Stroombank, à travers des fonds où il y avait, en 1804, jusqu'à 7^m,30 de profondeur sous le niveau des plus basses marées, soit 8^m,00 sous celui des basses mers de vive eau ordinaires. (Pl.VIII).

De 1867 à 1882, le Stroombank a subi un nouvel allongement d'environ 1400 mètres, en diminuant encore la largeur et la profondeur de la passe de l'est. De plus, la partie du plateau située dans l'est d'Ostende a empiété sur la petite rade, car à mesure que le banc, en se rapprochant de la côte, n'a plus pu s'allonger librement, il a augmenté en largeur en se développant vers le rivage.

Les fonds de vase et de sable vasard de la petite rade, du côté de Breedene, n'offrent plus en 1882, que 4^m,10 à 4^m,70 d'eau au lieu de 4^m,70 à 6^m,60 qu'on y sondait en 1867. Près du chenal du port, la profondeur est réduite de 7 mètres environ à 5^m,90; devant Ostende on sonde 5^m,70 à 6^m,40 aux endroits où il y avait en 1867, 6^m,50 à 7 mètres.

A partir de Mariakerke et dans la partie restante de la rade, la profondeur n'a pas diminué sensiblement.

Le Stroombank figure en partie sur la carte de la côte nord de la France de 1776, pour laquelle, nous l'avons déjà dit, les bancs situés à l'orient du méridien de Zuydcote n'ont point été levés, mais ont été copiés de cartes plus anciennes. Or, d'après ce document, le banc s'étendait, avant cette époque, jusque dans l'ouest de Nieuport, soit à 5000 mètres environ au delà de l'endroit où il se terminait en 1801, ce qui permettrait de conclure que le déplacement vers l'est des sables du Stroombank, se produisait déjà d'une manière très apparente dans le courant du siècle dernier. Mais ce n'est là qu'une présomption, puisque les cartes marines de ce temps n'indiquent généralement pas la position exacte des bancs.

L'allongement progressif du Stroombank s'explique par les conditions spéciales dans lesquelles ce plateau se trouve. Il est relativement élevé et compris entre deux fosses, la grande et la petite rade d'Ostende; son talus intérieur est fort raide, tandis que le talus opposé a une inclinaison assez faible, et comme le banc présente dans son ensemble une direction oblique par rapport à la côte et peu différente de celle des courants de marée au moment de leur plus grande force, ceux-ci, le courant de flot surtout, s'appuient contre ce dernier talus, lequel

reçoit en même temps le choc des lames du large ; il se produit ainsi, le long du plateau, des brisants et des mouvements tourbillonnaires qui mettent le sable en suspension et permettent aux courants d'entraîner peu à peu une partie de ces matériaux vers l'est, soit dans le sens déterminé par l'action prédominante des courants de flot et des vents régnants de l'ouest, pour les déposer à l'extrémité du banc, là où la rencontre des courants de flot, sortant respectivement de la grande et de la petite rade, doit donner lieu à la formation d'une espèce de grand remous de nature à provoquer la précipitation des sables entraînés.

C'est ainsi que le talus nord et la crête du Stroombank ont été lentement corrodés, tandis que le talus sud où les vagues n'agissent que faiblement, n'a guère varié ; la largeur du banc a donc diminué et les sables transportés vers l'est ont formé la partie allongée du plateau, qui a fini par se souder à la côte au droit du village de Breedene.

Les changements survenus dans le Stroombank ont eu pour conséquence, nous l'avons dit, de fermer la passe d'accès qui existait autrefois à l'extrémité est de la petite rade ; cette circonstance est déjà fâcheuse, quoique les navires en destination d'Ostende attaquent généralement le port de l'ouest, à la faveur du flot ; mais la soudure du Stroombank à la côte a eu une conséquence bien plus grave que ce fait en lui-même : c'est l'envasement progressif et continu de la petite rade.

A mesure que le Stroombank s'est allongé à travers la passe séparant primitivement sa pointe est de la côte, les eaux qui traversent la petite rade pendant le flot, trouvant de ce côté une section qui diminuait d'une manière continue, ont été de plus en plus entravées dans leur marche, et, subissant par là même un certain calme relatif, elles ont pu déposer sur le fond une partie des matières en suspension.

D'autre part la force érosive des courants au moment de leur plus grande vitesse, particulièrement celle des courants de jusant dont l'accès vers la petite rade devenait de plus en plus difficile, a diminué en même temps, de sorte que leur action n'était plus assez intense pour équilibrer l'effet de ces dépôts ; ceux-ci ont dû s'accroître surtout à partir du moment où le Stroombank s'est soudé à la côte, transformant ainsi la petite rade d'Ostende en une espèce d'impasse maritime, largement ouverte, du côté opposé, aux eaux amenées par le flot à travers le Westdiep et exposée par conséquent à des mouvements de vase prononcés.

Ajoutons que par des vents violents — et c'est alors que les courants agissent le plus énergiquement pour la mise en suspension et l'entraînement des matières fines déposées sur le fond — les vagues soulevées à la surface de la mer subissent des transports de masse, auxquels des hydrauliciens de renom ont attaché une grande

importance. Or dans la partie est de la petite rade, où le prolongement du Stroombank a créé peu à peu un barrage réduisant considérablement la section de ce sillon maritime, ces transports de liquide ont évidemment beaucoup diminué en intensité, de même que leurs effets d'érosion sur le fond.

L'estran sous-marin situé au sud de la petite rade d'Ostende, jusqu'à la laisse des basses mers, n'a pas changé d'une manière bien appréciable de 1801 à 1866; il en est de même des fonds qui se trouvent entre le banc de Wenduïne et la côte, depuis le Spaniardduin jusqu'à Blankenberghe, et qui comprennent la rade de ce port; le plan de cette rade, levé en 1872 par M. Stessels, et les sondages exécutés en 1880 par M. Petit, confirment la fixité des fonds de ces parages.

Si l'on envisage maintenant, d'une manière générale, les faits déduits de la comparaison des reconnaissances hydrographiques de 1801, de 1866 et de 1880, on doit en conclure que les fonds de la côte des Flandres, depuis Dunkerque jusqu'à Blankenberghe, considérés dans leur ensemble, se maintiennent dans des conditions de stabilité relative très remarquables.

La terrasse sous-marine, surmontée des nombreux bancs qui caractérisent ces parages maritimes, n'a guère changé d'étendue, et la courbe des fonds de 20 mètres sous marée basse qui la limite du côté du large, a conservé sensiblement la même allure; les bancs et les passes y occupent partout à peu près les mêmes positions et l'on n'y constate la formation d'aucun banc nouveau ni d'aucune passe importante nouvelle.

Les mouvements observés dans les fonds occupés par ces bancs et par ces passes restent pour la plupart compris entre des limites assez restreintes et se bornent souvent à de simples déplacements de sable, s'effectuant dans l'étendue même des plateaux élevés. Parmi ces mouvements, il en est qui accusent une tendance de transport définitif des sables vers l'est et qui s'expliquent par l'action prépondérante des courants de flot, soutenus par les vents d'aval; mais la plupart sont très compliqués et dépendent de circonstances si diverses et si difficiles à apprécier, qu'il est impossible de préciser, dans chaque cas, les causes particulières qui les ont fait naître.

C'est généralement à la suite de circonstances atmosphériques exceptionnelles, telles qu'une série de vents de tempête soufflant de la même région, que l'action des courants de marée et des vagues donne lieu à des modifications accentuées dans les plateaux sous-marins de peu de profondeur; quelquefois, celles-ci peuvent à leur tour occasionner certains changements dans le mode de propagation des courants, lesquels tendent ensuite à produire, d'une manière lente et continue,

d'autres modifications dans un même sens, jusqu'à ce que l'équilibre entre la configuration des fonds et le nouveau régime des courants soit rétabli, ou qu'une nouvelle cause anormale vienne s'ajouter à la première.

Une chose importante à remarquer, c'est que les fonds de moins de 20 mètres de profondeur ne paraissent avoir subi aucun exhaussement appréciable depuis le siècle dernier. Certaines passes semblent même, sur une partie de leur étendue au moins, avoir gagné en profondeur. Il faut en excepter celles qui s'étendent entre le Breedt et le Smal, ainsi que les fonds de la partie est de la petite rade d'Ostende, où les dépôts contemporains de vase ont pour cause, nous l'avons vu, le premier, la soudure qui s'est formée entre la pointe occidentale du Smalbank et le Breedt, le second, l'allongement du Stroombank vers l'est.

La carte de 1801 ne renseigne que fort peu de sondes de plus de 20 mètres, et nous n'avons par conséquent pu rechercher, si les grands fonds de la côte de Belgique présentent également une tendance à l'exhaussement, comme il a été constaté pour ceux de la côte nord de France. Mais il est certain, dans tous les cas, que les additions d'alluvions qui se produisent dans l'étendue du littoral belge et qui résultent du gain de flot général de la Manche vers l'entrée de la mer du Nord, sont extrêmement lentes et que leurs effets, pour être bien sensibles, doivent être séculaires. Nous avons eu l'occasion d'expliquer ce fait en parlant, au chapitre II, de l'origine et de la marche des alluvions dans ces mers.

IV. — ESTUAIRE DE L'ESCAUT ET CÔTE DE HEYST.

Passons à la comparaison des cartes hydrographiques de l'estuaire de l'Escaut, dressées, la première de 1799 à 1811 par M. Beaupré, et les autres respectivement en 1825, 1842, 1855, 1865 et 1878, par la Marine néerlandaise, et examinons successivement les changements survenus à ces différentes époques dans les bancs et les chenaux situés à l'embouchure du fleuve et devant la côte de Heyst. (Pl. IX à XIV).

De 1811 à 1842, la situation des fonds de plus de 8^m,00 de profondeur sous la basse mer qui s'étendent au large des bancs de l'estuaire, depuis l'entrée du Spleet jusqu'à celle de l'Oostgat, est restée à peu près la même. Sur les cartes de 1855 et 1865, la courbe de niveau de 8^m,00 prend une allure générale plus régulière au nord du Deurloo, et la partie rentrante, indiquée sur la carte de 1842 au-dessus du banc de Schooneveld, disparaît. De 1865 à 1878, elle tend à s'éloigner des bancs, devant le Spleet et le Deurloo.

A l'intérieur de l'Oostgat, on remarque que de 1811 à 1825, les profondeurs de la passe se sont rapprochées de la côte, depuis Westkapelle jusqu'en face de Biggekerke. En 1842, l'étendue des fonds de plus de 8^m,00 paraît avoir légèrement augmenté à l'entrée, et le canal est un peu moins large près de la partie sud du banc de Zoutelande. De 1842 à 1855, on n'observe pas de modifications appréciables (*); mais de 1855 à 1865, le plateau avec 6^m,70 à 7^m,00 d'eau à marée basse, qui séparait les fonds de plus de 8^m,00 de la passe de ceux du large, a disparu, en même temps que le canal a repris son ancienne largeur près de l'extrémité sud du banc de Zoutelande. Le haut-fond de l'entrée reparait en 1878, mais il est plus profond qu'en 1855; on y sonde 7^m,20 à 7^m,80 à marée basse.

Il n'existait en 1811 aucune trace du Nolleplaatje. Ce plateau est indiqué pour la première fois sur la carte de 1825 et n'offrait alors que fort peu d'étendue. De 1825 à 1865, il gagne constamment en importance et s'avance de plus en plus dans la passe de l'Oostgat, en se dirigeant à peu près exactement dans la direction de l'ouest et en restant relié à la côte de l'île de Walcheren, à l'est de Flessingue. En 1878, le Nolleplaatje s'est développé à travers l'Oostgat et tend à rejoindre l'autre rive. Ce mouvement s'est accentué encore de 1878 à 1892, tandis qu'il s'est creusé une passe étroite entre le banc et la rive est; on sonde déjà dans cette passe plus de 8^m,00 d'eau sur une largeur de 100 mètres. (Pl. XVI).

Sur la carte française de 1811, les bancs du Rassen et de Zoutelande figurent comme un seul et vaste plateau, ayant partout moins de 5^m,00 de profondeur sous le niveau des plus basses marées, et présentant vers le sud une partie culminante fort étendue, dont l'extrémité est désignée sous le nom de banc de Zoutelande. En 1825, le Rassen paraît être moins élevé du côté N.O.; le banc de Zoutelande est plus développé au nord, le long de l'Oostgat, et est séparé du restant du plateau par un faux chenal de 5^m,00 à 6^m,00 de profondeur sous le niveau des basses mers de morte eau ordinaires, se terminant, du côté S.E., par la pointe qui est restée commune aux deux bancs. De 1825 à 1842, l'extrémité nord du Rassen s'étend vers l'ouest; au sud, le banc est envahi au contraire par des profondeurs d'eau de 7^m,00 à 8^m,00, sur une largeur qui atteint en certains points jusqu'à 500 mètres. L'extrémité S.O. du banc s'avance par une pointe effilée vers l'entrée du Deurloo. Enfin la branche S.E. se sépare

(*) Les sondages de la carte de 1855 ont été effectués principalement pour les fonds situés devant Flessingue et pour ceux de la passe du Wielingen.

entièrement du banc de Zoutelande par des fonds de 5^m,00 à 6^m,00 sous marée basse.

De 1842 à 1865, les courbes de 5^m,00, limitant au nord et au sud le Rassen, se sont beaucoup rapprochées; la limite sud est encore refoulée vers le nord sur une largeur variant de 300 à 800 mètres, et l'on constate en même temps un exhaussement dans la partie S. E. du plateau. L'extrémité nord du banc de Zoutelande s'est soudée au Rassen, et la branche qui s'avancait à l'ouest dans le Deurloo, a presque disparu. A partir de 1865, le Rassen tend à s'approfondir au sud.

De 1811 à 1825 le fond du Deurloo a subi un exhaussement général. La carte de M. Beauteemps-Beaupré renseigne en effet, dans presque toute l'étendue de ce canal, des profondeurs de plus de 8 mètres par rapport aux plus basses marées, et aux endroits moins profonds, compris entre les courbes de niveau correspondant à cette cote, les sondes donnent encore 7^m,10 à 7^m,70, soit 8^m,35 à 9^m,00 sous le plan des basses mers de morte eau ordinaires (¹). En 1825, on ne trouve plus, à l'entrée du Deurloo, que 6^m,70 à 7^m,00 d'eau sous ce dernier niveau et, vers le milieu de la longueur de la passe, il existe encore des fonds très étendus ne dépassant pas cette profondeur. De 1825 à 1842, l'exhaussement qui s'était produit à l'entrée de la passe, disparaît en grande partie. Depuis cette dernière époque jusqu'en 1865, on observe un surélévement dans les fonds de 8^m,00 de la partie ouest du chenal; des plateaux où l'on ne sonde que 4^m,00 à 5^m,00 se dessinent du côté du large, un peu au sud de l'emplacement du petit banc, de même profondeur, indiqué sur la carte de 1825. Les fonds du Deurloo continuent à s'exhausser de 1865 à 1878; ceux de plus de 8^m,00 y disparaissent entièrement. La carte de 1878 de même que celle de 1884, levée par M. Petit (²), ne renseignent plus que des profondeurs variant de 6^m,00 à 8^m,00, mais celles de 7 mètres et plus dominant sur une largeur assez considérable dans la zone du milieu.

Le Raan a subi, de 1811 à 1825, un certain abaissement à sa partie culminante, et il s'est développé en même temps du côté est, en envahissant la dépression qui existait à cette première époque avec 6^m,50 d'eau sous les plus basses marées, entre ce plateau et le banc du Elleboog. Ce dernier a conservé la même configuration générale, mais le faux-chenal qui le sépare du Walvischstaart, s'est élargi et approfondi à son extrémité sud. Sur la carte de 1811,

(¹) Voir page 130. Note 4.

(²) La carte de l'embouchure de l'Escaut levée en 1884 par M. Petit est reproduite en partie à la planche XVI.

le Walvischstaart forme avec le Ribzand un seul plateau portant le nom de *Innerbank*; il en est séparé en 1825 par une dépression de 7^m,00 de profondeur sous le niveau des basses mers de morte eau ordinaires et, d'autre part, il s'est déplacé et notablement élargi vers le nord. De 1825 à 1842, le Raan a peu varié. Le banc du Elleboog s'est rétréci à l'endroit qui émerge à marée basse, et il s'est allongé à l'est vers Flessingue. Le Walvischstaart a perdu au sud, et la branche S.O., longeant le Spleet, s'est beaucoup raccourcie. En 1855, l'extrémité du Elleboog, qui s'étendait jusque devant Flessingue, est reportée vers l'ouest. De 1855 à 1865, la limite des fonds de moins de 5^m,00 du Raan varie beaucoup; elle s'étend surtout du côté S.E. et fait saillie dans le Spleet. L'extrémité S.O. du Walvischstaart se relève vers le nord et tend à rejoindre le Raan. Le banc du Elleboog subit un déplacement vers le N.E. et les fonds de 8 à 12 mètres font reculer encore son extrémité est. A partir de 1865, le Raan s'approfondit de quelques décimètres à l'ouest, mais il s'étend au sud. Le Walvischstaart se développe au nord, et les parties qui émergent à marée basse diminuent en se déplaçant vers le N.E.

Le Spleet est renseigné sur la carte de M. Beaupré de 1811 sous le nom de *Wielingen*, tandis que la passe que nous désignons actuellement ainsi, y porte la dénomination de *Passe française*. Il comprenait à cette époque, une suite de fonds avec 8^m,00 à 10^m,00 d'eau sous les plus basses marées, séparés à l'est du grand canal conduisant vers Flessingue par l'extrémité de l'Innerbank, appelée plus tard Walvischstaart. Le Spleet a conservé, jusqu'en 1825, à peu près la même configuration; on y constate cependant un certain relèvement du fond, mais qui n'est fortement accentué que dans le nord du Walvischstaart, où la passe a été envahie, en partie, par les sables de ce plateau. De 1825 à 1842, la saillie formée par la pointe S.O. du même banc a beaucoup diminué, pour faire place à des profondeurs de près de 8 mètres sous le niveau des basses mers de morte eau. Cette situation se maintient sensiblement jusqu'en 1855. Plus tard, la partie ouest du Spleet où l'on sondait jusqu'à 9, 10 et 11 mètres d'eau, s'exhausse notablement; en 1865, on n'y trouve plus que des fonds variant de 6^m,60 à 7^m,90. Au milieu, la passe se développe au contraire vers le Wielingen à travers l'extrémité ouest du Hompel et le Carolusbankje, dont il ne reste plus de trace en 1865. De 1865 à 1878, le Spleet continue à s'exhausser du côté ouest, mais d'une manière moins prononcée que dans la période précédente.

Nous avons dit que le Ribzand, comprenant les bancs de Heyst et de Knocke et le Hompel, formait en 1811 avec le Walvischstaart un seul plateau, nommé

Innerbanck et n'ayant nulle part plus de 5^m,00 d'eau sous le niveau des plus basses marées. En 1825, les bancs de Heyst et de Knocke ont peu varié en hauteur; le premier de ces bancs a conservé le même emplacement, mais le second s'est déplacé vers le nord sur presque toute son étendue, et la dépression qui le sépare du Walvischstaart, est devenue beaucoup plus prononcée. Enfin, à l'extrémité du Ribzand s'est formé le plateau du Hompel, qui s'avance vers le Wielingen et dont il ne figure qu'un petit plateau isolé, sans dénomination spéciale, sur la carte de 1811.

De 1825 à 1842, la partie centrale du Ribzand se rétrécit. Le banc de Heyst se développe de 1000 mètres environ vers l'est et de 500 mètres vers l'ouest. Celui de Knocke change de forme et de dimensions: sa branche ouest, de 1500 mètres de longueur, disparaît et sa branche est s'amincit en s'allongeant de 1000 mètres. Le banc du Hompel s'exhausse fortement au milieu; on n'y trouve en 1842 que 2^m,30 à 4^m,00, aux endroits où il y avait, en 1825, 5 à 7 mètres d'eau; il s'accroît en même temps vers l'est d'environ 1000 mètres. Depuis 1842 jusqu'en 1855, ces bancs sont restés à peu près dans le même état; le Hompel cependant s'est élargi à l'extrémité ouest, et l'on observe en cet endroit un nouveau plateau de moins de 2^m,50 de profondeur, nommé *Carolusbankje*, que nous avons déjà cité en parlant de la passe du Spleet.

Le Ribzand et le Hompel subissent de nouveaux changements de 1855 à 1865; le Ribzand se développe vers le S.O. en refoulant la limite des fonds du Wielingen. Le banc de Heyst se raccourcit des deux côtés et est réduit, en 1865, à peu près à la longueur qu'il avait en 1825; mais il se trouve à 600 mètres environ au N.E. de l'emplacement indiqué sur la carte de cette dernière année. Le banc de Knocke a pris une autre forme; il se trouve raccourci d'environ 2000 mètres et déplacé vers l'est de 1000 mètres. Le Hompel est allongé du même côté, tandis que son extrémité, formant le *Carolusbankje*, est envahie par les fonds du Wielingen, qui vont rejoindre en cet endroit ceux du Spleet. Le Ribzand ne change plus beaucoup de 1865 à 1878. La saillie du Hompel dans le Wielingen au contraire augmente, tandis que la partie centrale de ce banc s'élargit au nord, en diminuant en même temps de profondeur.

Les sondages de M. Petit de 1884 font voir que l'extension de la partie centrale du Hompel vers le Spleet a continué à se produire après 1878, de même que l'approfondissement du plateau; cet approfondissement s'est fait sentir jusqu'à l'extrémité est du Hompel, dont la saillie dans le Wielingen est devenue moins prononcée. (Pl. XVI.)

Pour ce qui est des plateaux du Wandelaar, situés dans l'ouest du Ribzand,

on remarque qu'ils ont diminué d'étendue de 1811 à 1866, en se déplaçant vers le S.E.; les sondages de 1884 montrent que leurs sommets sont un peu moins élevés qu'à cette dernière époque.

Arrivons à la passe du Wielingen. Elle présentait, en 1811, approximativement les mêmes limites et les mêmes profondeurs qu'en 1825, mais la situation des bancs de cette passe était bien différente.

Le banc, nommé *Paardemarkt* sur la carte de 1825, se trouvait à l'extérieur et près de la limite sud du canal; il faisait partie du plateau connu aujourd'hui sous le nom de *Binnen-Paardemarkt*, et appelé en 1811 simplement *Paardemarkt*, dont il semblait former une branche détachée, de surface étroite et allongée. On y sondait 4^m,20 à 4^m,90 d'eau sous le niveau des plus basses marées.

Au nord du Sluissche Gat, on rencontrait le banc de l'Écluse, dont la profondeur générale variait de 6^m,00 à 7^m,80 et qui se réduisait à la crête, sur 500 mètres de longueur et 250 mètres de largeur moyenne, à moins de 4 mètres.

Le banc de Cadzand était situé en face du Zwarte Polder, et présentait une partie culminante de 1500 mètres de longueur, où il ne restait que 3^m,60 à 4^m,90 d'eau aux plus basses marées.

En 1825, le banc du *Paardemarkt* se trouve déplacé vers le nord, à l'intérieur de la passe du Wielingen; il est séparé complètement du restant du plateau, et a gagné légèrement en étendue et en profondeur. Le banc de l'Écluse n'existe plus. Celui de Cadzand est devenu moins large et s'est allongé de près de 1000 mètres vers l'est.

De 1825 à 1842, la courbe des fonds de 8^m,00 qui limite le Wielingen au sud, conserve la même direction; elle devient plus régulière et se rapproche de la côte de 450 à 500 mètres, en moyenne, devant Blankenberghe et Knocke. De 1842 à 1855, le Wielingen ne varie pas d'une manière sensible. Mais le *Paardemarkt* s'approfondit encore en se déplaçant vers l'est; on y sonde en 1855, 7^m,20 à 9^m,00 d'eau. Le banc de Cadzand perd à l'ouest et continue aussi à gagner en profondeur. A dater de 1855 et jusqu'en 1865, la situation générale du Wielingen ne se modifie guère; la limite sud des fonds de plus de 8^m,00 s'éloigne d'environ 400 mètres en moyenne devant Blankenberghe; elle prend une allure plus irrégulière devant Heyst et Knocke.

En 1865, on sonde sur le *Paardemarkt* 8 à 9 mètres d'eau. Le banc de Cadzand a subi un nouveau déplacement vers le N.E.; il a diminué en étendue, mais présente deux petits plateaux de moins de 5^m,00 de profondeur.

De 1865 à 1878, la ligne des fonds de 8^m,00 reste sensiblement la même devant Blankenberghe et Heyst. Elle se rapproche de près de 1000 mètres devant

Knocke, en formant en cet endroit une saillie qui s'allonge vers Heyst. Les bancs du Paardemarkt et de Cadzand ont partout une profondeur supérieure à 8^m,00 et ne sont plus à craindre pour la navigation.

Parmi les bancs qui longent la côte de Belgique, le Binnen-Paardemarkt est un de ceux qui ont subi le plus de changements. Ce plateau occupait, en 1811, une surface considérable entre les courbes de niveau de 5^m,00 sous les plus basses marées; il était terminé au sud par une ligne assez régulière, ayant une direction générale légèrement inclinée par rapport à celle de la côte, tandis qu'au nord on remarquait des saillies très accentuées; comme nous l'avons dit plus haut, l'une d'elles constituait, à l'extrémité est, une espèce de branche distincte, dont une partie se trouve détachée en 1825 et va former, à l'intérieur du Wie-lingen, le banc du Paardemarkt. Du côté ouest, le Binnen-Paardemarkt s'étendait jusqu'en face du Luciferduin et se rattachait, à l'est, aux sables du Zeehondenplaat, par une zone de 1000 mètres de largeur. A 3000 mètres environ de sa pointe occidentale commençait le banc de Wenduïne, et entre ces deux bancs on rencontrait des fonds avec 5^m,50 à 5^m,80 d'eau, interrompus par un petit plateau isolé de 4^m,90 à 5^m,20 de profondeur seulement sous le niveau des plus basses mers.

La fosse de Heyst, située au sud du Binnen-Paardemarkt, s'étendait depuis le village de Heyst jusqu'à l'entrée du Sluissche Gat, et présentait 250 à 500 mètres de largeur; on y sondait 8 à 11 mètres d'eau sous le même niveau.

Sur la carte de 1825, où les chiffres de sondes sont rapportés aux basses mers de morte eau ordinaires, la courbe des fonds de 5 mètres, limitant le Binnen-Paardemarkt, comprend par là même une surface notablement moindre que celle indiquée sur la carte de M. Beaupré; mais on constate aussi que le plateau s'est approfondi du côté du large. Les sables culminants, avec 0^m,60 à 2^m,50 d'eau sous les plus basses marées, qui se montraient au delà du méridien de Knocke, de même que le sommet saillant qu'on observait dans le nord de ce village, se sont déplacés vers l'est pour se réunir en un seul plateau, formant de ce côté l'extrémité du banc. La branche qui s'avancait près de celle-ci vers le N.O., est devenue plus étroite et se dessine plus nettement.

Quant à la fosse de Heyst, elle s'est développée à l'est jusqu'au nord du Zeehondenplaat à travers les sables du Binnen-Paardemarkt, lequel n'est plus relié à la côte que par une bande étroite avec 5 mètres d'eau en moyenne.

De 1825 à 1842, la branche supérieure du Binnen-Paardemarkt s'est rapprochée du rivage; elle est devenue moins large et s'est allongée vers l'ouest; sa profondeur a augmenté. La fosse de Heyst a subi un certain développement vers l'ouest.

De 1842 à 1855, le Binnen-Paardemarkt change beaucoup à l'extrémité est;

il envahit de ce côté la fosse de Heyst sur plus de 2500 mètres de longueur et se soude de nouveau aux sables du Zeehondenplaat comme en 1811, mais par un plateau plus large. En 1865, la branche supérieure de ce banc n'existe plus; l'autre branche est devenue plus large devant Knocke, et le plateau avec moins de 2^m,50 d'eau qui s'arrêtait au Sluissche Gat, a avancé d'environ 2000 mètres vers ce village. La partie ouest du banc, de moins de 5^m,00 de profondeur, est au contraire raccourcie de près de 2500 mètres.

La fosse de Heyst s'est étendue vers l'est jusqu'au delà du Zeehondenplaat, au point de séparer de nouveau le Binnen-Paardemarkt de la côte par un chenal étroit, dont la profondeur atteint jusque 9^m,00 et va en diminuant dans sa partie est, où elle n'est plus que de 5^m,00. Elle s'est raccourcie au contraire d'environ 4000 mètres à l'ouest, et sa limite sud paraît s'être rapprochée de la plage devant Heyst et Knocke.

De 1865 à 1878, le Binnen-Paardemarkt s'élargit à l'extrémité est et s'éloigne de la côte en cet endroit. La pointe ouest, limitée par la courbe de 5^m,00, s'élargit et s'allonge jusque devant les écluses de Heyst, à peu près jusqu'à l'endroit où le banc se terminait en 1825. Le plateau élevé de la partie est du banc continue à marcher vers Heyst et tend à se rapprocher de terre; la carte de 1878 renseigne, devant Knocke, des cotes de 2^m,70 à 3^m,60 en des endroits où il y avait, en 1865, 4^m,00 à 4^m,60.

La fosse de Heyst se développe à l'ouest, et la carte précitée indique, dans cette direction, des fonds de 7^m,70 et 7^m,80 jusque par le travers des écluses de Heyst. Elle paraît légèrement rétrécie devant Knocke et continue à avancer vers le Wielingen, dont elle n'est plus séparée que par des fonds de 6 à 8 mètres. Devant le Zeehondenplaat, les fonds de plus de 8^m,00 se sont exhaussés jusqu'à 7^m,20 et 7^m,90.

On remarque sur la carte de 1811 que le plateau Het Zand, situé en prolongement du banc de Wenduyne, offrait à cette époque, dans l'ouest de Blankenberghe, une profondeur de 5^m,50 à 5^m,80 sous le niveau des plus basses mers. En 1825, la partie la plus profonde de ces sables se trouve dans le nord du Luciferduyn, et ne présente plus que 5^m,60 d'eau à la crête, sous les basses mers de morte eau ordinaires. Le plateau Het Zand ne change guère de situation de 1825 à 1855; à partir de cette dernière époque, il s'approfondit de nouveau à l'endroit précité; en 1865, on y sonde en effet 6^m,20 sous le niveau moyen des basses mers, profondeur qui se maintient de 1865 à 1878.

La comparaison du plan de l'atterrage de Heyst, levé en 1879 par M. Petit, avec la carte de M. Stessels de 1866, donne des résultats qui concordent, dans

leur ensemble, avec ceux que nous venons de constater, pour ces parages maritimes, au moyen des cartes néerlandaises de 1865 et 1878. Elle fait ressortir en effet :

1° Que le plateau élevé de la partie orientale du Binnen-Paardemarkt s'est avancé vers l'ouest, et que l'on sonde aujourd'hui 2 à 3 mètres d'eau à marée basse en des endroits où il y avait, en 1866, 4^m,80 de profondeur ;

2° que ce banc tend à se rapprocher de la côte ;

3° que la fosse de Heyst s'est développée vers l'ouest.

D'après la carte de M. Petit, le développement de la fosse de Heyst est plus prononcé que d'après la carte néerlandaise de 1878. Mais cette différence est plus apparente que réelle, car les fonds renseignés sur cette dernière carte à l'ouest de la fosse, ont jusqu'à 7^m,70 et 7^m,80 de profondeur, et tendent par conséquent à se confondre avec elle. Ensuite, les reconnaissances hydrographiques que nous comparons, datent, les premières de 1865 et 1878, les secondes de 1866 et 1879.

La description des changements que les fonds sous-marins, situés à l'embouchure de l'Escaut occidental, ont subis depuis le commencement du siècle, peut se résumer comme suit :

La surface occupée par l'estuaire de ce fleuve a fort peu varié depuis le commencement du siècle, et l'on n'y remarque aucune perturbation profonde dans la situation des bancs et des passes.

Les grands plateaux, tels que le Rassen, le banc de Zoutelande, le Raan, les bancs du Elleboog et du Walvischstaart, éprouvent des changements continuels, qui ne semblent obéir à aucune tendance déterminée. Ils se développent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre ; leurs parties culminantes, surtout celles qui émergent à marée basse, se déplacent, changent de dimensions ou s'étendent sur une surface plus grande du plateau.

Le Ribzand, comprenant les bancs de Heyst et de Knocke, de même que le banc du Hompel, subissent aussi des modifications compliquées, mais qui sont cependant caractérisées par la prédominance d'un déplacement des sables vers l'est. Ainsi, le Ribzand se développe vers le S.E. de 1811 à 1825, et forme le plateau du Hompel, renseigné pour la première fois sur la carte de cette dernière époque, et dont le développement vers le S.E. s'accroît jusqu'en 1878 ; le banc de Heyst s'allonge de 1825 à 1842, du côté est surtout ; il revient à peu près à ses dimensions premières en 1865, mais il se trouve à 600 mètres environ au nord-est de son ancien emplacement. De 1825 à 1842, le banc de Knocke perd notablement à l'ouest, en même temps que le Hompel, situé à droite, s'exhausse dans toute son étendue et s'agrandit vers l'est. Le banc de Knocke

diminue encore de 1855 à 1865 et se déplace de près de 1000 mètres dans la même direction.

Dans les passes du Deurloo et du Spleet, il s'est produit un exhaussement général du fond.

L'Oostgat s'est bien maintenu, à part les mouvements du Nolleplaatje, qui menacent d'y créer de sérieux embarras.

La passe du Wielingen, au contraire, s'est beaucoup améliorée; le banc de l'Ecluse, que l'on rencontrait en 1811 au milieu de la passe, n'existe plus en 1825; les bancs du Paardemarkt et de Cadzand, qui formaient à cette dernière époque des écueils fort dangereux pour la navigation, gagnent graduellement en profondeur et disparaissent entièrement, le premier en 1865, le second en 1878; et, chose remarquable, ces bancs subissaient en même temps un déplacement vers l'E. ou le N.E., analogue à celui que nous avons déjà constaté pour le Ribzand, et qui a provoqué aussi la formation et le développement du Hompel; depuis 1878 cependant, ce plateau s'étend vers le nord pendant que sa crête s'abaisse et que sa saillie dans le Wielingen diminue.

Quant au Binnen-Paardemarkt, il a subi des changements successifs très différents. Dans la première période, de 1811 à 1825, il devient moins large et les sables culminants, existant dans l'est de Knocke, se déplacent vers l'embouchure de l'ancien Zwijn, pour se réunir de ce côté en un plateau surélevé; de 1825 à 1865, la branche supérieure qui faisait saillie dans le Wielingen, s'incline peu à peu vers la côte et se confond finalement avec la branche principale; le banc s'exhausse en même temps d'une manière très prononcée devant le Zeehondenplaat, tandis que sa pointe occidentale est encore refoulée de 2500 mètres environ vers l'est. De 1865 à 1878, la partie exhaussée tend à avancer vers Knocke, et le banc s'accroît à l'ouest, au point de revenir, à très peu de chose près, à l'emplacement qu'il occupait en 1825.

La fosse de Heyst s'allonge et se raccourcit alternativement depuis 1811; du côté est, elle finit par s'étendre jusqu'au delà du Sluissche Gat et par séparer le banc du Binnen-Paardemarkt de la côte.

La terrasse sous-marine située au sud du Wielingen, devant Wenduyne, Blankenberghe et Heyst, paraît avoir plus de fixité. Le plateau Het Zand, qui comprend la dépression avec 6^m,20 d'eau à marée basse, conduisant du canal du Wielingen, entre les bancs de Wenduyne et du Binnen-Paardemarkt, vers les fonds de 7^m,00 attenant à la côte, s'est maintenu à peu près dans les mêmes conditions de profondeur depuis l'époque de la reconnaissance hydrographique de M. Beaumont-Beaupré.

Il est à remarquer que l'étude des changements constatés dans les fonds sous-marins, est surtout complexe lorsqu'on se trouve en présence de l'embouchure d'un fleuve, où la propagation des courants de marée s'effectue dans des conditions toutes différentes de celles qu'on observe le long d'une côte non interrompue. Dans l'estuaire de l'Escaut, le mouvement des alluvions est considérable par les coups de vent du N.O. ; les vagues y agitent alors la nappe liquide avec le plus de violence et remuent profondément les dépôts vaseux formant le fond des passes et des faux-chenaux ; en arrivant sur les vastes plateaux du Rassen, du Raan, du Walvischstaart, etc., elles se brisent avec force et projettent le sable dans la direction de leur mouvement. Comme nous l'exposerons plus loin en parlant du régime de l'Escaut, ce fleuve ne charrie pas de matériaux denses jusqu'à son embouchure ; ce ne sont que les vases et les sables fins qui y arrivent à la mer ; ces alluvions sont entraînées en majeure partie par les courants de jusant et emportées avec la masse des eaux, dans laquelle elles perdent leur caractère propre en se mélangeant aux alluvions marines ; le restant va se loger dans les passes profondes et dans les endroits plus ou moins abrités de l'estuaire, où il est de nouveau remué pendant les tempêtes.

A l'action des marées et des gros temps viennent se joindre encore celles résultant des crues extraordinaires et de la débâcle des glaces ; cette dernière cause, qui ne se produit toutefois qu'à d'assez longs intervalles, est fort efficace pour désagréger le sable des bancs de peu de profondeur.

Mais si les divers agents qui interviennent dans les mouvements des fonds de l'estuaire de l'Escaut, sont de leur nature très variables et ne peuvent d'ailleurs être analysés, il est à remarquer cependant qu'en ce qui concerne les ondulations de la marée, dont l'action est prépondérante à cause de la masse d'eau énorme qu'elles mettent en mouvement, elles se reproduisent périodiquement dans les mêmes conditions et que, d'autre part, les circonstances atmosphériques qui déterminent les tempêtes, les crues d'eau et la débâcle des glaces, se succèdent d'une manière assez semblable, quand on embrasse un espace de temps suffisamment long ; il s'ensuit que leur action se combine de telle sorte que la configuration générale des bancs et des passes ne fait qu'osciller autour d'un état d'équilibre, en rapport avec les forces naturelles en jeu, et dont elle ne semble pouvoir s'écarter qu'à la longue, si, bien entendu, les causes anormales qui occasionnent un premier changement ne sont pas favorisées par des travaux de main-d'homme. C'est ainsi que nous avons constaté que les bancs de l'embouchure de l'Escaut n'ont subi nulle part, depuis près d'un siècle, de grands déplacements, ni des modifications profondes.

La surface de l'estuaire n'a guère varié pendant ce long intervalle de temps, et aucune des passes principales ne s'est oblitérée.

Des faits analogues ont été observés à l'entrée de la Mersey, dans la mer d'Irlande. Cette rivière présente, près de New-Brigton, une largeur de 1200 mètres environ, mesurée à la basse mer; puis elle s'élargit très rapidement et communique avec la mer au moyen de plusieurs passes, séparées par de larges bancs, dont le sommet se trouve de 2^m,00 à 2^m,50 au-dessus du niveau de marée basse; le Great-Burbobank atteint même 4^m,50 à 6^m,00 dans ses parties les plus élevées. Dans ses passes il existe des hauts-fonds ou barres, où il ne reste que 3^m,00 à 3^m,50 d'eau en basse mer (*). (Pl. XX).

Or, il résulte de la comparaison des cartes marines levées à différentes époques depuis 1689, que la masse des alluvions de la baie de la Mersey n'a pas sensiblement augmenté; on y constate certaines fluctuations dans la configuration des bancs et dans la direction des chenaux, mais la baie, considérée dans son ensemble, n'a pas subi de grandes modifications.

La formation des alluvions maritimes est d'ailleurs très lente en général, même à l'embouchure des fleuves à marées " Quand on envisage la masse des " alluvions, qui s'est accumulée vers les embouchures, dit M. l'Ingénieur Bou- " niceau, on ne prend pas généralement garde au temps considérable qu'elles " ont mis à se former, et on est disposé, soit à espérer la formation rapide " d'atterrissements nouveaux propres à l'agriculture, soit à craindre la formation " de bancs de sables nuisibles à la navigation. Ces espérances ou ces craintes " sont, le plus souvent, exagérées. Elles n'ont de raison actuelle que pour les " chenaux des ports ou des petits cours d'eau formant une issue fort restreinte, " que les galets ou les sables tendent à barrer par leur cheminement journalier. " Lamblardie a calculé pour les côtes de la Haute-Normandie la rapidité de la " formation des alluvions. En admettant comme véritables ses chiffres, que quelques " ingénieurs jugent trop élevés, et en faisant abstraction de l'appoint dû aux " alluvions fluviales, on trouve qu'il faudrait trois mille ans pour former un " banc égal à celui de Trouville, situé au large de l'embouchure de la Seine (2) ".

Parmi les bancs de l'estuaire de l'Escaut, ceux du Ribzand et du Hompel, avons-nous vu, ont subi des changements caractérisés par la prédominance d'un transport vers l'est, soit dans la direction des courants de flot au moment de leur plus grande force. Un effet semblable a été constaté aux bancs du Paardemarkt et de

(*) Voir Chapitre IX, § 2.

(2) M. BOUNICEAU. *Études et notices sur les constructions à la mer.*

Cadzand, situés avant 1825 dans la passe du Wielingen et qui ont disparu graduellement, en se déplaçant vers l'est. Cette passe est fort bien orientée au point de vue de la circulation des courants de marée, et tout porte à croire que les bancs dangereux qui s'y trouvaient ont été régulièrement entamés par ces derniers, qui entraînaient les sables soulevés alternativement en sens contraire, tout en provoquant, en définitive, eu égard à leur direction et l'influence des vents régnants de l'ouest aidant, un déplacement de ces alluvions vers l'est et le nord-est; de cette manière, les sables transportés ont dû produire un développement des plateaux limitant la passe au nord, en faveur des profondeurs de la passe elle-même.

Nous avons à revenir un instant aux changements survenus dans le banc du Binnen-Paardemarkt, qui méritent une attention toute spéciale au point de vue du projet d'établissement d'un nouveau port à Heyst, dont il sera question plus loin; car le Binnen-Paardemarkt se trouve immédiatement à côté de la dépression, avec 6^m,20 d'eau à marée basse, conduisant du Wielingen vers la côte de Heyst, et il s'agit donc d'examiner avec soin si le régime des sables du banc ne menace pas de compromettre l'existence de cette passe d'accès.

Il résulte de ce qui précède que, de 1811 à 1825, il y a eu approfondissement du Binnen-Paardemarkt dans l'ouest de Knoeke, pendant que les sables de la partie culminante se sont déplacés dans le sens du courant de flot; plus tard la branche supérieure du banc, subissant sans doute l'effet des courants du Wielingen, s'est inclinée insensiblement vers la branche principale et s'est confondue avec celle-ci en 1865; car c'est à cette époque qu'apparaît le plateau surélevé, d'environ 6 kilomètres de longueur et dépassant de 2^m,00 le niveau général du banc. Il s'est développé depuis vers l'ouest, soit dans le sens de l'action des courants de jusant, tandis que d'autre part le flot, qui longe la côte et s'engage dans la fosse de Heyst, semble vouloir éloigner du rivage l'extrémité est du plateau.

Le fait du développement de la partie culminante du Binnen-Paardemarkt, s'il était continu, provoquerait peu à peu un avancement de tout le banc vers celui de Wenduïne et par conséquent l'exhaussement de la dépression de 6^m,20 de profondeur, existant entre les deux. Mais un examen attentif tend à démontrer que les sables de ce plateau peuvent tout au plus subir de ce côté des mouvements oscillatoires.

Il est à remarquer d'abord que la partie ouest du banc, après avoir perdu de 1811 à 1825, s'est successivement allongée et raccourcie à dater de cette dernière année et que sa pointe extrême occupe en 1878, à peu de chose près, le même emplacement qu'en 1825.

Ensuite, si l'on calcule aussi approximativement que les données des cartes hydrographiques le permettent, la masse de tout le plateau situé au-dessus d'un

plan horizontal passant au niveau des fonds de 6^m,00 sous marée basse, on trouve que cette masse, après avoir perdu de 1811 à 1825, a successivement augmenté et diminué depuis, et qu'elle n'est guère plus considérable en 1878 qu'à cette dernière époque; de plus, la partie culminante qui s'est formée de 1855 à 1865, a conservé à peu près le même volume.

On peut donc admettre que le Binnen-Paardemarkt ne subit pas des additions successives d'alluvions, mais que sa masse oscille, depuis 1825, entre certaines limites, tout en étant sujette à des déplacements dans le sens de la plus grande force des courants de flot et de jusant.

Or, il ne semble exister aucune cause qui puisse faire prévoir un mouvement de déplacement continu des sables vers l'ouest.

En effet, le banc est sollicité d'un côté par l'action du courant de jusant, qui, au sortir de l'Escaut, entre dans le Wielingen suivant une direction N.O. et O.N.O., et s'incline ensuite vers l'entrée de la passe; et de l'autre côté par le courant de flot, qui, au moment de sa vitesse maximum, longe la côte suivant la direction E.N.E.

En examinant sur la carte la direction relative de ces deux courants au moment de leur plus grande force, par rapport à la situation du banc, et en tenant compte de tout ce que nous avons dit précédemment au sujet de la vitesse relative des courants et de l'influence des vents, on est porté à conclure, sinon à une tendance définitive de transport vers l'est analogue à celle que nous avons constatée pour les plateaux du Paardemarkt et de Cadzand, et même pour le Ribzand, au moins à la probabilité d'un mouvement oscillatoire, semblable à celui qui s'est manifesté depuis 1825 pour la partie ouest du banc.⁽¹⁾

Ajoutons que les endiguements successifs du Zwyn, au moins ceux qui ont été effectués en 1864 et 1872, ne paraissent pas avoir modifié sensiblement la situation hydrographique de la côte en cet endroit. Ces endiguements peuvent tout au plus avoir exercé de l'influence sur une étendue relativement restreinte de la plage, aux environs de l'embouchure de cet ancien bras de mer.

(1) La Commission instituée par arrêté ministériel en date du 10 octobre 1878, pour examiner le projet de M. de Maere concernant l'établissement d'une communication directe de Bruges à la mer, et dont nous avons eu l'honneur d'être le secrétaire-rapporteur, a bien voulu nous charger, en janvier 1880, d'un rapport sur le régime des bancs et des passes de l'estuaire de l'Escaut et de la côte de Heyst. Les développements que nous venons de donner à ce sujet sont en grande partie la reproduction de ce rapport, dont les conclusions ont été adoptées par la Commission.

V. — PLAGES ET DUNES DE LA CÔTE DES FLANDRES.

Pour terminer l'étude du régime de la côte des Flandres, ajoutons quelques considérations sur la situation de l'estran et des dunes de ce littoral.

Il n'est guère possible de suivre exactement, au moyen des indications des cartes marines, les changements survenus aux différentes époques dans la position de la laisse des basses mers. Toutefois on constate aisément qu'entre Dunkerque et Ostende, la plage n'a pas subi de modifications sérieuses depuis l'époque où elle a été levée par M. Beauteemps-Beaupré. La laisse des basses mers a pris, il est vrai, une allure assez différente entre Zuydcote et Oostduinkerke, mais sans éprouver, dans son ensemble, un déplacement bien accentué.

Dans l'est de Nieuport, jusqu'à l'embouchure de l'Escaut, la mer tend plutôt à envahir la côte. Ainsi, l'on observe un recul sensible du pied de la dune aux environs de Middelkerke, fait coïncidant avec l'approfondissement qui se manifeste, devant cette partie du littoral, dans les fonds sous-marins attenants au rivage. Les dunes se creusent également au delà d'Ostende, entre le Spaniardduin et la pointe de Wenduïne, suivant une courbe légèrement concave, dont la flèche se trouve près de l'aubète du Coq. (Pl. XVII). De Wenduïne à Heyst, où l'estran est défendu au moyen d'épis en maçonneries ou en fascinages, elles paraissent avoir peu changé, tandis que devant Heyst et Knocke elles ont diminué en largeur.

On peut affirmer que la configuration générale du littoral des Flandres se trouve, depuis quelques siècles déjà, dans une situation très semblable à celle de nos jours. Pour s'en convaincre, il suffit de voir le remarquable tableau en perspective à vol d'oiseau du pays du Franc de Bruges, peint par Pierre Pourbus en 1566, et dont une copie, faite en 1597 par Claeysens, se trouve dans une des salles de l'hôtel de ville de Bruges. Les dunes comprises entre Nieuport et le Zwijn y sont représentées très clairement et offrent beaucoup de ressemblance avec celles qui figurent sur nos cartes actuelles, tant en direction qu'en étendue.

Il existe, au dépôt des archives de l'État à Bruges, trois autres plans fort intéressants, relatifs à la côte d'Ostende et de Blankenberghe, quoique de date plus récente.

Le premier comprend la ville et le port d'Ostende avec ses environs, et date de 1725 ; il montre qu'à cette époque, comme aujourd'hui, les dunes situées à l'est de ce port offraient peu de largeur et qu'il avait fallu les défendre près de Mariakerke par la digue d'Albertus.

Les deux autres ont été dressés, le premier en 1788 et le second en 1806, et nous représentent les dunes de la côte de Blankenberghe dans un état assez peu différent de celui dans lequel elles se trouvent aujourd'hui. (1)

L'existence de la partie faible de la côte, comprise entre la pointe de Wenduïne et le village de Heyst et précédée partout d'un estran étroit et incliné, remonte donc à une époque éloignée. Elle résulte sans doute, à l'origine, du voisinage de l'embouchure de l'Escaut, dont la passe principale se tient devant Heyst et Blankenberghe à une distance relativement faible de la plage; le talus sous-marin qui précède celle-ci est en outre fort raide et semble en quelque sorte former la continuation des rives affouillées du fleuve. Or, nous savons que, dans de pareilles conditions, l'action érosive des vagues de tempête n'est plus équilibrée par les sables apportés pendant les temps calmes à la partie supérieure de l'estran et au pied des dunes, de sorte que le rivage doit être envahi insensiblement par la mer.

C'est ce qui a eu lieu à la côte de Blankenberghe, où plusieurs faits le prouvent à l'évidence.

Citons en première ligne l'existence de l'ancien tronçon de digue, dont les vestiges apparaissent sur la plage aux environs de la jetée 37, et que l'on retrouve, de part et d'autre de cet ouvrage, sous les sables du cordon des dunes, entre la jetée 41, établie à 800 mètres des écluses de Heyst, et la jetée 27, située à l'est de Blankenberghe. Il se raccorde en ces points avec la digue du Comte Jean qui fut achevée en 1400. Or celle-ci présente précisément, au droit de la jetée 27, un ressaut brusque et presque à angle droit, ce qui indique clairement que le tronçon dont il s'agit en faisait primitivement partie et qu'il a dû être reconstruit plus tard en recul, à la suite d'une rupture qui se sera produite dans la digue entre les points de raccordement précités. C'est entre ces mêmes points, fait remarquable à noter, que l'action affouillante de la mer sur l'estran se fait encore le plus vivement sentir aujourd'hui (Pl. XVII).

Le couronnement des parties conservées de l'ancienne digue a 4^m,50 de largeur, et ne se trouve qu'à 7^m,25 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau; ses talus sont inclinés à raison de 4 de base pour 1 de hauteur du côté de la mer, et à raison de 2 de base pour 1 de hauteur du côté opposé. Ces dimensions, comparées aux dimensions actuelles de la digue du Comte Jean, prouvent aussi que celle-ci a été notablement exhaussée et renforcée depuis l'époque de sa construction.

(1) On désigne ordinairement sous le nom de *Côte de Blankenberghe*, toute la partie du littoral comprise entre Wenduïne et Heyst.

Un autre fait non moins concluant pour montrer que la côte des Flandres, depuis Wenduïne jusqu'à Knocke, a été entamée par la mer, c'est que l'on voit sur l'estran, à marée descendante, les vestiges des fondations des anciennes écluses d'évacuation de Blankenberghe et d'Eyensluis. Ces ouvrages, qui sont figurés sur la carte du Comté de Flandre par Ortelius, de 1590, se trouvaient respectivement près de l'emplacement du port actuel, à Blankenberghe, et immédiatement à côté du chenal de l'écluse du canal de Selzaete, à Heyst.

Du côté de Wenduïne enfin, la digue du Comte Jean était encore séparée, au siècle dernier, du cordon des dunes par quelques parties basses comme celles que l'on trouve à l'est de Blankenberghe, tandis qu'aujourd'hui la dune n'y consiste plus qu'en un amas de sable faisant corps avec la digue elle-même.

Les premiers épis de défense contre l'action envahissante de la mer ont été établis sur la plage de Wenduïne vers 1604; ils ont été multipliés plus tard et leur construction a été appliquée successivement à toute l'étendue de la côte comprise entre ce dernier village et celui de Heyst.

On sait que ces ouvrages ont principalement pour but de favoriser l'accumulation du sable et d'intercepter les courants qui se produisent pendant la montée et la descente de l'eau sur le rivage, et y creusent, dans l'estran, des sillons parfois profonds, disposés plus ou moins parallèlement à la direction des dunes. Ces sillons se déplacent continuellement, disparaissent et reparaissent selon le jeu variable des marées et des vents. Sur les plages resserrées, ils s'étendent jusque près du pied de la dune et y rendent les éboulements du talus, occasionnés par les tempêtes et les grandes marées, plus considérables. L'établissement d'épis transversaux à la côte a pour effet de fixer les sables de l'estran suivant une surface à pente régulière, c'est à dire dans les meilleures conditions pour l'épanouissement des lames.

Mais, déjà en 1600, le retour des inondations qui ravagèrent nos côtes à différentes époques et dont il est fait mention dans l'histoire, n'était plus beaucoup à craindre, grâce aux endiguements à l'aide desquels on avait graduellement amélioré les conditions de sécurité du littoral. La digue du Comte Jean, ainsi appelée parce qu'elle a été décrétée par le Comte Jean, fils de Guy de Dampierre, vers l'année 1300 à la suite de la grande inondation de 1280, fut construite dès le début, non seulement devant Blankenberghe et Heyst, mais sur toute l'étendue de la côte depuis Gravelines jusqu'à l'Écluse. Une autre digue avait été établie en 1240 entre le Zwyn et l'embouchure de l'Escaut.

Cependant l'état amaigri des dunes de Blankenberghe a continué à inspirer aux riverains de vives appréhensions; celles-ci n'étaient pas toujours partagées

par l'administration de la wateringue de Blankenberghe, chargée autrefois de la construction et de l'entretien des ouvrages de défense de cette partie de la côte.

C'est ce qui résulte d'une ancienne brochure publiée par cette wateringue et intitulée : *Exposition des principes qui ont guidé les directeurs de la wateringue de Blankenberghe dans les choix et l'emploi des ouvrages propres à garantir le Pays. Apologie de leur conduite vérifiée dans les observations présentées au Magistrat du Franc de Bruges sur un mémoire présenté au Gouvernement-Général le 13 Janvier 1788.*

La brochure reproduit les divers articles du mémoire adressé au Gouvernement-Général pour démontrer la nécessité de faire reconstruire par la wateringue de Blankenberghe les jetées qu'elle avait laissé périr devant cette localité, et en regard, les observations des directeurs de la wateringue, lesquels contestent l'utilité de ces ouvrages et surtout l'existence des dangers d'inondation.

Il nous suffira d'en citer les passages suivants :

Art. 1 du mémoire : " Les dangers d'inondations auxquels seroit exposé le " pays, sont fondés sur quatre circonstances locales. "

Observations des directeurs de la wateringue :

" Le pays n'est exposé à aucun danger moral ; il ne peut l'être tant que la " digue de précaution derrière les dunes ne soit attaquée et auroit souffert de " fortes dégradations. "

Art. 3 du mémoire : " Que ces dunes (les dunes situées à l'ouest de Blan- " kenberghe) sont aujourd'hui tellement rongées et emportées qu'elles n'ont plus " à plusieurs endroits que neuf à dix pieds au sommet. "

Observations des directeurs de la wateringue :

" On se trompe si on croit que la mer attaque les dunes par le sommet ; " fussent-elles pointues, cela n'y feroit rien, pourvu que la base soit large par " où elles sont toujours entamées, et que le corps soit assez épais pour ne pas " pouvoir être aisément emporté dans une forte marée.

" Mais on avoue bien plus ; on ne déguise pas que la mer extraordinaire " ment élevée et gonflée en date du 25 Janvier dernier ait emporté la moitié " de quelques-unes de ces dunes et les ait affaissées à la hauteur de cinq à " dix pieds ; ce spectacle ne présente cependant rien de nouveau, c'est ce qui " arrive de tems à autre. En 1767, le 2 Janvier, la tempête emporta ces dunes " en plusieurs endroits jusqu'à laisser entrevoir la digue de précaution ; une de " ces dunes fut même creusée au-dessous du niveau de la grève par une chaloupe " qui fut jetée de son ancre sur le sec entre les dunes et la digue de précaution.

" Les ouragans de 1772 et 1779 causèrent des dégâts à ces mêmes dunes

« presque pareils à ceux de l'année 1767; la digue de précaution a toujours
« rassuré contre le danger; puis la nature et quelques foibles moyens de l'art
« les ont réparées plus ou moins lentement suivant que les vents ont été plus
« ou moins propices. »

Si nous reproduisons ces passages, c'est pour montrer encore que les dunes de la côte de Blankenberghe n'étaient pas beaucoup plus puissantes dans le siècle dernier que maintenant. Aujourd'hui, comme alors, elles font naître certaines craintes qui se manifestent plus vivement après des tempêtes violentes.

Ces craintes nous paraissent au moins exagérées; elles sont plutôt inspirées par les traditions des inondations qui ont eu lieu avant le XVI^e siècle, et l'on ne tient généralement pas compte de ce fait que les endiguements et la construction des écluses ont complètement changé la situation de notre littoral. Anciennement la mer pénétrait librement, à chaque marée, dans les vastes criques qui existaient en divers points de la côte; par des tempêtes extraordinaires, accompagnées de marées exceptionnellement élevées, les flots inondaient et dévastaient nécessairement, sur une étendue plus ou moins considérable, les terres basses qui bordaient ces chenaux irréguliers et leurs nombreuses ramifications. Mais à présent que les criques ont disparu de notre côte, l'ensemble des dunes et des digues y constitue une ligne de défense continue, arrêtant partout les incursions de la mer et suffisamment puissante pour résister à l'action des flots.

Certes, par des coups de vent violents de l'ouest au N.O., surtout quand ils coïncident avec la pleine ou la nouvelle lune, les eaux de la mer s'accumulent sur notre rivage; les vagues viennent heurter avec violence le pied des dunes et enlèvent des quantités plus ou moins considérables de sables, qui sont entraînés vers les régions où agissent les courants de marée; par des tempêtes extraordinaires, il arrive même que la dune est coupée à pic sur une grande partie de sa hauteur. Mais le sable enlevé revient lentement sur l'estran et au pied des dunes pendant la bonne saison; et, si d'une part le régime hydrographique de la côte de Blankenberghe est cause que la plage tend, en définitive, à s'amaigrir et à reculer vers l'intérieur, d'autre part l'influence des épis établis sur l'estran combat efficacement cette action envahissante de la mer, concurremment avec les plantations d'oyats destinées à fixer le sable des dunes et avec quelques travaux de consolidation exécutés au pied de celles-ci.

Quant aux empiètements de la mer que l'on observe devant Knocke et près de l'aubète du Coq, entre Ostende et Wenduïne, où les dunes sont d'ailleurs très larges, elles résultent plutôt de circonstances locales et particulières.

Ainsi, les dunes de Knocke présentent une certaine saillie par rapport à la

direction des dunes attenantes, ce qui s'explique par le voisinage de l'embouchure de l'ancien Zwyn; depuis que ce bras de mer a été endigué, la côte recule devant Knocke d'une manière continue, tandis que l'anse située au droit du Zwyn se comble; cette partie du littoral tend peu à peu à prendre une allure plus régulière, en rapport avec le régime actuel des courants en cet endroit; et les érosions qu'on y constate et qui, pendant ces dernières années, mesuraient jusqu'à 3 mètres par an, iront en diminuant à mesure que la situation du talus de la dune, du côté de la mer, se rapprochera de son état d'équilibre.

Entre Ostende et Wenduyne, on observe un cas différent; l'alignement général de la côte y présente un rentrant, dont le point culminant se trouve près de l'aubète du Coq; les dunes y subissent des érosions accentuées, qui sont encore un effet local, résultant cette fois de l'existence d'une anse en voie de formation entre deux parties avancées, le Spaniardduin et Wenduyne. (Pl. XVII).

Mais on ne peut pas conclure de ces faits locaux à un recul équivalent et général de la côte entre Ostende et le Zwyn, et encore beaucoup moins à des dangers imminents d'inondation. Ces dangers ne sont pas à craindre si l'on entretient d'une manière convenable les ouvrages de défense établis sur l'estran; encore faudrait-il une succession de circonstances atmosphériques tout à fait anormales ou des phénomènes extraordinaires et dont il n'est pas d'exemple de mémoire d'homme, pour que la mer parvienne à rompre la barrière que la nature, aidée de l'industrie humaine, a élevée le long de notre littoral.

Ayant été chargé en 1869 de lever le plan général de ce littoral depuis la frontière française jusqu'à la frontière néerlandaise, nous avons commencé par le plan de la côte de Blankenberghe.

Pour y représenter la configuration de l'estran, nous avons observé le 25 novembre 1870, soit à l'époque des marées de vive eau et par un temps calme, les laisses de mer d'heure en heure et sur un signal donné, en ayant soin de rapporter leur position sur l'estran au zéro d'Ostende et nous avons adopté les courbes ainsi obtenues comme des courbes de niveau.

Nous avons procédé à de nouveaux nivellements de l'estran et de la dune en février 1880, et aussi en 1883, soit environ 13 ans plus tard, en rapportant la position des laisses de mer à la même base d'opération. Or, la comparaison des profils déduits de ces observations et dont quatre sont indiqués Pl. XVII, fait voir que l'estran n'a pas sensiblement varié entre Wenduyne et Heyst depuis 1870; sur les profils de 1883, il est même un peu plus élevé que sur ceux de cette dernière année, ce qui provient sans doute de ce que les premières expériences

avaient été précédées d'une série de vents plus défavorables au maintien des sables de la plage.

Mais nulle part le talus de la dune n'a reculé d'une manière bien appréciable, et cependant l'intervalle de ces treize années a été marqué par de nombreuses tempêtes; celle du 30 janvier 1877 notamment a été tellement violente qu'elle a produit une certaine émotion dans le pays, et qu'une Commission a été instituée par arrêté royal afin de donner son avis sur les travaux à effectuer pour garantir la côte contre l'action de la mer.

Le plan des dunes et de l'estran situés entre le village de Heyst et le Zwyn, que nous avons dressé en 1872, comparé à un nouveau levé effectué au mois d'avril 1880, n'accuse également d'autres changements qu'un certain recul de la laisse des basses mers et du pied des dunes dans le voisinage du phare de Knocke, et un léger accroissement de la plage devant l'ancien Zwyn.

Il est évident que les observations dont nous venons de comparer les résultats, ont été faites à des époques trop rapprochées pour être concluantes, mais elles confirment néanmoins, jusqu'à un certain point, ce que nous avons dit plus haut au sujet des conditions de sécurité actuelles de notre littoral.

CHAPITRE V.

L'ESCAUT MARITIME.

I. — RÉGIME DU LIT DU FLEUVE.

La première reconnaissance hydrographique exacte de l'Escaut, depuis Flessingue jusqu'à Anvers, a été faite en 1800 par M. Beautemps-Beaupré⁽¹⁾. De 1818 à 1822, MM. van Wyngaarden et Decker, attachés au service du Waterstaat néerlandais, ont aussi levé la carte de cette partie de l'Escaut; mais elle ne représente qu'imparfaitement les bancs existant dans le fleuve, et les profondeurs du lit y sont indiquées par des profils en travers peu nombreux.

Diverses reconnaissances hydrographiques ont été faites par la Marine néerlandaise; la première en 1862 par M. le capitaine lieutenant de vaisseau Blommendael; une seconde édition, revue, en a paru en 1867, en même temps qu'une carte spéciale de la passe de Bath; la seconde en 1878 par MM. les lieutenants de vaisseau de Brouw et van Doorn; la dernière en 1892 par MM. de Jongh et van Hoogstraeten⁽²⁾. Enfin M. Stessels et M. Petit, lieutenants de vaisseau de la marine belge, ont dressé respectivement le premier, en 1863, la carte de l'Escaut depuis Waarde jusqu'à l'embouchure du Rupel, le second, en 1881, celle du même fleuve depuis Flessingue jusqu'à Termonde.⁽³⁾

Ces documents nous permettront de décrire sommairement les modifications que l'Escaut maritime, de Flessingue à Anvers, a subies depuis le commencement

(1) La carte de M. Beautemps-Beaupré est reproduite Pl. XV, à l'échelle de 1 à 150000; nous y avons transformé en mètres les chiffres des sondes qui sont exprimés en pieds de France sur la carte originale.

(2) La carte de 1862 est reproduite Pl. XV, et celle de 1892 Pl. XVI, à la même échelle de 1 à 150000.

(3) La carte de M. Petit, levée vers la même époque que celle des lieutenants de vaisseau de Brouw et van Doorn, est reproduite Pl. XVI.

du siècle; nous nous arrêterons spécialement à celles qui sont caractérisées par une même tendance au point de vue des changements qu'elles ont apportés progressivement aux conditions de navigabilité du fleuve.

Commençant par la passe du Hont, on remarque que depuis 1800 elle a envahi sans cesse les bancs et les sables de la rive nord du fleuve; le Westkaloot a disparu, et le Kaloot proprement dit a été rongé sur une longueur considérable; aujourd'hui le talus raide et affouillé de ce banc ne forme plus, avec celui de la rive de l'Escaut près de Flessingue, qu'une seule anse comprise entre ce port et la pointe de Borselen. Déjà en 1862, il ne restait dans le Hont que le Spykerplaat, plateau de peu d'étendue, situé à l'emplacement occupé primitivement par l'extrémité du Westkaloot et offrant d'ailleurs 6 à 7 mètres d'eau à mer basse. A l'ouest de Flessingue, on voit alors apparaître le Nolleplaatje, qui s'avance peu à peu à travers l'Oostgat. Après 1862 et jusqu'en 1892, le Hont continue à se creuser dans le nord, mais moins activement que dans la période précédente; la carte de 1892 ne fait plus mention du Spykerplaat.

D'autre part, la passe de l'Hoogplaat, située en face du Hont, et qui est appelée sur la carte de M. Beaumonts-Beaupré « Entrée du canal de Gand » a empiété sur la rive sud du fleuve, depuis un point situé à peu près sur le méridien du fort de Ruyter jusque dans l'est du village de Hoofdplaat.

Il en résulte que dans cette partie de l'Escaut, la largeur totale du lit a notablement augmenté, mais les bancs qu'on y rencontre et qui séparent le Hont de la passe de l'Hoofdplaat, ont en même temps beaucoup gagné en puissance; c'est ainsi que cette dernière passe, malgré qu'elle ait empiété sur la rive du fleuve, offrait en 1800, 1000 à 1200 mètres de largeur entre les courbes de niveau de 8 mètres, tandis qu'elle ne mesure plus aujourd'hui que 500 à 800 mètres.

Les bancs dont il s'agit sont désignés sur la carte de 1800 sous les noms de Hoogplaat et de Springer. On voit immédiatement que le Hoogplaat s'est surtout développé et exhaussé au sud et à l'ouest; de ce dernier côté, il s'est formé un nouveau plateau appelé sur la carte de 1862 « banc de Breskens », lequel s'avance en pointe, près de la rive du fleuve, dans l'ouest de Breskens. Le Springer constituait dès 1800 un vaste plateau émergeant en partie à marée basse; il était relié du côté amont aux sables de la rive, et son talus se prolongeait suivant la direction de celle-ci jusque près de Terneuzen. A l'ouest, il allait rejoindre le Hoogplaat, et limitait au N. et au N.E. la passe précitée du canal de Gand; celle-ci conduisait vers le Brackman, dont la profondeur, dans la partie qui figure sur la carte de M. Beaumonts-Beaupré, mesurait 9 à 12 mètres, sauf

en un endroit où elle n'était que de 5^m,50. Sur la carte de 1862, les atterrissements du Springer, devenus plus irréguliers, portent les noms de Laage Springer, Oostspringer et Vlake, et un nouveau plateau, le Staart, figure dans le nord de l'Hoogplaat; on constate aussi que l'entrée du canal de Gand s'est plus ou moins oblitérée et qu'elle s'est déplacée vers le sud. Ce déplacement semble avoir commencé déjà avant 1818, car la carte de cette époque indique près du Brackman, sous le nom de " Reede " (rade), une dépression, occupée en 1800 par des plateaux de sable attenant à la rive. De 1862 à 1892, le Hoogplaat, les Springers et le Staart, appelé Spykerplaat sur la carte de cette dernière année, ont encore gagné en hauteur, et le banc de Breskens s'est élargi. En 1881, la fosse débouchant dans la passe de Terneuzen près du Brackman et située en prolongement de celle du Hoofdplaat, est séparée de cette dernière passe par des hauts-fonds avec moins de 5 mètres d'eau, existant à l'aval du village de Hoofdplaat; en 1892, ce haut-fond a 6 à 7^m,00 de profondeur à marée basse, la fosse tend à se serrer encore contre la rive du fleuve le long du Thomaspolder, et un exhaussement du fond s'est produit à son extrémité aval, à l'endroit dit " Rade de Biervliet, " où l'on ne sonde plus que 6 à 7 mètres d'eau.

Dans le Brackman on ne trouve, en 1862, qu'un chenal étroit de 8 à 10 mètres de profondeur, longeant le talus ouest de ce faux bras, lequel continue à s'envaser progressivement.

Immédiatement en amont du Brackman, le fait le plus saillant à signaler, c'est que la rive sud de l'Escaut, dans toute l'étendue du coude de Terneuzen, a été considérablement envahie par les eaux, pendant que les plateaux qui occupent en cet endroit le milieu du lit ont acquis plus de hauteur et se sont développés vers l'est et surtout vers le sud; la largeur des empiètements, aux environs de Terneuzen, paraît avoir atteint, dès 1862, plus de 700 mètres. Déjà sur la carte de 1818, ces érosions se constatent d'une manière très apparente, et elles se sont ensuite accentuées à tel point qu'à partir de 1844 des travaux importants de fascinages et d'enrochements ont été exécutés aux endroits les plus corrodés, afin de sauvegarder les digues des polders riverains⁽¹⁾. Mais par suite de l'extension qu'ont prise les bancs situés dans le coude en question, la passe de Terneuzen a perdu beaucoup en largeur; en 1800, celle-ci était en moyenne de 1250 mètres, tandis qu'en 1862, elle n'a plus que 800 mètres; depuis cette époque cependant, elle tend de nouveau à croître. Quant à la profondeur, elle est devenue beaucoup plus grande, surtout dans le

(¹) M. HOGERWAARD, Ingénieur en Chef du Waterstaat hollandais. *De oeververdediging in Zeeland*.

voisinage de Terneuzen, où il existe aujourd'hui des fonds avec plus de 30 mètres d'eau à marée basse; d'autres modifications ont d'ailleurs eu lieu dans les bancs du coude de Terneuzen et dans les chenaux existant au nord de ces bancs. Elles sont assez compliquées : en amont de Borsele, le chenal appelé sur la carte de 1800 « passe d'Ellewoutsdijk » et sur celle de 1862 « passe d'Everinge », s'est élargi en refoulant les sables du Suykerplaat, connu sur la carte de 1800 sous le nom de « banc d'Ellewoutsdijk ». La passe d'Ellewoutsdijk était séparée du Middelgat par des fonds de 5^m,50 à 7^m,50 de profondeur à marée basse, constituant la passe de Baarland.

Au sud du banc de Terneuzen figurait le petit banc de même nom, dont il était séparé par un chenal profond de 250 mètres de largeur. En 1862, ces plateaux sont réunis; un nouveau banc, le Margriet, a pris naissance à leur extrémité orientale et s'est développé dans le fleuve à travers des fonds où l'on sondait, en 1800, 12 à 15 mètres. Le grand banc de Terneuzen, qui occupait en partie l'emplacement du Margriet, n'est plus signalé sur la carte de 1881, tandis qu'on y voit figurer un plateau appelé Middelplaat, dans le coude formé au nord par le Suykerplaat et le Margriet. De plus, à l'ensemble de ces bancs est venu se souder un haut-fond étroit, occupant à peu près le milieu de l'étendue du fleuve comprise entre la passe de Terneuzen et le Middelgat et qui était exempte de tout atterrissement à l'époque de la carte de M. Beauteemps-Beaupré. On y sonde 5 à 7 mètres en moyenne, et 7^m,50 dans la dépression par où les navires, à partir de 1862, passaient d'un chenal à l'autre.

De 1862 à 1881, les sables du banc de Baarland ont subi des mouvements qui tendent en définitive à faire avancer son extrémité S. O. dans le lit du fleuve. Le Middelgat a été entamé par les courants de la passe de Baarland, qui s'est approfondie et offre, en 1881, 10 à 12 mètres d'eau. Le plateau prolongeant le Margriet jusqu'au Brouwersplaat s'est encore exhaussé et élargi, mais dans ces dernières années, ainsi que nous l'avons déjà signalé au § IV chap. III, il s'est séparé du Margriet par une large dépression de 10 à 12 mètres de profondeur; le chenal existant entre le Suykerplaat et le Middelplaat, en prolongement de l'Everinge, s'est creusé également, tandis qu'un haut-fond s'est formé au contraire à l'extrémité aval de la passe de Baarland.

Dans le coude de Capelle, qui fait suite à celui de Terneuzen, le banc de Capelle occupe sur la carte de 1862 une surface moitié moindre environ, entre les courbes de 8 mètres, que sur la carte de 1800, et il est beaucoup plus rapproché de la rive; les sables existant dans l'est du canal de Hulst ont été fortement affouillés, tandis que le chenal qui séparait en 1800 le banc de Hulst de la rive

et qui conduisait vers la passe d'Ossenisse et de là vers celle du " Milieu ", s'est oblitéré. De 1862 à 1892, le banc de Capelle continue à être rongé, et ce changement, de concert avec l'extension du Brouwersplaat, a eu pour effet de rapprocher encore le Middelgat de la rive nord du fleuve.

Voyons ce qui s'est passé dans le coude de Welsoorde et devant Bath. Il existait en 1800, en amont du village de Waarde, deux passes, l'une dite " de Waarde " et l'autre " de Welsoorde ". La première, située le long du talus nord du fleuve, avait 700 mètres de largeur, mais présentait en amont de la pointe de Valckenisse un étranglement où l'on ne mesurait que 100 mètres entre les courbes de niveau de 8 mètres, et qui conduisait vers le chenal de Bath. La seconde se dirigeait entre les bancs d'Ossenisse et de Welsoorde vers la rive sud du coude et allait rejoindre la passe de Waarde. Entre les bancs précités, il existait des sables avec 7^m,00 à 7^m,80 d'eau seulement, mais plus loin on sondait au moins 8 mètres, et plus généralement 10 à 15 mètres et jusqu'à 25 mètres.

Depuis cette époque, la passe de Welsoorde, appelée sur les cartes néerlandaises " Zuydergat ", a pris une allure plus régulière et a gagné en largeur le long du plateau d'Ossenisse et dans le coude de Welsoorde, où le petit banc de ce nom est venu se placer près de la rive, refoulant ainsi le chenal navigable vers le nord.

D'un autre côté, les mouvements de sable qui se sont produits dans l'ensemble des plateaux de Welsoorde et de Valckenisse, ont eu pour effet de fermer à l'ouest la passe de Waarde; à partir de 1862, celle-ci ne constitue plus qu'un faux chenal ou Schaar. La passe située en prolongement du Zuydergat, le long du Konynenschoor, s'est déplacée vers la rive sud; elle a aussi diminué en largeur et elle s'est développée à l'est pour former, à travers les atterrissements du banc de Saeftinge, le Schaar du Nord. Dans la partie aval du coude, elle longe la rive opposée du fleuve contre laquelle elle tend à s'appuyer de plus en plus, et l'on observe en 1862, devant Bath, la formation d'une partie sèche avec 6^m,80 d'eau sous le niveau des basses mers ordinaires. En amont de ce point, le chenal navigable se déplace vers la rive ouest à cause des mouvements de sable qui ont lieu au Ballastplaat, et elle y corrode le talus du plateau de Saeftinge. Ce déplacement s'accroît encore après 1862, et la partie sèche précitée se trouve, en 1881, à 250 mètres environ dans l'ouest du méridien de Bath, mais en conservant la même profondeur, tandis que la carte de 1892 y indique un chenal étroit, non interrompu, de 8^m,00 de profondeur sous le niveau des basses mers ordinaires, et qui se maintient d'ailleurs jusqu'en aval de Beerendrecht.

Depuis Bath jusqu'à Anvers, il ne s'est pas produit de modifications fort

importantes dans l'état du lit du fleuve ; on y constate principalement des mouvements oscillatoires dans les hauts-fonds situés aux endroits où le chenal navigable se jette successivement de la rive concave d'un coude vers la rive concave du coude qui suit.

II. — DE L'ORIGINE ET DE LA MARCHÉ DES ALLUVIONS.

La marche des alluvions dans la partie maritime des fleuves a pour cause principale l'action des courants de marée ; les conditions qui caractérisent ces transports varient d'un cas à un autre, non seulement avec l'étendue et la nature du bassin hydrographique du fleuve que l'on considère, mais aussi avec le régime de la mer où il a son embouchure. La circulation des eaux en rend d'ailleurs les diverses parties solidaires, c'est à dire que chacune d'elles exerce son influence sur toutes les autres. Il importe donc d'étudier chaque fleuve en particulier, et de coordonner le mieux possible, dans leur ensemble, les faits qu'on peut y constater.

Une première source d'alluvion pour la partie maritime d'un fleuve consiste dans les apports amenés par les eaux d'amont.

Nous avons vu au chapitre II, § III, que dans une rivière ordinaire, à courant continu, les mouvements imprimés aux gros matériaux : galets, graviers et sables, et qui tendent à entraîner ces alluvions vers les régions d'aval, ne s'opèrent en général qu'avec beaucoup de lenteur⁽¹⁾. Il n'en est pas de même, notons le bien, pour ceux auxquels est due la formation des rives concaves et des grèves convexes.

Comme tout le monde sait, un fleuve qui coule à travers des terrains trop peu résistants pour n'être point corrodés par les courants, ne présente que fort rarement des alignements droits ; il prend, en plan, une forme sinusoïdale, en creusant dans chacune des rives une suite d'anses, d'où les matériaux enlevés vont former des grèves et des bancs près des rives convexes, et aussi au milieu des parties dilatées du lit. Cette forme sinusoïdale, en augmentant le développement du lit, en diminue la pente, et elle crée une situation qui répond aux conditions propres à l'écoulement des eaux du fleuve. Les passes ou chenaux se tiennent en général le long des rives concaves, où l'intensité des courants dépend de la masse des eaux mises en mouvement et de la force centrifuge développée le long de la berge. A l'endroit où le thalweg se jette de la rive concave d'un coude vers la rive concave du coude qui suit, il se forme généralement des parties sèches.

⁽¹⁾ Page 79.

Le creusement opéré le long des rives concaves ne résulte pas exclusivement des frottements des eaux courantes; chacun des filets fluides, à partir de celui de la berge, subit en s'infléchissant une certaine pénétration du filet fluide adjacent, et il se produit ainsi dans la masse des eaux, pendant qu'elle est emportée avec la vitesse de translation dont elle est animée, des actions tourbillonnaires qui interviennent énergiquement dans le travail de corrosion et d'entraînement que l'on constate sur nos grandes rivières à fond mobile.

Des tourbillons et des remous prennent du reste naissance non seulement dans les coudes, mais partout dans les rivières où les eaux en mouvement viennent se heurter contre les saillies ou les inégalités des berges et du fond, de même que là, où par suite des changements plus ou moins brusques de la section du lit, il se produit des courants se coupant obliquement.

C'est surtout pendant les fortes crues que les transports d'alluvion des fleuves sont le plus actifs, puisque la masse des eaux et la vitesse des courants atteignent alors leur plus grande valeur; l'écart entre le débit d'un cours d'eau, en étiage et en crue, est d'ailleurs généralement considérable. De plus, les crues descendent vers la partie maritime des fleuves comme une vaste intumescence, dont le sommet est d'autant plus élevé que le cours d'eau présente, à partir de son origine, une pente plus accentuée et coule dans des terrains peu perméables. Dans la partie de l'intumescence inclinée vers l'embouchure, là où la crue est en pleine croissance, la masse d'eau acquiert, en vertu de sa pente, une vitesse supérieure à celle qui se trouve en aval, et elle peut ainsi, dans certains cas, produire par refoulement des effets très prononcés.

Les quantités de sable et d'argile versées dans la partie maritime des fleuves augmentent évidemment avec le débit de ceux-ci, avec la pente de leur lit et avec la nature plus ou moins friable des terrains qu'ils sillonnent.

Dans l'Escaut, le débit solide du fleuve à l'extrémité aval de Gand, soit à l'origine du Bas-Escaut ou Escaut maritime, est de peu d'importance, à part les matières fines en suspension dans les eaux.

Ce fleuve, en effet, prend sa source dans des terrains crayeux, qui occupent en France une partie assez notable de son bassin. Près de la frontière et dans le Hainaut, les versants sont formés principalement de sables argileux et d'argile; ces mêmes terrains se rencontrent dans la Flandre Orientale où l'élément argileux continue à dominer, jusqu'en amont d'Audenarde surtout.

Quant au principal affluent de l'Escaut, la Lys, on trouve aussi à sa source le terrain crétacé, mais seulement sur une faible étendue du bassin de cette rivière; celle-ci coule bientôt à travers des terrains limoneux ou argileux,

reposant sur l'argile compacte; en aval de Courtrai, on trouve sur les rives des terres sableuses et de l'argile.

Nous avons vu que sur le Haut-Escaut, qui est d'ailleurs fort sinueux et n'offre pas une pente bien prononcée, il existe une série de barrages et que la navigation s'y fait par bonds d'eau ou lâchures. Ces barrages, qui sont manœuvrés de façon à concilier le mieux possible les intérêts de la navigation avec les évacuations exigées pour l'assèchement des terres, ne sont d'ordinaire large ouverts qu'en temps de crue; dans de pareilles conditions, il ne peut se produire un mouvement d'entraînement notable des sables vers les régions inférieures du fleuve. Les alluvions transportées à l'aval des barrages existant à Gand, ne comprennent guère que les argiles et les matières ténues, en suspension dans la masse des eaux, et qui pendant les crues y sont du reste fort abondantes.

Voyons ce qui se passe dans la partie de l'Escaut sujette à la marée, et rappelons d'abord, en quelques mots, les caractères principaux du régime du fleuve. Il traverse, à partir de son embouchure, une plaine basse étendue et offre une succession de largeurs augmentant de l'amont vers l'aval, ainsi que des passes généralement profondes et qui le sont encore suffisamment dans les sections les plus sèches.

Grâce à ces circonstances, l'onde marée, dont l'amplitude est de 4 mètres en moyenne à Flessingue, se transmet presque sans diminution jusqu'à 100 kilomètres de distance environ de l'embouchure, et conserve à Gand, situé à 168 kilomètres de celle-ci, près du quart de cette amplitude; de Flessingue à Anvers, le niveau des basses mers ne subit que peu ou point de relèvement. Aussi le débit de marée du fleuve est considérable, d'autant plus que la partie aval de l'Escaut maritime est bordée, en divers endroits, par des criques et des rives basses qui sont envahies par le flot, sans préjudice pour le volume de l'onde marée en amont, et dont les eaux, ainsi emmagasinées, produisent au jusan de vraies chasses naturelles.

Comme nous l'avons dit en commençant, ce sont les courants du flux et du reflux, en même temps qu'ils creusent et entretiennent les passes des fleuves à marée, qui y transportent les matières alluvionnaires.

Dans l'Escaut, la vitesse moyenne des courants de marée varie de 0^m,65 à 0^m,85, et leur vitesse maximum ne dépasse d'ordinaire pas 1^m,25 à 1^m,50 par seconde. Ces vitesses, tout en étant assez intenses pour maintenir des chenaux profonds, ne sont pas exagérées, ni de nature à être plutôt nuisibles en produisant des entraînements par trop actifs des gros sables du fond; de plus, le régime des marées de vive eau n'y diffère pas beaucoup de celui des marées

de morte eau, ce qui ne peut qu'être avantageux au point de vue de l'uniformité des effets à résulter de leur action sur le lit du fleuve et sur les passes de l'embouchure.

En réalité, sur tout fleuve à marée il y a nécessairement gain de jusan, en ce sens que la quantité d'eau qui en sort est supérieure à celle qui y entre; la différence correspond au débit des eaux d'amont, dont l'influence se fait surtout sentir aux époques des crues. Mais il y a d'autres circonstances à considérer.

Le flot a moins de durée que le jusan, et comme dans la région aval des grands fleuves à marée les eaux d'amont ont peu d'importance, comparée à la masse de celles qui sont amenées de la mer, les vitesses du flot dépasseraient évidemment celles du jusan, si ce n'était cette circonstance que ce dernier courant circule à travers des sections mouillées moins grandes. De plus, nous avons vu que pour l'Escaut la différence entre la durée des deux courants est faible, d'où il résulte que les vitesses du flot sont en définitive inférieures à celles du jusan. Cette particularité du régime du fleuve, qui a été confirmée par les expériences de M. Stessels et de M. Petit⁽¹⁾, favorise évidemment le transport vers la mer des matières alluvionnaires, surtout de celles qui sont assez fines pour circuler en suspension avec la masse des eaux en mouvement.

C'est ainsi que les vases qui, pendant le flot, pénètrent en quantités considérables à l'intérieur de l'Escaut, après s'être déposées en partie aux étales, sont ramenées par le jusan vers la mer, à l'exception de celles qui ont pu se loger dans les criques et les fausses passes, et aussi à la partie surélevée des grèves où les eaux, à marée montante, vont s'épanouir et où elles n'acquièrent pas, en descendant, une vitesse assez grande pour reprendre ces dépôts.

Quant aux vases et aux limons apportés par les eaux supérieures, y compris ceux provenant de la corrosion des berges et du triage des matériaux charriés sur le fond dans la partie maritime du fleuve, ces matières ténues sont prises et reprises par les courants de flot et de jusan et finissent par être expulsées également, à cause de la prédominance du dernier de ces courants, pour aller se mélanger aux alluvions vaseuses, beaucoup plus abondantes, d'origine essentiellement marine.

L'action du jusan est surtout efficace pendant les dernières heures de sa durée, alors que les bancs élevés et les atterrissements des rives tombent à sec, et que les eaux en mouvement restent comprises dans les passes principales; sous ce rapport, il est avantageux d'avoir, comme dans l'Escaut, un lit majeur

(¹) Voir chap. I §.VIII.

suffisamment large par rapport au lit mineur ; car pendant le flot, les eaux s'étalent dans le lit majeur et perdent de leur vitesse, tandis que pendant le jusant le lit majeur alimente constamment le lit mineur et y produit un accroissement de vitesse.

En définitive, les sédiments vaseux, quoiqu'ils circulent sans cesse en abondance dans l'Escaut maritime, n'y occasionnent point dans les passes navigables de modifications rapides ou dangereuses ; ils ne forment des dépôts qu'aux endroits plus ou moins soustraits à l'action normale des courants, et surtout dans les criques et les faux bras, tels que le Brackman et les parties endiguées du Sloe et de l'Escaut Oriental. Dans ces dépendances du fleuve, le colmatage se produit d'autant plus activement que ces espèces de réservoirs, qui se remplissent à chaque marée haute, contrarient davantage par leur configuration et leur profondeur l'effet des courants de vidange sur les dépôts du fond.

Parlons maintenant des mouvements de sables qui ont lieu dans l'Escaut maritime.

D'où peuvent venir ces sables ?

Nous avons déjà vu que ceux débités par le Haut-Escaut n'ont pas d'importance. A partir de Gand jusqu'à Anvers, où le fleuve n'a qu'une faible pente, on n'observe pas non plus un charriage appréciable des sables de l'amont vers l'aval, de sorte que les quantités de cette alluvion versées dans la partie maritime du fleuve comprise entre Anvers et l'embouchure et dont nous nous occupons spécialement, ne peuvent y occasionner de modifications notables.

Quant au débit solide d'aval, le flot en pénétrant dans le fleuve soulève et entraîne sans doute, à part les vases, un certain volume de sable, surtout lorsque par de forts vents de l'ouest, les lames viennent se briser sur les plateaux sablonneux de l'embouchure ; mais on se rappelle que les fonds sous-marins de l'estuaire de l'Escaut, malgré les nombreux bancs qu'on y rencontre, offrent relativement beaucoup de fixité ; depuis le commencement du siècle, on n'y a point constaté de grandes modifications et la surface totale qu'ils occupent a peu changé pendant ce long laps de temps⁽¹⁾. D'autre part les rivages qui s'étendent à l'entrée du fleuve, tant sur la côte de Belgique que sur celle de la Néerlande, ne varient pas sensiblement, pas plus que les plages qui les précèdent ; depuis longtemps d'ailleurs, celles-ci sont défendues et fixées, sur une grande partie de leur étendue, par des travaux de main d'homme. Il en résulte que le débit solide d'aval de l'Escaut peut être considéré comme étant nul ou tout au moins très faible.

(¹) Voir chapitre IV.

La partie maritime du fleuve, depuis Anvers jusqu'à l'embouchure, n'est donc alimentée ni par les alluvions entraînées de l'aval ni par celles entraînées de l'amont; cependant, il s'y produit des mouvements de sables considérables; mais ces mouvements ne s'y opèrent qu'à des distances relativement restreintes, et ils sont surtout activés par ce que nous appellerons " le débit local " correspondant à la corrosion et à l'affouillement des rives. C'est ce que nous allons voir en nous appuyant sur les faits déduits de l'étude comparative des reconnaissances hydrographiques qui a fait l'objet du paragraphe précédent.

Disons d'abord que le flot, qui participe à la fois aux caractères des courants de pente et à ceux des courants d'ondulation, lorsqu'il commence à s'introduire à l'embouchure, sans présenter aucunement ce caractère de violence qu'on observe à certains fleuves, tels que la Seine par exemple, se manifeste cependant par un mouvement brusque et tend à suivre un chemin plus direct que le jusan, en heurtant les atterrissements en saillie sur les berges; mais quand il est bien établi, son mode d'action est semblable à celui d'un courant de pente ordinaire et il s'appuie, comme le jusan, sur les rives concaves pour s'écarter des rives convexes. Ce dernier courant cependant, dès qu'il se développe à l'aval du fleuve, se transmet plus régulièrement que le flot, d'autant plus qu'il parcourt des sections qui vont en s'élargissant.

Dans l'Escaut, on le sait, le creusement et l'affouillement des rives sont rapides; les sables y sont charriés alternativement en un sens et en sens opposé par le flux et le reflux, pour former graduellement, à la faveur des remous et des molles eaux, les sèches et les bancs en des endroits dont la situation dépend de la force et de la direction respective des deux courants, mais qui ne s'écartent pas beaucoup du lieu d'origine des matériaux qui les nourrissent.

Les mouilles et les sèches produites respectivement par le flot et le jusan ne coïncident d'ailleurs que partiellement, et les lois qui président à leur formation et qui ont fait l'objet des remarquables mémoires de M. Fargue⁽¹⁾, sont bien plus compliquées que pour les rivières à courant continu; d'autant plus que la différence entre les marées de vive eau et de morte eau accentue encore la nature complexe des forces en jeu.

Le simple aspect de la carte de l'Escaut permet de constater que depuis Anvers jusqu'à Bath, malgré l'irrégularité du lit du fleuve et des courbes qui s'y succèdent, les fosses et les maigres formés par les courants de flot et de jusan y répondent d'une manière distincte à ce qu'on est convenu d'appeler la " loi sinu-

(¹) FARGUE. *Annales des Ponts & Chaussées de France*. Années 1868 et 1882.

soïdale ». Même en aval de Bath, celle-ci se dessine encore, quoique les largeurs du fleuve y prennent des proportions considérables eu égard à la longueur des coudes, dont celui qui s'étend de Waarde à Baarland est particulièrement brusque et mal proportionné. La partie aval du fleuve constitue d'ailleurs plutôt une espèce d'estuaire intérieur ou bras de mer ; on doit y compter avec l'influence des vents du large qui s'engouffrent à l'embouchure, et aussi avec les circonstances résultant de la configuration même du lit, et qui ne peuvent qu'accroître les effets produits par l'antagonisme du flot et du jusant. Ainsi, ces courants s'y engagent en plusieurs endroits dans deux chenaux à la fois, qui se rencontrent plus loin sous un certain angle en donnant lieu, au point de croisement, à des remous intenses ; il arrive aussi vers la fin du flot, comme vers la fin du jusant, que l'un des courants persiste dans certaines passes alors que le courant contraire a déjà pénétré dans les passes adjacentes et que, dans une même passe, le courant du flot est établi sur l'une des rives avant que le courant inverse soit éteint le long de la rive opposée.

C'est dans ces conditions, sous l'action des courants de marée et des mouvements tourbillonnaires auxquels ils donnent naissance, que se produisent les déplacements d'alluvion modifiant sans cesse la configuration du lit de la partie aval de l'Escaut maritime.

Nous avons signalé en premier lieu les érosions considérables de la rive nord du Hont, au banc du Kaloot, et aussi sur la rive sud, en un endroit situé à peu près en face de ces bancs dans la passe de l'Hoofdplaat.

Pour cette partie du fleuve, le flot, en se précipitant dans l'embouchure, se dirige devant Flessingue et la pointe de Borsele vers la passe d'Everinge, où il est établi environ une heure plus tôt que dans la passe de Terneuzen. Le courant est fort intense dans toute l'étendue du Hont et il pénètre d'autre part, au sud de ces bancs, dans la passe de l'Hoofdplaat. Au jusant, le courant s'appuie fortement dans l'anse existant le long du banc du Kaloot, pour se diriger devant Flessingue vers les passes de l'embouchure ; mais il ne coule régulièrement vers ces passes que pendant la dernière période de sa durée, lorsque les bancs de l'estuaire émergent.

Pendant que sous l'action des courants, la partie attenante à l'embouchure du fleuve s'est en définitive beaucoup élargie, de vastes dépôts se sont produits, avons-nous vu, à l'emplacement et dans le voisinage des hauts-fonds existant déjà entre la passe du Hont et celle de l'Hoofdplaat ; ils ont été alimentés par les sables enlevés le long des rives et des plateaux corrodés, et à ces sables est venu se mélanger sans doute une certaine quantité des vases et des vases sableuses

en circulation dans le fleuve et qui ont pu se déposer également en ces endroits, principalement dans les dépressions plus ou moins variables comprises entre les bancs en voie de formation. Ceux-ci se sont développés au sud et plus encore à l'ouest, soit dans le sens du courant de jusant, et deux nouveaux plateaux se sont formés de ce côté. Mais depuis 1862 déjà, les changements sont beaucoup moins accentués dans cette partie du fleuve, qui paraît aujourd'hui devenue plus stable et mieux en harmonie avec la direction de la passe principale de l'embouchure, le Wielingen.

A l'endroit où le prolongement de l'Oostgat ou Galgenput, après avoir reçu les eaux du Deurloo, vient déboucher à l'entrée du fleuve dans la passe formée par la réunion du Spleet et du Wielingen, nous avons signalé la formation du banc du Nolle, lequel a été alimenté au jusant par les sables enlevés le long du plateau du Kaloot.

Dans le coude de Terneuzen les berges de la rive sud ont été fortement corrodées, et les fonds qui longent le talus actuel mesurent jusqu'à 25 et 30 mètres de profondeur sous le niveau des basses mers; là encore les sables entraînés sont allés accroître les bancs existant au milieu du fleuve et en former de nouveaux.

De même, le Middelgat s'est approfondi dans le coude formé le long du banc de Kapelle, lequel a notablement perdu, tandis que les plateaux d'Ossensisse, situés sur la rive convexe voisine, ont gagné en étendue.

A ce déplacement vers le nord du Middelgat correspond un élargissement du Zuydergat, et en même temps une extension des bancs limitant ce chenal au nord; ceux-ci se sont soudés aux atterrissements de la rive convexe du Hoek van Valckenisse, et ont fermé de ce côté l'ancienne passe de Waarde; le flot, après avoir traversé le Middelgat, s'y établit une demi-heure environ avant qu'il passe dans le Zuydergat devant Welsoorde, mais il n'y a pas assez de force pour entamer les sables du Hoek van Valckenisse, lesquels sont nourris par l'effet prépondérant des courants circulant dans cette dernière passe. Au sortir du Middelgat, le chenal se rejette vers la rive concave du Nauw van Bath, dont la courbure a augmenté progressivement.

Le Schaar du Nord, ou espèce d'échancrure située à l'extrémité du Zuydergat, s'est formé par le fait que le jusant provoque l'extension vers l'aval des atterrissements de la rive convexe du coude de Bath, tandis que le flot, en sortant du Zuydergat, tend au contraire à les entamer.

Immédiatement à l'aval de Bath, la passe navigable se dirige vers l'anse creusée le long du banc de Saeftingen, et il s'est formé devant cette localité

un sèche, où la profondeur a varié de 6^m,30 à 7^m,50 sous marée basse et qui tend plutôt à se creuser à nouveau depuis 1878, en même temps qu'il subit certains déplacements. Près de Bath d'ailleurs, le régime est influencé par les grandes irrégularités du lit et notamment par l'existence des vastes plateaux de Saeftingen, de Valckenisse et du Konynen Schoor, qui commencent à être submergés peu après la mi-marée. Au nord-est de ces sections dilatées du lit majeur du fleuve, se trouve l'embouchure de la branche qui reliait l'Escaut Occidental à l'Escaut Oriental et qui fut barrée en 1867.

Ce barrage, contrairement à bien des appréhensions émises à cette époque, n'a pas exercé grande influence sur le régime des alluvions dans le coude de Bath, ni dans aucune autre partie du reste de l'Escaut.

La reconnaissance hydrographique de 1878, et celle plus récente encore de 1892, comparées à la carte de 1867, n'y révèlent en effet aucune tendance dans les mouvements des sables, § différente de celles qui caractérisent les modifications des fonds constatées dans la période précédente.

Lors des discussions que l'établissement du barrage a soulevées, les ingénieurs de la Hollande, comme ceux de la Belgique, étaient d'accord pour admettre qu'il exercerait une influence favorable sur la partie de l'Escaut Occidental située en amont de Bath ; ils avaient constaté, en observant le mode de propagation des courants dans chacun des bras du fleuve, que le bras oriental ne fournissait pas d'eau au bras occidental et ne contribuait en rien à grossir la marée qui se propage vers Anvers ; mais l'Escaut Occidental, au contraire, déversait à chaque marée montante dans la branche orientale, un volume d'eau total qui fut évalué à 32,460,000 mètres cubes, dont 11,500,000 mètres cubes rentraient dans le lit du fleuve, tandis que 20,960,000 mètres cubes s'écoulaient vers la mer par l'Escaut Oriental. Le barrage projeté, en supprimant ce déversement ou saignée des eaux de marée, et en provoquant l'envasement plus ou moins rapide de la crique comprise entre Bath et la digue, devait dès lors améliorer le régime de la partie de l'Escaut en amont de Bath.

Le point sur lequel les ingénieurs consultés différaient d'avis, était relatif à l'influence que le barrage aurait produite sur la partie de l'Escaut à l'aval de Bath.

Suivant les uns, elle devait être défavorable : le déversement, disaient-ils, qui s'opère dans la branche orientale, maintient la surface liquide à un niveau plus bas que si elle n'existait pas, d'où il résulte une diminution de la contre-pression exercée à l'aval de Bath sur le courant ascendant, et par conséquent une marche plus rapide de ce dernier et un débit plus grand. L'endiguement de

cette branche devra par conséquent diminuer le volume d'eau que la marée montante fait entrer dans la partie du fleuve comprise entre Flessingue et Bath.

De plus, le volume d'eau de 20,960,000 mètres cubes, qui se déverse à marée montante de l'Escaut Occidental dans l'Escaut Oriental et s'écoule à la mer par ce dernier bras, expulse avec lui de l'Escaut Occidental les matières limoneuses dont cette masse liquide s'est chargée en parcourant dans le lit du fleuve une longueur d'environ 50 kilomètres.

Voici les objections des ingénieurs favorables au barrage : on peut sans doute, en théorie, conclure que l'exhaussement de la marée à résulter de ces travaux réduirait la masse d'eau dans le fleuve pendant le flux, à partir de l'instant où le flot arrive à Bath jusqu'à l'heure du plein à Flessingue, soit pendant 3^h45', en tenant compte de la vitesse de propagation du flot entre ces deux endroits, qui est de 2^h15' dans les marées moyennes. Mais la quantité dont dépend le relèvement du niveau de la surface liquide à Bath sera excessivement petite dans les premières heures du flux, parce que ce bras de mer ne comprend qu'un chenal peu large, limité par des plages étendues, lesquelles sont submergées seulement pendant les dernières heures du flot ; le volume d'eau à rester en plus dans l'Escaut Occidental, après l'exécution des travaux et durant la première période du flot, ne produira donc qu'un surélévement très faible et occasionnera peu de diminution dans le débit, et quand l'écoulement vers la branche orientale commence à s'accroître, la marée devient haute à Flessingue, et l'introduction de la mer y cesse. Les partisans de l'endiguement étaient en outre d'avis que les 32,000,000 de mètres cubes précités remonteraient, après la construction du barrage, en grande partie jusqu'à Bath, à cause de l'existence de l'espèce de vaste bassin que le fleuve comprend entre Waarde et cette localité, de sorte que l'action du jusant dans la partie aval de l'Escaut Occidental n'en deviendrait que plus puissante.

Quelques ingénieurs étaient d'avis qu'après l'endiguement le flot aurait creusé une passe à travers le Schaar du Nord, et que les courants auraient fini par abandonner le chenal navigable actuel devant Bath. Jusqu'à présent aucune tendance ne s'est manifestée en ce sens, et il ne nous semble pas, à voir l'allure actuelle des mouilles près de Bath, que l'on puisse s'attendre à pareil effet.

Revenons à la marche des alluvions dans l'Escaut maritime.

En amont de Bath, où le lit du fleuve devient beaucoup moins large et de configuration plus régulière, les transports d'alluvion ont bien moins d'importance que dans la partie aval du fleuve.

Le jusant, de même que le flot après qu'il est bien établi, y creuse le

long des rives concaves des mouilles plus ou moins profondes, suivant la courbure au sommet des anses formées par ces rives, tandis que les alluvions provenant de leur creusement nourrissent les maigres des rives convexes.

Sous l'action du jusant, les mouilles et les maigres des coudes se développent vers le point d'inflexion aval, tandis que le flot provoque des mouvements analogues vers le point d'inflexion amont; mais on remarque que l'effet du jusant est sous ce rapport prédominant et que les atterrissements s'étendent, en général, d'une façon plus accentuée à l'aval du sommet des rives convexes.

A quelques uns de ces plateaux, l'avant-flot creuse, le long de la rive, des sillons plus ou moins profonds ou *schaars*; sur la rive droite, on rencontre le *Schaar* du *Prosperpolder*, celui de *Blauwgaren* et un autre près du fort Philippe; sur la rive gauche, il y a le *Schaar* du *Krankeloon* et celui du *Boomke*.

Le chenal navigable, depuis Bath jusqu'à Anvers, comprend l'ensemble des mouilles existant dans les anses.

Les changements que les cartes marines des différentes époques permettent d'y constater consistent surtout, nous l'avons dit au paragraphe précédent, en quelques mouvements oscillatoires du fond au droit des sèches reliant les mouilles de deux anses consécutives. Or c'est précisément en ces endroits, c'est à dire aux extrémités des mouilles et des atterrissements se succédant respectivement le long des rives concaves et le long des rives convexes opposées, que le flot et le jusant doivent le plus accentuer l'antagonisme de leur action, surtout aux époques où ils subissent l'influence des marées extraordinaires ou des crues d'eau.

Ajoutons que les débâcles des glaces concourent aussi à remuer les atterrissements du lit de l'Escaut.

Les glaçons se forment principalement sur les bords du fleuve, sur les parties élevées des bancs et dans les espaces qui sont plus ou moins à l'abri des courants, c'est à dire aux endroits où la congélation des eaux est facilitée par leur calme relatif et par la faible épaisseur qu'elles occupent. Dès qu'ils sont soulevés par une forte marée ou par une surelévation des eaux d'amont, ils corrodent les atterrissements où ils se sont formés, et en descendant le fleuve au moment des débâcles, ils viennent heurter les plateaux qui encombrent le lit et les parties saillantes des rives; ils constituent ainsi un agent de désagrégation des sables, parfois très énergique.

Mais sur l'Escaut, les débâcles de glaces n'ont lieu que par des hivers fort rigoureux et qui ne se présentent qu'à d'assez longs intervalles.

Les considérations qui précèdent montrent bien, ainsi que nous l'avons dit plus haut, que les mouvements d'alluvion dans la partie aval de l'Escaut

maritime, sont spécialement provoqués par l'affouillement et la corrosion des rives concaves, dont les sables nourrissent les atterrissements des rives convexes et les hauts-fonds existant au milieu du lit, ou y forment des bancs nouveaux ; ces bancs subissent eux-mêmes des changements, mais les sables ainsi transportés ne s'écartent qu'à des distances relativement faibles de leur lieu d'origine. A ces sables toutefois viennent s'ajouter une certaine quantité des vases et des sables fins vaseux, en suspension dans les eaux et qui ont pu se déposer, à la faveur des remous et des molles eaux, au droit des plateaux en voie de formation. Dans les parties profondes des fausses passes et partout où le lit du fleuve est plus ou moins soustrait à la circulation des courants de marée, ces matières ténues se déposent plus activement, et elles exhausent surtout le fond des criques et des faux bras existant le long des rives.

En définitive, le lit de la partie aval de l'Escaut maritime éprouve des modifications continuelles ; une des plus saillantes consiste dans l'accroissement que sa largeur subit en certains endroits ; mais là, les bancs qui s'y trouvent gagnent en même temps en développement, de sorte que les sections mouillées moyennes des passes varient peu et restent en rapport avec la puissance hydraulique du cours d'eau.

Aussi, est-ce une erreur que de conclure des changements opérés par ces déplacements de sable et qui peuvent, momentanément au moins, y créer des embarras à la navigation, à un ensablement général du fleuve ou à une oblitération continue de ses passes. C'est ainsi que dans la partie large de l'Escaut, à l'aval de Bath, lorsqu'un chenal est en voie de s'y fermer partiellement ou totalement par suite de l'extension d'un haut-fond ou de la formation d'une barre, on constate généralement que le chenal voisin s'approfondit en même temps, ou qu'il s'y creuse à proximité un chenal nouveau. Malgré les irrégularités du lit bordé de digues, établies la plupart dans le seul intérêt et selon la fantaisie des riverains, l'Escaut se maintient dans d'excellentes conditions, non seulement dans l'étendue de son parcours, mais aussi à son embouchure.

Comme nous l'avons fait ressortir, cette situation avantageuse est due aux caractères propres au régime du fleuve, consistant principalement dans la facilité avec laquelle s'opèrent la pénétration du flot et l'évacuation du jusant, et dans l'absence d'apports importants de sable, soit de la partie supérieure du cours d'eau, soit de la mer.

Cependant, à mesure que les bancs qui encombrant l'Escaut acquièrent plus d'étendue, les mouvements de sable qui s'opèrent dans le lit du fleuve deviennent plus importants, et les seuils dont ils peuvent provoquer la formation, à part

les inconvénients qui en résultent pour la navigation, nuisent aussi à la circulation des courants de marée à travers les chenaux où ils se trouvent.

Pour assurer le bon maintien des passes navigables de l'Escaut maritime, la meilleure voie à suivre, d'après nous, consiste à rechercher, par une étude attentive des modifications que le lit du fleuve a subies et continue à subir, comment le flot et le jusant tendent le mieux à maintenir la communication entre les mouilles des biefs consécutifs, ou à les relier par une dépression nouvelle; les diverses reconnaissances hydrographiques qui ont été faites du fleuve, complétées par des sondages périodiques, fournissent d'excellents éléments à cet effet. Cette étude permettra de constater en quels endroits des dragages, sagement dirigés, pourraient être exécutés avec fruit pour approfondir le seuil d'une passe existante ou concourir au creusement d'une nouvelle passe en voie de formation. Et pour que ces dragages soient réellement efficaces et ne prennent des proportions exagérées, il faudrait en outre fixer le mieux possible les parties des rives qui s'affouillent et se corrodent, car ce sont les sables provenant de ce travail de corrosion qui alimentent les bancs et les atterrissements, dont le développement peut, à un moment donné, occasionner des embarras à la navigation.

SECONDE PARTIE.

CHAPITRE VI.

AMÉLIORATION DES PORTS A MARÉE ÉTABLIS EN PLAGE DE SABLE. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

I. — DISPOSITION DU CHENAL D'ENTRÉE.

Les ports à marée, comme ceux de la côte de Belgique et de la côte nord de France, communiquent avec la mer au moyen d'un chenal limité par deux jetées, dont les extrémités ne dépassent pas ordinairement la laisse des plus basses mers.

Les jetées de ces ports sont à claire-voie et se ressemblent beaucoup quant à leur mode de construction; elles se composent d'une suite de fermes en charpente, espacées en moyenne de 2^m,50 d'axe en axe et terminées par des musoirs. Chaque ferme comprend deux pieux principaux et un troisième pieu secondaire, reliés ensemble au moyen de moises et d'arcs-boutants formant des figures triangulaires, comme le prescrit le principe fondamental de la charpente. Les fermes de chaque rangée sont reliées entre elles par des cours de longrines et par un tablier placé à 2 ou 3 mètres au-dessus des plus hautes mers. La plate-forme des musoirs, sur laquelle sont installés les feux de port, est plus élevée d'un mètre à peu près que le restant du tablier; elle est aussi plus large. Comme les musoirs sont particulièrement exposés à la violence des vagues, les fermes en sont assemblées avec beaucoup de solidité.

Les jetées à claire-voie sont bordées inférieurement de jetées basses, construites en fascinages avec enrochements, ou en maçonnerie. Ces ouvrages sont établis de manière à ce que leur arête supérieure se trouve partout à 1^m,00 environ au-dessus de l'estran et suive l'inclinaison de celui-ci; ils sont destinés à maintenir le chenal à travers les sables de la plage, et à y diriger les courants résultant de l'introduction de la marée et ceux correspondant aux chasses. La nouvelle jetée ouest construite en 1889 et 1890, sous notre direction, pour l'élargissement du chenal du port d'Ostende, appartient au type des jetées à claire-voie. Elle a une longueur totale de 605 mètres. La digue basse de cette jetée, sur une longueur de 400 mètres depuis son origine à l'extrémité Nord du môle du bassin de pêche, est formée d'un noyau en sable de mer, recouvert d'une maçonnerie de briques du Rupel de l'espèce dite " Klampsteen " au mortier de ciment, de 0^m,40 d'épaisseur, à l'exception de la partie formant talus du côté du chenal, où l'épaisseur est de 0^m,70; cette maçonnerie est enveloppée d'une assise de briques de même provenance, mais plus dures et connues sous le nom de " Klinkaert "; elles sont posées sur tête. (Pl. XVIII, fig. 3.)

Le revêtement ainsi constitué s'appuie, du côté de l'estran, sur un massif de maçonnerie de briques de 1^m,20 de largeur et de 1^m,00 de hauteur, défendu par une plate-forme en fascinage de 3^m,00 de largeur et 0^m,50 d'épaisseur, lestée de moëllons de Tournay. Du côté du chenal, il est soutenu par une charpente de fondation, composée des pieux de 3^{me} file de l'estacade et de pieux intermédiaires, d'une ventrière, et de palplanches de 4^m,00 de longueur; contre la face intérieure de ces palplanches, en contre-bas du revêtement en briques, il est coulé un petit massif en béton fort au ciment, dont la face inférieure descend en dessous du niveau des plus basses mers. Des murettes transversales, établies de 7 en 7 mètres, servent à renforcer le noyau de l'ouvrage et à prévenir, en cas d'accident à une partie de ce dernier, que les dégâts ne s'étendent sur une grande longueur.

La face supérieure de la charpente de fondation précitée est raccordée, le long de la jetée basse, avec le fond du chenal, au moyen d'un talus en enrochements, recouverts de sacs en béton et reposant sur des plates-formes en fascinage lestées. Ces plates-formes sont composées de pièces posées bout à bout, d'une longueur minimum de 8^m,00 et de 1^m,00 d'épaisseur, y compris le lestage de 0^m,50, en pierres de Tournay; elles sont coulées sous eau suivant un talus très doux et s'appuyent supérieurement contre les palplanches, par l'intermédiaire d'un coulis de béton fin au ciment.

Les pièces de plates-formes se composent de saucissons, formés eux-mêmes

de fascines bien droites et reliées solidement au moyen de harts; ces saucissons, de 0^m,40 de pourtour, sont placés inférieurement dans deux sens perpendiculaires entre eux, suivant des rangées espacées de 0^m,45 d'axe en axe, et ils sont reliés, aux points de croisement, par des cordes goudronnées. Dans les intervalles du cadre ainsi fait, entre les saucissons supérieurs, se trouve une première couche de fascines, placées parallèlement à ces derniers, puis une deuxième et une troisième couche, respectivement perpendiculaire et parallèle à la première; là dessus, on établit de nouvelles lignes de saucissons, reliées à celles du cadre inférieur au moyen des cordes précitées, dont les bouts sont préparés à cet effet; de cette façon, les fascines intermédiaires sont fortement serrées et le tout forme un matelas solide et flexible, s'appliquant bien sur le terrain, dont il prend, en cas d'affouillement, la nouvelle inclinaison vers le fond du chenal et protège le pied de la jetée basse.

Sur ce matelas en fascinage sont placées des lignes de tunes longitudinales, distantes de 0^m,90 d'axe en axe; elles sont composées de piquets de 1^m,20 de longueur et 0^m,06 de diamètre moyen, espacés de 0^m,40, clayonnés de 12 brins, de manière que le clayonnage conserve une hauteur de 0^m,50, après avoir été fortement serré et battu; les pierres de lestage sont disposées entre ces tunages.

A partir de 400 mètres de l'origine de la jetée, là où l'estran est déjà fort exposé aux affouillements, la digue basse est formée d'un noyau en enrochements, reposant sur une plate-forme en fascinage et recouvert d'un revêtement en moëllons de Tournay, lequel est retenu au pied par une charpente de fondation avec pieux et palplanches. Ce revêtement est raccordé avec le fond du chenal au moyen de talus construits comme ceux que nous venons de décrire. Du côté de l'estran, le noyau est maintenu par une ligne de pilots jointifs en sapin créosotés, bordée d'une plate-forme en fascinage, lestée de moëllons de Tournay.

Enfin la partie inférieure de la digue basse, y compris le musoir, se compose toute entière d'enrochements coulés sur des plates-formes en fascinage et recouverts de sacs en béton. (Pl. XVIII, fig. 3).

La jetée haute en charpente, ou estacade, est établie sur le talus intérieur de la digue basse; elle est destinée à la fois au service du port et à être utilisée comme promenoir en été.

A l'origine de la jetée et sur une longueur de 120 mètres, le plancher se trouve à la cote $+6^m,70$ par rapport au niveau des basses mers de vive eau; il se relève ensuite par une rampe douce jusqu'à la cote $+7^m,20$ et plus loin, par une seconde rampe, jusqu'à la cote $+7^m,70$. Il offre 6 mètres de largeur, et 18 mètres au musoir.

Les pieux, les ventrières inférieures et les arcs-boutants de l'estacade sont en bois de greenheart ; les moises horizontales inférieures sont en fer galvanisé ; les autres moises et les ventrières supérieures sont en bois de chêne des Flandres ; le plancher est en pitchpine, et les lisses des garde-corps en bois de sapin rouge du Nord.

Les pieux comprennent deux pièces juxtaposées, réunies au moyen de manchons en fer galvanisé ; ces manchons, formés de deux parties fortement boulonnées ensemble, se trouvent au-dessus du niveau moyen des basses mers, ce qui permettra de les déboulonner et de renouveler au besoin la partie supérieure des pieux, sans déranger celle battue dans le sol.

Le bois de greenheart se rencontre à la Jamaïque et au Brésil, mais surtout à la Guyane anglaise. Le nom de greenheart (cœur vert) convient plutôt à la variété verte de ce bois, mais la variété jaune est la plus répandue dans le commerce.

Le greenheart employé aux travaux du port d'Ostende est de la variété jaune et a été importé directement de Demerara. C'est un bois de couleur jaune-brun foncé, à fibres droites et particulièrement dur. Des pièces en ont été soumises récemment à des essais au banc d'épreuve des ateliers des chemins de fer de l'Etat à Malines ; ces essais ont fait voir que le greenheart a un coefficient de résistance permanente beaucoup plus élevé que d'autres bois, le chêne, le sapin, etc., et que tout en étant plus raide que ces derniers, il offre aussi plus de résistance vive et supporte par conséquent mieux les chocs. ⁽¹⁾

On attribue généralement à ce bois la qualité d'être inattaquable par le taret, et l'usage qui en a été fait à certains ports, a prouvé tout au moins qu'il est sous ce rapport de beaucoup supérieur aux autres essences employées dans les constructions à la mer.

Le greenheart se trouve aisément en pièces de fortes dimensions, notamment en poutres ayant 15 à 20 mètres de longueur et 0^m,30/0^m,30 à 0^m,50/0^m,50 d'équarrissage et au delà, et convient très bien pour des ouvrages de grosse charpente. Il a été employé en Angleterre dans la construction de portes d'écluse, et on cite des exemples où depuis des années, il a résisté au taret. A Ostende cependant, les pieux ont été mailletés, pour toute sécurité, jusqu'à 0^m,25 au-dessus du niveau des basses mers. Le prix du mètre cube, mis en œuvre, n'y a pas dépassé 180 fr. ; mais les pièces équarries à vives arêtes, surtout quand elles ont de fortes dimensions, comme celles des portes d'écluse, coûtent beaucoup plus cher.

⁽¹⁾ E. HAERENS. *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*, tome XVI.

Le caractère principal des jetées à claire-voie, c'est qu'elles laissent subsister partiellement les courants de marée à travers le chenal, de sorte que le régime de la mer change moins brusquement à l'entrée du port; de plus, les vagues, en rencontrant ces ouvrages, se propagent dans une certaine mesure suivant leur marche normale, sans donner lieu, en cas de tempête, à ces lames de réflexion et à ces ressacs violents, inévitables avec des môles pleins et qui occasionnent de grosses difficultés aux navires; car dans une eau tumultueuse, ceux-ci n'écoutent plus le gouvernail et sont exposés aux plus grands dangers, ayant alors besoin de beaucoup de vitesse pour assurer leur course, surtout quand il existe devant le port des courants de marée dirigés transversalement par rapport à l'axe de la passe d'entrée.

Au point de vue technique, ces jetées, en maintenant à l'intérieur du chenal une agitation relativement prononcée, et aussi un certain entraînement des eaux par les courants de marée, atténuent beaucoup le dépôt des matières en suspension; c'est un sérieux avantage quand on se trouve en présence d'atterrages à régime essentiellement vaseux, ainsi que nous aurons l'occasion de le faire ressortir plus loin.

Dans quelques cas, lorsque le port est fort exposé aux lames et que l'on veut diminuer l'effet des paquets de mer qui peuvent passer au-dessus des digues basses, on coffre les deux jetées ou l'une d'elles à moitié ou au tiers de leur hauteur, ou on adopte une digue pleine pour la partie supérieure du chenal, suivant les nécessités locales. (Pl. XVIII. fig. 1.)

Les jetées à claire-voie sont généralement en bois, et sont par la même d'un entretien facile; de plus, lorsque les navires, par suite de fausses manœuvres ou de toute autre circonstance, viennent les heurter, ils sont moins exposés à se faire des avaries qu'avec des jetées construites en matériaux durs.

Récemment cependant, on a établi à Dieppe une partie de jetée métallique en prolongement d'une des jetées du chenal (Pl. XVIII, fig. 4), mais elle a déjà subi de fortes avaries; il est difficile de donner aux pièces constitutives de pareils ouvrages, ainsi qu'à leurs assemblages, les formes voulues pour les faire résister aux chocs et aux efforts si variables qu'elles ont à supporter. Aussi, nous croyons que les constructions en fer ne sont pas à conseiller à l'entrée d'un port.

A Bayonne, à l'embouchure de l'Adour, il existe des tronçons de jetées à claire-voie métalliques d'un système particulier, comprenant des colonnes creuses en fonte surmontées d'une passerelle en fer (Pl. XIX, fig. 1). Les colonnes creuses ont 2 mètres de diamètre et sont espacées de 5 mètres d'axe en axe;

elles ont été enfoncées dans le sol à 7^m,30 en contre-bas de la plus basse mer, au moyen de l'air comprimé, et remplies ensuite de béton; à l'extrémité de la jetée, on leur a donné une fiche plus grande en vue des affouillements. Le pied des tubes est entouré d'enrochements, dont le plan supérieur est réglé suivant une pente, vers le large, de 1 centimètre par mètre, de manière qu'à la dernière colonne, le niveau en soit descendu à 3^m,00 en contre-bas de celui des plus basses mers. D'un tube à l'autre règnent, à des hauteurs différentes, deux cours de moises longitudinales en fer, destinées à recevoir des vannes en bois, armées de fer. Ces vannes offrent entre elles des vides de 18 centimètres et laissent, entre leur bord inférieur et le plan d'enrochement, une ouverture qu'il est possible de diminuer à volonté; on peut en outre enlever une ou deux des trois vannes qui remplissent l'intervalle entre deux tubes, de sorte qu'on est libre de régler, suivant les circonstances, la proportion entre les pleins et les vides de la jetée.

Avant la construction des jetées existant à l'embouchure de l'Adour et dont les premiers tronçons, du côté de la rive, sont en partie pleins et en partie en charpente à claire-voie, avec enrochements, la passe d'entrée de la rivière subissait des déplacements continuels; ceux-ci restent actuellement compris entre ces ouvrages, dont l'espacement est de 170 mètres. Mais sous l'action des vagues du N. O., les sables mis en mouvement le long de la plage, s'accumulent près de la jetée nord pour former de ce côté un haut-fond dans le chenal, et quand il survient alors une série de coups de vent du S. O., ce qui est quelquefois le cas en hiver, les atterrissements se produisent à la jetée opposée et menacent de barrer la passe, si les courants du fleuve n'ont pas entretemps fait suffisamment disparaître le banc nord; c'est pour pouvoir, au besoin, activer cet effet des courants, qu'on s'est réservé le moyen de fermer momentanément les intervalles de la jetée nord et d'empêcher que les eaux ne s'échappent à travers ces ouvertures, au lieu d'attaquer et d'entraîner au large le haut-fond qui s'avance dans le chenal. (')

On a construit, dans certains cas, des jetées à claire-voie en maçonnerie; ce sont des massifs évidés au moyen d'une série de pertuis recouverts par des arceaux, et dont le nombre et l'ouverture dépendent du plus ou moins de calme que l'on veut obtenir.

La jetée de l'anse du Portel, près de Boulogne, en offre un exemple; elle se compose d'une fondation de 0^m,80 d'épaisseur moyenne, établie dans une marne

(') STORCKLIN. *Notice sur les jetées à claire-voie de l'embouchure de l'Adour.*

noire compacte, d'un soubassement de 0^m,50 d'épaisseur moyenne et de deux étages de blocs en maçonnerie de 3^m,00 de hauteur chacun. Le couronnement est arasé au niveau des hautes mers de vive eau ordinaires. Dans l'étage inférieur des blocs, on a laissé des ouvertures de 1^m,00 de largeur sur 3 mètres de hauteur, espacées de 4 mètres d'axe en axe.

Citons encore la nouvelle jetée est, en construction au port de Dunkerque. Elle aura 800 mètres de longueur et comprendra trois tronçons, établis tous trois sur un massif en maçonnerie, fondé au moyen de caissons à l'air comprimé. La face inférieure de ce massif est descendue à 5^m,00 sous le niveau des plus basses mers, sauf pour la partie extrême, de 100 mètres de longueur, à l'emplacement de laquelle on a trouvé du terrain vaseux et où la fondation atteint la cote — 8^m,00.

Au tronçon aval et sur une longueur de 350 mètres à partir du musoir, le massif est arasé à 2^m,00 au-dessus du repère et surmonté d'une charpente à claire-voie en bois; le massif du tronçon qui suit est plus élevé de 3 mètres, de façon à former avec la charpente à laquelle il donne appui, une jetée mi-pleine; le dernier tronçon enfin est entièrement en maçonnerie et se termine par un brise-lames. (Pl. XVIII, fig. 2.)

Le mode de construction de la jetée est du port de Dunkerque, avec fondations établies à l'air comprimé, a été adopté pour permettre aux dragues à aspiration de fonctionner à une faible distance de l'ouvrage, sans danger pour celui-ci, et aux navires d'y accoster au besoin. D'autre part, il existait à l'emplacement de la nouvelle jetée, enfouis dans le sable, de nombreux vestiges de navires échoués, et il aurait été fort difficile, à cause de cette circonstance, de fonder la jetée d'après d'autres méthodes en usage. (1)

Voyons maintenant quelles dispositions il convient de donner aux chenaux d'accès des ports.

L'orientation des jetées, quoique de moindre importance depuis le développement de la navigation à vapeur et l'organisation des services de remorquage, mérite néanmoins un examen attentif. Il importe évidemment de la fixer de telle sorte que l'entrée et la sortie des navires soient rendues aussi faciles que possible, mais c'est de l'entrée qu'il faut se préoccuper le plus, car celle-ci doit pouvoir se faire au besoin par des bâtiments fuyant devant la tempête, tandis que les navires qui se trouvent dans le port peuvent, en pareil cas, attendre un moment plus favorable pour reprendre le large. Ce sont d'ailleurs

(1) M. JOLY, *L'extension du port de Dunkerque. Rapport présenté au congrès international des travaux maritimes tenu à Londres en 1893.*

les vents violents du large que les navires ont le plus à redouter, les voiliers surtout, dont les manœuvres sont plus difficiles à assurer que celles des bâtiments à vapeur.

Lorsque le chenal est droit et qu'il reçoit directement les vents dominants, les navires à voiles y entrent plus facilement par les gros temps ; mais ils y sont animés alors d'une très grande vitesse, principalement quand l'atterrage où le port est situé, est peu ou pas abrité, ce qui les expose à des difficultés et même à des dangers avant d'arriver aux écluses d'entrée des bassins. Cet inconvénient disparaît ou est beaucoup atténué, lorsque le chenal communique avec un avant-port convenablement disposé, ayant une longueur et une superficie suffisantes pour permettre aux navires d'y amortir leur aïre.

Mais il en existe un autre ; les lames du large qui sont poussées dans le chenal par des vents violents, causent à l'intérieur de ce dernier une grande agitation, et quand elles se propagent jusque dans l'avant-port sans perdre suffisamment de leur amplitude, elles y donnent lieu à de sérieux embarras pour les navires. Dans ce cas on a souvent recours aux *brise-lames* ou *criques d'épanouissement*.

Ce sont des enceintes établies de part et d'autre du chenal et communiquant avec celui-ci au moyen d'ouvertures pratiquées dans les jetées ; les lames vont déferler sur les plans inclinés qui forment le fond de ces enceintes et y perdent en grande partie leur intensité. La continuité du chemin est obtenue au moyen d'une passerelle à claire-voie, reposant sur le seuil des ouvertures (Pl. XVIII et XIX, fig. 5).

L'efficacité des brise-lames a été parfaitement établie, non seulement par des considérations théoriques, mais aussi par les résultats obtenus dans différents ports. Récemment M. Alexandre, Ingénieur en chef à Dieppe, a fait à ce sujet des expériences fort intéressantes au moyen de modèles construits à petite échelle. Le chenal était représenté par un canal en maçonnerie de 17^m,50 de longueur et 0^m,80 de largeur, terminé à l'une extrémité par un élargissement de 5^m,00 de longueur sur 3^m,20 de largeur, formant l'avant-port ; la profondeur d'eau était de 0^m,50 ; à l'autre extrémité, il y avait un second élargissement de 1^m,50 de longueur sur 1^m,60 de largeur, dans lequel on produisait les lames au moyen d'un petit plateau en bois, qu'on pouvait immerger et relever alternativement à la main, par l'intermédiaire d'un balancier. Le canal en maçonnerie était bordé de quatre brise-lames, placés deux à deux de chaque côté et munis de vannes mobiles ; ces vannes, dont le seuil se trouvait à 0^m,30 au-dessus du fond, étaient formées de deux parties et permettaient de fermer complètement ou à moitié les ouvertures des brise-lames.

Les expériences de M. Alexandre ont montré tout d'abord que l'adjonction de pareils ouvrages diminue la hauteur des lames dans de fortes proportions; ainsi, des lames qui mesuraient 150 millimètres de hauteur à l'entrée du canal, n'avaient plus dans l'avant-port que 90 mm., 71 mm., 58 mm., 34 mm., et 23 mm., suivant que les quatre brise-lames étaient fermés ou qu'on les ouvrait successivement.

M. Alexandre a constaté ensuite qu'il ne convient pas de donner aux brise-lames trop d'ouverture; au delà d'une certaine limite, l'effet utile n'est plus en rapport avec la dépense. Des observations faites au port de Dieppe ont conduit à la même conclusion, et semblent indiquer qu'une ouverture égale à la largeur du chenal est suffisante.⁽¹⁾

Quant aux chambres d'épanouissement de ces ouvrages, il faut que le seuil en soit placé le plus bas possible par rapport au niveau des basses mers, qu'elles soient disposées suivant un plan faiblement incliné et que le mur d'enceinte lui-même soit établi de manière que les lames ne viennent le heurter; dans ces conditions, les vagues déferlent librement sur le fond des chambres et l'agitation tumultueuse reste comprise à l'intérieur de celles-ci.

L'emplacement à donner aux brise-lames dépend souvent des circonstances locales; en règle générale, on choisit autant que possible le côté du chenal vers lequel se dirigent les vagues de gros temps correspondant aux vents dominants, et on les construit immédiatement en amont de l'endroit du port à partir duquel on veut diminuer l'intensité de la houle.

Sous le rapport de la propagation des lames, un chenal courbe est préférable à un chenal rectiligne, tout au moins quand il est bordé de jetées à claire-voie; mais on remarque cependant que la houle, en pénétrant dans pareil chenal, ne perd pas beaucoup de son intensité par l'influence du tracé curviligne qu'elle a suivi, ce tracé devant nécessairement être composé de courbes d'assez grand rayon.

En revanche, dans un chenal courbe, à moins qu'il n'ait beaucoup de largeur, les grands navires sont plus disposés à être contrariés dans leurs manœuvres, à cause des changements de direction qu'ils doivent prendre en pénétrant dans le port, et lorsque, à un moment donné, ils ont le vent un peu de l'avant et de travers, ils subissent de la dérive et sont exposés à être drossés contre l'une ou l'autre des jetées.

On ne peut d'ailleurs songer à disposer les jetées de façon à couvrir le

(1) M. ALEXANDRE. *Notice sur la propagation de la houle à l'intérieur des ports à marée.*

port contre les vents dominants, car il faut que l'entrée soit bien visible du large afin d'éviter toute surprise, et que par ces vents, les navires ne soient pas sujets à subir dans leur course, près des musoirs, une déviation dont les conséquences, en temps de houle, seraient fatales.

Si les jetées étaient orientées de telle façon que la direction de l'axe du chenal fasse un angle obtus avec celle des vents dominants, les navires à voiles, chassés par le vent, seraient exposés, dans certains cas, à manquer la passe d'entrée et à être entraînés à la côte, au delà du musoir sous le vent.

MM. de Cessart et Lamblardie ont proposé de conduire le chenal vers le large sous une direction perpendiculaire à celle des vents régnants, laquelle permet aux navires d'entrer et de sortir avec vent large et de perdre plus facilement leur aire dans le port. Mais si les courants côtiers ont une grande intensité et se propagent dans la même direction que le vent, les navires courent encore risque d'être entraînés et de manquer la passe d'entrée, ayant en arrivant moins de vitesse et aussi moins de puissance pour gouverner.

Quelques auteurs ont recommandé la direction qui fait un angle de 67° environ avec celle des vents dominants; c'est l'obliquité minimum avec laquelle un navire peut avancer contre le vent; quand elle atteint cette limite, on dit que le navire marche au plus près⁽¹⁾. D'autres enfin ont conseillé un angle de 10 à 15° , comme le plus avantageux, entre la direction des jetées et celle du vent dans les gros temps.

Le long de la côte des Flandres, les vents du large les plus fréquents soufflent de l'O, au N.N.O.; ces vents, ceux du N.O. surtout, y acquièrent aussi le plus d'intensité, et la direction qu'il convient d'y donner au chenal d'entrée des ports, en tenant compte du régime des courants côtiers, doit se rapprocher du N.O.; c'est celle que l'on a adoptée pour les ports de Calais, de Gravelines et de Dunkerque, comme pour ceux de Nieuport et d'Ostende.

Elle permet aux navires, qui arrivent par les gros temps de l'O.N.O. au N.O., d'entrer dans le port, vent arrière ou vent large, en coupant obliquement le courant de flot, soit dans les conditions les plus favorables à leur marche. Lorsque le vent souffle d'une région du large comprise entre le N.O. et l'E., les voiliers se dirigent également vers le port vent arrière ou vent large, et au moment d'attaquer le chenal, ils modifient leur route de façon à se mettre peu à peu dans l'axe de celui-ci; par ces vents, bien moins intenses d'ordinaire que ceux de l'O. au N.O., il n'y a en outre que peu de flot sur le chenal, et les manœuvres à l'entrée n'offrent alors guère de difficulté.

(¹) Voir Pl. XIX. fig. 6.

Par vents contraires ou en absence de vent, les voiliers ont généralement recours aux remorqueurs. La mer est alors peu ou point agitée.

La direction d'un chenal étant fixée, il s'agit d'examiner s'il est préférable de donner aux jetées la même longueur en mer, ou bien une longueur différente, et ensuite, s'il faut adopter pour ces ouvrages une direction parallèle, divergente ou convergente.

La première question dépend surtout des circonstances locales. Devant la côte des Flandres, les courants de marée acquièrent leur plus grande vitesse aux environs de la haute mer, et si la profondeur restreinte existant à l'entrée du port oblige les grands navires à l'attaquer vers l'heure du plein, alors que les courants agissent dans le même sens que les vents régnants de l'ouest, ils sont exposés, en pénétrant dans le chenal, à être jetés en travers de celui-ci ; car à ce moment, l'avant est déjà engagé entre les jetées pendant que l'arrière subit encore toute la force du courant et du vent. Pour ce motif, il est à conseiller de donner un excès de longueur à la jetée au vent ; cette disposition facilite la manœuvre à l'entrée, et à la sortie, les navires qui, par des vents contraires, se sont déhalés jusqu'au musoir de la jetée au vent, ne sont plus gênés par l'autre jetée pour appareiller et prendre la bordée du large.

Mais la différence de longueur des jetées augmente quelque peu le danger d'ensablement entre les musoirs, à cause du remou qu'elle provoque ; elle est du reste moins utile lorsque le chenal offre assez de profondeur pour que les grands bâtiments ne soient pas forcés d'y arriver à marée haute.

En ce qui concerne la seconde question, remarquons d'abord qu'avec des jetées divergentes, l'accès du chenal paraît devoir être plus facile, d'autant plus que les brisants qui se produisent près des musoirs pendant les gros temps, occasionnent alors moins d'embarras vers le milieu de la passe d'entrée ; mais en revanche, les lames du large pénètrent plus facilement vers l'intérieur.

Les jetées convergentes n'offrent pas d'avantage apparent ; la difficulté pour les navires consiste en effet à attaquer l'entrée du port par de fortes brises, tandis qu'ils parcourent ensuite en sécurité le chenal, sans qu'on ait besoin de lui donner un excès de largeur.

C'est le système des jetées parallèles qui paraît, en définitive, le mieux convenir pour les ports comprenant un chenal ordinaire, et c'est aussi celui qui se prête bien à l'installation de chasses artificielles ou naturelles, destinées à l'entretien des profondeurs.

La largeur à donner au chenal, entre les jetées, dépend évidemment des dimensions des navires à admettre dans le port et de leur affluence à certaines

époques de l'année; pour les ports de beaucoup d'importance, on a besoin d'au moins 100 mètres de largeur, et il serait même désirable, au point de vue de la fréquentation des grands steamers transatlantiques, de disposer de 150 à 180 mètres. Avec pareille largeur, les voiliers, quand ils ont le vent de travers, peuvent sans inconvénient subir une certaine dérive, et les steamers de grande longueur, supporter quelques embardées, tout en se maintenant en direction. Mais en revanche, plus le chenal est large, plus les lames y occasionnent de houle et plus il est difficile en outre d'y combattre les atterrissements. On doit donc, quand il s'agit de ports de premier ordre, adopter pour le chenal une largeur se rapprochant le plus possible de ces dernières dimensions, mais sans dépasser une certaine limite, au delà de laquelle il deviendrait difficile, par l'adjonction de brise-lames ou d'autres dispositifs, de réduire suffisamment l'agitation dans l'avant port, et aussi de maintenir la profondeur voulue dans la passe d'entrée, eu égard au régime de la côte et aux moyens que l'on peut, pratiquement, mettre en usage à cet effet.

Quant à la profondeur à créer dans le chenal, elle varie avec l'importance du port, et suivant que celui-ci est destiné à recevoir à toute heure les grands navires de commerce en général, ou seulement des steamers d'un tirant d'eau limité appartenant à des lignes régulières ou postales, ou à n'admettre les bâtiments de fortes dimensions que vers le moment du plein; dans ce dernier cas, elle dépend naturellement de l'amplitude de la marée.

On voit déjà, par ce qui précède, combien le projet d'établissement d'un chenal, à travers des plages basses et sablonneuses, présente de difficultés; précisément parce qu'il faut tenir compte, d'une part des exigences du marin, pour qui l'approche d'un port et l'entrée dans un goulet étroit, situé tout près de la côte, présente en bien des circonstances de sérieux dangers, et d'autre part, des considérations de l'ingénieur, qui doit se préoccuper surtout de la possibilité de préserver, dans des conditions satisfaisantes et pratiques, les diverses parties du port de l'envahissement des alluvions.

II. — DES MOYENS EN USAGE POUR L'ENTRETIEN DES PROFONDEURS DANS LES PORTS A MARÉE.

Le maintien de la profondeur à l'entrée et à l'intérieur des ports à marée, établis sur des côtes alluvionnaires, a été de tout temps une grave question; elle se présente d'une manière assez différente suivant la nature des plages et la configuration des atterrages que l'on considère.

Nous ne parlerons pas ici des ports soumis au régime du galet et qui n'ont qu'un rapport indirect avec ceux établis sur des côtes de sable : les principaux caractères du mouvement du galet ont d'ailleurs été mentionnés précédemment, et nous en dirons quelques mots encore au chapitre IX, en parlant de la rade de Douvres.

Quelle que soit la disposition d'un port creusé en plage de sable, il comprend nécessairement des ouvrages en saillie sur le rivage et qui interceptent la continuité de l'estran. Ce manque de continuité est moins absolu pour les ports communiquant avec la mer au moyen d'un chenal compris entre des jetées à claire-voie, que pour ceux construits au moyen de môles pleins. Mais les jetées à claire-voie comprennent des digues basses, dont la crête est établie à une faible hauteur au-dessus de la plage et qui ont précisément pour but de protéger le chenal contre l'envahissement des sables.

L'atterrissement qui se forme devant la tête des jetées, et que l'on désigne sous le nom de *barre*, est l'un des obstacles les plus sérieux qu'on ait à vaincre pour assurer l'accès facile des navires.

Les causes qui interviennent dans la formation de la barre, sont intimement liées à celles qui déterminent la marche des alluvions le long des plages; elles résident, avons-nous vu, dans l'action des courants de marée, combinée avec l'effet des vagues, et dans l'action directe des vents.

Les courants de marée n'exercent sous ce rapport qu'une influence secondaire; sur nos plages, où ils se propagent alternativement, au moment de leur plus grande vitesse, en un sens et en sens opposé, suivant une direction sensiblement parallèle à la côte, dès qu'ils sont interrompus dans leur trajet par les jetées d'un port, ils tendent à accumuler le sable dans les angles formés par ces ouvrages avec la dune, surtout du côté exposé directement au courant de flot, qui est prédominant.

Mais l'effet le plus sensible auquel les courants de marée donnent lieu, résulte de la déviation qu'ils subissent le long de chaque jetée et qui provoque des mouvements tourbillonnaires, facilitant le transport du sable soulevé; en quittant les musoirs, ils rencontrent les courants côtiers qui circulent devant le port et provoquent des remous favorisant le dépôt des sables devant l'entrée.

L'action des vagues intervient plus énergiquement dans la formation de la barre.

Nous savons qu'en temps calme ou par de légères brises, lorsque les vagues de la mer se rapprochent du rivage en parcourant des profondeurs de plus en plus faibles, elles entraînent le sable vers les régions supérieures de la plage. (1)

(1) Voir chapitre II, § IV page 92.

L'importance de ces transports de sable est d'autant plus grande que l'estran sous-marin qui précède la côte est moins incliné et que la plage elle-même, par son étendue et sa configuration, favorise l'épanouissement des vagues ; il va de soi que les dépôts auxquels ils donnent lieu dans les angles extérieurs formés par les jetées d'un port, doivent être le plus prononcés du côté des vents régnants.

L'action directe des vents, chassant devant eux le sable de la partie de l'estran qui émerge à marée baissante, ainsi que celui de la dune, intervient plus activement encore pour accroître ces dépôts ; sur des plages offrant beaucoup de développement, on en constate les effets d'une manière frappante lorsque, par un temps sec, le vent a soufflé pendant quelques jours de la même région.

L'accumulation du sable dans les angles extérieurs des jetées provoque naturellement dans le voisinage de ces ouvrages un relèvement de l'estran ; la laisse des basses mers s'y déplace vers le large et prend l'allure d'une courbe dont la concavité est tournée vers la mer. L'extension de la plage, très rapide au début, diminue progressivement à mesure que la laisse des basses mers, près des jetées, se rapproche des grands fonds ; car les lames charrient d'autant moins de sable de l'estran sous-marin, que celui-ci est plus profond, et après chaque déplacement nouveau de la laisse des basses mers, il y a aussi plus de profondeur à remplir et plus d'étendue de côte à couvrir par la surface triangulaire suivant laquelle se forment les dépôts de sables contre les jetées.

Mais en gros temps et plus encore par des tempêtes coïncidant avec de fortes marées, les eaux s'accumulent sur le rivage, et il s'y produit, à marée baissante, de puissants courants de descente, dont les effets se combinent avec ceux des lames en retour, pour entraîner une quantité plus ou moins considérable des sables accumulés à la partie supérieure des plages, vers l'estran sous-marin et devant la tête des jetées.

Sous l'action de ces transports continuels de sable, dont les uns, ceux qui se produisent en temps calme, nourrissent l'estran, tandis que les autres l'amaigrissent, les plages existant de chaque côté des jetées d'un port, tendent au bout de quelque temps à prendre une situation d'équilibre relatif, d'où dépend l'importance des atterrissements à combattre à l'entrée, et qui est en rapport avec le régime hydrographique de l'atterrage où ces ouvrages sont établis, et spécialement avec le régime des plages voisines. Ce dernier est déterminé lui-même par les effets séculaires que la marche des alluvions a produits sur la situation primitive du rivage, et qui peuvent, selon les circonstances, avoir amené la côte à un certain état de stabilité ou lui faire subir encore des modifications lentes et continues. Or, toutes ces conditions ne

diffèrent pas seulement pour des atterrages situés sur des côtes distinctes, mais il en est encore ainsi, le plus souvent, pour des atterrages qui se suivent sur une même côte.

Avant d'examiner les divers procédés en usage, ou qui ont été proposés pour combattre l'ensablement des ports à marée, on peut se demander s'il ne serait pas possible de transformer ceux-ci entièrement, soit en leur donnant une étendue assez considérable, pour que la passe d'entrée se trouve reportée en dehors de la zone littorale où l'action de la lame se fait plus particulièrement sentir, et à une distance telle qu'il n'y ait plus lieu de se préoccuper de l'avancement de la plage dans les angles extérieurs formés par les jetées avec la dune; soit en créant, à une certaine distance du rivage, une enceinte abritée au moyen de môles convenablement disposés ou de toute autre manière.

Ce serait là sans doute une solution du problème, s'il n'existait à côté de l'ensablement un autre phénomène non moins redoutable : celui de *l'envasement intérieur*. Sur une côte essentiellement alluvionnaire comme celle des Flandres, où les eaux de la mer tiennent constamment de fortes quantités de matières en suspension, l'envasement intérieur des ports, dans les parties soumises à la marée, acquiert des proportions considérables. Pour ceux qui débouchent à la mer par un chenal ordinaire, les vases sont assez facilement refoulées par les chasses et les évacuations d'eau; elles y causent surtout des embarras dans les bassins d'échouage et dans les parties des avant-ports ne possédant aucun mode de curage de ce genre, soit naturel, soit artificiel. Mais il n'en serait plus du tout ainsi, si l'on se trouvait en présence d'une rade établie en pleine mer au moyen de môles, et reliée au rivage par des estacades en bois ou en fer, ou d'une vaste enceinte, comprise entre deux jetées s'avancant vers le large jusque dans les grands fonds; c'est ce que nous verrons au chapitre IX, où il est question de l'envasement des ports conçus d'après ce système.

Ajoutons que le long de la côte des Flandres, dont il s'agit spécialement dans cet écrit, il se présente une troisième difficulté qui s'oppose à l'exécution des projets que l'on pourrait concevoir pour construire des ports s'avancant jusque dans les grandes profondeurs. Elle résulte de la configuration même des fonds sous-marins et de l'influence exercée sur ces derniers par les courants de marée; car il est certain que la déviation qui serait imprimée à ces courants par des constructions établies normalement au rivage et à une forte distance de la dune, modifierait plus ou moins profondément leur mode de propagation et pourrait, par conséquent, compromettre la conservation des passes d'accès fréquentées par les navires, éventualité très grave, puisqu'elle serait, le plus souvent, irrémédiable.

Dans un ordre d'idées un peu différent, on pourrait vouloir poursuivre l'amélioration des rades de Nieuport et d'Ostende, en les abritant autant que possible contre les vents du large.

Pour ce qui est de la première de ces rades, l'endiguement du Smalbank, à l'aide d'un breakwater, établi depuis le méridien passant par l'entrée du canal de Zuydcote jusqu'à une certaine distance du canal du Nord, paraît de nature à atteindre ce but. Il compléterait la protection que procurent déjà le banc précité et ceux qui s'étendent dans le Nord-Ouest de son emplacement, de sorte que par les mauvais vents de cette région, les navires pourraient stationner en sécurité à l'abri de ce môle, ce qui constituerait sans doute un avantage précieux ; nous sommes d'ailleurs portés à croire, en voyant le gisement de la rade, que l'endiguement partiel du Smalbank, convenablement disposé, n'influerait pas sur le régime des courants au point de produire des effets nuisibles pour la situation des fonds avoisinants. Mais sans approfondir cette question, nous devons faire remarquer que le breakwater à construire exigerait une dépense énorme, hors de proportion avec son utilité ; car la rade de Nieuport, située au milieu des bancs des Flandres, ne semble pas se prêter à devenir jamais une vraie rade de refuge, pareille rade ne pouvant exister qu'à la condition d'être d'un accès particulièrement sûr et facile pour les navires qui fuient devant les gros temps et viennent y chercher un abri. Et n'est-il pas préférable dès lors de concentrer les efforts en vue d'augmenter la profondeur du chenal et d'améliorer au besoin les passes d'accès de l'atterrage, de façon à se rapprocher le plus possible des conditions de navigabilité, permettant aux grands bâtiments de commerce d'entrer au port à toute heure de la marée et par tous les temps.

Devant Ostende, la situation hydrographique des fonds sous-marins est bien moins favorable encore pour l'exécution de semblables travaux, à cause du régime du Stroombank. M. Helin, lieutenant de vaisseau de première classe, a cependant proposé, dans une de ses brochures⁽¹⁾, d'endiguer ce banc pour améliorer la petite rade d'Ostende. Nous parlerons de ce projet et des breakwaters en général dans un des chapitres suivants.

Revenons à la question de l'ensablement des ports et aux moyens en usage pour le combattre.

Quelques ingénieurs ont cherché à disposer les jetées de manière à préserver l'entrée du port de l'action directe des lames et des courants. Citons, comme exemple, le projet présenté en 1859 par M. A. Caland, Ingénieur en chef du

(1) HELIN. *Les ports du littoral de la Belgique.*

Waterstaat, pour la construction d'un port à Scheveningue⁽¹⁾, à l'aide de deux grandes jetées à claire-voie avec coffrage. La jetée ouest est recourbée à son extrémité (Pl. XIX, fig. 2); elle couvre l'entrée contre les vents du large, depuis l'ouest jusqu'au nord, et la soustrait en même temps à l'envahissement direct des courants de flot, qui, sur la côte néerlandaise, sont notablement plus intenses que les courants de jusant. Dans ce projet, qui n'a pas reçu d'exécution, les dispositions proposées ne semblent pas bonnes au point de vue nautique, et elles ne seraient dans tous les cas pas à conseiller sur la côte de Belgique. Les vitesses respectives des courants de flot et de jusant y diffèrent en effet assez peu l'une de l'autre, de sorte que, sous le rapport des atterrissements à provenir de l'action des courants, il n'y aurait pas d'avantage à abriter les ports contre l'entrée directe du flot plutôt que contre celle du jusant. Puis, nous ne croyons pas qu'une orientation particulière donnée à la partie extrême des jetées, puisse préserver l'entrée du chenal des atterrissements; car, si l'on se trouve sur une côte où les transports de sable sont abondants, ceux-ci n'en provoqueraient pas moins, au bout d'un certain temps, un relèvement de la plage dans les angles extérieurs formés par les jetées avec la dune; et ces sables, de même que ceux de l'estran attenant, seraient entraînés par les courants et par les vagues de gros temps jusqu'à la partie inférieure des jetées, dont ils contourneraient aussi le tronçon recourbé.

Pour empêcher que les lames, par leur action sur les fonds situés devant le port, n'amènent les sables vers la partie supérieure des plages et ne viennent encombrer l'embouchure des ports et des rivières, M. Knapp, ingénieur civil à New-York, a proposé de les arrêter au large au moyen d'une digue sous-marine, placée dans les profondeurs de 15 à 18 mètres et en saillie de 6 à 9 mètres sur le sol naturel, de manière à conserver sur la crête une nappe d'eau en rapport avec le tirant des navires que l'on veut admettre dans le port.

On remarquera qu'un barrage de ce genre serait impraticable dans bien des cas, et notamment sur les atterrages où les fonds de 15 à 18 mètres se trouvent à une grande distance du rivage et sont séparés de ce dernier par des bancs et des passes de profondeur fort inégale. A part cette circonstance, il est à noter que l'endiguement devrait avoir une longueur considérable pour couvrir suffisamment le chenal d'un port, établi sur une côte ouverte à tous les vents du large, et que l'entrée resterait toujours exposée à l'action des courants, ainsi qu'à l'agitation qui se propagerait latéralement et des deux côtés, entre les

(1) A. CALAND. *Ontwerp voor eene zeehaven te Scheveningen.*

extrémités du barrage et la côte; or, les sables de l'estran donnent lieu à des transports beaucoup plus importants que ceux provenant directement des fonds du large.

M. A. Cialdi, officier de la Marine italienne, a recommandé pour le port-chenal de Pesaro, sur la mer Adriatique, et pour celui de Port-Saïd, un dispositif particulier de môles, ayant pour but de produire un effet de curage à l'entrée, en utilisant la puissance de transport que les vagues possèdent lorsqu'elles approchent du rivage et qu'elles viennent heurter le fond. ⁽¹⁾

Cet officier admet que le mouvement de transport, produit par les vagues dans la zone attenante à la côte, se communique à toute la masse ondoiyante dès que le développement inférieur de l'onde rencontre quelque obstacle. Il désigne sous le nom de *flot-courant à terre*, ou *de la surface*, le mouvement de transport de la partie supérieure de l'onde, et sous le nom de *flot-courant du fond*, celui de la partie inférieure. Dans son opinion, ces deux mouvements peuvent avoir la même force là où la lame se brise à la surface, mais le second est ordinairement plus accentué, si ce n'est près du rivage, où le transport le plus actif a lieu à la partie supérieure.

M. Cialdi croit qu'il est possible de diriger les vagues devant les ports, de manière à ce que les flots-courants, au lieu d'y occasionner des ensablements nuisibles, y produisent au contraire des érosions.

Il propose à cet effet de disposer le chenal de telle sorte, qu'à l'entrée, son axe soit perpendiculaire à la bissectrice de l'angle que font entre elles la direction des vents les plus violents et celle des vents les plus fréquents; de construire, devant la tête des jetées, deux digues destinées à recueillir les vagues formées sous l'influence de ces vents et à les conduire transversalement devant le chenal, pour qu'elles y balayent constamment le fond à l'endroit où la barre menace de se former.

La fig. 3, pl. XIX, représente le projet préconisé par M. Cialdi, pour le chenal de Port-Saïd en 1866. La longueur de la jetée de l'ouest étant fixée à 2600 mètres et celle de l'est à 1900 mètres, une digue isolée aurait dû être construite en prolongement de la première de ces jetées et à une distance de 400 mètres de son extrémité; un second môle devait s'avancer transversalement à l'axe du chenal, soit à peu près parallèlement au gisement de la côte. C'est contre ce dernier môle que les lames soulevées par les vents du N.N.O. au nord, qui sont les plus nuisibles pour les atterrissements de la plage de

⁽¹⁾ A. CIALDI. *Les ports-chenaux et Port-Saïd*.

Pord-Saïd, seraient venues se réfléchir; les lames réfléchies, en se concentrant avec les lames directes dans l'espace compris entre ce môle et la digue isolée, auraient dû entraîner les dépôts qui tendent à se former devant l'entrée du chenal, pendant que le môle isolé devait empêcher les vagues de se propager vers la tête des jetées. La fig. 4 indique les mêmes dispositions, proposées pour Port-Saïd, dans la situation que les jetées présentaient en 1870.

Le système de M. Cialdi a rencontré certaines adhésions, mais il a soulevé aussi de nombreuses critiques, dont voici les principales : il est à craindre que les vagues, en s'épanouissant à la sortie de l'entonnoir formé par le môle transversal et la digue isolée, ne laissent déposer les matériaux les plus pesants qu'elles entraîneraient à l'entrée du chenal, à l'abri de la jetée au vent; et, si l'on admet que le flot-courant puisse avoir assez de force devant le port pour balayer les atterrissements, il créerait d'autre part un sérieux inconvénient pour la navigation; les bâtiments qui tenteraient l'entrée par les vents régnants, seraient exposés à la manquer, étant pris de flanc et portés sous le vent par les vagues, rendues plus puissantes par leur concentration.

Semblable disposition ne serait pas à essayer sur la côte de Belgique, à cause de la configuration de l'estran sous-marin d'abord, et ensuite parce que les vents y sont trop variables; de plus les courants de marée y ont beaucoup d'intensité, ce qui aggraverait encore les inconvénients du système au point de vue nautique.

En somme, les divers moyens qui ont été imaginés pour éviter la formation de la barre, soit en disposant l'entrée du port d'une manière particulière par rapport à la direction des vents régnants et des courants, soit en y construisant des môles destinés à la préserver des effets nuisibles des lames, sont restés à l'état de théorie et ils ne sauraient dans tous les cas convenir pour les ports dont nous avons à nous occuper.

Les procédés qui ont été mis en usage sur les côtes de la Manche et de la partie méridionale de la mer du Nord, en vue de combattre les atterrissements de la barre, consistent : 1° dans le prolongement des jetées; 2° dans l'emploi de chasses, et 3° dans le dragage.

Le prolongement des jetées vers les parties profondes de l'estran sous-marin est d'ordinaire efficace quand il s'agit de préserver l'entrée des ports du galet, à cause du mode de transport propre à cette alluvion; mais il peut aussi conduire à de bons résultats lorsqu'on se trouve en présence d'une plage sablonneuse où, par suite du régime de la côte, les mouvements de sables ne sont pas abondants. Cette condition est indispensable; sans cela, le sable s'accumulerait

rapidement contre les jetées, et la laisse des basses mers avancerait vers le large en suivant plus ou moins le prolongement de ces ouvrages; il est à remarquer d'autre part, que les jeteés ne peuvent être prolongées au delà de certaines limites, puisqu'un chenal relativement étroit et qui aurait trop de longueur, ne répondrait plus aux exigences de la navigation. C'est une question à examiner dans chaque cas avec attention, et sur laquelle nous aurons à revenir.

L'emploi de chasses date de loin.

A l'origine, beaucoup de ports tels que Calais, Dunkerque, Nieuport, Ostende, etc., étaient placés à l'embouchure d'anciennes criques, où venaient se déverser les eaux douces des contrées avoisinantes. Le chenal était soumis à l'action des courants résultant à chaque marée du remplissage et de la vidange de ces criques, ainsi que des lagunes et des bas-fonds, dont elles étaient bordées en amont, et qui constituaient, à vrai dire, des réservoirs de chasse naturels puissants.

Tandis que le flux entraînait vers l'intérieur les matières en suspension dans les eaux, le reflux les refoulait, en même temps que les apports vaseux de l'amont, et il s'établissait ainsi dans le chenal du port, sous l'action de ces chasses de marée, un état d'équilibre qui empêchait l'accumulation des alluvions, aussi longtemps qu'aucune cause de perturbation ne venait modifier les conditions existantes (¹)

Aussi, les profondeurs se maintenaient généralement d'une manière très satisfaisante dans la partie intérieure du chenal, surtout lorsque les ramifications des criques avec lesquelles il communiquait, avaient beaucoup d'étendue, et que le débit des eaux douces offrait en outre une certaine importance. C'étaient en effet les eaux du reflux, correspondant à la fin de la marée baissante, qui opéraient le curage le plus énergique dans le goulet par lequel elles se déver-

(¹) Le port de Venise offre encore aujourd'hui un exemple curieux de port de lagune à marée. Il communique avec l'Adriatique par trois chenaux : celui du nord dit de Lido, celui du sud ou de Chioggia et la bouche intermédiaire ou de Malamocco (Pl. XIX, fig. 7); les profondeurs y sont entretenues par les eaux des vastes lagunes existant autour de Venise; l'amplitude de la marée, cependant, n'y est en moyenne que de 0^m,60. La bouche de Malamocco est protégée des sables de la plage à l'aide de deux jetées pleines, et elle offre régulièrement des profondeurs de 9 mètres. Mais le chenal qui conduit à travers les lagunes au port de Venise, n'a pas moins de 16 kilomètres de longueur, et comme il est fort sinueux et parcouru par des courants intenses, il est d'une navigation difficile; la profondeur y est en outre insuffisante en divers endroits, ce qui nécessite des dragages fréquents pour permettre le passage des grands navires.

En vue de remédier à ces inconvénients, on a entrepris en 1882, l'amélioration de la bouche du Lido qui donne un accès plus direct à Venise. Les travaux exécutés à cette fin sont semblables à ceux faits à Malamocco et consistent dans la construction de deux grandes jetées, prolongées parallèlement l'une à l'autre, jusqu'aux fonds de 8 mètres sous marée basse; elles laissent un chenal de 900 mètres de largeur, dirigé au S.E. et ouvert par conséquent aux vents dominants. Ces travaux sont déjà fort avancés et les résultats obtenus permettent d'espérer qu'après leur achèvement, la profondeur du Lido ne sera pas inférieure à 8 mètres. (CÉSARE SPADON. — Notice adressée au congrès international des travaux maritimes tenu à Londres en 1893.)

saient à la mer, c'est à dire celles qui, parties de l'amont, n'arrivaient dans ce goulet que lorsque la profondeur d'eau moyenne y était déjà faible ; d'un autre côté, le débit d'amont assurait la prépondérance au reflux, tout au moins pendant les saisons pluvieuses et en ce qui concerne l'entraînement des matières vaseuses et ténues en suspension dans la masse liquide en mouvement.

Mais l'action des courants était loin d'être aussi efficace dans la partie du chenal ouverte à travers les sables de l'estran, suivant un tracé généralement sinueux et variant plus ou moins avec la direction et l'intensité des vents et avec la situation des eaux d'amont. C'est que les sables, pour être charriés sur le fond, exigent des courants assez intenses, et qu'à la mer, ils obéissent plus particulièrement à l'influence des lames, laquelle tend partout, l'effet de la marée aidant, à former une plage régulière et continue.

En hiver, les apports brusques occasionnés par les vagues de tempête devant le port disparaissaient plus ou moins vite à la suite des fortes crues ; mais en été, la situation était généralement défavorable ; les sables s'accumulaient graduellement à l'entrée et y formaient un banc qui gênait la navigation, jusqu'au moment où les écoulements d'eau, dus à des pluies abondantes, rétablissaient les profondeurs.

Pour remédier à ces inconvénients, on a construit sur la plage des jetées basses destinées à arrêter les sables et à resserrer les courants du chenal.

Entretemps, les lagunes et les criques ont été endiguées peu à peu et conquises à l'agriculture, jusqu'à ce que finalement les incursions de la mer furent complètement arrêtées par des écluses établies au fond du port et munies d'un côté, de portes de flot et de l'autre, de portes d'ebbe ou de vannages.

C'est alors qu'on a eu recours aux chasses à l'eau de mer pour venir en aide aux écoulements d'eau douce ; à cet effet, on a endigué une certaine étendue des canaux de dessèchement, limitée en amont par une écluse de garde. Dans le réservoir ainsi constitué, on a introduit la haute mer pour lâcher ensuite les eaux à marée basse, c'est à dire avec la plus grande hauteur de chute disponible. Plus tard enfin, on a créé des bassins avec écluses de retenue, spécialement destinées aux chasses.

C'était toujours à l'entrée du chenal que ces moyens de curage étaient le moins efficaces, là précisément où il importe d'avoir le plus de profondeur pour tenir compte de la perte d'eau due au creux des lames et pour éviter la formation de brisants ; ils étaient surtout insuffisants lorsqu'on voulait y augmenter la profondeur existante, à travers des fonds de sable, dont les grains

plus ou moins enchevêtrés étaient difficiles à mettre en suspension; le plus souvent d'ailleurs, on se trouvait en présence de couches anciennes, formées de sable fortement tassé et quelquefois mêlé de débris de coquillages, très résistantes par conséquent, et d'autant plus dures à entamer que les courants de chasse, à partir de l'extrémité des jetées s'épanouissent dans la masse des eaux et perdent rapidement leur intensité.

Aussi avait-on admis, comme principe, de placer les écluses de chasse le plus près possible de l'entrée du port et de leur donner une grande puissance. Dans la partie extrême du chenal, comprise entre les jetées à claire-voie, l'effet des chasses était plus sensible sans doute que dans la passe extérieure du port; mais là encore, on doit compter avec les ensablements, et il était généralement fort difficile de refouler les sables assez loin en mer pour éviter qu'ils n'occasionnent des dépôts devant le chenal.

Les faits ne se passent pas de même — c'est un point sur lequel nous croyons devoir appeler l'attention — quand il s'agit du curage du chenal intérieur, de l'avant-port et de ses dépendances; en ces parties du port, il ne se dépose guère que de la vase, et pour combattre l'envahissement de cette alluvion, les chasses quand elles sont bien installées, peuvent certainement produire des résultats excellents; on rencontre d'ailleurs des atterrages, où les apports vaseux sont tellement abondants qu'il est indispensable de recourir à ce système, si bien entendu, on veut entretenir régulièrement de grandes profondeurs dans le port.

Remarquons que si sur de pareils atterrages, les vases se déposent avec beaucoup de rapidité dans les espaces en libre communication avec la mer, elles sont aussi aisément expulsées par des courants d'une certaine intensité; car ces matières ténues, lorsqu'elles sont fraîchement apportées et qu'elles n'ont pas eu le temps de se tasser, ne font pour ainsi dire que flotter près du fond, où elles forment une espèce d'eau fortement boueuse; d'autre part, comme les vases entraînées par les chasses sont délayées dans une grande masse d'eau, elles ne peuvent produire, au sortir du chenal, qu'une traînée un peu plus chargée que les eaux qui sont sans cesse en circulation devant la côte, sous l'action des courants de marée. En réalité, les chasses, chaque fois qu'elles fonctionnent, restituent simplement à la mer une faible quantité de vase apportée par elle dans le port; celle-ci est entraînée aussitôt par le courant de jusant, pour subir ensuite l'effet du courant de flot, qui l'emporte en sens contraire, de sorte que sous l'action de ces agents naturels, et l'influence des vagues aidant, elle s'efface en peu de temps dans la masse des eaux de la mer, sans laisser

de traces appréciables sur les fonds sous-marins qui s'étendent devant le port.

Il suffit du reste de les faire fonctionner pendant les marées de vive eau, mais en évitant avec soin les interruptions prolongées.

Lorsqu'on peut écouler à travers le port les eaux surabondantes d'une rivière, ou celles des canaux de dessèchement de la contrée, les chasses naturelles qui correspondent à ces évacuations, lorsqu'elles ont de l'importance, sont d'un secours précieux; aux époques pluvieuses, elles mettent une grande masse d'eau en mouvement, avec des vitesses relativement modérées, et comme elles s'opèrent pendant plusieurs heures à chaque marée, elles sont d'une grande efficacité pour prévenir les envasements.

Sur nos côtes, il arrive qu'une partie des vases rejetées du chenal à marée basse, sont ramenées pendant le flot sur la plage, à l'ouest du port, et y font acquérir aux atterrissements sablonneux, longeant de ce côté la passe d'entrée, un degré d'agglutination plus ou moins prononcé. Les écoulements d'eau douce produisent le même résultat; ils s'effectuent moyennement dans les ports de la côte des Flandres pendant les trois heures qui précèdent et les deux heures qui suivent la basse mer; les matières limoneuses entraînées sont emportées par le courant de jusant, au moment de sa plus grande vitesse, vers la région de l'ouest, et, comme ce courant s'incline ensuite lentement vers la côte à mesure que son intensité diminue, et qu'en même temps le niveau de la mer monte sur le rivage, les vases en suspension forment des dépôts sur la plage de l'ouest pendant l'étale de jusant et la première période du flot, et y rendent le sable plus agrégé. Ce fait, joint aux effets du régime des courants et des vents, est cause que la passe extérieure tend à dévier vers l'est. Il se produit principalement aux endroits où l'estran n'a qu'une faible déclivité et où la côte est précédée de bancs élevés, parallèles au rivage; car les eaux, en déferlant sur une plage à pente douce, abandonnent plus facilement les matières qu'elles tiennent en suspension, et celles qui se sont déposées y sont moins vite enlevées par la houle, pendant que les bancs maintiennent mieux le transport des vases dans la zone attenante à la terre.

Il y a quelques années, avant l'emploi des dragages à la mer, cette déviation de la passe extérieure constituait un inconvénient grave et auquel on cherchait vainement à remédier. Pour y parvenir et aussi pour étendre l'action des chasses plus loin en mer, on a essayé de guider le courant jusqu'à une certaine distance au delà de l'entrée, soit au moyen de digues submersibles très-basses, établies en continuation des jetées, soit au moyen de guideaux destinés à prolonger celles-ci momentanément pendant les chasses.

Les digues basses ne sont guère à conseiller, car elles constituent de véritables écueils pour la navigation.

L'emploi de guideaux a été mis en pratique à Dunkerque avec un certain succès. Nous en dirons quelques mots.

Le matériel employé se composait de 30 guideaux de 10 mètres chacun, formant ensemble une espèce de jetée mobile de 300 mètres de longueur, échouée à basse mer en prolongement de la jetée de l'est, immédiatement avant la chasse, et susceptible d'être enlevée à mi-marée montante, vers le moment de l'étales des courants de marée.

Chaque guideau était formé de cinq longrines de 10 mètres de longueur et de 0^m,30 sur 0^m,30 d'équarrissage, réunies par dix cours de moises en travers, dont cinq armées de sabots en fer à leurs extrémités inférieures; sur les moises supérieures était fixé un bordage jointif en madriers de 0^m,04 d'épaisseur moyenne.

Au droit de l'une des longrines supérieures régnait une autre pièce de bois parallèle à celle-ci, en saillie sur le bordage, reposant sur les moises supérieures correspondantes et délardée par intervalles, pour recevoir les abouts du plancher de manœuvre. Une pièce parallèle se trouvait à la hauteur de la longrine inférieure; elle formait bordage et reposait aux assemblages sur les extrémités des moises supérieures correspondantes. Des blochets étaient placés le long de la longrine supérieure extrême, au droit de l'ouverture existant à chaque paire de doubles moises en travers accouplées deux à deux; ils reposaient avec assemblages sur les extrémités des moises supérieures correspondantes, en saillie sur le bordage général et limitant, avec l'une des pièces ci-dessus, les intervalles correspondant aux béquilles d'échouage. Entre les deux longrines supérieures et les paires de moises accouplées précitées, on avait ménagé des ouvertures de 0^m,40 de côté, destinées à laisser passer les béquilles d'échouage; celles-ci consistaient en des pièces de bois de 7 à 8 mètres de longueur et de 0^m,30 sur 0^m,30 d'équarrissage.

Au droit de chaque béquille se trouvait installée à demeure une petite chèvre avec treuil et manivelles, employée, d'une part, à faire plonger les béquilles à la profondeur convenable, au moyen de tire-fonds, poulies coupées, réas et cordages, d'autre part, à soulager graduellement les béquilles à marée montante, pour aider au reflouement du guideau après la chasse.

Lorsque le temps et les marées étaient favorables, et que les conditions de la passe en rendaient l'emploi opportun, on armait les guideaux, on les amarrait ensemble et on les tenait parés dans l'avant-port, le long de la jetée de l'ouest,

où ils suivaient les fluctuations des marées, sans danger pour eux et sans gêne pour les mouvements du port.

Deux heures avant la basse mer, on opérait le déhalage, on les conduisait tous ensemble en dehors des jetées et on les orientait en prolongement de la jetée de l'est, au moyen d'ancres et d'aussières convenablement mouillées pour amener cette espèce de jetée flottante dans la position où l'on voulait qu'elle s'échoue à basse mer. On abaissait les béquilles en forçant sur leurs têtes à l'aide de treuils, et peu à peu, la mer baissant, les guideaux prenaient leur position inclinée d'échouage; cent cinquante hommes et quelques canots d'aide étaient généralement employés dans les manœuvres d'ensemble. Aussitôt le matériel échoué, les hommes quittaient les guideaux et remontaient sur la jetée par des escaliers ou échelles placés à cet effet contre les faces du musoir.

Au moment de la basse mer, on ouvrait les écluses de chasse à l'intérieur du port et la masse d'eau gonflée, arrivant à la tête des jetées, rencontrait d'une part, les guideaux, qui soutenaient le gonflement sur 300 mètres au delà des jetées fixes, et, d'autre part, les sables de l'ouest, formant paroi attaquant sur la rive gauche. Ceux-ci étaient ainsi fortement corrodés, et, dans une seule marée, on les voyait reculer dans l'ouest et la passe se redresser en s'élargissant brusquement d'une étendue que le régime naturel des apports ne pouvait regagner qu'en plusieurs mois.

Après la fin de la chasse, quand la mer commençait à remonter, les ouvriers retournaient à leurs postes, chaque escouade soulageant graduellement les béquilles du guideau qu'elle montait, et toute la flotte se retrouvait bientôt à flot. On rentrait alors au halage cette longue masse flottante dans l'avant-port, le long de la jetée de l'ouest, où elle restait pendant la belle saison, toujours armée et prête à fonctionner à tous instants favorables et opportuns⁽¹⁾.

L'emploi de guideaux de ce genre, on le voit, ne peut avoir lieu que par une mer tout à fait calme et exige d'ailleurs des manœuvres fort difficiles; mais ce système convenait tout particulièrement au chenal de Dunkerque, où les sables si abondants de la plage de l'ouest rejetaient constamment la passe extérieure aux jetées vers la rive opposée et où les dépôts vaseux, en agglutinant ces sables, rendaient cette déviation plus persistante.

Les guideaux ont été employés à Dunkerque pendant une dizaine d'années; ils ne fonctionnaient en moyenne que 5 à 6 fois par an et donnaient cependant de bons résultats. Mais tels qu'ils étaient construits, ils ne pouvaient servir que pour une profondeur d'eau de 1^m,00 environ.

(1) Notice de l'exposition universelle de Paris. 1867.

Comme il a été dit plus haut, une des principales causes de l'inefficacité des chasses, en tant qu'il s'agit de creuser les sables de la barre à l'entrée des ports, consiste dans la grande cohésion de ces atterrissements.

Des essais ont été tentés en vue d'en opérer la désagrégation et d'augmenter par conséquent l'effet d'érosion des courants de chasse. A Calais notamment, on a eu recours à des herses que l'on faisait mouvoir sur la barre ; mais ce moyen, qui n'est pas sans offrir de grandes difficultés en pratique, ne paraît pas avoir réussi.

Un autre système a été proposé par M. Bergeron. Voici en quels termes M. M. Stæcklin et Laroche en font mention⁽¹⁾ :

« Ce système consiste essentiellement à placer au droit de la barre, dans le prolongement du chenal, des tuyaux percés de trous, par lesquels on puisse lancer des jets d'eau. M. Bergeron pense que le sable mis en mouvement par ces jets d'eau doit être plus facilement emporté par les courants, qu'il se formera au-dessus de ces tuyaux un fossé et qu'en multipliant le nombre de ces tuyaux, on pourra donner au fossé toute la largeur du chenal.

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

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

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

⁽¹⁾ *Des ports maritimes considérés au point de vue des conditions de leur établissement et de l'entretien de leur profondeur.* Rapport fait à la suite d'une mission en Belgique, en Hollande et en Angleterre. 1878.

dont se comporterait cet outillage nouveau, et apprécier la force qu'exigerait son fonctionnement.

« Ces essais n'ont pas donné de résultats favorables et ont révélé de nombreux inconvénients : 1° quand on plaçait les trous en dessus, les tuyaux se remplissaient de sable, et perdaient toute leur efficacité ; quand les trous étaient placés en dessous, le sable pénétrait encore dans les tuyaux, bien qu'en moindre quantité ; 2° les trous se bouchaient en grand nombre par les coquillages et les graviers ; 3° les tuyaux reposaient bientôt sur un lit de galets, et ne produisaient plus d'effet, dès que les jets d'eau avaient fonctionné quelque temps, et trié le sable assez peu uniforme de la plage ; 4° le sable, un instant soulevé par les jets d'eau, retombait bientôt après et formait des bourrelets à très faible distance des tuyaux ; 5° enfin les premiers trous, qui reçoivent plus directement l'effet de la machine, après avoir fait sous les tuyaux d'amont une fosse, y lançaient ensuite leurs jets d'eau en toute liberté et sans profit, et ne laissaient plus, pour les trous placés à l'aval, des jets d'eau assez forts pour chasser le sable. »

Des expériences conçues dans le même ordre d'idées ont été faites, il y a peu d'années, sur la barre de Nieuport.

L'appareil employé consiste en un bateau à hélice, portant à l'arrière un cadre en fer muni d'un rateau en acier, le long duquel on peut lancer des jets d'air comprimé.

Le bateau a 20 mètres de longueur, 4^m,80 de largeur et 2^m,40 de tirant d'eau ; la machine a 30 chevaux de force. Le cadre est suspendu à un bâti en fer formé de deux longerons, établis parallèlement à l'axe du bateau et dépassant l'étambot d'environ 3^m,00. Ces longerons sont réunis au moyen d'entretoises ; ils portent chacun deux poulies, qui reçoivent des chaînes fixées d'un côté aux traverses du cadre, et s'enroulent, à l'autre extrémité, sur des treuils placés sur le pont du bateau. Les traverses du cadre sont espacées de 3^m,00 et reliées entre elles par deux pièces transversales, distantes de 1^m,75 d'axe en axe.

Le rateau est attaché aux traverses à 0^m,50 environ de leur extrémité ; il est formé d'une série de lames en acier, fixées les unes à côté des autres sur une entretoise en fer et situées dans un même plan, incliné à 30° ; ces lames ont 0^m,28 de largeur, 0^m,10 d'épaisseur à la partie supérieure, et vont en s'amincissant vers leur arête inférieure, terminée en redans et destinée à pénétrer dans le sable.

Lorsque la herse est descendue sur le fond et que les chaînes pendent

librement, elle est entraînée avec le bateau à l'aide de deux fers plats, reliés par articulations aux traverses du cadre et réunis latéralement aux flancs du navire par un assemblage à œillet.

Enfin un tuyau en fer, percé sur tout son pourtour de petits trous, est attaché le long de l'arête supérieure des lames du rateau; il communique de chaque côté, par deux tuyaux flexibles, avec un cylindre à air et sert à produire des jets d'air comprimé, ayant pour but de mettre les sables soulevés en suspension dans l'eau, de manière qu'ils puissent être entraînés par l'action naturelle des courants.

Les expériences faites avec cet appareil sur la barre de Nieuport n'ont pas réussi; il est vrai que la puissance des jets d'air comprimé était très faible, mais on peut affirmer que le système appliqué sur une échelle plus grande, ne donnerait pas non plus de bons résultats. Les sables soulevés ont trop de densité pour rester en suspension dans l'eau pendant un temps suffisamment long et être emportés au large par les courants, malgré l'agitation plus ou moins sensible que l'on pourrait obtenir à l'aide des jets d'air comprimé; les lames du rateau, qui ne pénètrent qu'à quelques centimètres à peine dans le fond, ne produisent en réalité qu'un ameublissement momentané de la couche superficielle, ainsi que des déplacements de sable peu prononcés et sans effet utile.

Disons en passant que le principe du hersage a été appliqué, il y a un certain nombre d'années, aux travaux d'amélioration des passes du Mississipi.

Les appareils employés consistaient en des espèces de bateaux-hersers de deux types différents.

Dans le premier, inventé par le colonel Long, le bateau portait à l'avant un bâti triangulaire en charpente, mobile autour d'un axe horizontal; à la base de ce bâti étaient fixées une série de cuillers, destinées à détacher les sables du fond, pendant que le bateau marchait à reculons le long de l'atterrissement à enlever. Ces cuillers, formées de cylindres en tôle sans fond, labouraient simplement le sable pour le mettre en suspension et le faire descendre vers les bas-fonds voisins.

Dans le second, dû au général Mac Alester, le fond était désagrégré au moyen d'une hélice, dont les bras descendaient au-dessous de la coque et qui servait en même temps de propulseur au navire. Mais les bras de l'hélice se brisaient souvent en rencontrant la vase durcie ou le sable agglutiné; pour éviter cet inconvénient, les deux systèmes ont été combinés plus tard sur le bateau-herser le " Mac Alester " (Pl. XIX, fig. 8).

Ce dernier portait un bâti placé devant l'hélice, auquel était attachée une grande cuiller qu'on laissait descendre un peu au-dessous de la coque, quand le navire était en marche. Le plan de la cuiller pouvait osciller autour d'un arbre horizontal fixé au bâti, et son inclinaison était réglée à l'aide de deux tirants. Celle-ci était généralement voisine de 45° . La cuiller, de $2^{\text{m}},40$ de longueur horizontale et de $1^{\text{m}},45$ de hauteur, présentait une flèche de $0^{\text{m}},48$; pendant que le bateau avançait, elle attaquait le sable et la vase qu'il fallait mettre en suspension pour être entraînées ensuite par les eaux du fleuve.

En général, les moyens du genre de ceux qui viennent d'être cités et qui ont pour but d'ameublir d'abord, et de faire creuser ensuite par les courants les atterrissements de la barre à l'entrée des ports en plage de sable, n'ont guère réussi. Quoique simples en apparence, ils offrent tous de grandes difficultés d'exécution et ne peuvent en définitive conduire à des résultats pratiques.

Au port de Liverpool, il existe un système de chasse intéressant à mentionner et qui fonctionne régulièrement à l'entrée des Canada docks.

On sait que les bassins à flot de ce port s'étendent sur la rive droite de la Mersey et sont fermés au moyen d'écluses à sas ou de mi-marée, débouchant au fond de petits avant-ports en libre communication avec la rivière. (Pl. XX). Les courants de flot, en pénétrant dans la Mersey, entraînent beaucoup de vases et de sables vaseux, qui envahissent ces avant-ports et menacent d'encombrer les écluses. Pour ce motif, les seuils des buses de la plupart de ces ouvrages ont été placés à un niveau peu différent de celui des plus basses mers, de sorte que les grands navires doivent attendre les marées de vive eau, dont l'amplitude moyenne est de $8^{\text{m}},39$, pour entrer dans ces bassins; en morte eau, la marée ne s'élève moyennement qu'à $6^{\text{m}},18$ au-dessus du niveau des basses mers de vive eau.

Dans un port de l'importance de celui de Liverpool, où le moindre retard dans l'arrivée des navires aux quais de déchargement occasionne de grandes pertes au commerce, ce défaut de profondeur aux écluses d'entrée constitue un grave inconvénient; et l'on conçoit qu'on ne recule devant aucune dépense pour y obvier.

C'est ainsi que l'avant-port des nouveaux bassins du Canada a été creusé à 10 pieds sous le niveau des basses mers. Il a environ 230 mètres de longueur, 150 mètres de largeur et communique librement avec la Mersey; l'entrée a 110 mètres de largeur et est bordée de deux jetées, composées d'une digue basse maçonnée et d'une estacade en charpente; la jetée sud présente un retour

parallèle à la rive du fleuve permettant aux bâtiments de s'y appuyer au besoin (Pl. XIX, fig. 9).

Des aqueducs partant des bassins à flot de Langton et de Brocklebank alimentent un certain nombre d'autres aqueducs de moindres dimensions, pratiqués dans les murs nord de l'avant-port. D'autre part, le radier de la partie nord de celui-ci est formé d'un massif en béton, dans lequel sont engagés une série de tubes cylindriques en fonte de 2^m,44 de diamètre, en communication avec les bassins à flot avoisinants; sur ces conduites sont branchés des tuyaux verticaux qui débouchent au niveau du radier et dont les orifices sont munis de disques de fermeture en greenheart. Des tubes semblables, reliés par des aqueducs aux Docks de Langton et Canada, sont établis dans chacune des deux jetées précitées et dans le retour de la jetée sud.

A marée basse, tous ces tubes lancent des jets d'eau puissants qui soulèvent les dépôts, pendant que les chasses, opérées par les aqueducs débouchant dans la rive nord de l'avant-port et réglées au moyen de vannes, rejettent les matières soulevées dans le fleuve.

Ce système de curage, installé sous la direction de M. l'Ingénieur en chef Lyster, ne fonctionne le plus souvent qu'aux marées de vive eau; pendant ces marées, la haute mer dépasse de 3 à 4 pieds le niveau de la retenue nécessaire dans les bassins, et ceux-ci peuvent fournir alors un volume d'eau atteignant jusqu'à 1,000,000 de mètres cubes, qui sont lâchés à marée basse sous une pression de plus de 20 pieds. Ces chasses donnent l'effet voulu et aucun dragage ne doit être fait dans l'avant-port des bassins du Canada.

Des chasses du même système sont faites le long de la rive du fleuve, à l'extrémité sud du débarcadère flottant de Liverpool; la pointe du Pluckington Bank s'était étendue jusque sous cet ouvrage, et pour y rétablir la profondeur nécessaire par dragages, il aurait fallu le déplacer. On préféra recourir aux chasses. Celles-ci sont obtenues au moyen d'une conduite en maçonnerie, de 3^m,35 de diamètre, en communication, d'un côté, avec les bassins à flot voisins, et de l'autre, avec 22 tuyaux cylindriques débouchant sous le débarcadère et jusqu'à 14 mètres de l'extrémité sud de celui-ci; ces tuyaux, de 1^m,37 de diamètre et espacés de 6^m,00 d'axe en axe, produisent à marée basse des chasses, dont on rend l'action plus efficace, en attaquant la surface du Pluckington Bank avec une grande herse, mue par des treuils à vapeur placés sur deux chalands. Le résultat obtenu est très satisfaisant et le débarcadère flotte actuellement dans toute son étendue. (Pl. XIX, fig. 10).

Comme conclusion aux considérations qui précèdent, disons que les chasses, tant artificielles que naturelles, constituent un fort bon moyen de curage pour les

parties des ports soumises au régime vaseux ; mais elles ne sont plus à conseiller en vue de creuser les sables de la barre et du chenal extérieur, ce à quoi elles étaient plus spécialement destinées dans le passé.

Ainsi que nous le verrons plus loin, les dragages donnent sous ce rapport des résultats bien meilleurs et bien plus certains, et au prix auquel on les exécute de nos jours, ils sont en réalité plus économiques que les chasses artificielles. Celles-ci peuvent cependant utilement servir à maintenir la passe creusée, en rejetant vers la mer les sables fins fraîchement apportés à l'entrée du chenal et entre les jetées, tout au moins quand le talus sous-marin qui précède le port est raide ; car dans ce cas, on n'a guère à craindre que les sables expulsés provoquent des exhaussements du fond devant la tête des jetées, l'action des lames et des courants y étant généralement assez intense pour tenir ces sables fins en suspension et les entraîner vers les parties profondes de la zone côtière.

Sans aller donc jusqu'à dire qu'il faille, en règle générale, condamner les installations de chasse là où elles existent et où l'on peut, sans grands frais, les employer auxiliairement avec le dragage, nous ne croyons pas qu'il convienne encore de faire des travaux coûteux pour les établir, en tant qu'il s'agit, nous le répétons, d'accroître ou d'entretenir la profondeur de la passe d'entrée et du chenal extérieur d'un port construit en plage de sable.

Nous ne parlons pas ici des avant-ports situés à l'embouchure de certaines rivières, où les eaux de remplissage de la marée produisent au reflux des chasses naturelles énergiques ; nous citerons à ce propos l'exemple de la Tees.

L'estran sous-marin qui précède la plage dans le voisinage de l'embouchure de ce cours d'eau, se compose principalement de couches sablonneuses, reposant sur des fonds rocheux ; la côte y est bordée de falaises, interrompues par des mornes de sable, qui correspondent aux baies suivant lesquelles les falaises sont découpées.

Le chenal navigable, à l'entrée de la Tees, a été fixé à travers les sables de l'embouchure au moyen de digues basses ; deux môles, dont l'un est établi à travers le Bran-Sand et l'autre à travers le Seatons-Sand, laissent entre leurs extrémités une passe d'environ 750 mètres de largeur ; ces ouvrages sont reliés à la côte et forment avec celle-ci, à l'embouchure de la rivière, une enceinte fort étendue où s'emmagent à marée haute, ainsi que dans la Tees elle-même, des volumes d'eau considérables ; la propagation de la marée a d'ailleurs été facilitée dans la Tees par l'approfondissement et les rectifications du lit de la rivière, exécutés à l'aide de dragages excessivement importants. (Pl. XXI, fig. 4).

La profondeur à l'entrée de la Tees s'est accrue dans des proportions notables depuis l'exécution de ces travaux ; elle est aujourd'hui de 5^m,50 à mer basse et se

maintient par l'effet des courants, sans l'aide de dragages, jusqu'à 800 mètres à l'intérieur de la tête des môles ⁽¹⁾.

Quant aux dispositions à admettre pour l'installation des chasses, elles dépendent beaucoup des circonstances locales.

Lorsqu'on peut dériver vers le fond de l'avant-port ou du chenal les eaux d'une rivière voisine, ou y faire déboucher les canaux d'évacuation de la contrée, il convient tout d'abord de tirer parti de cette ressource, et d'aménager ensuite les écluses et les réservoirs destinés aux chasses artificielles, de manière à obtenir de l'ensemble du système les meilleurs résultats possibles au point de vue des profondeurs à entretenir dans le port, et ce sans occasionner des inconvénients pour les navires, au moment de l'ouverture des portes. Les exemples cités aux chapitres suivants fixeront mieux les idées à cet égard. Parmi les ports établis, il en est du reste, où le creusement de bassins de chasse à l'amont du chenal intérieur et de l'avant-port exigerait des dépenses considérables, à cause des constructions existantes, ce qui complique alors beaucoup la question.

Comme dans la plupart des ports, la profondeur des bassins à flot est réglée d'après le niveau des hautes mers de morte eau, il y a souvent avantage à utiliser, pendant les marées de vive eau, la tranche supplémentaire pour curer l'avant-port et les chenaux d'accès des écluses de navigation. Ces chasses s'opèrent soit par les vannes des portes de ces écluses, soit par des aqueducs spéciaux aménagés dans les bajoyers.

Lorsqu'on dispose de plusieurs étages de chasse, il convient, pour bien combiner leur action, d'ouvrir d'abord les pertuis de l'étage situé le plus en amont, et de faire fonctionner ensuite et successivement les étages suivants. On empêche ainsi les eaux qui s'échappent au moment de l'ouverture des pertuis d'aval, de remonter vers l'avant-port et d'y dépenser une partie de leur force à produire des remous.

Il va de soi que les chasses artificielles ne peuvent utilement fonctionner que là où la marée a une certaine amplitude, d'autant plus que ce n'est que la tranche supérieure des eaux emmagasinées qui produit de l'effet. Ainsi le long du littoral des Flandres, où l'oscillation de la marée varie de 4^m,50 à 6^m,00 en vive eau, on ne doit guère compter sur une épaisseur de plus de 2 à 3 mètres, et il ne servirait à rien de creuser le fond des bassins à une cote inférieure à + 2^m,50 environ par rapport au niveau des basses mers. Par là même, il ne se produit dans ces bassins que peu ou point d'envasement, car pendant les

⁽¹⁾ FOWLER. *Minutes of proceedings of the Institution of civil engineers*. Vol. XC.

chasses, les courants de vidange, en léchant le fond, entraînent avec eux les vases déposées par les eaux de remplissage.

La forme en plan à donner aux réservoirs de chasse ne présente qu'une importance secondaire; lorsque la situation le permet, il y a avantage à se rapprocher de celle pour laquelle, à surface égale, les molécules les plus éloignées arrivent le plus vite et simultanément à l'écluse; celle d'un secteur, dont le centre serait à peu près au débouché des chasses, convient le mieux sous ce rapport.

La largeur des pertuis des écluses est déterminée d'ordinaire de façon que la durée d'une chasse ne dépasse pas $\frac{3}{4}$ d'heure environ, en ayant soin de s'assurer en outre que les courants de remplissage à l'entrée ne soient animés, à aucun instant de la marée, d'une vitesse trop grande et de nature à produire des affouillements nuisibles.

Au port de Honfleur, situé dans la baie de la Seine, le remplissage du bassin de chasse se fait à pleine mer par un déversoir de superficie, de façon à n'y admettre que les eaux des couches supérieures, qui sont les moins chargées. (Pl. XXXVI.)

Une règle qui a été suivie jusqu'ici dans l'établissement des écluses de chasse, consiste à placer le radier à une petite hauteur au-dessus du niveau des plus basses mers de vive eau, ce qui permet de visiter facilement cette partie de l'ouvrage et d'y apporter les réparations nécessaires en cas d'avaries. Cette disposition n'est pas à conseiller; il y a évidemment avantage à descendre le radier de l'écluse et à le placer le plus près possible de la cote à laquelle on veut maintenir l'entrée du port, puisqu'on augmente ainsi la vitesse horizontale et le débit utile des tranches d'eau, lancées dans le chenal pendant les chasses; le travail de frottement produit par ces eaux sur le fond croît même très rapidement avec la profondeur donnée au radier⁽¹⁾. Cela n'empêchera pas de procéder à la visite de celui-ci sans de grandes difficultés, si l'on a soin de ménager à l'amont et à l'aval des culées et des piles une double rainure pour poutrelles, permettant la construction de batardeaux et la mise à sec des pertuis. Notons d'ailleurs qu'avec les procédés de fondation en usage aujourd'hui, on peut construire les écluses de chasse de manière à y prévenir des accidents ou des dégradations importantes.

(¹) Voir annexe I.

§ III. — DES DRAGAGES ET DE LEUR APPLICATION A L'ENTRETIEN ET A L'APPROFONDISSEMENT DES PORTS.

L'approfondissement des ports par le dragage date de loin; mais depuis l'invention des dragues à vapeur, cette opération a pris une extension de plus en plus considérable. Pour en donner une idée, nous citerons les travaux d'amélioration de quelques fleuves à marée, la Tyne, la Clyde, la nouvelle Meuse et le Wéser, tous travaux remarquables, autant par leur importance que par les résultats obtenus. Leur but consiste à permettre la pénétration des navires à l'intérieur des terres, et à pouvoir effectuer l'expédition des marchandises en empruntant sur le moindre parcours possible les voies ferrées et les canaux, deux modes de transport beaucoup plus coûteux, le premier surtout, à part les frais et les inconvénients à résulter des transbordements.

Le principe fondamental généralement admis aujourd'hui pour l'amélioration de la partie maritime des fleuves, c'est d'augmenter autant que l'on peut le volume de marée qu'ils débitent, en facilitant par tous les moyens la circulation du flot et du jusant; on accroît ainsi le cube et la vitesse des eaux mises en mouvement par ces courants, dont les effets de curage creusent et entretiennent les passes du fleuve.

Pour atteindre ce résultat, il convient de régulariser le mieux possible le lit du cours d'eau, en y faisant disparaître les coudes trop prononcés, les bancs et les atterrissements, les saillies de toute nature existant le long des rives, en un mot tout ce qui peut y diminuer la force vive que l'onde marée fluviale a reçue de son impulsion de la mer. Plus le tracé des rives est régulier, celui du lit mineur surtout, moins les courants sont sujets à des déviations anormales et nuisibles, et moins les passes du fleuve sont exposées à s'encombrer. Quand la situation le permet, on donne au chenal, à partir de l'embouchure et jusqu'à la limite de la partie maritime du cours d'eau, une forme dont la largeur va en diminuant progressivement de l'aval vers l'amont, d'après une loi à déterminer dans chaque cas.

La Tyne. Ce fleuve est formé par la Tyne du Nord et par la Tyne du Sud, qui prennent respectivement leur source dans le Cumberland et à la limite de l'Ecosse, pour se réunir près de Hexham; il passe à New-Castle et se jette dans la mer à Shields. (Pl. XXI, fig. 5). Son bassin offre une richesse minière et industrielle exceptionnelle; depuis New-Castle jusqu'à l'embouchure, le fleuve est bordé d'usines et de fabriques, d'une production étonnante.

Par suite de l'élévation de ses sources, la Tyne, dont le bassin mesure

2927 kilomètres carrés, est sujette à des crues subites et intenses, débitant un volume d'eau considérable; les dépôts que l'on rencontre dans la partie inférieure du fleuve, sont sans doute le résultat de l'accumulation des matériaux charriés depuis des siècles par ce cours d'eau.

Au nord de l'embouchure, on rencontre d'abord la roche de Tynemouth, formée par un promontoire de pierres calcaires; puis la pointe de Panarse, où la côte est basse et terminée par des rochers qui s'étendent à près de 400 mètres en mer. Au delà de la pointe de Panarse, la côte est bordée de falaises, et il existe en face de Curry un petit îlot, le Hartley Bates, situé à 8 mètres environ au-dessus des hautes mers, sur un plateau de roches. Au sud de l'entrée du fleuve, la plage est précédée d'un banc de sable, appelé le Herd Sand; la côte y est formée de mornes de sable, sauf à la pointe de Trow, où elle est de pierre calcaire et bordée également de récifs, se terminant à 500 mètres environ au large. L'estran sous-marin, devant Tynemouth, est recouvert de sable et présente une pente assez faible; la vitesse des courants ne paraît pas y excéder 0^m,50 par seconde.

Les premiers travaux d'amélioration de la Tyne ont été commencés en 1843, d'après le système proposé par M. l'Ingénieur Rennie. Ils consistaient en de nombreux épis, partant de chaque rive et se dirigeant vers l'axe du fleuve, dans le but d'en resserrer et d'en régulariser le lit et d'obtenir ainsi, par l'action même des courants de marée, l'approfondissement de la passe navigable. Plus tard, lorsque les fonds situés entre les épis et que ces derniers avaient soustraits partiellement à l'action des courants et à l'agitation des eaux, s'étaient suffisamment exhaussés, on a réuni la tête de ces ouvrages au moyen de perrés en pierres et en scories, de sorte qu'en 1858 déjà, la plus grande partie du fleuve, depuis New-Castle jusqu'à la mer, était endiguée. On y procédait en même temps à des dragages, mais dans des proportions très modérées; car en 1860, le volume total des matières extraites du lit ne s'élevait en tout qu'à 1,426,800 mètres cubes. Ces travaux ont eu un excellent résultat; en 1842, la partie inférieure de la Tyne n'offrait qu'une passe étroite et sinueuse, comprise entre de nombreux bancs de sable; elle n'était praticable, à marée haute, qu'à des navires d'un tirant d'eau ne dépassant pas 4^m,50, et il n'était pas rare de voir des embarcations de 1^m,00 à 1^m,20 d'enfoncement échouer à marée basse. Dès 1860, la profondeur du chenal navigable s'était sensiblement accrue; aux hautes mers de vive eau, les navires de 6^m,00 de tirant d'eau pouvaient pénétrer dans la Tyne, et ceux de 4^m,00 arrivaient jusqu'à New-Castle.

Mais ce n'est qu'à partir de 1861 qu'un projet complet fut mis à exécu-

tion pour améliorer toute la partie navigable du fleuve, depuis la barre existant à l'embouchure, jusqu'à Wylam, soit sur une distance de 19 $\frac{1}{4}$ milles. Ce projet, dressé par M. Ure, à cette époque Ingénieur de la Tyne, avait pour principe de draguer le lit du fleuve, jusqu'à ce que les bancs dangereux en eussent disparu et que la profondeur fût partout suffisante pour permettre la fréquentation des grands navires à toute heure de la marée; il comprenait en outre la continuation des travaux de construction de deux piers, projetés à l'embouchure par M. Walker et commencés en 1856.

Les dragages furent conduits avec la plus grande activité par M. Ure d'abord, et ensuite par M. Messent, qui lui succéda en 1870; le matériel employé se composait de six dragues, dont 3 de 55 chevaux nominaux, 10 porteurs à vapeur, 40 porteurs en bois, 8 remorqueurs à vapeur, ainsi que nombre de chalands et d'embarcations. La quantité de vase et de sable, enlevée du lit du fleuve depuis 1860, s'élevait en moyenne à 2,186,690 mètres cubes par an, et elle a atteint en 1890, au total, 45,160,450 mètres cubes; les déblais ont été transportés en mer et déversés dans les fonds de 20 brasses de profondeur qui se trouvent à une distance de 2 à 3 milles de la côte.

Grâce à ces travaux, les conditions de navigabilité de la Tyne sont aujourd'hui complètement transformées. Avant 1860, la barre à l'embouchure avait une étendue d'environ 250 mètres de l'ouest à l'est, et une passe de 180 mètres de largeur; le matelas d'eau n'y mesurait que 1^m,80 d'épaisseur pendant les basses mers de vive eau, ce qui correspondait à une profondeur d'environ 6^m,30 à marée haute de vive eau et de 5^m,10 à marée haute de morte eau. En amont de la barre extérieure il y en avait une autre appelée la *barre de 9 pieds*, et à 360 mètres plus loin, à l'endroit connu sous le nom de *Narrows*, le chenal se rétrécissait subitement; la partie restante de la rivière était parsemée de hauts-fonds, dont quelques-uns émergeaient à marée descendante. Actuellement on trouve à l'entrée de la Tyne 6^m,00 d'eau à marée basse; la largeur de l'étranglement des *Narrows* a été portée de 120 à 200 mètres; les bancs dangereux ont été enlevés devant Shields, où une section de l'ancien chenal, de près de 2500 mètres de longueur, forme le véritable port et où les navires peuvent mouiller par plus de 9^m,00 d'eau à basse mer de vive eau.

La profondeur de 6^m,00 sous marée basse existe aujourd'hui jusqu'à New-Castle; au delà de ce port et sur une longueur de 4.8 kil., le lit a été creusé à la cote — 5.50, et il est question de continuer les dragages en amont sur un parcours de 9 kil. 2, soit jusqu'à un point situé à 31 kilomètres de l'embouchure et un peu au delà de la limite actuelle de la partie maritime du fleuve.

Les améliorations apportées à la Tyne, en facilitant l'évacuation du jusant et la pénétration du flot, ont provoqué un abaissement notable des basses mers du fleuve, ainsi qu'un léger relèvement des hautes mers, et par conséquent un accroissement très prononcé du débit de marée. L'amplitude des marées de vive eau, qui est de 4^m,50 à l'embouchure, ne mesurait en 1860 que 3^m,60 à New-Castle; actuellement elle y est de 4^m,70 et ne descend pas en-dessous de 4^m,50 jusqu'à une distance de 24 kilomètres de la mer; elle décroît ensuite rapidement sur les 6 kilomètres qui suivent et à l'extrémité desquels l'influence de la marée cesse de se faire sentir.

La vitesse de propagation de la marée a également beaucoup augmenté : tandis qu'en 1860, le plein n'atteignait New-Castle qu'une heure après avoir passé à Shields, il franchit aujourd'hui cette distance en douze minutes; plus loin, il s'établit à Newburn, situé à 10 kil. 5 en amont de New-Castle, huit minutes plus tard qu'à ce port, au lieu de vingt neuf minutes qu'on mesurait primitivement.

Quant aux môles construits à l'embouchure, ils partent respectivement de Tynemouthhead et du Herd Sand, pour s'avancer vers les fonds de 9^m,00 sous mer basse; ils convergent l'un vers l'autre et forment une enceinte dont la largeur, près du rivage, est de plus de 1000 mètres. En septembre 1882, la partie terminée du môle nord avait 745 mètres de longueur, au delà de laquelle il existait une partie submergée de 107 mètres; le môle sud avait 1375 mètres de longueur avec une partie submergée en saillie de 185 mètres. Les dragages qu'on exécute à l'entrée de la Tyne, à l'abri de ces ouvrages, doivent cependant y être interrompus dès que le vent produit une houle ayant plus de 0^m,60 à 0^m,90 de creux, et ce n'est qu'en été et par des temps calmes qu'on peut les exécuter régulièrement.

L'écartement existant entre les parties achevées des môles est d'ailleurs encore fort grand, ce qui est cause que depuis l'amélioration apportée dans les fonds situés près de l'entrée, l'agitation des lames se fait sentir, par les vents d'est surtout, jusque dans le port de Shields et y cause un certain embarras pour les navires à l'ancre. La largeur que M. Walker avait proposé de laisser définitivement entre les musoirs, était de 330 mètres. MM. Ure et Messent l'ont fixée depuis à 540 mètres, en vue de la navigation et pour tenir compte de l'accroissement considérable du volume des eaux de marée qui entrent dans le fleuve, ainsi que de celui qui résultera encore de l'exécution des travaux dans la partie supérieure de la Tyne. Or, l'expérience a prouvé qu'il est indispensable que le courant de marée entre les musoirs, quand le fleuve est en crue, ne soit pas

d'une vitesse telle, qu'en rencontrant les lames du large, il produise une mer trop creuse. On pourra d'ailleurs, s'il est reconnu nécessaire, diminuer plus tard la largeur de la passe, autant que les conditions à observer pour la navigation le permettent, afin d'entraver suffisamment la propagation des lames vers l'intérieur et de préserver le port de Shields des coups de vent du large.

Les travaux de la Tyne constituent un exemple des plus remarquables des résultats qu'il est possible d'obtenir, dans certains cas, par le dragage. On peut du reste espérer, avec raison, qu'il n'y aura pas de difficulté à maintenir les améliorations réalisées; car, si l'on est parvenu à déblayer du fleuve, en quelques années, une grande partie des bancs et des hauts-fonds qui s'y étaient accumulés depuis des siècles, c'est une preuve que les dépôts annuels résultant de l'introduction de la marée et de l'écoulement des eaux supérieures, sont relativement peu importants; il ne faudra par conséquent pas beaucoup d'efforts pour les maîtriser dans l'avenir, d'autant plus que l'approfondissement et les rectifications exécutés dans le lit du fleuve, ont facilité notablement la propagation de la marée vers l'intérieur, de sorte que les courants de jusant, dont la vitesse atteint jusqu'à 1^m,50 par seconde, contribueront à entretenir la profondeur des passes.

La Tyne, depuis la mer jusqu'en amont de New-Castle, constitue aujourd'hui un vaste port à marée et le principal port charbonnier de l'Angleterre. Il peut recevoir facilement 2000 navires à la fois, et est bordé sur les deux rives de nombreux docks et embarcadères.

La Clyde. — Les travaux d'amélioration de la Clyde ont été commencés à une époque antérieure à ceux de la Tyne; les résultats qu'ils ont donnés ne sont pas moins remarquables.

Ce fleuve prend sa source dans le Lanarkshire, passe par les villes de Lanark, d'Hamilton, de Glasgow, de Port-Glasgow et de Greenock. En amont, sur 95 kilomètres de longueur, il présente de nombreuses chutes et ne devient navigable qu'à partir de Glasgow. A l'aval de cette ville, la Clyde reçoit le Kelvin, le Cart et le Leven. Le Forth and Clyde canal débouche dans le fleuve à Bowling; ouvert en 1790, il a une longueur de 35 milles et donne passage à des bateaux de 20 mètres de longueur, 5^m,75 de largeur et 2^m,60 de tirant d'eau. Une branche du canal aboutit en face de l'entrée du Cart et communique directement avec celui-ci.

En 1768, il existait en aval de Glasgow plusieurs hauts-fonds, où l'on sondait moins de 0^m,50 d'eau aux basses mers de vive eau ordinaires. En un point situé dans le port actuel de cette ville, il n'y avait que 1^m,00 de profon-

deur aux hautes mers de vive eau, tandis que les marées de morte eau s'y faisaient à peine sentir. Les navires calant 1^m,37 ne pouvaient dépasser Spoydochsand, situé à 15 kilomètres en aval de Glasgow, qu'en vive eau seulement. (Pl. XXI, fig. 1).

M. Golborne fut chargé, à cette époque, d'étudier un projet pour améliorer la navigation de la Clyde. Il proposa d'enlever les pierres et le gravier compact aux points où le lit du fleuve était dur et peu profond, et de réduire le chenal, dans les endroits où il était trop large, à l'aide d'épis transversaux rattachés à chacune des rives et submersibles à marée haute.

Ces travaux, qui furent entamés aussitôt et continués jusqu'en 1806, produisirent une certaine amélioration dans la situation de la Clyde. Mais la passe navigable était fort irrégulière, d'autant plus que les épis avaient été établis sans plan d'ensemble.

Ensuite le courant de flot, en s'étalant dans les espaces compris entre ces ouvrages, était retardé dans sa marche; pendant la montée de la marée, les eaux se déversaient au-dessus des épis et entraînaient les sables soulevés vers les parties les plus larges du chenal, pour y former des dépôts. Devant les épis, la passe était d'ordinaire plus profonde que dans les sections intermédiaires, et les seuls endroits où le fleuve offrait une profondeur sensiblement uniforme, étaient ceux où l'on avait construit quelques lignes de digues longitudinales.

Se basant sur ces faits, M. J. Rennie conçut un programme nouveau, consistant à régulariser partout la longueur des épis et à réunir leurs extrémités par des digues, élevées à peu près à hauteur de mi-marée et défendues à l'aide de perrés en pierres sèches; leur espacement était calculé de façon à assurer un écoulement facile pour les eaux de la marée, ainsi que pour celles du fleuve.

Ces endiguements furent exécutés peu à peu, mais on s'aperçut bientôt que le chenal ainsi formé était trop étroit et que sa profondeur était encore loin de répondre aux besoins commerciaux d'un centre possédant les éléments de prospérité de Glasgow. En 1835, la Clyde présentait 210 mètres de largeur à son embouchure et 41 mètres de largeur à Glasgow; les navires calant plus de 4^m,00 de profondeur ne pouvaient, en général, remonter le fleuve au delà de Greenock.

M. l'ingénieur Logan proposa alors de déplacer convenablement les digues, de couper les points saillants dans tous les endroits où la section était trop rétrécie, et de recourir aux dragages pour approfondir la passe navigable. C'est à marche qui a été suivie activement depuis, surtout à partir de 1861, après l'acquisition, par les autorités chargées de la direction des travaux, de dragues puissantes et de porteurs à vapeur, qui permettaient d'enlever et de transporter sans difficultés ni entraves des volumes de déblais considérables. Ainsi le cube

de matières draguées dans la Clyde pendant l'année 1861, ne mesurait que 453,500 mètres, tandis que pendant l'année 1887 il atteignait 1,009,000 mètres; la quantité totale des matières alluvionnaires enlevées pendant les 42 dernières années s'élève à environ 24,501,000 mètres cubes. Le matériel employé comprend 5 dragues, d'une force de 40 à 75 chevaux nominaux, et huit porteurs à vapeur de 35 à 65 chevaux nominaux; une drague-grue sur ponton de 10 chevaux de force, et quantité de punts et de petites embarcations.

On a extrait en outre un fond de roche de porphyre, situé à travers le fleuve près de Renfrew; les forages étaient exécutés au début avec des cloches à plongeur, et à partir de 1880, au moyen de machines spéciales du système Beaumont, installées sur des bateaux et qui permettaient de forer les trous de mines, de les charger et de les faire sauter sans l'aide de plongeurs; de tous les explosifs employés, c'est la dynamite qui a donné les meilleurs résultats; la destruction de ce fond de roches, dont on a dragué environ 110,000 tonnes, a exigé le forage de 16000 trous de mines, mesurant ensemble 27000 mètres de longueur, et l'emploi de plus de 75000 livres d'explosifs; la dépense s'est élevée à 1,750,000 francs.

Les profils longitudinaux du fleuve représentés Pl. XXI, fig. 1, indiquent l'approfondissement considérable qui a été obtenu dans la Clyde, depuis l'embouchure jusqu'à Glasgow, ainsi que l'abaissement qui en est résulté pour le plan des basses marées⁽¹⁾.

A présent, les steamers de 7^m,00 à 7^m,50 de tirant d'eau remontent et descendent journellement la rivière, de Glasgow à Greenock, quittant ces ports une heure environ avant marée haute et faisant le trajet moyennement en deux heures. Les voiliers se font généralement remorquer; ceux de faibles dimensions se forment en train et sont mis en marche par un seul remorqueur; les voiliers de fortes dimensions et aussi les grands transatlantiques ont chacun un remorqueur, et souvent deux, dont un à l'avant et un à l'arrière, pour franchir en sécurité les coudes de la rivière.

Quant au développement commercial et industriel des ports de la Clyde, disons qu'en 1830, la ville de Glasgow possédait 1300 mètres de quai établis le long des rives du fleuve, et que l'importance des navires fréquentant le port, était de 730,000 tonneaux; elle avait une population de 200,000 âmes. En 1867, l'étendue des quais était d'environ 5000 mètres, et un premier bassin, le Kingstondock, venait d'être ouvert sur la rive gauche du fleuve; un second bassin, le Queen'sdock, a été livré au commerce en 1880, et un troisième

(1) JAMES DEAS, Engineer-in-Chief of Clyde Navigation Trust. *The River Clyde*.

bassin, le Cessnockdock, est sur le point d'être achevé. Aujourd'hui, les quais ont un développement total de près de 10,000 mètres, et au point de vue de l'importance de l'entrée et de la sortie des navires étrangers, Glasgow est devenu le sixième port de l'Angleterre, avec 2324 bâtiments jaugeant ensemble 2,336,958 tonneaux; il est surpassé par Londres, Liverpool, Cardiff, les ports de la Tyne et Hull; en tenant compte du commerce de cabotage, Glasgow occupe encore le sixième rang, avec 17,163 vaisseaux ayant ensemble 5,539,266 tonneaux, mais en y comprenant le mouvement du port de Greenwich, la Clyde arrive cinquième avec 27,067 vaisseaux d'un tonnage total de 7,597,341 tonneaux. La ville de Glasgow compte maintenant 770,000 habitants, et elle possède les plus grands chantiers de construction navale de toute l'Angleterre.

La Nouvelle Meuse. — Les navires se rendaient autrefois à Rotterdam en entrant directement par l'embouchure de la Meuse et en parcourant le bras principal du fleuve, devant Brielle, ou le Scheur, devant Maassluys. Dès le commencement du siècle, ces voies d'accès ne répondaient plus aux besoins de la navigation, et de 1827 à 1829, on creusa, à travers l'île de Voorne, un canal conduisant de la passe de Goereesch, à Hellevoetsluis, vers la branche appelée Nouvelle Meuse; mais la passe de Goereesch ne présentait à marée basse qu'une profondeur de 3^m,60 sur les hauts fonds, et les écluses du canal ne permettaient pas le passage des navires d'un tirant d'eau de plus de 5^m30; de plus, la durée du trajet jusqu'à Rotterdam n'était généralement pas inférieure à 18 heures. Aussi au bout de quelques années, le canal de Voorne était devenu insuffisant, et en 1858, M. l'ingénieur P. Caland présenta un projet d'ensemble pour améliorer la voie navigable de Rotterdam à la mer.

Il consistait à adopter comme voie principale le Scheur, qui est plus direct que l'autre bras du fleuve, à le relier droit à la mer par un chenal à creuser à travers les dunes du Hoek van Holland et à le prolonger jusqu'aux fonds de 5 mètres sous marée basse au moyen de deux jetées en fascinages et pierres. Devant le Hoek van Holland, contrairement à ce qui existe à l'ancienne embouchure de la Meuse, ainsi qu'aux passes situées au sud, on ne rencontre aucun banc ni atterrissement, et les fonds de 8 à 10 mètres sous marée basse se tiennent à une faible distance de la côte. Le cours de la nouvelle Meuse, depuis le Hoek van Holland jusqu'à Rotterdam, soit sur une longueur d'environ 30 kilomètres, devait en outre être régularisé au moyen de digues convergentes, de façon à offrir 330 mètres de largeur à ce port, 450 mètres à Vlaardingen et 900 mètres entre les jetées à constuire en mer. Enfin, il était décidé de

conduire la vieille Meuse, à l'aval de Vlaardingen, dans le nouveau chenal, afin d'augmenter dans celui-ci le volume des eaux et la force du courant de jusan (Pl. XXI, fig. 2).

L'exécution du projet de M. Caland fut décrétée en 1863; on commença aussitôt la construction des jetées, et dès 1868, on entama le percement du Hoek van Holland, et on y creusa un chenal de 50 mètres de largeur et de 3 mètres de profondeur sous marée basse, en fermant en même temps l'ancienne communication du Scheur avec la mer, afin de diriger toute la masse des eaux vers la nouvelle embouchure. Mais contrairement aux prévisions, l'action des courants de marée ne produisait point l'élargissement et l'approfondissement de la passe ouverte, et une barre tendait au contraire à se former devant la tête des jetées, surtout dans le prolongement de la jetée sud.

Une commission nommée en 1877 proposa alors de recourir à des dragages énergiques pour donner au chenal les dimensions prescrites, de réduire à 300 mètres la largeur du fleuve à Rotterdam, et à 700 mètres celle comprise entre les jetées de l'embouchure, en régularisant tout le cours d'eau d'après ces dimensions. Elle recommanda en outre d'éviter les courbes trop prononcées et de consolider convenablement les berges, le long des rives concaves surtout; elle signala notamment la nécessité d'élargir et de rectifier le Scheur à Maassluis, où le fleuve avait une section insuffisante et formait un coude très brusque. Enfin, la commission de 1877 conseilla d'isoler complètement le nouveau lit du fleuve de celui de la vieille Meuse, en fermant la passe de communication du Noordgeul, à l'aval de Vlaardingen.

A partir de 1881, les travaux ont été continués d'après ce programme; le chenal extérieur a été rétréci en construisant une jetée submersible à 200 mètres de la jetée sud, et en reliant, à l'amont, ces deux ouvrages par une digue. Mais on n'a pas fermé la communication entre la nouvelle et l'ancienne Meuse; on s'est borné à en réduire la largeur à 70 mètres et à diminuer par des endiguements la section de l'ancien bras, de façon que la plus grande partie du courant de jusan, au lieu de se diriger vers les bras sud du fleuve, s'écoule maintenant à la mer par la nouvelle embouchure.

Ce sont surtout les dragages qui ont été conduits avec activité; il y a eu jusqu'à vingt dragues en fonctionnement à la fois; les déblais étaient versés en mer ou dans les parties non conservées du fleuve.

A la fin de l'année 1892, le volume total des déblais atteignait 48,601,100 mètres cubes, dont 40,326,700 mètres cubes ont été extraits du lit du fleuve, 4,993,200 mètres cubes entre les jetées et 3,281,200 mètres cubes en dehors des jetées.

La jetée sud, d'une longueur de 2300 mètres, dépasse de 20 centimètres environ le niveau des hautes mers moyennes, tandis que la jetée nord, de 2000 mètres de longueur, ne se trouve qu'à 15 centimètres au-dessus du niveau de mi-marée; comme l'écoulement du jusant par le nouveau chenal du Hoek van Holland ne commence guère qu'après que la crête de la jetée nord émerge, la hauteur de celle-ci est bien suffisante, et la surélévation donnée à la jetée opposée a pour effet d'empêcher le courant de flot, qui arrive du sud, de pénétrer à travers l'embouchure.

Comme il fallait s'y attendre, les jetées du Hoek van Holland ont provoqué en cet endroit une extension de la plage et un exhaussement de l'estran sous-marin; la ligne de niveau des profondeurs de 5 mètres sous marée basse a avancé de 750 mètres vers le large. Cette modification du fond, très rapide au début, a diminué progressivement à mesure que l'estran engraisé s'est rapproché des grandes profondeurs, pour s'arrêter ensuite et sans s'étendre sensiblement au delà de la courbe des fonds de 10 mètres sous mer basse. (Pl. XXI, fig. 2.)

L'ensemble des travaux exécutés pour l'amélioration de la nouvelle Meuse a eu de très bons résultats. La marée se propage avec facilité dans le fleuve; son amplitude moyenne, qui est de 1^m,70 au Hoek van Holland, mesure encore 1^m,15 à Rotterdam, et le plein se produit à ce port deux heures et demie après la haute mer à l'embouchure; le lieu géométrique des pleines mers s'abaisse du Hoek van Holland à Maassluis et à Vlaardingen d'environ 0^m,20, puis il remonte et atteint à Rotterdam un niveau supérieur de quelques centimètres à celui que l'on observe à l'entrée du fleuve.

Le débit de la nouvelle Meuse, à Rotterdam, est d'ailleurs relativement considérable et contribue beaucoup au maintien des profondeurs. En 1892, la profondeur minimum dans la passe de l'embouchure, sur une largeur de 100 mètres, atteignait 7^m,00 environ sous le niveau des basses mers ordinaires, et le chenal navigable jusqu'à Rotterdam offrait partout, sur la même largeur, 6^m,50 d'eau au moins, sauf en un point, appelé Zuiden et situé à 6 kilomètres à l'aval de Maassluis, où l'on ne sondait à marée basse que 6^m,30. A marée haute, les navires de 7^m,00 de tirant d'eau arrivent aujourd'hui aisément à Rotterdam⁽¹⁾.

Le Weser. — Le Weser est formé par la Werra et la Fulda, qui se réunissent à Münden; il porte le nom de Haut-Weser depuis cet endroit jusqu'à Brême, soit sur un parcours de 366 kilomètres; la partie comprise entre Brême et Bremerhaven, de 49 kilomètres de longueur, s'appelle Bas-Weser, et celle située à l'aval de Bremerhaven jusqu'à la mer, de 59 kilomètres de longueur,

(1) WELCKER. *Amélioration de la voie fluviale de Rotterdam à la mer*. Rapport présenté au V^e congrès international de navigation intérieure, tenu à Paris en 1892.

Weser extérieur. Le bassin du Haut-Weser comprend une vaste étendue de contrées montagneuses, environ 500 milles carrés, dont les eaux provoquent des crues brusques et relativement importantes. Toutefois, le débit du fleuve n'a plus d'action sensible à l'aval de Brake; à Brême, il n'est que de 150 mètres par seconde en été, tandis que les cubes moyens mis en mouvement par la marée atteignent 6400 mètres par seconde devant Bremerhaven, et 56000 mètres environ dans l'estuaire. Le débit maximum du Weser supérieur est beaucoup plus grand, mais par une marée s'élevant à 1^m,50 au-dessus des hautes eaux ordinaires, il entre dans le fleuve, à Bremerhaven, 12,000 mètres cubes en moyenne par seconde, et dans l'estuaire, plus de 100,000 mètres cubes (*).

Le Weser débouche dans la mer à côté de l'Elbe et du Jade; à l'ouvert de ces fleuves, l'onde-marée arrive suivant une direction nord-ouest vers l'île d'Helgoland et produit à la fois, dans ces trois cours d'eau, l'onde fluviale. Tandis que l'amplitude de l'oscillation n'est que de 1^m,84 à Helgoland, elle atteint 3^m,10 à Cuxhaven, 3^m,30 à Bremerhaven et 3^m,80 à Wilhemshaven; ces écarts notables s'expliquent par les différences de configuration de l'estuaire aux endroits précités, lesquelles influent évidemment sur le mode de propagation du flot, et par conséquent sur l'élévation des eaux qu'il met en mouvement. (Pl. XXI, fig. 3).

C'est à Bremerhaven que le flot atteint sa hauteur maximum, qui diminue ensuite lentement, mais d'une manière irrégulière à cause des défauts du lit du fleuve; il cesse de se faire sentir à 5 kilomètres à l'amont de ce port. Les travaux exécutés et en exécution au Weser ont précisément pour but d'y faciliter la circulation de la marée et d'abaisser le plan des basses mers; on compte sur un abaissement d'un mètre environ à Vegesack; le niveau des hautes mers sera peu modifié, mais la vitesse de propagation du flot sera plus grande. Le débit des eaux de marée augmentera donc dans des conditions considérables, et ces eaux rempliront plus rapidement et plus complètement l'espace qu'elles occupent entre les niveaux des hautes et des basses mers du fleuve.

Le projet d'ensemble, dressé par M. l'Ingénieur en chef Franzius, comprend la régularisation et l'approfondissement du Weser, depuis Brême jusqu'à la mer, au moyen de digues longitudinales, de digues-barrages en travers de bras abandonnés, et de dragages. Le lit mineur du fleuve situé au-dessous des basses mers est fixé par des digues en fascines ne dépassant guère que de 0^m,10 à 0^m,20 le niveau de celles-ci; il offre des sections allant en s'élargissant de l'amont vers l'aval et calculées de manière que la masse d'eau en mouvement

(*) FRANZIUS. *L'amélioration des fleuves dans leur partie maritime.*

un peu avant et un peu après les basses mers puisse s'y mouvoir librement, mais sans cependant y rencontrer des sections exagérées ; on évite ainsi que la passe navigable se jette d'une rive à l'autre, suivant un parcours plus ou moins sinueux, comme cela arrive pour les fleuves dont le lit offre des sections dilatées, hors de proportion avec le volume d'eau qui y circule aux environs de l'heure de marée basse. Les parties latérales du chenal ainsi endigué constituent le lit majeur. Tandis que le lit mineur sera parcouru par des courants intenses et se trouvera par là-même peu exposé aux dépôts des matières en suspension, le lit majeur, qui s'étend entre le niveau des hautes mers et celui des basses mers et où les courants seront relativement faibles, pourra recevoir les alluvions enlevées du lit mineur par le jeu des marées.

Les largeurs au niveau des marées hautes existant avant l'amélioration des travaux ont été maintenues en majeure partie, afin d'avoir des réservoirs de remplissage aussi grands que possible ; dans la fixation des lignes de hautes et de basses mers, on a d'ailleurs eu à tenir compte, en chaque point, des circonstances locales et aussi de la question d'économie.

A part les travaux mentionnés, on a entamé en 1891, le projet d'amélioration du Weser extérieur, comprenant principalement l'établissement d'une digue de 6 kilomètres de longueur, partant de Blexen et s'avancant vers l'estuaire.

Le cube des dragages exécutés au Bas-Weser depuis le commencement des travaux, en 1885, jusqu'à la fin de 1891, est d'environ 14,000,000 de mètres cubes.

Le matériel employé comprend 9 dragues à godets d'une force variant de 70 à 200 chevaux indiqués, 2 dragues à aspiration de 300 chevaux chacune, 5 dragues à godets avec appareils transporteurs flottants, dont deux de 90, une de 150 et deux de 320 chevaux, 22 porteurs à vapeur, 5 remorqueurs et 60 chalands.

Déjà en 1891, la profondeur du Weser jusqu'au delà de Brême avait été portée de 2^m,75 à 4^m,30, et 500,000 tonnes de marchandises furent inscrites cette année tant à l'entrée qu'à la sortie du nouveau port.

APPAREILS DE DRAGAGE. — Les divers systèmes de dragues employées de nos jours, peuvent se rattacher à quatre types principaux : les dragues à godets, les dragues à cuiller, les dragues à mâchoires et les dragues à aspiration.

Dragues à godets. — Tout le monde connaît ces dragues ; elles comprennent essentiellement une chaîne à godets, placée dans l'axe du bateau, ou deux chaînes latérales.

La chaîne à godets est supportée par l'échelle ou élinde, composée de deux longs montants réunis par des traverses ; ils présentent des rouleaux donnant appui à la partie montante de la chaîne, tandis que la partie descendante se

développe librement sous l'élinde. La traction sur la chaîne est exercée par une lanterne polygonale à fuseaux en fer, placée en tête du bâti et dont l'axe reçoit son mouvement de la machine à vapeur par l'intermédiaire d'engrenages ou de courroies; une seconde lanterne fixée à la base de l'élinde sert à diriger les godets. L'élinde est susceptible de prendre diverses inclinaisons, ce qui permet de régler la profondeur à laquelle on veut draguer.

Souvent, l'une des dernières roues des engrenages est munie d'un collier de friction, glissant librement dès que la résistance rencontrée par les godets dépasse une certaine limite et destiné à prévenir ainsi les avaries des mécanismes. On obtient le même résultat en transmettant directement le mouvement de la machine, au moyen de courroies et de poulies, au pignon qui commande la roue dentée du fuseau supérieur.

Le produit des dragages est transporté au lieu de déchargement au moyen de chalands remorqués, de porteurs à vapeur ou par la drague elle-même, qui comprend alors des puits destinés à recevoir les déblais.

Les dragues à godets ordinaires sont conduites au lieu de destination et mises en place à l'aide de remorqueurs; pendant leur fonctionnement, elles sont amarrées sur des ancrs, et on les déplace méthodiquement au moyen de chaînes ou de cordages, qui s'enroulent sur des treuils installés sur le bateau.

L'entretien du chenal intérieur et des bassins de marée des ports d'Ostende, de Nieuport et de Blankenberghe se fait au moyen d'une drague de l'espèce, construite par la firme A. F. Smulders à Utrecht.

Elle consiste en un bateau en fer de 35 mètres de longueur, 6 mètres de largeur et 2^m,70 de creux, portant une seule élinde centrale qui peut fonctionner à une profondeur maximum de 9 mètres sous le niveau de l'eau. (Pl. XXII, fig. 1.) La coque est pourvue de fortes défenses, fixées au niveau de flottaison et destinées à la préserver d'avaries en cas de chocs ou d'abordages.

Le bâti qui porte le tambour supérieur de l'élinde et en même temps la partie fixe du déversoir recevant le contenu des godets, est composé de poutres tubulaires en fers plats avec équerres, solidement accouplés et reliés à la base. Le déversoir comprend de chaque côté un auget, dont l'inclinaison est réglée par un treuil à la main, et au milieu, une plaque mobile qui permet de conduire à volonté les déblais à droite ou à gauche de la drague. L'axe du tambour supérieur de l'élinde, dont les faces sont recouvertes de plaques en acier trempé, pouvant être renouvelées aisément en cas d'usure, est commandé par une roue dentée avec pignon, lequel reçoit le mouvement de la machine motrice par l'intermédiaire de poulies et de courroies.

La chaîne porte 33 godets, d'une contenance de 300 litres chacun, et qui passent, en marche ordinaire, à raison de 14 par minute. La tôle des godets est renforcée à l'aide de fortes bandes en acier; les maillons et les boulons de la chaîne sont également en acier; ces derniers sont entourés d'anneaux en acier trempé, faciles à remplacer, afin de les préserver d'une usure trop rapide. Le treuil de l'élinde est actionné par une machine à deux cylindres, par l'intermédiaire d'une vis sans fin en acier avec roues dentées.

C'est la machine principale qui met la chaîne de la proue en mouvement au moyen de poulies avec courroies et d'engrenages. Deux treuils à vapeur sont installés sur le pont à l'avant du bateau, l'un à bâbord, l'autre à tribord; un troisième treuil à vapeur se trouve à l'arrière; ils servent à imprimer à la drague les mouvements en avant et en arrière ou de papillonnage, nécessaires pour le fonctionnement de celle-ci.

La machine qui produit le mouvement de la chaîne à godets est horizontale, à deux cylindres, du système compound, à condensation par surface. Le diamètre du petit cylindre est de 380 millimètres, et celui du grand cylindre de 670 millimètres. La course des pistons est de 500 millimètres et le nombre de coups de 90 par minute. La puissance développée est de 150 chevaux indiqués. La chaudière est tubulaire, à foyer intérieur et retour de flamme, et offre une surface de chauffe de 80 mètres carrés; la pression maximum de la vapeur est de 6 atmosphères.

Le puits de l'élinde ne s'étend pas jusqu'à la proue, et la coque est fermée à l'avant; cette disposition permet mieux à la drague de se mouvoir en des parties peu abritées des ports et d'être transportée par mer. Toutefois l'avant de la coque peut être enlevé pour le cas où l'on aurait à travailler en talus. La puissance de rendement de cette drague, en terrain vaseux ou argile molle, est de 125 mètres cubes par heure de travail. Les déblais sont transportés en mer à l'aide d'un remorqueur et de 4 chalands de 100 mètres cubes de capacité chacun; la distance de transport est de 3 kilomètres pour Ostende, de 6 kilomètres pour Nieuport et de 12 kilomètres pour Blankenberghe.

Ces travaux de dragage constituent une entreprise à forfait; d'après les clauses du cahier des charges, l'importance des quantités à extraire chaque année ne peut être inférieure, en ce qui concerne le port d'Ostende, à 65,000 mètres cubes, ni supérieure à 90,000 mètres cubes, sans le consentement de l'entrepreneur; pour Nieuport, ces limites sont respectivement de 30,000 et de 45,000 mètres cubes, et pour Blankenberghe, de 15,000 et de 25,000 mètres cubes. Dans ces conditions, le prix obtenu à l'adjudication pour un bail de

cinq années, à partir de 1892, est de 0.673 fr. le mètre cube, mesuré en profil.

En ce qui concerne le matériel de transport du produit des dragages, il est à remarquer que des chalands avec remorqueurs coûtent moins cher d'acquisition que des porteurs à vapeur; mais ils sont d'une manœuvre plus difficile et conviennent moins bien pour opérer des déchargements en pleine mer. Les porteurs à vapeur, en effet, peuvent affronter plus de houle et ne sont par conséquent pas autant exposés aux chômages par suite de mauvais temps; ils sont en outre moins encombrants que les chalands, point important quand il s'agit de travailler dans des passes relativement étroites et où la navigation est active. Enfin, comme les porteurs à vapeur exigent moins de personnel, ils sont d'un emploi plus économique et ils méritent certainement la préférence, lorsque le cube des déblais à extraire est assez grand pour justifier le capital relativement élevé qu'exige l'acquisition de pareil matériel.

Les dimensions qu'il convient de donner aux porteurs à vapeur varient avec la profondeur d'eau dont on dispose à marée basse dans le port ou dans la rivière à approfondir, et avec la distance de transport du produit des dragages.

La fig. 2 Pl. XXII représente un type de porteur construit par la firme W. Simons et C^{ie} à Renfrew; c'est un navire de 45^m,50 de longueur, 8^m,50 de largeur au maître-bau, avec un tirant d'eau de 1^m,90 à vide et de 3^m,35 en charge; sa capacité de chargement est de 360 mètres cubes. La machine à vapeur, du système compound, a une force de 65 chevaux nominaux; elle est placée à l'arrière du bateau, dont elle actionne directement l'axe de l'hélice et auquel elle imprime, lorsqu'il est chargé, une vitesse d'environ 8 nœuds.

Le puits destiné à recevoir les déblais est formé par la partie centrale du navire et occupe une longueur de 18 mètres; il est fermé, au fond, au moyen de clapets et limité latéralement par des compartiments étanches.

Aujourd'hui, on construit aussi des dragues à godets marines, aménagées comme un navire à vapeur et pouvant se déplacer sans l'assistance d'un remorqueur. Nous reproduisons Pl. XXII, fig. 3 le dessin de pareille drague *le Merak*, construite par la firme Christi et C^{ie} à Delfshaven et employée au creusement du port de Tandjong Priok, situé dans la baie de Batavia. Le *Merak* a 48^m,76 de longueur, 9^m,14 de largeur, 1^m,52 de tirant d'eau à l'avant et 2^m,29 de tirant d'eau à l'arrière; les godets, d'une capacité de 0^m³,343 chacun, se meuvent à raison de 13 à 14 godets par minute et peuvent draguer à une profondeur maximum de 8^m,50 sous le niveau de l'eau⁽¹⁾.

(1) J. E. DE MEIJER. *Tijdschrift van het koninglijk Instituut van Ingenieurs*, 1892-1893.

Le déversement des matières extraites peut se faire des deux côtés du bateau. La force des machines est de 75 chevaux nominaux ; sur le pont sont installés une grue de 5 tonnes et une autre de 1 tonne, ainsi que deux treuils à vapeur. Dans des terrains peu résistants, le *Merak* a dragué jusqu'à 2200 mètres cubes en une journée de 10 heures de travail. Attelée sur l'hélice du bateau, la machine peut imprimer à la drague une vitesse d'environ 6 nœuds.

Le matériel qui a fonctionné ces dernières années à la Clyde, comprend une puissante drague *La Clyde*, munie également d'un propulseur à hélice. Elle est à élinde centrale ; la coque du bateau a 48^m,40 de longueur, 9^m,15 de largeur, 3^m,05 de creux et un tirant d'eau à l'arrière, en charge, de 2^m,74. Les godets employés en terrains tendres cubent 0^m3,566 et peuvent travailler à 10^m,50 au-dessous du plan de l'eau ; ils se meuvent à raison de 15 godets par minute. En terrains durs, on y substitue des godets d'une capacité de 0^m3,197, se déchargeant à raison de 10 seulement par minute ; pour passer d'une vitesse à l'autre, il n'y a qu'à interchanger les deux roues d'un engrenage d'angle, transmettant le mouvement de la machine au prisme supérieur. Les parois latérales des godets sont en acier fondu, et le fond en tôle d'acier ; leur ouverture est consolidée par une bande en acier de 0^m,33 de largeur et de 0^m,032 d'épaisseur.

Les machines, du système compound, à condensation par surface, ont une puissance de 350 chevaux indiqués ; les cylindres ont 1^m,117 et 0^m,584 de diamètre ; la course des pistons est de 762 millimètres et le nombre de coups de 65 à 70 par minute. Les chaudières, au nombre de deux, sont tubulaires ; chacune d'elles a deux fourneaux donnant une surface de chauffe de 139 mètres carrés ; elles fonctionnent à une pression de 5^k,63 par centimètre carré. Les mouvements de papillonnage de la drague se font au moyen de treuils placés à l'avant et à l'arrière du bateau, et mus à volonté par la machine principale ou par des machines auxiliaires ; une autre machine sert spécialement à régler les mouvements de l'élinde, à manœuvrer une grue placée près du puits et à actionner l'engrenage principal en cas de réparation. Cette drague a coûté 485,000 francs.

Elle est desservie par trois porteurs à vapeur ayant chacun 46^m85 de longueur, 7^m,93 de largeur, 3^m,97 de creux, et un tirant d'eau de 1^m,68 à vide et de 3^m,20 en charge. La capacité des puits est de 311 mètres cubes. Les machines, du système compound, avec condenseur par surface, ont 250 chevaux de force indiqués et impriment au bateau une vitesse de 9 nœuds. Le prix de chacun de ces porteurs est de 189,600 francs.

En terrains peu consistants, le rendement de *La Clyde* est en moyenne de 350 mètres cubes par heure de travail. La distance de transport des déblais au lieu de déchargement varie avec la situation de la partie de la rivière où l'engin fonctionne ; pour les dragages effectués en 1886, elle était d'environ 11 1/2 kilomètres. Le prix du mètre cube enlevé et transporté à cette distance revenait à 0,655 fr. y compris l'intérêt et l'amortissement du matériel, et dont 0,332 fr. pour le dragage et 0,323 fr. pour le transport.

La drague à godets portant elle-même ses déblais est de construction récente ; c'est une combinaison de la drague ordinaire et du porteur à vapeur ; elle tient de ce dernier par sa forme, et ressemble beaucoup à un steamer à hélice. Le produit des dragages est déversé dans des puits à clapets aménagés dans le bateau.

La planche XXIII représente une drague de ce type construite par M. M. Fleming et Ferguson, ingénieurs-constructeurs à Paisley, pour les travaux du port de Auckland dans la Nouvelle Zélande.

Le navire est à double hélice ; il a 52^m,43 de longueur, 9^m,75 de largeur et 4^m,26 de profondeur. Les puits destinés à recevoir le remblai peuvent contenir 600 tonnes de matières draguées. La puissance de rendement de la drague est de 400 tonnes par heure, et elle peut fonctionner par une profondeur de 9^m,75 sous le niveau de l'eau.

Deux machines compound à condensation par surface sont installées dans le navire. Ces machines, indépendantes l'une de l'autre, ont une force totale de 600 chevaux indiqués. Elles actionnent les propulseurs à hélice, dont les arbres sont mis en communication par un embrayage à l'extrémité arrière des arbres moteurs. L'appareil de transmission destiné à mettre la chaîne à godets en mouvement, est placé à l'extrémité avant de ces arbres et disposé de façon que chaque machine ou les deux machines puissent être employées au dragage. Les chaudières sont horizontales et entièrement construites en acier doux ; elles fonctionnent à une pression de 6 atmosphères.

Le navire en charge peut filer à raison de 8 nœuds par heure.

Les opérations de levage et de descente de la chaîne à godets sont faites par des machines auxiliaires, placées à l'avant. Une autre paire de machines indépendantes servent à manœuvrer les portes destinées à décharger les matières draguées. La fermeture de ces portes s'opère en trois minutes. Des appareils de gouverne à vapeur, d'un maniement prompt et facile, permettent de déplacer la drague afin de ne pas entraver la navigation⁽¹⁾.

Dans les dragues à godets porteuses, construites en Angleterre, la coque

(1) *Engineering*. Année 1891.

est en acier ou en fer ; mais l'acier est généralement préféré pour le fond afin de diminuer les dangers d'avarie en cas d'échouage. L'élinde est aussi en tôle de fer ou d'acier, et les godets en acier.

Ces dragues portent à l'avant trois chaînes, dont une au bossoir et deux placées de chaque côté de celui-ci ; trois autres chaînes sont fixées dans les mêmes conditions à l'arrière. Elles sont manœuvrées à l'aide de deux treuils à vapeur, dont chacun porte trois tambours permettant aux chaînes d'amarrage d'être enroulées, lâchées ou arrêtées indépendamment les unes des autres ou en même temps, suivant les besoins, et d'imprimer ainsi au bateau les mouvements d'avancement, de recul et de papillonnage.

Les déblais, au lieu d'être déversés dans le puits, peuvent aussi être chargés dans des chalands par des couloirs latéraux, ce qui permet de prolonger au besoin la durée du travail, la drague prenant elle-même à la remorque un ou deux de ces chalands.

Lorsque le bateau se rend à la décharge, les deux chaînes de papillonnage d'avant sont dégagées des treuils et attachées à la chaîne du bossoir ; celle-ci est larguée et indiquée par une bouée, à laquelle elle est reliée par une chaînette, qui sert à la relever au retour. On procède de même à l'arrière. En revenant au lieu du travail, la drague peut ainsi être remise en mouvement en 10 à 15 minutes.

Ordinairement, l'élinde de ces dragues est dirigée vers l'avant ; mais on en a construites aussi où elle est dirigée en sens contraire, ce qui a l'avantage d'améliorer les conditions de navigation du bateau, dont l'avant ne diffère plus, comme bâti, d'un steamer ordinaire. L'Amirauté anglaise a acquis récemment une drague de ce type pour l'approfondissement du port de Chatham ; elle est ouverte à l'arrière et pourvue d'une double hélice et d'un double gouvernail.

La drague construite en 1889 par la firme Simons et C^{ie}, à Renfrew, sous la direction de M. Leader Williams, pour les travaux du canal de Manchester, a également son élinde dirigée vers l'arrière ; celle-ci est en outre suspendue sur chariot, disposition qui permet de draguer au pied des quais et de hisser l'élinde sur le pont pendant le transport des déblais. La capacité des puits est de 850 tonnes. (*)

Cette drague peut extraire plus de 800 tonnes de matières meubles par

(*) La tonne représente un poids de 20 centweight (20 cwt) ou 1016^k,05. Le volume d'une tonne dépend évidemment de la densité des matières à mesurer ; pour du sable fin, il équivaut environ à 26 pieds cubes anglais, tandis que pour de la vase ou du sable vaseux, l'équivalent d'une tonne varie de 18 $\frac{1}{2}$ à 20 pieds cubes. On peut admettre, quand il s'agit de déblais de gravier, de sable, d'argile, etc., que le poids d'une tonne correspond, en moyenne, à 22 pieds cubes ou 0^m3,623.

heure de travail, à une profondeur de 10^m,70. Elle a une double hélice à l'avant, une double hélice à l'arrière, et trois gouvernails, dont deux à l'arrière et un à l'avant, ce qui permet de faire naviguer la drague dans les deux sens. La puissance des machines, qui sont à triple expansion, est de 1200 chevaux indiqués; elles impriment au navire une vitesse d'environ 7 milles à l'heure, quand il est chargé, et près de 9 milles, quand il est léger.

L'usage des dragues à godets porteuses a pris assez d'extension dans ces dernières années; les dimensions de ces bateaux varient avec leur puissance de rendement et de chargement, avec la vitesse qu'il faut pouvoir leur imprimer, etc. Le tableau ci-dessous donne les dimensions de quelques dragues de l'espèce. (')

CAPACITÉ DES PUIITS.	Profondeur du dragage au-dessous de la flottaison.	Puissance d'extraction par heure.	DIMENSIONS PRINCIPALES.		
			Longueur.	Largeur.	Creux.
300 tonnes	7 ^m ,62	tonnes. 250	34 ^m ,14	7 ^m ,93	3 ^m ,66
400 "	9 ^m ,14	300	40 ^m ,85	8 ^m ,53	3 ^m ,81
800 "	9 ^m ,14	400	56 ^m ,39	11 ^m ,73	4 ^m ,57
1000 "	10 ^m ,67	900	65 ^m ,53	12 ^m ,19	4 ^m ,57

Les dimensions des dragues à godets marines non porteuses ne diffèrent pas beaucoup de celles des dragues porteuses, à part le tirant d'eau. Les dragues de l'un comme de l'autre type, quand elles sont puissantes, sont généralement munies de deux machines compound à condensation par surface, et quelquefois de machines à triple expansion. Pour les dragues porteuses, l'une des machines peut suffire pour l'extraction des déblais, tandis que pendant le transport, elles travaillent ensemble et actionnent séparément deux hélices.

Les dragues à godets porteuses sont dans certains cas d'une supériorité incontestable, notamment quand il faut travailler dans un chenal étroit ou dans des situations exposées à la houle, puisque la suppression de chalands ou de porteurs à vapeur donne moins d'encombrement et diminue les dangers d'accostage. C'est ainsi qu'elles conviennent fort bien quand on doit approfondir une passe située à l'ouvert d'un port, dans un terrain dur et compact ou mélangé de pierres, et où le fonctionnement d'une drague non porteuse offrirait beaucoup plus de sujétion. De même dans les chenaux extérieurs des ports où les

(') A. C. SCHONBERG. *On dredging and dredge plant.*

apports sont très vaseux et où les dragues à aspiration, dont nous parlerons plus loin, ne donneraient qu'un très faible rendement, l'emploi de ces engins est particulièrement recommandable.

A part ces considérations, on attribue aux dragues à godets porteuses l'avantage d'être d'un coût moins élevé qu'un matériel de dragues ordinaires avec porteurs à vapeur spéciaux, et de fonctionner dans des conditions plus économiques, parce que la machine et le personnel y travaillent sans arrêt. Il est à remarquer cependant qu'une drague a besoin d'un équipage plus nombreux qu'un porteur, et que pendant le trajet, ce personnel reste en partie inactif; ensuite les dragues porteuses, en allant à la décharge, transportent inutilement le poids de l'appareil extracteur, qui est placé en outre dans des conditions défavorables pour la stabilité du navire; ces inconvénients sont sérieux, tout au moins lorsqu'il faut transporter les déblais en mer, à de grandes distances et devant des atterrages peu abrités, où pendant la majeure partie de l'année, le temps est généralement incertain. Enfin les dragues porteuses ont besoin d'un tirant d'eau notablement plus grand qu'une drague ordinaire, ce qui en limite l'emploi aux ports où la profondeur d'eau à marée basse est déjà relativement forte, pour ne pas les exposer à un échouage dangereux.

Le prix des déblais exécutés au moyen de dragues à godets varie beaucoup d'un cas à un autre; indépendamment des conditions de construction du matériel employé, il dépend de la nature du terrain, de la profondeur à laquelle se fait le travail de creusement, de la distance de transport et du plus ou moins de facilité avec laquelle celui-ci peut s'effectuer, étant donnée la situation des passes à parcourir pendant le trajet, de l'importance du cube à enlever en un délai déterminé, du prix de la main-d'œuvre et du combustible. Pour les dragages à exécuter dans les ports à la côte, avec l'obligation de conduire les déblais en mer, le prix d'unité dépend beaucoup aussi du régime de l'atterrage où le port est situé, puisque les chômages sont d'autant moins fréquents que cet atterrage, jusqu'au lieu de déversement des matières extraites, est moins exposé aux vents du large.

Nous avons déjà cité le prix des dragages exécutés à forfait pour l'entretien du chenal intérieur et des bassins de marée des ports de la côte de Belgique, au moyen d'une drague à godets ordinaire et de chalands remorqués. Il s'élève à fr. 0,673 le mètre cube, transport compris; l'évaluation des déblais, formés de vase plus ou moins tassée, est faite en profil, et comme on le sait, leur volume, s'il était mesuré dans les chalands, serait notablement supérieur. Nous avons cité aussi le prix d'une série de dragages effectués dans la Clyde à l'aide d'une drague

à godets munie d'un appareil propulseur, et de porteurs à vapeur; il s'élevait à fr. 0,655.

A Dunkerque, les dragages à l'intérieur du port sont faits en régie, avec une drague à godets semblable à celle employée en Belgique et six chalands à clapets.⁽¹⁾ Le remorquage des chalands s'effectuait ces dernières années, en vertu d'un contrat passé avec la Chambre de commerce de Dunkerque, par les remorqueurs destinés au service général du port, pendant les heures non affectées à l'entrée et à la sortie des navires; il coûtait au moins fr. 0,15 le mètre cube pendant le jour, et fr. 0,20 le mètre cube pendant la nuit, la distance de transport étant de 5000 mètres.

La drague, lorsqu'elle fut acquise par le gouvernement français à raison de 110,000 fr., avait déjà fonctionné pendant un an, mais elle se trouvait en bon état d'entretien; elle a 33^m,00 de longueur, 6^m,00 de largeur, 2^m,95 de hauteur jusqu'au-dessus du pont, et porte une machine à deux cylindres du système Compound, d'une puissance de 60 chevaux indiqués.

Elle a un tirant d'eau en charge, à l'arrière, de 1^m,50. La chaîne porte 32 godets de 260 litres, passant à raison de 9 par minute, et construits en tôle assez forte pour bien travailler dans le sable comme dans la vase; elle peut fonctionner jusqu'à 8^m,75 sous la surface de l'eau.

En vingt mois, on a exécuté avec ce matériel 289,114 mètres cubes de dragages, mesurés dans les chalands; le prix de revient, en été, était en moyenne de fr. 0,54 par mètre cube, extrait du port d'échouage, dont fr. 0,265 pour l'extraction et 0,275 pour le transport, décomposé comme suit :

<i>Extraction</i> :	Personnel	0.120	<i>Transport</i> :	Personnel	0.076
	Charbon	0.042		Graisse et amarres . . .	0.014
	Graisse et matières diverses	0.049		Réparations	0.017
	Réparations	0.072		Remorquage	0.168
	Total	0.265		Total	0.275

Le charbon de briquettes employé coûtait 21 fr. la tonne.

On remarquera que ce prix de fr. 0,54 ne comprend pas l'amortissement, ni l'intérêt du capital d'acquisition, non plus que l'assurance du matériel; il est donc assez cher, comparé à celui de fr. 0,675 obtenu à forfait en Belgique; mais il y a lieu d'ajouter qu'à Dunkerque, les frais de transport, à l'aide de remorqueurs affectés au service du port, étaient fort élevés.

M. Schonberg, dans son mémoire mentionné plus haut, cite les dragages exécutés au Victoria Channel, à Belfast, au moyen de deux dragues à godets

(1) EYRIAUD DES VERGNES. *Annales des ponts et chaussées de France*. Année 1889.

porteuses à double hélice, pouvant extraire chacune, en une heure de travail et en terrain tendre, 500 tonnes (environ 312 mètres cubes) à une profondeur de 9^m,14. La capacité des puits est de 800 tonnes (500^{m³}) et la puissance des machines, du système compound à condensation par surface, de 500 chevaux indiqués. Les déblais étaient transportés à une distance de 10 à 11 milles.

Les travaux, commencés en 1885, s'effectuaient la première année pendant le jour seulement, mais plus tard on y a installé un double équipage et on les a continués régulièrement pendant la nuit à la lumière électrique. Depuis la fin de 1885 jusqu'au 19 juin 1890, soit pendant 55 1/2 mois, ces deux dragues ont enlevé et transporté ensemble 5,474,424 tonnes de déblais (3,410,566^{m³}), au prix de 1,85 penny la tonne; à ce prix, M. Schonberg ajoute 1,25 penny pour intérêt et dépréciation du matériel, ce qui donne comme coût total d'une tonne 3,10 pence (fr. 0,322), et du mètre cube fr. 0,517, en évaluant toujours le volume de déblais qui correspond à une tonne de 20 cwt. à 0^{m³},623.

D'après M. Schonberg, ce prix, modéré sans doute, a été obtenu en majeure partie parce que les dragues transportaient elles-mêmes les déblais; mais il résulte plutôt, croyons-nous, de ce que ces engins sont très puissants et bien conditionnés, et qu'ils donnent par là même lieu à moins de dépenses pour personnel et réparations; de plus, lorsqu'il est possible de les faire fonctionner nuit et jour, on diminue les frais généraux et ceux correspondant à l'intérêt du capital d'achat du matériel.

On remarquera que dans les travaux de dragages, une grande partie de la dépense correspond au transport des matières extraites; il y a donc tout avantage à les décharger directement à terre, quand cela se peut. Ces cas se présentent fréquemment lorsqu'il s'agit de creuser des bassins ou des canaux, ou d'approfondir des rivières; on a alors recours aux *dragues à godets avec couloir* ou avec *tuyaux de refoulement*, suivant les circonstances. Quelquefois aussi, il y a économie à conduire les chalands chargés en un point déterminé et à en reprendre ensuite les déblais au moyen d'*élévateurs fixes* ou *flottants*, pour les déposer sur les berges.

La disposition de ces divers systèmes varie beaucoup.

Lorsque les déblais peuvent être déchargés à proximité du point d'extraction, on emploie souvent les dragues à couloir; les matières draguées sont élevées de la manière ordinaire jusqu'au déversoir, mais on injecte dans ce dernier un certain volume d'eau, de façon à les faire descendre par un conduit ouvert ou fermé jusqu'au point de déchargement.

Avec un couloir ouvert, on n'est pas exposé aux embarras à résulter des

engorgements par l'agglutination des matières à décharger; mais l'emploi de tuyaux fermés permet à la masse d'eau injectée d'agir avec plus de force; il convient alors de munir le déversoir d'une grille qui arrête les corps durs ou trop massifs, et d'installer au-dessous de cette grille un diviseur destiné à désagréger suffisamment les déblais, avant qu'ils soient entraînés par l'eau; les tuyaux doivent en outre être munis de distance en distance d'ouvertures avec plaques de fermeture glissantes, permettant de les désobstruer au besoin. Le conduit est suspendu à une charpente installée sur le pont de la drague, ou mieux encore sur un bateau placé à côté et solidement relié à celle-ci.

Quand les déblais se composent de vases ou de sables fins, on peut, en les mélangeant avec un assez grand cube d'eau, les faire mouvoir par pression ou aspiration et les conduire à des distances relativement grandes; c'est ce qui se fait à l'aide de dragues avec tuyaux de refoulement.

Citons quelques exemples :

La drague à long couloir employée au creusement du canal maritime de la basse Loire, a 28 mètres de longueur et 6 mètres de largeur de coque. Une machine à vapeur, de la force de 50 chevaux, fait mouvoir la chaîne à godets; une machine verticale à deux cylindres actionne les treuils de manœuvre (Pl. XXII, fig. 4).

Le couloir, en tôle d'acier, se trouve à son extrémité supérieure à 0^m,80 sous le point où les godets déversent les déblais et s'avance à 46^m,75 de l'axe de la drague; il est suspendu par des câbles en acier à une bigue de 25 mètres de hauteur, formée de deux montants en pitchpine et installée sur deux pontons en fer reliés à la drague par tribord. Cette bigue est tenue en position à l'aide de câbles en acier, fixés à la tête de la drague; elle est en outre soutenue par deux contrefiches reposant sur le bord extérieur du dernier ponton. Un ponton, établi à bâbord, sert à maintenir la drague en équilibre; il est suspendu par des chaînes à une petite bigue installée sur la drague et attachée elle-même, au haut de celle-ci, par des câbles en acier. Ce ponton porte un lest de 32 tonnes, susceptible d'être augmenté ou diminué à volonté.

Les déblais des godets sont entraînés dans le couloir par un jet d'eau fourni par trois pompes, dont l'une est placée sur le ponton-contre-poids et mise en mouvement par une locomobile de 20 chevaux, et les deux autres, sur la drague, où elles prennent vapeur au même générateur qui alimente les machines de celle-ci. Ces pompes fournissent 450 mètres cubes d'eau par heure; pour que l'entraînement des matières soit complet, il faut que leur volume soit délayé dans un volume d'eau double.

Cette drague, qui enlève 160 mètres cubes à l'heure, a coûté 270,000 francs.

Aux travaux de creusement du canal maritime de la basse Loire, on s'est servi aussi d'une drague à tuyaux, de mêmes dimensions que la précédente, et dont la machine qui agit sur la chaîne à godets a également une force de 50 chevaux. La machine à vapeur verticale, à deux cylindres, qui actionne les treuils, fait en même temps marcher un diviseur placé directement sous le point de déversement des godets (Pl. XXII, fig. 5). Cet appareil, qui comprend deux arbres armés de lames tranchantes et tournant en sens contraire, divise la vase compacte et consistante amenée par les godets, en tranches de 0^m,160 d'épaisseur maximum ; il reçoit son mouvement par l'intermédiaire d'une transmission par friction, de façon à s'arrêter quand un corps dur s'y présente. Une pompe, de 0^m,25 de diamètre, installée sur le pont de la drague et mise en mouvement par une locomobile de 25 chevaux de force, projette sur les lames du diviseur environ 11,000 litres d'eau par minute ; les matières draguées sont ainsi entraînées dans un puisard rectangulaire de 1^m,55 sur 1^m,25, et tombent sur une grille horizontale à lames tranchantes espacées de 0^m,140, puis sur une autre inclinée à 40°, avec lames tranchantes distantes de 0^m,08, et enfin sur le fond, qui est disposé en plan incliné au niveau du pont de la drague ; elles sont alors fort divisées et mélangées d'environ 85 pour 100 d'eau. Une deuxième pompe de 0^m,175 de diamètre, mise en marche par une locomobile de 20 chevaux de force, placée sur un ponton solidaire avec la drague par bâbord, projette de l'eau dans le puisard, à raison de 4200 litres à la minute et sous forme d'une nappe de 0^m,045 de hauteur, qui s'étale à la partie supérieure du fond ; ce jet d'eau chasse la vase dans le tuyau d'aspiration d'une pompe du système Dumont, de 0^m,30 de diamètre, installée, avec la locomobile de 30 chevaux de force qui l'actionne, sur un second ponton relié à la drague par tribord. Une autre pompe, de même puissance et placée dans les mêmes conditions, aspire la vase amenée par la précédente et la refoule à son tour dans des tuyaux en fer de 0^m,30 de diamètre. La vase est conduite à 200 ou 300 mètres de distance et à une hauteur de 5 à 6 mètres avec une vitesse de 4 mètres par seconde. La drague enlève et transporte en moyenne 120 mètres cubes de déblais à l'heure. Elle a coûté 320,000 francs⁽¹⁾.

Les dragues qui ont fonctionné au nouveau canal d'Amsterdam et qui ont été construites par la firme Thomas Figuee de Haarlem, étaient munies d'un propulseur qui refoulait les déblais sur les berges du canal. Il consiste en un cylindre vertical, recevant les déblais par l'intermédiaire d'un petit couloir. Une pompe centrifuge de 1^m,066 de diamètre, à deux ailettes et faisant 230 tours à la minute, est fixée horizontalement à la partie inférieure du cylindre et reçoit

(1) M.M. LEFORT ET CHARBON. *Annales des Ponts et chaussées de France*. Année 1887.

son mouvement de la machine même de la drague, par l'entremise de deux roues d'angle, dont l'une est calée sur un arbre horizontal, portant à son extrémité une poulie actionnée par une courroie. Cette pompe qui doit toujours se trouver un peu en dessous du niveau du canal, amène de l'eau par un conduit placé inférieurement dans le prolongement de son axe, pendant que les matières draguées sont déversées dans le cylindre, et elle refoule le mélange avec force dans des tuyaux flottants. Ceux-ci sont formés d'une série de tubes en bois de 0^m,40 de diamètre, réunis entre eux et à l'emmanchement au moyen de raccords flexibles en cuir, enveloppés de bandes en fer; ils peuvent suivre les sinuosités du terrain, ainsi que les mouvements de la drague; les tuyaux qui reposent sur l'eau sont soutenus par des flotteurs. La distance horizontale de transport a été portée jusqu'à 275 mètres, avec des berges de 1^m,50 de hauteur. Le mélange dans les tubes flottants se composait de 40 à 50 pour 100 de matières solides, vase, argile et sable, et de 50 à 60 pour 100 d'eau. (Pl. XXII, fig. 7).

Ces dragues et leurs accessoires fonctionnent avec une équipe d'ouvriers fort restreinte et exigent peu de frais d'exploitation; leur machine à vapeur a une puissance un peu supérieure à celle des dragues ordinaires sans refoulement, et la dépense en charbon n'est pas augmentée dans de fortes proportions. Il en résulte que le prix du mètre cube n'a pas atteint, dans certains cas, plus de fr. 0,25 à fr. 0,30.

Le dispositif adopté par MM. Couvreur et Hersent, lors de l'approfondissement du canal de Terneuzen, pour le transport hydraulique du produit des dragages est un peu différent :

Les matières extraites furent déversées dans un puits vertical fixé à l'un des côtés de la drague, immédiatement sous les godets, pour y être mélangées avec l'eau projetée par une pompe centrifuge. Le mélange pénétrait sous une certaine charge dans un tuyau flottant, attaché à la partie inférieure du puits et composé de tronçons métalliques réunis par des articulations en cuir. A partir de la rive du canal, le tuyau reposait sur le sol. Une pompe centrifuge, posée vers le milieu de la longueur du tuyau, activait par aspiration l'écoulement des matières fournies par la drague et les refoulait ensuite jusqu'à 8^m,50 de hauteur, pour les déverser à l'air libre dans un couloir qui se prolongeait jusqu'au lieu de déchargement.

La pompe centrifuge, actionnée par une machine de 20 chevaux, était à 130 mètres de la drague, et le déversoir à 70 mètres plus loin. Plus tard, on intercala une seconde pompe dans la conduite, et on est parvenu ainsi à refouler les déblais à environ 1000 mètres de distance.

Il nous reste à dire un mot des *élévateurs flottants* ou *fixes*, destinés à élever et à débarquer, par dragage dans les chalands, les déblais amenés par ceux-ci en un point déterminé des berges du canal ou de la rivière en voie de creusement.

Les élévateurs flottants sont installés sur deux bateaux, reliés par une charpente sur laquelle se trouve le bâti qui porte les chaînes à godets ; le chaland à décharger se place entre les deux bateaux, dont l'un porte la machine à vapeur qui imprime le mouvement aux chaînes à godets, et l'autre la machine et les pompes destinées au refoulement des matières draguées. Les bateaux sont généralement reliés à l'avant et portent de ce côté un bâti, où est installé le treuil à vapeur au moyen duquel on opère le relevage et l'abaissement des chaînes à godets ; ce treuil est muni de tambours permettant de déplacer les chalands à décharger.

Lorsque les matières élevées doivent être transportées à une distance qui dépasse celle à laquelle on peut étendre le refoulement, on les déverse dans des wagons placés sur rails le long de la berge. Dans ce cas le déchargement se fait à l'aide d'un déversoir ordinaire, mais placé assez haut pour lui donner une inclinaison suffisante et qui varie d'ordinaire de 35° à 45°. Il se fait aussi au moyen d'un transporteur formé d'une courroie sans fin en caoutchouc, portée par un longeron ; mais ce dispositif coûte cher d'achat et d'entretien et on lui préfère souvent une bande en plaques d'acier, mise en mouvement par des tourteaux.

Une drague avec transporteur de ce système, d'un agencement fort ingénieux, a fonctionné au creusement du canal de Manchester. Elle a été construite par M. John Price à Grappenhall, Cheshire.

L'appareil transporteur comprend une poutre horizontale A, formée de 4 pièces en bois de pitchpine de 28^m,65 de longueur et 0^m,30/0^m,10 d'équarrissage, raidies horizontalement et verticalement au moyen de tirants en fer. Cette poutre armée en treillis a 1^m,52 de largeur et 1^m,98 de hauteur, et repose à ses extrémités sur deux pontons de 21^m,30 de longueur, 4^m,27 de largeur et 1^m,00 de tirant d'eau en charge (Pl. XXIII, fig. 1, 2 et 3) ; aux rebords supérieurs de l'une de ses extrémités est assemblée une volée mobile B, de 19^m,80 de longueur, formée également d'une poutre armée et suspendue par un système de câbles en fils d'acier, avec brides à poulies, à deux mâts FF, fortement reliés et raidis ; deux autres câbles en acier, fixés d'un côté à la volée, passent au-dessus de la poulie R et sont attachés aux points d'appui de la poutre horizontale, au droit du ponton extérieur Z ; ils sont pourvus d'appareils tendeurs. Les mâts précités sont formés de longues pièces en bois de mélèze de 0^m38 de diamètre au gros bout et de

0^m,23 au sommet; ils sont raidis par des tirants en fer forgé dans une direction, et par des supports en bois et attaches diagonales dans la direction perpendiculaire à la première.

La poutre A repose sur le ponton Z par l'intermédiaire d'un système de support très solide, qui comprend un axe de rotation horizontal et un pivot vertical, permettant un certain angle d'oscillation du ponton, sans fatigue pour la poutre; sur l'autre ponton, portant la jonction de celle-ci avec la volée, la poutre A est fixée au pied des deux mâts FF, lesquels sont solidement dressés sur une forte base en fer de fonte, placée sur un pivot et munie à ses extrémités de deux roulettes transmettant tout le poids porté par les mâts sur des voies circulaires établies sur le pont (Pl. XXIII, fig. I). Avec cette disposition, le bâti se prête à subir les différences de mouvement des deux pontons dans le plan horizontal.

La poutre horizontale A, de même que la volée, portent supérieurement et inférieurement une série d'axes en acier avec des roulettes saillantes, sur lesquelles passe une bande ou courroie sans fin; celle-ci s'enroule à l'extrémité de la poutre longitudinale sur un tourteau hexagonal moteur E, reçoit en un point quelconque situé entre les deux pontons les matières draguées, et va les déverser dans des wagons circulant sur le bord du canal à l'extrémité de la volée; après avoir tourné autour du tourteau hexagonal G, la courroie retourne le long de la face inférieure de la volée et de la poutre horizontale. La fig. 3 représente la coupe transversale de cette poutre et de la courroie sans fin.

Une machine de 10 chevaux de force, avec chaudière verticale, actionne le tourteau hexagonal E par l'intermédiaire de l'arbre K, en lui imprimant 5 $\frac{1}{2}$ révolutions par minute et en faisant marcher la courroie sans fin à raison de 20 mètres par minute. Pour éviter que le déversement de gros matériaux, en arrêtant subitement la bande, n'occasionne des dégâts aux parties constitutives de l'appareil moteur, l'un des axes de celui-ci porte des disques à friction.

La bande du transporteur est construite en planches de bois d'orme de 1^m,22 de largeur, rivées à deux chaînes sans fin et protégées supérieurement par des fers demi-circulaires; les parties de la bande sans fin ainsi constituées portent sur les roulettes cc par l'intermédiaire des chaînes, mais en retournant en dessous de la volée et de la poutre horizontale, elles se présentent évidemment inversement, et ce sont les liens en fer extérieurs de la bande qui portent sur les roulettes DD, au lieu des chaînes; les axes de ces dernières roulettes sont engagés dans des étriers fixés à la partie inférieure de la volée. La courroie a une longueur totale de 100 mètres environ, et présente à chaque liaison de ses parties constitutives, une rainure transversale en vue d'empêcher le glisse-

ment de la matière draguée sur la volée mobile, quand celle-ci atteint son inclinaison maximum. Les joints de la courroie sont recouverts d'une mince plaque en fer, afin d'en assurer la marche régulière et de prévenir l'usure des arêtes en bois.

Au pied des mâts, immédiatement en dessous de la courroie chargée, se trouve un treuil à la main destiné à soulever ou à descendre la volée à l'aide de câbles en acier, passant du tambour, entre les deux mâts et au-dessus de leur sommet, jusqu'à cette poutre mobile, à laquelle ils sont reliés. Ce treuil dont le bras de la manivelle fait environ 36 tours pour une révolution du tambour, permet à quatre hommes de soulever la volée, qui pèse en charge 23 tonnes.

Les pontons portent trois treuils; deux servent à amarrer les postes sur le canal au moyen du câble de commande et à installer le transporteur près de la drague, de façon à y assurer une déposition précise des matériaux, sans versement irrégulier. L'autre treuil agit sur des câbles passant en travers du canal et met les pontons en ligne droite pour opérer le chargement dans les wagons.

La drague qui fonctionnait avec l'appareil transporteur que nous venons de décrire est à godets et à élinde centrale; afin de permettre son passage à travers les écluses, elle est construite en deux parties, réunies et montées ensuite sur le lieu de travail; sa puissance de rendement est de 500 tonnes (environ 312 mètres cubes) par heure. Au lieu d'avoir un couloir de déversement ordinaire à bâbord et un autre à tribord, elle n'en a qu'un seul placé à l'arrière, ce qui suffit, puisque le départ des wagons remplis et leur remplacement par des wagons vides se fait de manière à éviter toute interruption. Ce couloir est télescopé, c'est à dire qu'il comprend un auget glissant dans un autre fixé à la drague; le mouvement est produit par une crémaillère avec pignon, actionné au moyen de deux roues dentées avec chaînes sans fin, par un arbre inférieur sur lequel est monté une roue à manivelle. La partie mobile du couloir peut ainsi être avancée et retirée de façon à diriger convenablement le déversement des matières draguées.

Au canal de Gand à Terneuzen, le couloir adapté aux élévateurs flottants avait 30 mètres de longueur et partait d'un point situé à 2 mètres sous le tourteau; il était de forme tubulaire et soutenu par trois câbles fixés à une chèvre, qui se trouvait sur le côté de l'un des bateaux; avec une pente de 0^m,04, les terres étaient déchargées à 30 mètres de distance et à 6^m,80 au-dessus du niveau de flottaison de l'appareil. Lorsque les déblais devaient être déposés à 300 ou 400 mètres du point de débarquement, on faisait déboucher le couloir dans un autre entièrement ouvert et simplement posé sur le sol, sous une pente

de 0^m,01 par mètre, qui permettait d'écouler le mélange d'eau et de sable avec une vitesse suffisante pour ne pas nuire au travail de l'élévateur; un homme était spécialement chargé d'enlever, à leur sortie du couloir fermé, les gros blocs et pierres qui étaient quelquefois entraînés, et d'éviter ainsi les obstructions de la conduite(*).

Aux travaux du Weser, les matières sont également reprises des chalands au moyen de dragues à godets, et les déblais, délayés dans un volume d'eau 9 fois plus grand environ, sont aspirés au moyen d'une forte pompe centrifuge à axe horizontal, qui les refoule vers le lieu de déversement, par l'intermédiaire d'un système de tuyaux flottants et de tuyaux posés sur la rive, à des distances mesurant 400 à 500 mètres en moyenne. Les tuyaux fixes sont en tôle et ont 0^m,50 de diamètre; ils sont formés de tronçons de 6 mètres de longueur, avec quelques coudes et reliés au moyen de brides. L'articulation des tuyaux flottants est obtenue à l'aide d'un bout de tuyau formé à l'intérieur de cuir épais, et à l'extérieur d'un tissu en fil de fer, le tout renforcé par des frettes en fer assez rapprochées. Chacun de ces bouts de tuyau est soutenu sur l'eau par deux cylindres en tôle de même longueur, placés l'un au-dessous de l'autre et réunis par un cadre en bois.

Une autre disposition en usage au Weser consiste à élever le mélange directement à l'aide de la pompe au moyen d'un tuyau d'aspiration; mais le premier système, tout en exigeant un matériel plus coûteux et qui semble plus compliqué, est plus économique; le tuyau d'aspiration agissant sur un fond inégal, élève très souvent de trop grandes quantités d'eau, tandis que la drague à godets produit un travail plus régulier et permet à la pompe de donner beaucoup plus de rendement; la chaîne et les godets à employer pour élever des chalands les matières fraîchement draguées peuvent d'ailleurs être de construction légère(*).

Les élévateurs fixes sont installés sur la crête des berges et portés par des échafaudages sur pilotis; ils comprennent une ou plusieurs chaînes à godets qui draguent les matières des chalands et les élèvent jusqu'au déversoir, d'où elles sont conduites directement ou par l'intermédiaire de couloirs jusqu'au lieu de déversement, ou chargées en wagons. Ces appareils coûtent beaucoup moins cher que les élévateurs flottants, et ils conviennent surtout dans le cas où l'on peut déposer à terre et en un même point, une masse de déblai assez grande pour ne pas être trop fréquemment forcé à démonter et à déplacer l'installation.

(*) E. BRAUN. *Notice sur le canal de Terneuzen et le port de Gand.*

(*) FRANZIUS. *Mémoire cité.*

En terminant les considérations développées au sujet des dragues à godets, disons d'une manière générale, que ces engins conviennent plus spécialement pour des déblais à faire sur de grandes étendues, en des endroits convenablement abrités de la houle. Les dragues à godets ordinaires ne se prêtent pas à fonctionner à l'entrée des ports en plage de sable, car les lames, lorsqu'elles sont un peu fortes, occasionnent des chocs violents aux élinde, par suite de leur connexion rigide avec le bateau qui les porte; dès que la levée de la houle atteint plus de 0^m,20 à 0^m,30, il devient dangereux de travailler avec des dragues à godets dans une mer ouverte. D'autre part, ces engins ont besoin d'un ancrage encombrant et qui exige, à chaque reprise du travail, des préparatifs assez longs d'installation.

Ces inconvénients sont beaucoup moindres quand la drague est munie d'un appareil propulseur ou mieux encore, quand elle porte en outre elle-même ses déblais.

On préfère généralement aujourd'hui les dragues à godets à une élinde centrale; celles à deux élinde offrent divers inconvénients : les deux chaînes ne travaillent pas toujours également, le terrain n'étant pas absolument de même composition, ni de même profondeur de chaque côté de la drague; elles donnent à celle-ci plus de largeur; ensuite il y a nécessairement une perte de temps chaque fois qu'on substitue un chaland à un autre. Toutefois, ces dragues offrent l'avantage d'être d'un entretien plus facile et de pouvoir fonctionner, sans dispositif spécial, le long et jusqu'au pied des ouvrages d'art. Les dragues à chaîne centrale offrent une marche plus régulière et elles résistent mieux à la houle; puis lorsqu'on installe à la tête de l'élinde deux couloirs déversant l'un à droite, l'autre à gauche, il n'y a pas d'interruption de travail, quand un chaland est rempli et remplacé par un autre.

Il convient, au point de vue de l'économie et quand le tirant d'eau dont on dispose le permet, d'employer des dragues puissantes, car parmi les facteurs qui interviennent dans le prix du mètre cube dragué, le combustible ne représente, avec les machines en usage de nos jours, que 8 à 15 pour 100 environ de la dépense totale; ce sont les frais résultant du personnel et de l'entretien du matériel qui ont une importance prépondérante; or ces frais n'augmentent pas, à beaucoup près, comme les dimensions de la drague.

La forme et la capacité qu'il convient de donner aux godets dépend de la nature des déblais à extraire. Pour creuser des terrains peu consistants, on peut leur donner une capacité relativement grande; elle atteint dans certaines dragues, de 500 à 625 litres. Pour travailler dans le sable et le sol dur, les godets

doivent avoir des dimensions notablement moindres, 200 à 300 litres, et être construits de façon à pénétrer dans les couches à enlever sans subir de déformations apparentes. Enfin si l'on se trouve en présence de terrains de nature variable sous le rapport de la densité et de la cohésion, il est bon de disposer de godets de plusieurs types applicables à la même drague.

Dragues à cuiller. — Ces dragues réalisent, d'une manière très ingénieuse, le mode d'action de la drague à cuiller à bras, au moyen de la vapeur. Elles sont décrites en détail dans une notice fort intéressante sur les divers procédés de dragage employés dans les ports de l'Amérique du Nord, publiée aux Annales des Ponts et Chaussées de France, année 1880, par M. l'Ingénieur en chef Lavoigne, auquel nous empruntons les renseignements qui vont suivre :

Parmi les dragues de ce système, celle connue sous le nom de drague Osgood est une des meilleures ; la coque du bateau porte sur l'avant une grue servant à manœuvrer la cuiller A (Pl. XXIV, fig 2). Cette cuiller, de forme cylindrique, est en tôle à tranche acérée et d'une contenance de $1/2$ mètre cube à 2 mètres cubes ; le fond en est mobile et s'ouvre au moyen d'un déclanchement. Elle porte latéralement une articulation, par l'intermédiaire de laquelle elle est fixée au manche M ; l'inclinaison de son axe par rapport à celui du manche peut être réglée à volonté par des chaînes de longueur variable. La cuiller est suspendue à un palan à trois brins, à l'aide duquel se fait le levage, et dont la chaîne s'enroule sur deux poulies portées par le sommet de la grue. Celle-ci est composée de deux bras B, B', formant poutre armée et reliés par des entretoises ; une grande roue horizontale R, placée un peu au-dessus du pivot, sert à faire pivoter la grue au moyen d'une chaîne sans fin s'enroulant sur un tambour établi à l'arrière.

Le manche de la cuiller se compose de deux pièces jumelles passant entre les moises qui constituent les bras de la grue ; ces pièces sont munies de crémaillères engrenant avec des pignons, dont l'arbre O repose sur le bras supérieur de la grue et qui reçoit son mouvement d'un autre pignon, placé plus bas, par l'intermédiaire d'une roue à empreintes r et d'une chaîne Galle. Ce dernier pignon peut être mis en marche dans un sens ou dans l'autre, ou être arrêté dans une position déterminée, au moyen d'un tourniquet T.

Une chaîne de rappel t , s'enroulant sur un treuil spécial X, est attachée à la face inférieure du manche, près de la cuiller. Ce treuil, de même que le treuil de levage, reçoit le mouvement d'un arbre moteur commun Z, au moyen de roues dentées et de pignons calés sur celui-ci et commandés par des manchons d'embrayage ; le même arbre moteur porte encore un troisième manchon d'embrayage,

qui peut commander l'un ou l'autre des deux nouveaux pignons appartenant à un système d'engrenages coniques; celui-ci fait tourner dans un sens ou en sens contraire le tambour D sur lequel s'enroulent les chaînes de l'appareil de rotation de la roue.

Au moyen de ces divers mécanismes, on règle tous les mouvements à imprimer au manche de la cuiller pour faire descendre cette dernière, enlever et remonter les matières à draguer, et pour vider ensuite la cuiller dans les chalands, en tirant un loquet qui en ferme le fond. Une évolution complète de la cuiller demande environ une minute.

Les machines placées à l'arrière du bateau sont reliées à la coque par de forts sommiers. Elles sont à haute pression et commandent directement l'arbre moteur des treuils de manœuvre. Le bateau est habituellement maintenu en position au moyen de béquilles, munies chacune de chaînes de levage et placées une en arrière et deux sur l'avant. Ces béquilles sont manœuvrées au moyen de treuils à la main.

Il existe plusieurs systèmes plus ou moins perfectionnés de la drague à cuiller; ils sont décrits dans le mémoire de M. Lavoinnie.

Une drague, du type que nous venons de mentionner, de 19^m,50 de longueur, 7^m,80 de largeur et 2^m,10 de creux, portant une machine de 60 chevaux nominaux, coûte environ 120.000 fr. Dans la vase molle, elle enlève près de 100 mètres cubes de déblai par heure de travail. L'équipage comprend 1 mécanicien, 1 chauffeur et 3 manœuvres. La consommation de charbon est approximativement de 1000 kilogrammes par journée de dix heures.

Les dragues à cuiller présentent l'avantage de n'élever les déblais qu'à la hauteur strictement nécessaire. Elles sont d'un usage facile pour le creusement de fouilles de forme irrégulière ou d'un accès difficile par suite du voisinage des navires, puisqu'il n'est pas nécessaire, comme pour les dragues à godets, d'amener le bateau-dragueur à l'endroit même qu'il s'agit d'approfondir, ni de le tenir sur des ancres. Avec ces engins on peut aussi, en donnant une direction convenable au manche de la cuiller, exercer une pression plus efficace sur le fond, quand les terrains sont difficiles à désagréger. Mais leur action étant discontinue, elles sont d'un emploi moins avantageux que les dragues à godets, dans tous les cas où l'on a de vastes surfaces, de résistance uniforme, à approfondir.

Elles ne pourraient convenir pour travailler à la mer avec de la houle; quand le bateau monte avec la lame, la cuiller se soulève et le mouvement de la machine s'accélère pour ralentir ensuite brusquement au moment où la cuiller touche de nouveau le fond; d'ailleurs le mode de fixation

du bateau au moyen de béquilles ne serait pas possible, pas même par une mer faiblement agitée.

Dragues à mâchoires dites *clam shells*. — Le principe de ces dragues est connu depuis longtemps; il consiste à faire pénétrer dans le sol deux cuillers en coquilles, montées sur une même charnière horizontale, et à les rapprocher ensuite pour les remonter verticalement avec la matière emprisonnée.

Une des plus anciennes dragues à mâchoires américaines est celle de Morris et Cumings (Pl. XXIV, fig 1). Elle se compose principalement d'un cadre vertical, suspendu à une grue installée sur un bateau d'une vingtaine de mètres de longueur et de près de 10 mètres de largeur. Ce cadre porte, à sa partie inférieure, deux arbres parallèles très rapprochés *a, a'*, autour desquels tournent les deux mâchoires, dont la forme est celle d'un quart de cylindre et qui peuvent se rejoindre par le bas. Un troisième arbre *b*, fixé également sur le cadre, se trouve au-dessus des deux premiers; il porte au milieu une poulie d'un certain diamètre et, vers les extrémités, des poulies plus petites; celles-ci reçoivent des chaînes de rappel, attachées à un arbre mobile *c*, glissant dans des rainures pratiquées dans le cadre, et reliées par des bras articulés aux deux fonds verticaux de la caisse à mâchoires. L'arbre mobile peut être soulevé au moyen d'une chaîne, qui passe sur une poulie portée par la grue et s'enroule sur un premier treuil de levage B; une autre chaîne est attachée par l'une de ses extrémités sur la gorge de la grande poulie de l'arbre fixe, passe sur une autre poulie fixe au sommet de la grue et s'enroule sur un second treuil, dont l'axe est placé sur le prolongement de l'axe du premier. Le cadre est surmonté d'ordinaire de deux perches glissant dans des étriers portés par la flèche de la grue. Elles servent à guider le cadre et facilitent en même temps, par leur poids, l'enfoncement de la caisse A.

Comme pour les dragues à cuiller, le bateau est fixé sur le fond à l'aide de béquilles; on se borne parfois à l'emploi d'une seule béquille placée près de l'arbre de rotation de la grue.

Pour faire fonctionner la drague, on ouvre la caisse en déviant la chaîne de l'arbre fixe *b* et on la laisse descendre sur le fond en déviant simultanément les deux chaînes; les mâchoires, dont les parois inférieures se présentent à peu près verticalement sur le fond à draguer, pénètrent dans le sol sous l'action de leur poids, pendant que l'arbre mobile, par la pression du terrain, remonte jusqu'au sommet de sa course. Puis on ferme la caisse en virant sur la chaîne de l'arbre fixe, ce qui amène le rapprochement de ce dernier avec l'arbre mobile, par l'intermédiaire des petites chaînes de rappel, et, par suite, la jonction de la partie inférieure de chacune des mâchoires. On continue alors à agir sur la

chaîne de la grande poulie, et, comme la traverse mobile est à fond de course, la poulie ne tourne plus et la caisse remonte avec la matière détachée du sol. Lorsque la caisse est arrivée à la hauteur convenable, les deux chaînes se trouvant alors tendues, on imprime un léger excédant de traction à l'une ou à l'autre de ces chaînes, qui vont s'enrouler sur des treuils, placés à une certaine distance de part et d'autre de l'axe de la grue, et l'on amène la caisse au droit d'une gabarre, dans laquelle on la vide en tirant sur la chaîne de l'arbre mobile.

L'appareil dont nous venons d'indiquer les parties essentielles, a reçu de nombreuses modifications, qui diffèrent surtout par la disposition et le mode de fermeture de la caisse à mâchoires et conviennent mieux les unes que les autres, suivant la nature des terrains à creuser. C'est ainsi que pour attaquer un sol très dur, ou pour enlever des débris d'épaves ou autres, on emploie souvent un grappin formé de six pinces en fer de la forme *mnpq*, disposées parallèlement les unes à côté des autres le long d'un axe *p*, et chacune d'elles dans un plan normal à celui-ci. (Pl. XXIV, fig. 1^{bis}.) Un autre axe *A* sert de charnière aux bras *Am*, *An*, qui agissent sur les leviers *mp*, *np*, des pinces. Le grappin est suspendu à une chaîne *oz*, passant sur une poulie; une seconde chaîne *o'y*, reliée aux deux chaînes *o'c* et *o'd*, passe sur une autre poulie.

Pour saisir le bloc à enlever, on tend la chaîne *o'y* et on lâche *oz*, ce qui écarte les segments *pcq* et *pdq*; on lâche alors *o'y* et on tend *oz*, et on monte le grappin (*).

Les dragues de ce système, comparées aux dragues à échelle ou à cuiller, offrent, en général, l'avantage d'avoir des parties constitutives plus simples et de produire par là même un plus grand effet utile; elles permettent en outre de travailler à de fortes profondeurs au pied des ouvrages d'art et dans des parties resserrées des ports; elles se prêtent aussi à l'extraction rapide et économique de blocs de toutes dimensions sous l'eau. Mais elles ne fonctionnent économiquement que lorsqu'il s'agit d'enlever des couches d'une certaine épaisseur dans des terrains meubles et peu résistants. Dès que le sol présente un certain degré d'agrégation, le poids de la caisse devient insuffisant pour y faire pénétrer les bords des mâchoires; c'est ce qui arrive pour l'argile compacte, surtout quand elle est mêlée de sable ou de gravier. Le rendement de la drague devient aussi notablement moindre dans le sable fin, agglutiné par de la vase; il est plus considérable dans les graviers et les galets mobiles.

Avec des dragues du système Morris et Cumings, travaillant en terrains tendres pour l'approfondissement de divers ports de l'Amérique, le prix du

(*) LAGASSE. *Annales des travaux publics de Belgique*. Tome XXXV.

mètre cube variait de 0,65 fr. à 0,75 fr., y compris le transport par chalands remorqués à une distance de plusieurs kilomètres, et en tenant compte des frais d'intérêt et d'amortissement du matériel.

M. Lavoigne attribue aux dragues à mâchoires la qualité de pouvoir travailler dans les rades non abritées et dit à ce sujet :

„ Le remplissage de la caisse se faisant surtout par l'action de son poids, „ ne peut se ressentir que faiblement de l'agitation de la mer; l'effet du ressac „ peut seulement l'empêcher parfois d'être complet en précipitant la fermeture de la „ caisse. On peut dire que la drague à mâchoires est essentiellement marine en „ ce qu'elle n'accomplit qu'une opération tout-à-fait semblable au mouillage et „ au relevage d'une ancre, opération que tous les navires sont en mesure de „ faire par les gros temps. „

Nous ne croyons pas cependant que cet engin puisse être employé avantageusement à l'approfondissement de la barre à l'entrée des ports, comme ceux de la côte des Flandres, où l'on doit compter avec des courants de marée dont la vitesse atteint jusqu'à 1^m,50 et 1^m,80 par seconde. Car, dès que le vent soufflerait transversalement par rapport à la direction des courants, une houle un peu forte produirait sur le bateau un mouvement de roulis dangereux, à cause du grand poids de la caisse, et compromettrait son équilibre chaque fois que celle-ci serait arrivée à la hauteur nécessaire pour opérer le déversement des matières draguées.

Il résulte d'ailleurs des essais qui ont été faits, en 1881, à la nouvelle embouchure de la Meuse, que les clam shells, quand il s'agit de creuser dans le sable, fournissent un travail utile bien moindre que les dragues à aspiration dont il sera parlé tantôt. Ces essais eurent lieu dans la passe du Westgat, par des profondeurs de 6 à 7 mètres sous la haute mer, avec une drague de MM. Priestmans frères, de Londres.

La drague Priestmans consiste en une grue tournante à vapeur, à laquelle est suspendue une double mâchoire et que l'on peut installer à terre sur une plate-forme roulante, le long d'un quai par exemple, ou sur un bateau. Le mécanisme qui sert à ouvrir et à fermer les deux mâchoires ressemble beaucoup à celui de la drague Morris et Cumings. (Pl. XXII, fig. 6.) L'arbre mobile est relié à l'arbre fixe par deux chaînes et oscille verticalement dans les rainures du cadre; les bielles reliant les deux mâchoires avec l'axe mobile s'attachent sur la génératrice supérieure de celles-ci et non sur les parois latérales, de sorte que les caisses occupent toute la largeur du cadre. Les mâchoires diffèrent de construction suivant qu'elles doivent enlever de la vase molle, du gravier et sable compact ou de l'argile et des galets. Dans le premier cas, elles

consistent en deux quarts de cylindre à surface pleine avec tranche acérée; dans le second cas, le bord de chaque mâchoire est garni de crocs, et les saillies d'une mâchoire correspondent aux creux de l'autre; dans le troisième cas, les mâchoires forment une claire-voie dont les parties constitutives se terminent en lames. La machine est à double cylindre, alimentée par une chaudière verticale, et fait équilibre à la grue en charge.

La drague qui fut mise en œuvre à la nouvelle Meuse était une de celles qui servent au port de Hull à extraire les vases que les eaux de l'Humber déposent dans les bassins; elle se compose d'un navire en fer à hélice, portant lui-même ses déblais, de 33 mètres de longueur, 8^m,20 de largeur et 3^m,00 de creux. La machine à vapeur a 22 chevaux de force et peut donner au bateau une vitesse de 6 milles à l'heure. La chaudière fournit en même temps la vapeur nécessaire au fonctionnement de deux grues draguantes dont la caisse, à segments cylindriques, pèse 2000 kilogrammes. Celles-ci sont placées, l'une à l'avant du navire, et l'autre au tiers de sa longueur, à partir de l'arrière. Les puits destinés à recevoir les terres extraites occupent la partie intermédiaire du bateau; ils ont une capacité de 200 mètres cubes.

D'après les constructeurs, la drague avec ses deux élévateurs aurait dû donner 200 mètres cubes de déblais à l'heure; mais cette puissance, qui s'applique sans doute à l'extraction de vases au port de Hull, fut loin d'être atteinte. On n'obtenait en moyenne que 60 mètres cubes, soit 200 mètres cubes en 3 1/2 heures environ. Comme il faut 1 1/2 heure pour transporter et décharger les déblais en mer, à 5 1/2 kilomètres de la tête des jetées, le cube obtenu n'était que de 400 mètres par jour de 10 heures de travail, résultat de beaucoup inférieur à celui qui est atteint à l'aide des dragues à aspiration⁽¹⁾.

Au port de Dunkerque, on a également employé une drague Priestmans pour opérer des nettoyages dans des écluses, sur des avant-radriers ou au pied des murs de quai. Elle comprenait une grue installée sur un ponton et munie d'un grappin, d'une contenance d'un demi mètre cube; la grue était commandée par une machine de 15 chevaux indiqués. Les résultats obtenus dans le sable n'ont pas été satisfaisants; les mâchoires, dont les bords inférieurs étaient cependant dentelés pour mieux attaquer le sol, ne pénétraient pas suffisamment dans le terrain et remontaient mal remplis; mais dans la vase molle, le rendement était beaucoup plus grand. Cette drague a coûté 30,000 francs, dont 12,000 pour le ponton.⁽²⁾

(1) LEEMANS. — *Tijdschrift van het koninglijk Instituut van Ingénieurs. Année 1883-1884.*

(2) EYRIAUD DES VERGNES. — *Mémoire cité.*

Les dragues Priestmans sont d'un usage assez répandu dans les ports anglais, où on les utilise plus spécialement au dévasement des bassins. D'ordinaire, on en installe deux et quelquefois quatre sur un porteur à vapeur, de sorte que le navire sert à la fois à l'extraction et au transport des déblais. Dans ces conditions, elles semblent, dans certains cas, être d'un emploi plus économique que les dragues à godets.

Dragues à aspiration. — Ce sont en réalité des pompes à sable ou à vase, installées sur des bateaux.

Des appareils de ce genre ont été employés par M. Leferme pour le dévasement du port de St. Nazaire.⁽¹⁾ Ils comprennent un bateau en fer à hélice, sur lequel est placée une machine à vapeur, qui, pendant le dragage, fait marcher des pompes à piston par l'intermédiaire d'une bielle et d'un balancier, actionnés eux-mêmes par un arbre de couche établi parallèlement à la quille (Pl. XXIV, fig. 3). Les vases enlevées sont conduites dans des couloirs inclinés et se déversent dans de grandes caisses ou compartiments, réservés dans le bateau et munis de soupapes de décharge. Les tuyaux aspirateurs des pompes sont réunis par une crépine horizontale, plongeant de 0^m,40 à 0^m,50 dans la couche de vase, mais qui ne peut y être engagée davantage; sans cela, il devient difficile de faire avancer le bateau et il se forme bientôt au-dessus de la crépine une espèce d'entonnoir, conduisant aux pompes autant d'eau que de vase.

Lorsque les caisses sont remplies, la transmission du mouvement se fait sur l'hélice, et le bateau va porter lui-même, à une distance de 1500 mètres au large du port, les matières extraites du chenal et des bassins.

Les bateaux-pompeurs de ce système ne peuvent servir qu'à l'extraction de vases entièrement privées de sable et se tassant avec lenteur, comme celles qui se déposent au port précité. Le prix moyen de revient du mètre cube de vase extraite et transportée en mer, y était de 0,48 fr., en tenant compte des frais d'amortissement du matériel.

Dans les dragues à suction, destinées à approfondir les fonds de sable à l'embouchure des rivières ou à l'entrée des ports, l'aspiration des matières se fait généralement au moyen de pompes centrifuges. Pareils engins ont été employés, il y a plusieurs années déjà, aux Etats-Unis. Un des meilleurs, jusqu'en 1876, était la drague Henry Burden. (Pl. XXIV, fig. 4). Le bateau est à aubes; il a 40 mètres de longueur, 12^m,40 de largeur et 2^m,10 de tirant d'eau à pleine charge; il porte une machine de 120 chevaux et sert à la fois à l'extraction et au transport des déblais. La pompe centrifuge, installée sur le pont, aspire le

(1) LEFERME. *Annales des Ponts et Chaussées de France*. Année 1869.

sable à l'aide d'un tuyau flexible terminé inférieurement par une herse, dont les dents traînent sur le fond et mettent le sable en mouvement lorsque le bateau est en marche. Les matières élevées sont déversées dans une série de trémies par des portes que l'on ouvre successivement sur le parcours d'un auget régnant sur toute la longueur du pont. Aussitôt le remplissage terminé, on relève le tuyau d'aspiration et l'on conduit le bateau au lieu de déchargement.

La drague Henry Burden a fonctionné à l'embouchure des rivières de Géorgie et de Virginie; elle donnait un produit de 50 mètres cubes par heure.

En 1877, une drague du même type a été construite pour les travaux d'amélioration de l'embouchure du Mississipi; le bateau, qui est en fer et à aubes, présente 56^m,90 de longueur, 9^m,60 de largeur et 3^m,00 de creux; il sert à approfondir les parties de la barre les plus exposées à la houle. La pompe centrifuge a 1^m,80 de diamètre; le tuyau d'aspiration en a 0^m,67 et peut plonger jusqu'aux fonds de 8^m,40, sous une inclinaison de 30°. Les trémies, destinées à recevoir les matières aspirées, sont au nombre de quatre; elles peuvent se décharger à volonté par le bas ou latéralement, et offrent une capacité totale de 384 mètres cubes. A l'aide de cette drague, on élève et on transporte, en moyenne, 80 mètres cubes de déblais par heure.

Une autre drague, basée sur le même principe, est celle du système Newton, mais qui opère la désagrégation du fond au moyen de jets d'eau à haute pression, occasionnant en même temps des remous qui entraînent les matières détachées vers l'orifice du tuyau d'aspiration; pour activer la désagrégation des matières et leur mise en suspension, l'eau comprimée, en sortant des lances, reçoit un mouvement de giration qui lui est imprimé par un ajutage conique avec diaphragme hélicoïdal, formant le bout des lances. L'aspiration se produit par la condensation de la vapeur introduite dans des cylindres spéciaux, où l'on injecte de l'eau froide; le vide ainsi formé dans ces réservoirs y provoque l'entraînement du mélange d'eau et de sable, lequel en est expulsé ensuite et refoulé dans le tuyau de décharge par de la vapeur sous pression. Les cylindres sont remplis et vidés alternativement de 8 à 10 fois par minute.

Des bateaux-dragueurs de ce système ont été mis en activité aux ports de Chicago, de Galveston et de San-Francisco. Celui employé à ce dernier port a la coque en bois et mesure 22^m,50 de longueur, 9 mètres de largeur et 2^m,40 de creux. Une béquille verticale, placée à l'avant, sert à le maintenir en place. Vers le centre de la coque, en avant des chaudières, se trouve une pompe foulante qui alimente trois lances de désagrégation et fournit l'eau pour la condensation de la vapeur dans les cylindres de vide. Ceux-ci sont placés à l'arrière du bateau,

de chaque côté d'un puits vertical qui y est aménagé au milieu ; ils ont une capacité de 2 mètres. La distribution alternative de l'eau et de la vapeur dans les cylindres se fait au moyen d'un appareil spécial, mû par une petite machine. Le tuyau d'aspiration s'embranché au-dessous de la conduite de communication établie entre les deux cylindres de vide, au moyen d'un joint sphérique qui permet de le faire varier suffisamment de direction dans tous les sens ; il est suspendu à des chaînes s'enroulant sur un treuil ; les jets d'eau comprimée viennent déboucher à son orifice inférieur. Pendant son fonctionnement, la drague creuse des fouilles en tournant autour de la béquille à laquelle elle est fixée de l'avant ; on élargit ensuite ces fouilles en faisant avancer dans la direction du bateau l'extrémité du tuyau d'aspiration, ou le bateau lui-même, après avoir soulevé la béquille.

Une drague Newton ne coûte guère plus de 50,000 fr. et n'exige qu'une équipe de 4 à 5 hommes, mais elle ne peut s'appliquer qu'à de faibles profondeurs. Celle qui a travaillé au port de Galveston dans un terrain de gravier, a produit en 1877 un déblai de 360 mètres cubes par heure, élevés à une hauteur de 8^m,40, dont 6 mètres en dessous de l'eau, en consommant environ 500 kilogrammes de houille. Le rapport entre les déblais et le cube total du mélange aspiré par les pompes variait de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{4}$.

En 1874, MM. Plocq et Guillaïn, à cette époque respectivement Ingénieur en chef et Ingénieur ordinaire du port de Dunkerque, voulant suppléer au manque de profondeur de la passe extérieure du chenal de ce port, entretenue jusqu'alors par la seule action des chasses, ont essayé l'emploi du dragage. Après quelques tâtonnements, ils réussirent en 1877 à faire fonctionner régulièrement sur la barre une drague à succion, construite par la compagnie de Fives-Lille et dans laquelle un jet d'eau, lancé de bas en haut au pied du tuyau d'aspiration, contribuait à entraîner les matières mises en mouvement vers la bouche de déversement. Cet engin est mentionné dans la notice de l'Exposition universelle de Paris de 1878, dont nous extrayons la description suivante :

„ Le bateau-extracteur est un navire en fer à hélice de 45^m,00 de longueur, 7^m,70 de largeur et 3^m,10 de tirant d'eau en charge (Pl. XXV) ; il tient bien la mer et porte lui-même ses déblais.

„ Les puits, destinés à recevoir les déblais, sont au nombre de deux et se trouvent au centre du bateau ; ils peuvent contenir ensemble 250 mètres cubes de sable, et présentent, dans le fond, des clapets de vidange.

„ Deux élinides sont suspendues de chaque côté à l'arrière et le long des flancs du bateau ; chacune d'elles se compose d'une couple de tuyaux, partie en tôle, partie en caoutchouc ; dans chaque couple, l'un des tuyaux, dit *tuyau de montée*,

sert à conduire dans le bateau le mélange d'eau et de sable aspiré par l'appareil ; à cet effet, il aboutit par son extrémité supérieure à une pompe centrifuge installée au-dessus de la flottaison dans l'intérieur du bateau ; cette pompe est amorcée, puis aidée dans son action d'aspiration par un jet d'eau sous pression, lancé de bas en haut au pied du tuyau de montée au moyen d'un injecteur.

« Celui-ci est constitué par une boîte ou enveloppe en fonte contenant une tuyère d'injection en bronze ; la boîte présente à sa partie supérieure deux orifices, l'un de 0^m,20 de diamètre, correspond au tuyau de refoulement, l'autre de 0^m,30, au tuyau de montée. L'orifice de refoulement sert d'entrée à une sorte de chambre courbe, de forme méplate, qui tourne autour de l'axe prolongé du tuyau de montée, en conservant autour de cet axe un vide central cylindrique de 0^m,22 de diamètre. La chambre courbe communique avec ce vide intérieur par une tuyère annulaire dirigée vers le tuyau de montée. L'eau en pression s'échappe avec une grande vitesse par le mince orifice annulaire de la tuyère, elle produit ainsi, par un effet d'entraînement de bas en haut, l'aspiration du déblai dans une tubulure courbe qui continue inférieurement le vide central de l'injecteur et termine l'élinde en reposant sur le sol.

« Cette tubulure, dite *d'aspiration* ou *aspirateur*, est en fonte et a 0^m,23 de diamètre intérieur ; elle est courbe à l'extrémité pour que sa tranche pose bien sur le fond, quelle que soit l'inclinaison que donne à l'élinde la hauteur d'eau dans laquelle on travaille. Sur son pourtour se trouvent trois petits tuyaux venus de fonte, ayant 0^m,01 de diamètre intérieur et communiquant avec la chambre extérieure de l'injecteur, qui leur fournit ainsi de l'eau sous pression. Ces tuyaux sortent, par trois points équidistants, de la tranche de l'aspirateur en contact avec le sol, et ils la dépassent de 0^m,06. Les jets d'eau qu'ils servent à lancer, désagrègent le sable et le soulèvent, ce qui rend l'aspiration plus facile.

« La machine à vapeur placée à l'arrière du bateau, peut actionner à volonté, soit l'hélice du navire, soit les pompes centrifuges ; les unes, dites *de pression*, prennent l'eau à la mer, l'amènent dans un réservoir à air et de là dans le tuyau de refoulement de chaque élinde, qui la conduit jusqu'à l'injecteur correspondant ; les autres pompes, dites *d'aspiration*, agissent aux extrémités supérieures des deux tuyaux de montée et déversent le mélange d'eau et de sable élevé dans des couloirs cloisonnés, qui le distribuent uniformément dans les puits. L'axe de ces pompes est à 0^m,85 au-dessus de la flottaison lège.

« En marche normale de la machine motrice, celle-ci développe sur les pistons un travail de 150 chevaux de 75 kilogrammètres et consomme 150 kilogrammes de houille par heure.

« Le rendement de cette drague est de 25 à 33 parties de sable pour cent parties de mélange d'eau et de sable aspiré; il s'élève quelquefois jusqu'à 40 à 42 parties au moment où l'entonnoir creusé dans le sol a près de 2 mètres de profondeur; mais dès que ces rendements élevés se produisent, on risque de voir l'extraction de sable s'arrêter brusquement par suite de l'ensevelissement des aspirateurs et il faut vivement remonter les élinde pour aller travailler en un autre point.

« En tenant compte des pertes de temps auxquelles donnent lieu les relevages momentanés des élinde, les obstructions causées par les gros fragments qui pénètrent dans les tuyaux, les arrêts et les déplacements occasionnés par le passage des navires, et ensuite de ce fait qu'une partie plus ou moins grande des déblais reste en suspension dans l'eau déversée par dessus bord, on peut estimer le sable recueilli dans les puits à 70 mètres cubes par heure, en moyenne. Le produit effectif se réduit quelquefois à 50 mètres cubes; mais il est assez souvent de 100 mètres et atteint jusqu'à 120 mètres cubes. Ces variations dépendent surtout de l'état de la mer et du vent, et de la nature du terrain. »

Dans les dragues du système hollandais, employées au port d'Ymuiden et au Hoek van Holland et qui, depuis 1880, ont travaillé également à l'entrée des ports de Dunkerque, de Calais, de Boulogne et d'Ostende, les matières du fond sont simplement aspirées par les pompes, sans aucun dispositif particulier pour en opérer préalablement la désagrégation, ni pour en faciliter l'entraînement de bas en haut.

L'*Aurore II*, qui a fonctionné à Ostende de 1882 à 1887 appartient à ce type; c'est un navire à hélice, dont la coque est entièrement en fer; il a 36 mètres de longueur, 8^m,60 de largeur et 3^m,25 de creux; son tirant d'eau à l'arrière est de 2^m,45 à vide, et de 3^m,50 en charge (Pl. XXIV, fig. 5).

Les membrures et les varangues sont réunies à l'avant et à l'arrière par de fortes carlingues.

Le bateau est divisé, dans le sens de sa longueur, en trois compartiments étanches : celui de l'avant sert de logement à l'équipage et comprend un magasin ainsi qu'un réservoir d'eau; celui du milieu sert de puits destiné à recevoir les déblais; le compartiment de l'arrière est occupé par la chaudière, la machine et la pompe à sable. Les chambres à air établies de chaque côté du puits, sont divisées en compartiments de même longueur par des cloisons étanches.

La machine, du système compound, à condensation par surface, a une force de 160 chevaux indiqués et consomme environ 180 kilogrammes de charbon par

heure; son axe commande directement celui de la pompe à l'aide d'un embrayage.

Lorsque le travail proprement dit de la drague cesse, on débraye l'axe de la pompe pour embrayer celui de l'hélice, et le bateau va transporter les déblais au lieu de déchargement; il file en moyenne 5 à 6 milles à l'heure lorsqu'il est en charge, et 7 à 8 milles lorsqu'il est vide.

La pompe est formée d'une boîte en tôle armée de cornières et solidement fixée au fond du bateau, d'un tube d'aspiration raccordé par un tuyau en cuir à celui de l'élinde, et d'un tuyau plat de refoulement placé du côté opposé.

L'axe de rotation de la pompe porte deux palettes de 2 mètres de diamètre et 0^m,26 de largeur, placées symétriquement.

Le tuyau de refoulement se bifurque en deux branches, communiquant chacune avec un tuyau qui s'étend au-dessus du puits à sable. Ces tuyaux déchargent le mélange d'eau et de sable aspiré, par des ouvertures rectangulaires pratiquées inférieurement dans la paroi, ainsi que par leur section extrême; pour éviter que le mélange ne tombe avec trop de force dans le puits, ce qui contrarierait le dépôt des matières solides, il passe d'abord à travers une trémie, de forme cylindrique, disposée en dessous des tuyaux.

La drague n'a qu'une élinde, suspendue à l'un des flancs du bateau et formée d'un tube en tôle de 13 mètres de longueur et de 0^m,50 de diamètre intérieur; des défenses solides sont fixées de ce côté au navire pour préserver l'élinde des dangers d'avarie par écrasement.

La section inférieure du tuyau est munie d'un grillage à grandes mailles destiné à prévenir l'introduction de grosses pierres et de débris.

La chaîne de suspension, dont un des bouts est fixé à la charpente de défense de l'élinde, passe sur une poulie à chape, articulée sur une bride reliée au tuyau, près de son extrémité inférieure; elle passe de là, par l'intermédiaire de poulies de renvoi sur un treuil à vapeur, installé sur le pont et destiné à opérer la montée ou la descente de l'élinde.

Comme nous l'avons dit plus haut, celle-ci est en communication avec le tuyau d'aspiration du corps de pompe par l'intermédiaire d'un tube flexible en caoutchouc, de 1^m,80 de longueur, qui forme articulation. On a substitué plus tard au caoutchouc le cuir, dont l'emploi est plus économique; il y a avantage à former le tube d'une double feuille de cuir, car il résiste alors d'ordinaire pendant 4 à 5 mois, tandis qu'avec une feuille simple, il ne dure que quelques semaines. Ces feuilles de cuir ont 0^m,005 d'épaisseur.

Il importe d'assurer que l'élinde ne puisse s'écarter du bateau, ni être entraînée sous ce dernier, et que la partie flexible du raccordement ne subisse

aucun effort d'extension, ni de compression. Pour obtenir ce résultat, le tube en tôle porte deux bras boulonnés, au moyen desquels il est suspendu au flanc du bateau par deux chaînes fixées sous la défense arrière de l'élinde; ces chaînes, de longueur et d'inclinaison différentes, sont reliées par une traverse d'écartement, dont l'extrémité porte un renflement correspondant à un fer à cavité, attaché au navire et disposé de façon à ne permettre à cette traverse qu'un certain mouvement dans le sens horizontal.

Le puits à sable destiné à recevoir les déblais, est fermé inférieurement par des clapets établis de chaque côté de la carlingue qui raidit le bateau sur la longueur de ce puits, et suspendus au moyen de pentures, dont l'une des branches est rivée à la coque du navire et dont l'autre est boulonnée aux madriers du vantail formant le clapet. Les vantaux viennent buter contre un cadre formé par la carlingue et par les cornières qui terminent les cloisons en tôle, placées en travers du puits, au droit des joints des clapets; supérieurement, les cloisons transversales du puits se terminent par des poutres en tôle, reliant l'une des chambres à air à l'autre, et donnant appui à deux poutres longitudinales placées de part et d'autre de l'axe du bateau. Ces poutres comprennent entre elles un couloir de service et servent à fixer les diverses pièces nécessaires au fonctionnement des clapets. Ceux-ci sont suspendus à des chaînes commandées, pour les clapets placés d'un même côté de l'axe du bateau, par une seule grande tringle, régnant le long du puits et permettant d'ouvrir ou de fermer ces vantaux à la fois, en agissant sur un treuil placé sur le pont à l'arrière du puits. D'ordinaire on ouvre en même temps les clapets situés de chaque côté de l'axe du bateau, en manœuvrant les deux treuils qui y correspondent. On évite ainsi les oscillations du navire au moment du déchargement.

Pour faire fonctionner la drague, on mouille l'ancre du bateau et on laisse élonger sa touée par le courant; lorsque celui-ci est fort, on met une seconde ancre à l'avant. On descend ensuite le tuyau d'aspiration, et on commence à pomper, en ayant soin de virer sur la chaîne d'ancre pour faire mordre le tuyau dans le sol. Comme la pompe centrifuge a son axe très près de la flottaison-lège du bateau, elle s'amorce toute seule dès les premiers tours; l'eau rejetée dans le puits fait immédiatement descendre le bateau, et la pompe, qui se trouve dès lors noyée, marche dans les meilleures conditions. Le puits est de suite rempli d'eau et à partir de ce moment, celle-ci se déverse par dessus bord et retombe à la mer en cascade. Le mélange aspiré se décante dans le puits, où le sable se dépose rapidement, tandis que la vase et les matières fines restent en suspension dans l'eau qui déborde. Les quantités de déblais ainsi

perdues sont évidemment d'autant plus importantes que la drague fonctionne par une houle plus accentuée et que le sable du fond est plus vaseux.

La succion produit aussitôt sur le fond une souille qui va en augmentant pendant que l'élinde descend peu à peu ; lorsque l'extrémité du tuyau se trouve à un mètre environ sous le sol, on continue le travail en virant sur la chaîne de l'ancre qui tient le bateau en place et qui est mouillée à l'avant, et on entame constamment le talus de la souille en creusement de façon à faire des sillons réguliers.

Quand on rencontre une couche de glaise ou de vase tassée, ce qui est arrivé fréquemment à l'entrée du port d'Ostende, on fait pénétrer l'extrémité du tuyau dans le sol en virant sur l'ancre d'avant ; pendant qu'on traverse la couche, les pompes ne donnent que de l'eau vaseuse et des morceaux de glaise jusqu'à ce qu'on arrive dans le sable, où l'on produit rapidement une dépression qui s'approfondit, s'étend et provoque l'affaissement de la couche compacte ; celle-ci se divise alors en morceaux qui sont aspirés avec le sable.

Le cube des matières recueillies par heure dans le puits dépend de l'état de la mer par lequel la drague fonctionne, et surtout de l'état de pureté du sable dont le fond est formé.

Dans le sable pur et en temps calme, l'*Aurore II* a aspiré jusqu'à 40 parties de sable sur 100 parties de mélange d'eau et de sable ; mais quand le sable arrive si abondamment, on doit avoir grand soin de relever en temps l'élinde pour qu'elle ne descende pas trop profondément dans la dépression creusée, car on est exposé alors à perdre ou à avarier le tuyau d'aspiration. Des accidents de ce genre se sont produits à Ostende.

Lorsque le vent souffle en sens contraire du courant, la drague fonctionne toujours difficilement, même quand la houle est faible ; car dans ces conditions, le bateau sollicité par le courant et par l'action variable du vent, ne tient pas en place. Avec des vents du large, les lames agissant en travers de la drague, une levée de plus de 0^m,50 rend le travail dangereux, et l'appareil ne peut fonctionner avec des lames de plus de 0^m,80 d'amplitude ; il arrive cependant que pour terminer le remplissage d'un bateau, on persiste par une mer aussi agitée. Les meilleures conditions de travail sont obtenues, quand la houle n'a pas plus de 0^m,40 de levée avec vent debout, ou pas plus de 0^m,25 à 0^m,30 avec vent de travers ; la drague est alors doucement soulevée, ce qui dégage chaque fois l'orifice du tuyau d'aspiration et permet de faire des souilles relativement profondes sans inconvénient.

La nature des fonds est très variable à l'entrée du port d'Ostende ; on y

rencontre, suivant les endroits et la profondeur à laquelle la drague travaille, du sable pur, du sable mêlé de coquillages ou du sable vaseux. Dans le sable pur, et quand le temps était favorable, le remplissage de l'*Aurore II* s'opérait souvent en une demi-heure; mais dans les fonds vaseux, le rendement était beaucoup moindre, d'abord parce que le sable agglutiné par de la vase est plus difficile à désagréger, et ensuite parce que la vase, en arrivant dans les puits, ne se dépose pas par décantation et retombe à la mer avec l'eau qui se déverse par dessus bord.

On remarquera que, dans les dragues hollandaises, le tuyau de l'élinde est incliné vers l'avant du bateau, tandis que dans la drague de Fives-Lille, les tuyaux d'aspiration sont inclinés vers l'arrière. La première de ces dispositions est préférable, parce que les matières ameublées ne sont plus si facilement entraînées par les courants et sont mieux aspirées, grâce à la protection du talus qui se forme sur le fond, par suite de la position même de l'aspirateur relativement à la direction du courant. Lorsqu'on se trouve en présence de couches résistantes, elle permet aussi de mieux faire pénétrer l'extrémité du tuyau dans le sol, en virant sur l'ancre qui tient le bateau en place et qui est mouillée à l'avant. Aussi la compagnie de Fives-Lille a modifié ses dragues en ce sens; elle en a supprimé en outre l'injecteur, ou du moins elle n'a conservé le fonctionnement de ce dernier que pour produire le jet de désagrégation et pour amorcer la pompe. Celle-ci est placée à près d'un mètre au-dessus de la flottaison-lège afin de pouvoir la visiter plus aisément en cours de travail, et dans ces conditions, elle ne saurait s'amorcer spontanément; il faut, à cet effet, au moment de sa mise en train, lancer au moyen de la pompe d'injection un jet d'eau sous une pression de 2 à 3 atmosphères. Pour opérer la désagrégation du sable à aspirer, l'eau de cette pompe est conduite jusqu'au pied du tuyau d'aspiration à l'aide d'un petit tube; là, elle s'échappe par plusieurs petits orifices, distribués sur la circonférence de la section extrême de ce tuyau, et agit sur le sable des fonds à draguer.

Il n'existe, dans les dragues hollandaises, aucun dispositif spécial pour mettre le sable en suspension autour de l'extrémité inférieure de l'aspirateur.

Les constructeurs hollandais ne semblent pas trouver avantage à le faire autrement que par l'aspiration elle-même, eu égard aux frais d'établissement et à la dépense supplémentaire de force motrice qui résulte de l'installation d'un système particulier pour la désagrégation du sol; ils ne considèrent pas non plus comme un inconvénient sérieux d'avoir leur pompe noyée en cours de travail et de ne pouvoir la visiter, en cas d'engorgement, sans avoir préalablement déchargé le bateau.

Parmi les dragues à succion qui ont travaillé à Dunkerque, il en est dont l'élinde est placée au centre du bateau. Une ouverture de 0^m,50 à 0^m,60 de largeur, limitée par des parois en tôle, traverse toute la hauteur de la coque suivant son axe et sur une longueur suffisante, pour qu'on puisse y relever et y loger horizontalement le tuyau d'aspiration, quand le bateau doit se mettre en marche. Les puits à soupapes sont distribués symétriquement de chaque côté de cette ouverture. La pompe est fixée près de la cloison fermant celle-ci à l'arrière. Les dragues de ce système sont d'un rendement un peu supérieur à celui des dragues dont l'élinde est placée extérieurement, mais en revanche les avaries y sont plus fréquentes pour le tuyau d'aspiration, lequel se trouve exposé à être plié à cause du roulis du navire. (1)

Pour les dragages exécutés depuis 1890 à l'entrée de la Mersey et dont nous parlerons au chapitre IX, on a commencé par faire approprier deux porteurs à vapeur, choisis parmi les plus grands de ceux employés au transport en mer des déblais provenant du dévasement des Docks de Liverpool. Ils ont été aménagés et munis de pompes centrifuges, l'un par la firme J. et H. Gwynne à Hammersmith, l'autre par la firme W. Simons et C^{ie} à Renfrew.

Le tuyau d'aspiration de la première drague a 0^m,56 de diamètre et passe à travers l'un des flancs du navire, le long duquel il reste suspendu; celui de la seconde drague a 0^m,46 de diamètre et est conduit au-dessus du bord du bateau; il est muni à sa partie supérieure d'un coude à segments articulés, ce qui permet de le ramener à l'intérieur du navire quand la drague ne fonctionne pas. La pompe est placée dans la partie d'avant de la chaufferie, qui se trouve immédiatement en arrière des puits destinés à recevoir les déblais. Le mélange aspiré est amené dans deux couloirs allant de l'avant à l'arrière des puits, de chaque côté de la traverse qui règne au milieu de ces derniers; ces couloirs présentent des ouvertures par où se fait la décharge des déblais. Le tuyau d'aspiration est incliné vers l'arrière et présente à sa partie inférieure la forme d'un capuchon renversé s'ouvrant vers l'avant du navire; l'orifice est muni d'une grille pour empêcher les corps durs et massifs d'être aspirés par la pompe; il est perforé sur sa partie convexe d'un certain nombre de trous, de 0^m,075 à 0^m,10 d'ouverture, destinés à prévenir l'engorgement du tuyau, lorsqu'il pénètre dans le sable. Ces dragues peuvent fonctionner par des profondeurs de 7^m,60 à 9^m,15.

La capacité des puits est de 500 tonnes (312 mètres cubes), dont le rem-

(1) A. GUILLAIN. *Notice sur les appareils employés pour les dragages de sable au large de Dunkerque, de Calais et de Boulogne.*

plissage s'opère en une heure; aux endroits où le sable est à gros grains et non mélangé de vase, il se fait en 22 à 25 minutes.

Une nouvelle drague le *Brancher* beaucoup plus puissante que celles dont nous venons de parler, a été mise en fonctionnement à la Mersey en 1893. Elle a 97^m,50 de longueur, 14^m,27 de largeur, 6^m,25 de creux et 4^m,98 de tirant d'eau en charge. C'est un navire à double hélice, muni de deux gouvernails, dont un à la poupe et un autre à la proue.

Le tuyau d'aspiration de la drague se meut dans une ouverture ménagée suivant l'axe dans la partie centrale de la coque. De part et d'autre de cette ouverture sont disposés les puits destinés à recevoir les déblais (Pl. XXV); il y en a quatre de chaque côté, d'une capacité totale de 3000 tonnes (1870 m³)⁽¹⁾.

Ces puits sont aménagés de façon à laisser entre eux et les parois de la coque des compartiments étanches; toutefois la partie arrière de l'espace compris entre le fond de la drague et celui des puits sert de réservoir d'eau.

Les pompes centrifuges destinées à élever le sable sont au nombre de deux; elles ont des moteurs de 1^m,83 de diamètre, faisant environ 150 rotations par minute et sont actionnées chacune par une machine à triple expansion, installée à l'avant du navire. Celles qui mettent les propulseurs en marche et qui sont aussi à triple expansion, sont placées à l'arrière, de même que les chaudières. L'avant et l'arrière du navire comprennent chacun trois compartiments étanches. Les gouvernails de la drague peuvent être mus à la vapeur ou à la main. Des treuils à vapeur et un fort cabestan établis sur le pont servent à manœuvrer les ancres.

Les cabines pour le logement des officiers et de l'équipage se trouvent du côté de la poupe et en partie au gaillard d'avant.

Les deux pompes, dont les tuyaux de déversement ont chacun 0^m,91 et le tuyau d'aspiration 1^m,14 de diamètre, se trouvent de part et d'autre de l'ouverture centrale où se meut l'élinde; elles communiquent avec un branchement en forme de T, agencé en tête du tuyau de succion et qui est construit de façon à servir aussi de tourillon autour duquel ce dernier se meut quand on veut le relever ou l'abaisser, suivant la profondeur à laquelle il doit s'appliquer sur le fond à draguer; celle-ci peut atteindre jusqu'à 13^m,72. Le tuyau aspirateur est incliné vers l'arrière et muni à son extrémité inférieure d'une grille; à son extrémité supérieure, près du branchement en T, il porte un assemblage articulé, comprenant un renflement sphérique mobile dans une partie creuse; ce dispositif permet au tube de prendre un certain mouvement latéral et de s'appuyer contre

(1) A. BLECHYNDEN. Notice présentée au congrès international de travaux maritimes tenu à Londres en 1893.

la face de l'ouverture par où il passe, afin d'éviter tout effort transversal à la tête du tuyau. Pour mieux assurer la résistance de celui-ci, on a placé vers le milieu de sa longueur une forte nervure, qui en fait une poutre extrêmement résistante dans le sens transversal.

Chacune des pompes centrifuges peut, en cas d'accident, être rendue indépendante du tuyau d'aspiration, qui continue alors à fonctionner avec l'autre pompe. Ce tuyau est manœuvré au moyen d'un appareil hydraulique; il est en outre muni de chaînes de sûreté passant sur des poulies et destinées à le relever au besoin à l'aide d'un treuil installé sur le pont.

Le mélange d'eau et de sable aspiré est amené par deux conduites correspondant respectivement au tuyau de déversement de chacune des pompes, et se déchargeant, l'une dans les puits de bâbord, et l'autre dans les puits de tribord, par des ouvertures aménagées de distance en distance. Ces ouvertures sont munies de portes servant à en régler la section d'après la longueur à laquelle elles se trouvent du point de déversement de la pompe, dans le but de remplir les divers puits à peu près simultanément.

Le mode de fermeture et de déchargement des puits est nouveau et construit d'après le système breveté de M. A. Lyster, Ingénieur-adjoint de la Direction de la Mersey.

Le fond des puits est disposé en entonnoir et converge vers une ouverture centrale, fermée par une soupape cylindrique ou plutôt légèrement conique, s'élevant jusqu'au-dessus du niveau de remplissage du bateau. Le déchargement des trémies s'opère au moyen de jets d'eau, dont l'un est lancé suivant l'axe de la soupape par un tuyau débouchant à 12 centimètres environ au-dessus du siège, et les autres par une série de tuyaux longeant trois des côtés de chaque puits et placés à 0^m,38 au-dessus de l'arête de jonction du fond et des parois latérales; ces derniers tuyaux projettent l'eau vers le bas du puits, sous un angle d'environ 45° avec la verticale. Au besoin l'eau peut être fournie par la conduite principale longeant le côté intérieur du puits et déchargée à travers des orifices aménagés dans la partie inférieure de cette conduite.

Les tubes inférieurs et ceux du centre sont alimentés par les pompes de circulation des machines qui actionnent les propulseurs de la drague et les engins d'aspiration du sable, et auxquelles on a donné à cet effet de plus grandes proportions.

Les injections d'eau sont réglées indépendamment les unes des autres au moyen de valves dont la commande, ainsi que celle de l'appareil hydraulique pour le levage de la soupape de décharge, sont disposées ensemble pour chaque puits;

deux passerelles régnant depuis l'emplacement des chaudières jusqu'à la chambre des pompes, de chaque côté de l'ouverture centrale de l'élinde, permettent de faire aisément toutes les manœuvres.

Sur le pont de service du bateau sont installés les instruments de contrôle pour le tuyau d'aspiration et la vitesse des pompes à sable; ils comprennent des indicateurs donnant la pression de l'eau dans les conduites des appareils hydrauliques, la profondeur à laquelle le tuyau fonctionne, ainsi que le degré de vide qui s'y produit et qui avertit du danger d'obstruction. Pour prévenir ce danger, il existe une soupape qui, à un vide déterminé, laisse affluer l'eau des pompes de circulation dans les pompes à sable; celles-ci restent ainsi amorcées, et en relevant le tuyau d'aspiration, il se débouche aussitôt.

Ce tuyau est équilibré à peu près par la chaîne auquel il est suspendu et qui est commandée, nous l'avons déjà dit, par un appareil hydraulique. Ce dernier est mis en charge par la vapeur, qui passe au préalable par une soupape régulatrice, destinée à réduire la pression de manière que le tube conserve toujours un excédant de poids; de cette façon, il mord constamment le fond malgré les variations du niveau de la mer. Pour relever le tuyau aspirateur, un levier installé dans la cabine de manœuvre permet de supprimer l'action de la soupape régulatrice; la vapeur agit alors à pleine pression et peut vaincre tout le poids du tube.

L'eau nécessaire aux appareils hydrauliques est fournie par une machine compound à deux cylindres, avec des pompes ordinaires à double effet.

Le remplissage des puits s'opère moyennement en 40 minutes, soit à raison de 4000 tonnes (2500 m³ environ) par heure; mais aux endroits de la barre de la Mersey où le sable est le plus pur, le rendement du *Brancker* s'élève jusqu'à 6000 tonnes (3740 m³) par heure.

En charge, ce bateau-dragueur file à une vitesse de 9 nœuds; il tient d'ailleurs bien la mer, et les puits peuvent être remplis jusqu'aux écoutilles sans produire beaucoup de perte par débordement pendant que le bateau se rend au lieu de déversement des déblais. Quand le sable à extraire est fin, il est cependant à conseiller, d'une manière générale, de ne pas charger les puits aussi complètement, car le débordement est alors plus sensible; d'autre part, le remplissage de la tranche supérieure du puits s'opère avec plus de lenteur, à cause des quantités de matières ténues qui retombent à ce moment plus abondamment en mer pendant le pompage, de sorte qu'il se produit dans ces conditions une double perte de travail.

Dans les dragues à aspiration employées en France, en Hollande et en

Belgique, le tuyau d'aspiration, on se le rappelle, est d'ordinaire assemblé avec le tuyau de la pompe à sable par un tube flexible en cuir ou en caoutchouc, convenablement relié au navire. Un dispositif analogue se retrouve dans certaines dragues américaines, dont le tube flexible est en outre tendu à l'intérieur par un ressort d'acier en forme d'hélice. Ce mode de liaison n'a pas été admis pour la grande drague de la Mersey, pas plus que l'assemblage construit par MM. Gwynne frères et appliqué à l'un des bateaux-dragueurs de la Mersey ; la possibilité pour ce bateau de tourner et de se mouvoir dans une certaine mesure par rapport au tuyau d'aspiration, y est obtenue au moyen de coudes à jointures mobiles, interposés entre ce tuyau et celui de la pompe centrifuge.

Il a semblé aux constructeurs de la grande drague de la Mersey, qu'il eût été difficile, eu égard aux dimensions du navire, d'y faire usage de l'assemblage flexible, et comme celui de MM. Gwynne n'est pas non plus de nature à éviter que le navire ne vienne heurter et briser le tube aspirateur, ils ont adopté le dispositif que nous avons mentionné et qui est construit avec beaucoup de solidité.

Le *Brancker* est de beaucoup la plus grande drague à aspiration qui ait été lancée jusqu'ici. Avant que la construction en fût décidée, on a longuement discuté la question de savoir s'il n'eût pas été préférable d'avoir recours à deux dragues de moindres dimensions, ayant ensemble la même puissance de rendement.

Les inconvénients d'une seule forte drague résident surtout dans les dangers d'avarie qui peuvent la mettre hors d'usage pendant un temps plus ou moins long, et rendre ainsi un grand capital entièrement improductif, en même temps que les dragages seraient complètement interrompus. De plus, si un navire de pareilles dimensions devait sombrer dans la passe par suite de collision ou autre accident, les embarras à en résulter seraient évidemment considérables, bien plus que pour une drague de dimensions ordinaires.

Mais ces inconvénients n'ont pas paru assez graves aux membres de la *Mersey Docks and Harbour Board* pour ne pas donner la préférence à une seule grande drague.

Dans les conditions où celle-ci est construite, et avec les appareils de sécurité qui y sont installés pour prévenir les dangers d'obstruction du tuyau d'aspiration et assurer son prompt relevage, les avaries du bateau ne sont en effet pas beaucoup à craindre. Or, une seule grande drague coûte moins cher de construction que deux dragues plus petites, donnant ensemble le même rendement, et on sait d'autre part qu'il est en général plus économique de travailler avec des dragues puissantes, puisqu'elles exigent relativement moins de frais de réparation et de personnel.

Une autre considération importante, c'est qu'un grand bateau-dragueur, comme le *Brancher*, tient mieux la mer que ceux de faibles dimensions et qu'il peut continuer à fonctionner par des houles plus fortes.

Il nous reste à parler du prix de revient du mètre cube de déblais extrait et transporté en mer au moyen de dragues à aspiration.

A Dunkerque, le prix du mètre cube de matières draguées sur la barre du port et transportées en mer à une distance de 2 milles de la tête des jetées, était de fr. 2,89 lors des premiers essais de 1877. Depuis cette époque, il est descendu successivement à fr. 1,60, 1,40, 1,20 et 1 franc, jusqu'au jour où le gouvernement français a acquis lui-même, en 1884, trois dragues du type de l'*Aurore II*, coûtant chacune 142,000 fr., et a exécuté les dragages en régie.

Ces dragues, le *Dunkerque I*, le *Dunkerque II* et le *Dunkerque III*, sont identiques.

Pour chacune d'elles le bateau a 42 mètres de longueur, mesurée sur le pont, 8^m,30 de largeur au maître-bau, 2^m,50 de tirant d'eau à vide et 3^m,25 en charge; la capacité du puits est de 241 mètres cubes. La machine, du système compound, à condensation par surface, a une force de 172 chevaux indiqués; attelée à l'hélice du navire, elle lui imprime une vitesse de 5 nœuds en charge, et de 6 nœuds à vide. La consommation de charbon, en marche normale, est de 1^k,10 par cheval indiqué et par heure.

Chacun des équipages des trois dragues *Dunkerque* est composé et rémunéré comme suit : un capitaine dragueur payé à raison de 150 francs par mois, plus une prime de fr. 0,01 par mètre cube de matière extraite; un mécanicien à 120 fr. par mois et même prime; un second à 100 fr. par mois et fr. 0,0075 de prime par mètre cube; deux chauffeurs, ensemble à 180 francs par mois et fr. 0,012 de prime, et trois matelots, ensemble à 270 fr. par mois et fr. 0,015 de prime par mètre cube.

Le prix de revient moyen des déblais effectués avec ces dragues, dont chacune enlève 160,000 à 180,000 mètres cubes par an, transportés à 2 milles au large, ne s'élevait en 1885 qu'à fr. 0,20 environ le mètre cube, non compris l'intérêt et l'amortissement du capital d'acquisition, ni les frais d'assurance du matériel.

Voici la décomposition de ce prix pour le *Dunkerque II* (1) :

Personnel et primes	0. 102
Charbon	0. 052
Matières grasses et diverses	0. 012
Entretien	0. 032
Total	0. 198 fr.

(1) EYRIAUD DES VERGNES. Mémoire cité.

De ces fr. 0.198, fr. 0.101 représentent le prix de l'extraction des déblais, fr. 0.043 celui du transport, et le restant, soit fr. 0.054, les primes.

Depuis 1886, le prix d'unité des dragages exécutés à l'entrée du port de Dunkerque a haussé lentement, parce que les profondeurs créées, en y favorisant le dépôt des vases, ont diminué le rendement des dragues. (¹)

A Calais les dragages destinés à l'entretien des profondeurs à l'entrée du chenal, s'exécutent également en régie, au moyen de deux bateaux-aspirateurs. L'un d'eux est du système des *Dunkerque*; il a 150 mètres cubes de capacité de puits et des machines d'une force de 155 chevaux indiqués. L'autre est à élinde centrale; celle-ci est guidée à travers l'ouverture de la coque par une forte pièce en bois; la capacité du puits est de 270 mètres cubes et la force des machines de 240 chevaux indiqués. Ces deux dragues ont enlevé ensemble en 3 3/4 années 1,210,170 mètres cubes de déblais, à raison d'un prix moyen de fr. 0.308 le mètre cube, y compris le transport en mer à 1 mille de distance et composé comme suit :

Salaires	0. 099
Combustibles.	0. 062
Matières grasses	0. 006
Entretien courant	0. 038
Réparations	0. 084
Frais de surveillance et de sondages	0. 019
Total	0. 308 fr.

Ce prix ne comprend ni l'intérêt ni la dépréciation du matériel, mais les réparations étant faites de façon à maintenir régulièrement toutes les parties de l'engin en bon état, ce dernier élément n'est pas important.

Quant au prix d'achat des deux dragues en question, dont l'une, lorsqu'elle fut acquise par le gouvernement français, n'était pas neuve, il s'élève à 267,357 francs, représentant à raison de 4 % une charge annuelle de 10,694 fr. ou fr. 0,033 par mètre cube, et portant le coût total de celui-ci à fr. 0,341. (²)

Il est à remarquer que devant Calais, le sable est beaucoup plus pur que devant Dunkerque, au point que les dragues y donnent un rendement 2 à 3 fois plus grand qu'à ce dernier port; en revanche, l'agitation de la mer y est plus prononcée et le nombre de jours pendant lesquels les dragues peuvent travailler par an, est notablement moindre qu'à Dunkerque.

Les dragages qui s'exécutent aux ports de la côte de Belgique se font toujours par entreprise à forfait.

(¹) Voir Chapitre VII, § I.

(²) CHARGUÉRAUD. *Le port de Calais*. Rapport adressé au congrès international de travaux maritimes tenu à Londres en 1893.

Ceux effectués pour l'entretien de la passe d'entrée du port d'Ostende, de 1887 à 1892, soit pendant un bail de cinq années, coûtaient encore fr. 0.80 le mètre cube, transporté à 3000 mètres en mer; mais à l'entrée du port d'Ostende, le sable est fort impur, et la drague employée à ces travaux devait en outre chômer fréquemment à cause du peu d'importance des déblais à extraire chaque année.

Pour remédier à ce dernier inconvénient, le gouvernement a mis en adjudication, en 1892, pour un nouveau bail de cinq années, les dragages d'entretien de ce port et en même temps ceux des ports de Nieuport et de Blankenberghe, ainsi que de la passe creusée récemment à travers le Stroombank, dans l'ouest d'Ostende. Les dragages qui s'exécutent à l'intérieur de ces ports et pour lesquels on emploie la drague à godets que nous avons décrite précédemment, font du reste partie de la même entreprise.

D'après les clauses du contrat, l'importance des dragages à faire au moyen de bateaux aspirateurs ne peut être inférieure, pour Ostende, à 90,000 mètres cubes ni supérieure à 140,000 mètres cubes par an, sans le consentement de l'entrepreneur; la distance de transport y est de 3000 mètres. A Nieuport et à Blankenberghe, ces limites sont fixées respectivement à 100,000 et 150,000 mètres cubes, et à 40,000 et 60,000 mètres cubes, avec distance de transport en mer de 7000 et de 12,000 mètres; pour le Stroombank, elles sont de 80,000 et 150,000 mètres cubes, avec transport à 4000 mètres. Le prix de l'adjudication est descendu à fr. 0,467, avec cette stipulation supplémentaire que pour les années où l'ensemble des matières extraites à l'entrée des ports précités et dans la passe du Stroombank dépasserait 450,000 mètres cubes, l'État bénéficierait d'une réduction de fr. 0,067 par mètre cube, applicable à toute la quantité draguée.

Les dragues employées à ces travaux, le *Vlaanderen I* et le *Vlaanderen II*, construites par J. K. Smit à Kinderdyk, en Hollande, appartiennent au type de l'*Aurore II*; le *Vlaanderen II* est plus puissant que cette dernière. Le bateau mesure 45 mètres de longueur sur le pont, 8^m,60 de largeur au maître-bau et 3^m,60 de creux; son tirant d'eau est de 2^m,50 à vide et de 3^m,60 en charge. Le puits a 350 mètres cubes de capacité. La machine est du système compound, à condensation par surface; le diamètre du petit cylindre mesure 435 millimètres et celui du grand cylindre 840 millimètres; la course des pistons est de 535 millimètres. La puissance développée est de 191 chevaux indiqués. La chaudière a une surface de chauffe de 93 mètres carrés et fonctionne sous une pression de 6 atmosphères.

A Liverpool, les deux dragues à aspiration qui ont fonctionné à l'entrée

de la Mersey du mois de septembre 1890 jusqu'au mois de juin 1893, ont extrait ensemble un cube total de 2,438,710 tonnes (1,519,316 m³), à raison de 1.38d. la tonne, soit fr. 0,23 le mètre cube, transport compris, à 5 kilomètres de distance environ, non compté l'intérêt et la dépréciation du matériel, ni les frais de direction.

Il sera intéressant de connaître par la suite le prix moyen des déblais effectués par la grande drague le *Brancker*.

Disons en terminant que de tous les appareils de dragage, les dragues à aspiration sont certainement les seules qui puissent être employées avec avantage pour l'amélioration de la passe d'entrée des ports en plage de sable. Ces engins, dont la partie destinée à attaquer le fond est reliée au bateau par des organes flexibles ou par des assemblages à articulations, et ne participe guère au mouvement de tangage et de roulis de ce dernier, se prêtent en effet à fonctionner par une mer plus ou moins agitée et par des profondeurs restreintes. Elles peuvent travailler, en se tenant dans le courant, sur une seule ancre d'avant, aidée quelquefois, pour tenir contre les vents de travers, d'une petite ancre à jet à l'arrière; elles n'embarrassent donc pas l'entrée du port par leurs ancrages et elles peuvent en outre se déplacer, quitter ou reprendre leur travail en quelques minutes. Et, en construisant le bateau de manière à ce qu'il porte lui-même ses déblais jusqu'au lieu de déversement, on évite l'encombrement à l'entrée du chenal et les difficultés d'accostage qui résultent nécessairement de l'emploi de chalands ou de bateaux séparés.

Le rendement des dragues à aspiration en terrain de sable pur ou peu mélangé de vase est d'ailleurs considérable, et dans ce cas, le prix du mètre cube est très faible, surtout quand la distance de transport n'est pas grande et que l'endroit où l'on se trouve est plus ou moins abrité des vents du large, de façon que les dragues ne soient pas exposées à des chômages trop fréquents. Il y a généralement économie, quand la profondeur déjà obtenue dans les passes le permet, à employer des dragues puissantes.

Les résultats que l'on peut obtenir par le dragage pour l'approfondissement de la passe d'entrée d'un port établi sur une côte de sable, varient dans chaque cas avec le régime de l'atterrage dont il est précédé et surtout avec celui des plages qui s'étendent de part et d'autre du chenal; mais devant un littoral où les mouvements de sable ne sont pas trop abondants, ce procédé permet de créer des profondeurs relativement grandes, avec des dépenses modérées. C'est ce que nous allons voir au chapitre suivant.

CHAPITRE VII.

DES PORTS DE LA CÔTE DES FLANDRES.

I. — CALAIS, GRAVELINES ET DUNKERQUE.

Port de Calais. — Le chenal du port de Calais est limité par deux jetées à claire-voie, orientées à peu près parallèlement N.O. 2° 40' N. Lorsque les travaux de reconstruction de la jetée est, actuellement en cours d'exécution, seront achevés, la largeur de l'entrée, qui est de 100 mètres, sera portée à 130 mètres.

Avant 1880, le chenal se terminait à l'est par une crique d'épanouissement; du côté opposé, il conduisait, comme aujourd'hui, vers le bassin d'échouage, qui a 700 mètres de longueur sur 70 mètres de largeur moyenne, avec 1785 mètres de murs de quai, y compris ceux du bassin du Petit Paradis, spécialement affecté aux bateaux de pêche. En arrière du port d'échouage se trouve le bassin à flot de l'Ouest, avec lequel il communique par une écluse simple de 17 mètres d'ouverture, munie de portes valets et dont les buses sont placés à 0^m,05 en contrebas des basses mers de vive eau ordinaires. (Pl. XXVI).

Le chenal du port était entretenu exclusivement au moyen des écoulements d'eau douce des wateringues qui s'étendent sur la rive gauche de l'Aa, de Watten à Calais, et au moyen des chasses à l'eau de mer, correspondant au bassin de retenue situé à l'ouest et formé d'une ancienne crique d'environ 60 hectares de superficie.

L'écluse de chasse de ce bassin est établie au fond de la partie droite du chenal et comprend trois passages. Celui du centre a 10 mètres de largeur et sert en même temps à la navigation; il est pourvu d'une paire de portes busquées de flot et d'une paire de portes busquées d'ebbe, dont les cadres contiennent des

portes tournantes à vantaux inégaux de 5^m,85 de largeur et 6^m,85 de hauteur; les buscs sont placés à 0^m,30 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau ordinaires. Les deux passages latéraux ont chacun 4^m,00 de largeur; ils sont munis d'une porte de flot à simple vantail et d'une porte d'ebbe tournante.

Deux aqueducs de 2^m,00 d'ouverture chacun, destinés à appuyer le courant des chasses et à l'empêcher de refluer dans le port d'échouage, sont ménagés dans le terre-plein, au nord de l'écluse du bassin à flot. Ils sont munis de vannes, manœuvrées par des treuils à engrenages avec crémaillères, et leur radier, qui offre une pente de 0^m,90, se trouve à son extrémité aval au niveau des basses mers.

En vive eau, la puissance de ces chasses à l'eau de mer est de 345 mètres environ par seconde, pendant la première demi-heure qui suit l'ouverture des portes.

La plage située à l'est du chenal de Calais jusqu'à la pointe de Walde, a une largeur de 1300 à 1800 mètres, avec une inclinaison de 0,010 à 0,015 entre la laisse des basses mers de vive eau et la laisse des hautes mers de morte eau, et une inclinaison beaucoup plus faible, 0,0015 à 0,002 dans la zone supérieure, comprise entre la laisse des hautes mers de morte eau et celle des plus hautes mers de vive eau. A l'ouest du port, la largeur de l'estran est de 900 mètres; elle diminue rapidement à mesure qu'on se rapproche de Sangatte, où elle n'a plus que 500 mètres.

Devant le port, le talus sous-marin continue sous une inclinaison de 0,015 jusqu'aux grands fonds de plus de 10 mètres sous marée basse, qui forment la rade de Calais.

Le régime des vents dans ces parages est caractérisé par la fréquence des vents d'ouest. Les vents de l'ouest au N.E., en passant par le nord, sont les plus violents.

L'amplitude des marées de vive eau ordinaires est de 6^m,25. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 1^m,20 au-dessus des basses mers de vive eau; celui des hautes mers de morte eau se trouve à 4^m,95 au-dessus du même niveau.

Les courants littoraux sont très intenses dans le voisinage de Calais; la vitesse maximum du courant de flot, dans les marées moyennes de vive eau, est de 2^m,15 par seconde et celle du courant de jusant, de 2^m,05 par seconde. La direction du courant de flot, au moment de sa plus grande vitesse, laquelle se produit vers l'instant de la haute mer, est N.E.; celle du courant de jusant, au moment de sa plus grande vitesse, laquelle se produit vers l'instant de la basse mer, est O.S.O. (4)

(4) *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur ARON.

Si l'on examine les circonstances particulières du régime hydrographique de la côte de Calais, sous le rapport de l'influence qu'elles exercent sur la situation du chenal et de la possibilité d'y combattre les atterrissements, on remarque tout d'abord que la grande amplitude de la marée y permet l'établissement de chasses puissantes, et que, grâce à l'intensité des courants qui circulent devant le port, les matières fines rejetées par celles-ci doivent être entraînées à de grandes distances, d'autant plus que l'estran sous-marin raccordant la plage avec les fonds de la rade, est relativement raide, et que le port, protégé seulement par le banc étroit et peu élevé du Riden, est très exposé aux lames du large; aussi, les matières vaseuses contenues dans les eaux qui s'écoulent du chenal pendant les chasses et pendant l'évacuation des eaux supérieures, n'occasionnent guère de dépôts sur la plage de l'ouest; le sable y est presque pur et il est par conséquent plus facilement entamé par les courants de chasse, de sorte que la passe extérieure aux jetées se maintient mieux dans l'axe du chenal. Ceci à part l'avantage résultant de la plus grande pureté du sable pour le rendement des dragues à aspiration, à l'aide desquelles on creuse aujourd'hui directement la barre.

En revanche, les larges estrans qu'on rencontre de part et d'autre du port, mais principalement du côté est, occasionnent des transports d'alluvions importants le long de la côte et devant le chenal; les sables y sont continuellement remués par les courants et beaucoup plus encore par les vagues de tempête; et si les gros temps sont suivis d'une série de vents soufflant dans une même direction transversale par rapport à l'orientation des jetées, ils provoquent des apports brusques de sables devant l'entrée du port. Ces effets se constatent fréquemment à Calais; à la suite d'une période de vents d'est, les sables de la plage située de ce côté et qui est de beaucoup la plus large, sont entraînés vers le chenal et occasionnent parfois, dans la passe extérieure aux jetées, un exhaussement de plus de 0^m,50⁽¹⁾.

Lorsque les chasses mentionnées plus haut fonctionnaient seules, la profondeur du chenal comprise entre les jetées était en moyenne de 2^m,50 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires; elle n'était que de 1^m,00 à 1^m,50 dans la passe extérieure, de 40 mètres de largeur, passant au-dessus du plateau de 400 mètres de longueur environ, qui sépare la tête des jetées du talus des grands fonds de la rade. La direction de cette passe faisait avec l'axe du chenal un angle variable suivant les vents régnants, mais elle était le plus souvent légèrement inclinée vers l'est, l'angle des deux axes étant en moyenne de 16 degrés.

Depuis 1880, des travaux importants ont été exécutés à Calais dans le but

(1) ARON. Notice citée.

d'augmenter la profondeur du chenal d'entrée du port et d'agrandir en outre, dans de vastes proportions, les installations destinées au commerce, ainsi qu'au service des paquebots-poste de la ligne Calais-Douvres.

Dès 1881, le gouvernement français a fait entreprendre l'approfondissement de la barre du port de Calais au moyen de dragues à aspiration. Trois de ces dragues, dont une porteuse et deux non-porteuses, desservies par des chalands et par un remorqueur, furent installées le 20 juin de cette même année ; elles fonctionnèrent jusqu'à la fin de novembre ; le volume de sable enlevé pendant ces cinq mois s'élevait à 138,000 mètres cubes, à raison de 1,95 fr. le mètre cube, y compris le transport en mer à un mille de distance. A dater du mois de décembre suivant, le travail a été continué à l'aide d'une seule drague-porteuse, navire à hélice de 120 chevaux indiqués, pouvant contenir 170 mètres cubes de sable ; cet aspirateur a extrait 82,000 mètres cubes de sable en six mois, de décembre à fin mai 1882, à raison de 1,60 fr. le mètre cube.

La quantité totale des dragages exécutés à cette époque à l'entrée du port de Calais était donc de 220,000 mètres. Les hauts-fonds situés devant la tête des jetées, se trouvaient abaissés alors de 1^m,50 en moyenne et la profondeur minimum dans la passe extérieure atteignait 2^m,50 sous le niveau des basses mers de vive eau, soit 0^m,65 de plus que la plus grande profondeur qui avait été réalisée précédemment par les chasses seules. (1)

Il est à noter que le sable dragué à l'entrée des ports provient, dans les premiers temps, non seulement des apports journaliers dus aux lames et aux courants, mais aussi de l'éboulement des plages avoisinantes, qui se raccordent peu à peu sous une pente très douce avec le fond du chenal approfondi, jusqu'à ce qu'elles aient atteint le talus d'équilibre final. Pour éviter que les sables à provenir de cet éboulement ne viennent affluer dans la passe extérieure, on doit, au début, creuser de part et d'autre de celle-ci des cavités plus profondes, où les matières enlevées des plages, pendant les tempêtes surtout, puissent venir s'emmagasiner.

Devant Calais, où les sables ont un grand degré de pureté et sont par conséquent très mobiles, il est nécessaire de maintenir ces excavations, tant à l'est qu'à l'ouest, sur une longueur assez considérable. En revanche, la pureté des sables augmente dans de fortes proportions le rendement des dragues à aspiration ; c'est ainsi que le même appareil a donné à Calais, par heure de travail, un produit trois fois plus grand qu'à Dunkerque ; mais l'agitation plus prononcée de la mer devant le premier de ces ports réduit cet avantage, et les ingénieurs français ont constaté

(1) PLOCQ et GUILLAIN. Notice adressée à l'« Institution of Civil Engineers » de Londres.

en définitive que le déblai annuel d'une même drague y est seulement double de ce qu'il est à Dunkerque. Ajoutons que devant Calais, le talus des grands fonds est peu éloigné de la tête des jetées, circonstance qui facilite évidemment le creusement de la passe d'entrée du port.

Une nouvelle adjudication pour l'approfondissement de celle-ci a eu lieu en février 1882. Elle prescrivait l'enlèvement de 575,000 mètres cubes de sable en 4 années, à partir du commencement de 1883. C'est la compagnie de Fives-Lille qui fut déclarée adjudicataire au prix de 0,90 fr. le mètre cube; elle a construit pour ces travaux une drague-porteuse de 250 chevaux indiqués, et au mois de septembre 1883, elle avait déjà enlevé sur le cube adjugé, 230,000 mètres, ce qui portait à 450,000 mètres cubes, le volume total de sable dragué. La profondeur obtenue dans la passe était à cette époque de 3^m,75 au moins au-dessous du niveau des basses mers de vive eau ordinaires, et la courbe des fonds creusés à cette profondeur formait, à partir de la tête des jetées, une surface en éventail dont les côtés étaient inclinés à 20° environ par rapport à la direction de l'axe du chenal.

Les dragages ont été continués avec activité jusqu'en 1886 pour augmenter encore la profondeur à l'entrée du port; vers la fin de cette année, elle atteignait 4^m,25 sous le niveau des basses mers précité, après un déblai total de 1,029,087 mètres cubes. A partir de ce moment, les ingénieurs français se sont bornés à entretenir la passe creusée, et au bout d'une expérience de trois ans, ils ont constaté qu'il fallait exécuter à cette fin un dragage annuel de 120,000 mètres cubes. La planche XXVIII indique deux sondages exécutés devant le port, le premier en 1881, avant que les dragages fussent commencés, le second en 1892, après que la période d'approfondissement fut close. (1)

Depuis 1889, les travaux de dragage nécessaires à l'entretien du port se font en régie, au moyen de deux dragues à aspiration, auxquelles on ajoutera la drague à godets employée jusqu'à présent aux travaux de démolition de l'ancienne jetée est. L'une de ces dragues à aspiration est à élinde centrale; la capacité du puits est de 272 mètres cubes et la force des machines de 240 chevaux indiqués; l'autre a son élinde placée sur l'un des flancs du bateau; la capacité du puits est de 300 mètres cubes et la force des machines de 155 chevaux indiqués. Elles enlèvent moyennement ensemble par an, tant du chenal que de la passe extérieure, 300,000 mètres cubes. La drague à godets servira à entretenir les parties du port soumises au régime vaseux, notamment le nouvel avant-port

(1) VÉTELLARD. — Rapport présenté au congrès international des travaux maritimes tenu à Paris en 1889.

dont nous parlerons tantôt. Elle sera en outre mise en usage pour creuser les zones qui longent immédiatement les jetées et les quais du chenal, parce que l'emploi des dragues à aspiration pourrait y provoquer des affouillements dangereux pour le maintien de ces ouvrages.

On a construit dans ces dernières années à Calais un second bassin de chasse de 95 hectares de superficie, aménagé à la partie supérieure de la plage de l'est et spécialement destiné à entretenir le chenal extérieur et la passe d'entrée du port. Le fond du bassin, formé par la partie endiguée de l'estran, est disposé de façon à utiliser, pour les chasses, une tranche d'eau d'environ 1^m,50 d'épaisseur, l'amplitude moyenne des marées de vive eau étant de 6^m,25. L'écluse de chasse comprend 5 passages de 6 mètres d'ouverture chacun, avec buses placés au niveau des basses mers de vive eau ; la puissance des chasses est portée ainsi de 345 mètres cubes à plus de 850 mètres cubes par seconde, la durée utile devant toujours être d'environ une demi-heure à trois quarts d'heure (Pl. XXVIII).

Ces chasses, qui fonctionneront prochainement, après l'achèvement de la nouvelle jetée est, auront sans doute leur utilité ; elles serviront à maintenir plus aisément la profondeur obtenue par dragage dans le chenal extérieur et dans la passe d'entrée, en refoulant de ces parties du port les sables fins et fraîchement apportés des plages attenantes ; elles pourront surtout venir en aide pendant l'hiver, quand l'état de la mer provoquera des interruptions plus ou moins prolongées des dragages. D'autre part, comme l'estran sous-marin devant Calais est fort incliné et peu abrité, et que les courants de marée y ont en outre beaucoup d'intensité, on peut prévoir que les sables expulsés par les chasses seront entraînés en majeure partie à une distance suffisante du port, et répartis en des endroits de la zone côtière où ils ne peuvent nuire à la navigation.

Remarquons toutefois que le nouveau bassin de chasse de Calais, à l'emplacement qu'il occupe, n'a d'autre but que de combattre les ensablements entre les jetées à claire-voie du chenal et devant la tête de ces ouvrages ; or ce but peut être atteint dans d'excellentes conditions en recourant exclusivement au dragage. En tous cas, il y aurait eu grand avantage au point de vue de l'effet utile des chasses, à abaisser le radier de l'écluse.

Il nous reste à parler des nouvelles installations qui viennent d'être établies à Calais ; elles comprennent principalement l'avant-port ouvert en prolongement du chenal et le bassin à flot auquel il donne accès.

L'avant-port a 160 mètres de largeur et est creusé, sur une grande partie de son étendue, à 4 mètres sous le niveau des basses mers ; il est bordé de chaque côté de quais en maçonnerie ; le quai nord, où se trouvent les postes d'accostage

destinés aux paquebots-poste de la ligne Calais-Douvres, a 550 mètres de longueur; le quai sud en a 250.

Le bassin à flot, ou bassin Carnot, communique avec l'avant-port par deux écluses à sas; l'une d'elles a 21 mètres de largeur et 135 mètres de longueur utile; l'autre a 14 mètres de largeur et 137,50 mètres de longueur utile. Toutes deux ont une paire de portes intermédiaires, divisant le sas en deux compartiments. Les buscs sont établis à 2^m,50 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau. Le bassin, dont le fond est creusé à 3 mètres sous ce niveau, a 11 hectares de superficie avec 1925 mètres de murs de quai; il se termine en amont par un arrière-bassin de 200 mètres de longueur sur 70 mètres de largeur, lequel donne accès par deux écluses de batellerie au port de navigation intérieure. Ce dernier a 900 mètres de longueur, 55 mètres de largeur moyenne et est bordé de quais verticaux. Il est en relation avec les voies navigables de l'intérieur par le canal de Calais.

Port de Gravelines. — Le port de Gravelines débouche à la mer par un chenal extérieur au rivage, d'environ 1500 mètres de longueur, compris entre des jetées en enrochements en partie submersibles et en partie insubmersibles; ces jetées sont parallèles, espacées de 75 mètres et orientées à peu près au N.O. $\frac{1}{4}$ N. (Pl. XXVI).

En prolongement du chenal extérieur se trouve le chenal intérieur, d'une longueur de 1800 mètres; il comprend l'avant-port et conduit vers le bassin d'échouage, qui est situé à l'ouest et présente une superficie, susceptible d'être affectée au stationnement des navires, d'environ 1 hectare $\frac{1}{2}$ avec 325 mètres de murs de quai. Le port d'échouage communique avec un bassin à flot au moyen d'une écluse de navigation maritime simple à deux pertuis, l'un de 10 et l'autre de 8 mètres de largeur, munis chacun de portes d'ebbe et de flot et ayant leurs buscs placés au niveau des basses mers de vive eau. Ce dernier bassin, dont la surface est de 2 $\frac{1}{2}$ hectares, communique lui-même avec la rivière de l'Aa par une autre écluse simple, formée de trois pertuis de 6 mètres de largeur chacun, avec buscs placés à 0^m,50 au-dessus des basses mers de vive eau.

Au fond du chenal intérieur se trouve l'écluse de chasse, dont le débouché linéaire est de 14 mètres. Elle correspond à un bassin de retenue formé par les fossés de la place, de 20 hectares de superficie environ, et peut lancer à la mer 400,000 mètres cubes d'eau dans l'espace de $\frac{3}{4}$ d'heure, soit 148 mètres cubes, en moyenne, par seconde.

Ces chasses sont trop peu puissantes pour attaquer efficacement les atter-

rissements existant à l'entrée du port; elles servent principalement à entretenir la profondeur du chenal en vue de l'évacuation des eaux de l'Aa. Le débit de cette rivière, qui suffit à peine pour maintenir une passe d'écoulement vers la mer pendant les crues, devient nul pendant les périodes de sécheresse, de sorte que, sans les chasses artificielles, le chenal serait alors vite obstrué.

Les plages de la côte de Gravelines, tant à l'est qu'à l'ouest, sont très larges; leur largeur varie entre 1100 et 1500 mètres, avec une inclinaison de 0^m,010 à 0^m,015 par mètre jusqu'au niveau des hautes mers de morte eau, et de 0^m,0015 à 0^m,002 seulement dans la zone supérieure; la laisse des basses mers passe à 150 mètres environ au delà de la tête des jetées. Le talus sous-marin situé en prolongement de l'estran présente également fort peu de pente, et ce n'est qu'à 2 ou 3 kilomètres au large qu'on rencontre les fonds de 10 mètres.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau ordinaires est de 5^m,84. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 1^m,30 au-dessus de celui des basses mers de vive eau, et celui des hautes mers de morte eau, à 4^m,54 au-dessus du même niveau.

Dans le voisinage de Gravelines, les courants de flot et de jusant ont respectivement une vitesse maximum de 1^m,50 et de 1^m,30 par seconde, par des marées de vive eau ordinaires.

Au point de vue du maintien de la passe d'entrée, le régime hydrographique de l'atterrage de Gravelines est des plus défavorables, à cause de la grande largeur des estrans plats situés des deux côtés du chenal et de la faible déclivité du talus sous-marin qui précède la côte. Les sables abondants de ces estrans viennent obstruer la passe extérieure par l'effet des courants et des lames, pendant que l'action de ces dernières, sur les fonds relativement élevés qui s'étendent à une grande distance au delà de la laisse des basses mers, favorise les apports d'alluvion vers l'entrée du port et à la partie supérieure des plages. Aussi la profondeur de la passe extérieure, sur 300 à 400 mètres de la tête des jetées, ne dépasse guère le niveau des basses mers, même lorsque les chasses et l'écoulement des eaux supérieures produisent leur maximum d'effet. Cette passe subit d'ailleurs des variations continuelles dans sa direction, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant que les vents soufflent de l'est ou de l'ouest; mais, comme les vents d'ouest et le régime des courants littoraux de haute mer produisent des effets dans un même sens, les déviations à l'est sont les plus prononcées. (1)

Port de Dunkerque. — Le chenal extérieur du port de Dunkerque a 800 mètres de longueur et 70 mètres de largeur; il est compris entre deux

(1) *Ports maritimes de la France.* Notice de M. l'Ingénieur en chef PLOCQ.

jetées parallèles, partie mi-coffrée, partie à claire-voie (Pl. XXVI). L'avant-port, formé par le prolongement du chenal, est bordé de chaque côté de terre-pleins soutenus par des talus perreyés et précédés d'estacades en charpente ; il a 650 mètres de longueur et conduit vers le port d'échouage, situé à l'ouest.

Depuis quelques années, des travaux considérables ont été exécutés et se poursuivent encore à Dunkerque, dans le but d'y créer toute une série d'installations maritimes des plus importantes. Le port a subi par là même une véritable transformation.

Jusqu'en 1875, il n'existait à Dunkerque que trois bassins à flot : les bassins de Commerce, de la Marine et de l'Arrière-port ; le premier est en relation avec le bassin de la Marine par une écluse simple et avec celui de l'Arrière-port par un pertuis non éclusé. Il a 500 mètres de longueur, 110 mètres de largeur et est bordé de 845 mètres de murs de quai ; les navires y ont accès par deux écluses, l'une à sas, de 50 mètres de longueur franche et 13 mètres de largeur ; l'autre simple, de 21 mètres de largeur ; les buses de ces écluses se trouvent à 0^m,90 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau.⁽¹⁾ Les deux autres bassins ont respectivement 3 hectares et 2 1/2 hectares de superficie.

Le port était entretenu exclusivement au moyen de chasses.

Au fond du chenal extérieur et immédiatement en aval de l'avant-port se trouvait une première écluse de chasse, l'écluse Becquet, formée de cinq pertuis et correspondant à un bassin de retenue de 30 hectares de superficie ; le pertuis central avait 5^m,20 et les 4 autres 4^m,00 de largeur. Ils étaient munis d'une paire de portes de flot, et les buses étaient à la cote 0^m,60 au-dessus du niveau précité.

Le pertuis central était pourvu en amont d'une paire de portes d'ebbe, avec vantaux tournants enchâssés dans les cadres busqués ; chaque pertuis latéral avait en amont une porte tournante. L'écluse présentait ainsi un débouché utile effectif de 18^m,60 et pouvait lancer à la mer 750,000 mètres cubes d'eau en 3/4 d'heure. Les chasses ne s'opéraient que pendant la période des marées de vive eau, qui dure cinq à six jours et pendant laquelle la hauteur de chute disponible variait de 4^m,50 à 5^m,00, mesurée au-dessus des buses. En morte eau, la chute est trop faible pour produire des chasses bien utiles.

L'avant-port reçoit les eaux surabondantes des wateringues de l'arrondisse-

⁽¹⁾ Au port de Dunkerque, on admet que le niveau moyen des basses mers de vive eau ordinaires coïncide sensiblement avec le *zéro de l'échelle de l'écluse de la Cunette*, et que le niveau moyen des hautes mers de vive eau est à 5^m,45 au-dessus de ce repère. Le *zéro des cartes marines* ou niveau des plus basses mers, est placé à 0^m,437 sous le zéro de l'écluse de la Cunette.

ment de Dunkerque, qui étaient amenées par les canaux de Dérivation et de la Cunette.

Le premier de ces canaux débouchait sur la rive gauche au moyen de l'écluse du fort Revers; celle-ci se composait de deux pertuis, dont l'un avait 7 mètres de largeur avec buscs établis à 0^m,10 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau; l'autre pertuis avait 9 mètres de largeur et était muni d'une paire de portes d'ebbe et de deux paires de portes de flot, comprenant entre elles un sas de 40^m,40 de longueur franche et servant aux besoins de la batellerie; des vantaux tournants, de 7^m,50 de débouché utile, étaient enchâssés dans les cadres busqués des portes d'ebbe. Le second pertuis était muni d'une paire de portes de flot et d'une porte tournante correspondant à une ouverture de 6^m,60. Les deux pertuis servaient concurremment au desséchement.

Le canal de la Cunette débouchait sur la rive droite de l'avant-port par l'écluse du même nom. Cette écluse, dont le busc correspondait au niveau moyen des basses mers de vive eau, n'avait qu'un seul pertuis de 10^m,00 de largeur, pourvu d'une paire de portes de flot et d'une paire de portes d'ebbe. Dans les cadres busqués de celles-ci se trouvaient enchâssés des vantaux tournants, offrant 8^m,25 de largeur franche et servant au fonctionnement du second étage du système des chasses. La superficie de la retenue correspondante était de 10 hectares et le volume d'eau utile lancé par l'écluse, pendant une chasse, d'environ 200,000 mètres cubes.

Dans les portes des écluses du bassin à flot du Commerce, il est ménagé 12 vannes, offrant ensemble 12 mètres carrés de section et qui fonctionnent sous une charge d'eau moyenne de 3^m,50; un aqueduc de chasse, de 1^m,20 de débouché et manœuvrant sous une charge d'eau moyenne de 3^m,00, est pratiqué sous le terre-plein de l'écluse de Barrage. A l'aide de ces vannes, on établissait un troisième étage de chasses, avec la tranche d'eau supplémentaire dont on peut disposer, en vive eau, dans les bassins à flot décrits ci-dessus. La superficie de ces bassins étant de 11 hectares, et l'épaisseur de la tranche de 0^m,80 à 1^m,00, la puissance du troisième étage peut être évaluée approximativement à 100,000 mètres cubes.

Ces trois étages de chasses permettaient de lancer dans le chenal un volume d'eau total de 1,050,000 mètres cubes en trois quarts d'heure, ou 380 mètres cubes par seconde.

A Dunkerque, la plage de l'ouest présente une largeur de 1200 à 1600 mètres et s'étend le long du chenal du port jusqu'à 500 mètres environ au delà de la tête des jetées; son inclinaison est de 0^m,010 à 0^m,015 par mètre entre la laisse des basses mers de vive eau et celle des hautes mers de morte eau;

la zone supérieure que la mer ne couvre qu'en vive eau, se tient sensiblement de niveau. Immédiatement à l'est du chenal, l'estran a 900 mètres de largeur et ne dépasse pas le musoir de la jetée; son inclinaison est de 0^m,007 à 0^m,008 par mètre jusqu'à la haute mer de morte eau, et de 0^m,003 par mètre dans la zone supérieure.

Les lignes de niveau de 3 à 4 mètres sous marée basse se trouvent, devant le port, à 600 mètres environ de l'extrémité du chenal, mais à partir de cette distance, le talus sous-marin se raidit notablement et se raccorde avec les fonds de 10 mètres de la rade sous une inclinaison variant de 0^m,05 à 0^m,07 par mètre.

Le régime des vents dans les parages de Dunkerque est caractérisé par la prédominance des vents d'ouest; ceux du nord au sud, en passant par l'ouest, y acquièrent le plus d'intensité.

L'amplitude des marées de vive eau ordinaires est de 5^m,45. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 1^m,25 au-dessus de celui des basses mers de vive eau; celui des hautes mers de morte eau est à 4^m,45 au-dessus de ce même niveau.

Dans la rade de Dunkerque, les courants de flot et de jusant ont respectivement une vitesse maximum de 1^m,80 et de 1^m,50 par seconde, par des marées moyennes de vive eau. La direction du courant de flot au moment de sa plus grande vitesse, qui se produit un peu après le plein, est E. N. E.; celle du courant de jusant au moment de sa plus grande vitesse, soit aux environs de la basse mer, est ouest.

A Dunkerque, le régime de l'estran donne lieu à de grandes difficultés pour l'entretien de la passe d'entrée du port, surtout à cause de la largeur exceptionnelle de la plage de l'ouest.

D'après des documents anciens, celle-ci s'est formée à la suite de la soudure au rivage d'un banc élevé, qui existait devant la côte. Ce banc, appelé Scheurken, séparait la fosse de Mardyck, située à peu près au droit de la plage actuelle, de la rade; il avait une forme allongée et se terminait en courbe vers Dunkerque, où l'on rencontrait encore un petit plateau, le Seutebeek. En 1631, d'après des cartes de cette époque, le Scheurken avait déjà rejoint le Seutebeek, et une carte de 1658 représente les deux bancs réunis comme étant définitivement reliés à la terre; à partir de ce moment, la rade du Mardyck s'est comblée lentement; il n'en reste plus que l'embouchure, indiquée sur les cartes marines sous le nom de « fosse de Mardyck », et la laisse des basses mers dans l'ouest de Dunkerque s'est avancée jusqu'au talus extérieur du Scheurken, qui fut ainsi englobé dans la plage. (1)

(1) EYRIAUD DES VERGNES. *Annales des Ponts et Chaussées*. Année 1889.

Aussi, les transports de sable le long de celle-ci sont considérables, surtout lorsque le vent souffle de l'ouest; et par une série de vents du S.O., il se produit quelquefois en peu de jours des apports brusques fort importants dans la partie ouest de la passe d'entrée du port.

Les chasses dont nous avons parlé plus haut étaient impuissantes à combattre la déviation à l'est que subissait la passe par suite de la prédominance de ces mouvements de sable, et aussi par l'effet des dépôts de vase qui se forment sur la plage de l'ouest, pendant l'écoulement des eaux surabondantes de la contrée et dont il a été question au chapitre précédant; elles ne pouvaient du reste maintenir dans le chenal intérieur plus de 2^m,25 à 3^m,00 de profondeur sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, ni plus de 0^m,50 à 1^m,25 de profondeur entre les jetées sur environ 30 mètres de largeur, suivant la fréquence et l'intensité des tempêtes.

Cette situation ne répondant plus au mouvement commercial toujours croissant du port de Dunkerque, il fut décidé d'augmenter la puissance des chasses en utilisant, comme retenue, 30 hectares des anciens fossés de l'ouest de la place, en communication avec les canaux de Dérivation, de Ceinture et de Mardyck, et comme écluse de chasse, l'écluse du fort Revers. Cet ouvrage, dont les portes tournantes offraient ensemble 14^m,10 de débouché utile, pouvait lancer à la mer 800,000 mètres cubes d'eau en $\frac{3}{4}$ d'heure, ce qui aurait porté le cube total à fournir par les écluses existantes à 1,850,000 mètres. Plus tard on décréta d'autres travaux encore, combinés de façon à utiliser les fossés de la nouvelle enceinte de la place, tant à l'est qu'à l'ouest, comme réservoirs de chasse et à les faire servir en même temps à l'amélioration du dessèchement des terres de wateringues, dont les eaux se déversent dans le chenal du port. Dans ce double but, les fossés en question, mis en communication avec les canaux d'écoulement de ces terres, devaient faire fonction de bassins d'appel, où les eaux surabondantes viendraient s'emmagasiner pendant la haute mer. La communication étant pourvue d'écluses de garde, avec portes de flot, il aurait suffi de fermer celles-ci pour pouvoir introduire la marée haute dans les bassins, et faire des chasses à l'eau de mer chaque fois que les terres n'exigeraient plus d'écoulement immédiat.

Ces projets, dont l'exécution complète devait porter la puissance des chasses à 2,210,000 mètres cubes, n'ont pas été poursuivis dans les conditions précitées.

On a aménagé les fossés de l'ouest et en partie ceux de l'est, mais sans rien modifier aux canaux de Jonction et du Mardyck; on a établi à l'extrémité de ces fossés deux nouvelles écluses de chasse et de dessèchement, dites des bastions 27 et 28. Ces écluses, dont le débouché linéaire total est de 30 mètres,

ont été achevées en 1884 et fonctionnent régulièrement depuis comme écluses d'évacuation. (Pl. XXVIII).

D'un autre côté, l'écluse du fort Revers s'est effondrée en 1877 et n'a plus été reconstruite. Une seconde écluse dite « du Phare » a été établie au débouché des fossés de l'ouest; elle est formée de 8 tubes cylindriques en maçonnerie, à section circulaire de 2^m,00 de diamètre, fondés sur béton et dont la génératrice inférieure se trouve à 2^m,50 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau. Ces tubes, qui sont donc entièrement noyés, même à marée basse, se ferment à l'aide de portes tournant autour d'un axe vertical, placé vers le milieu de chaque vantail; ils sont recouverts entièrement par un remblai. Cette disposition a été adoptée pour des considérations de défense militaire.

Les travaux qui avaient été projetés à Dunkerque en vue d'augmenter la puissance des chasses, auraient sans doute été utiles pour améliorer la situation du chenal jusqu'à l'extrémité des jetées et y entretenir une profondeur notablement plus grande que celle correspondant aux chasses anciennes; mais il est probable qu'à l'entrée même du port et dans la passe extérieure, l'effet produit aurait été faible, d'autant plus qu'à Dunkerque, les fonds de 3 à 4 mètres se trouvent à 600 mètres environ des jetées et que les plages attenantes au chenal y sont abondamment nourries.

C'est en 1877, nous avons déjà eu l'occasion de le dire, que les ingénieurs français ont définitivement eu recours aux dragages pour approfondir l'entrée du port. Pendant les premières années, l'importance des déblais enlevés annuellement était faible; mais à partir de 1880, elle a rapidement augmenté et à la fin de 1881, il avait été dragué sur la barre un cube total de 630,000 mètres; la profondeur minimum atteignait alors 2^m,25 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, et dépassait par conséquent de 1^m,00 environ la plus grande profondeur obtenue antérieurement par la seule action des chasses. Pendant les années 1882, 1883 et 1884, on a extrait un déblai plus considérable encore, environ 1,500,000 mètres cubes, tant dans le chenal, entre les jetées et dans la passe extérieure, qu'à l'ouest de l'entrée du port, où l'on a creusé peu à peu une dépression profonde ou fosse de garde, destinée à arrêter les sables entraînés de la partie supérieure de la plage vers les musoirs.

Dès 1885, la passe extérieure était largement ouverte et offrait, de même que le chenal, une profondeur de 2^m,70 sous le niveau des basses mers de vive eau.

L'expérience a prouvé depuis que pour maintenir cette situation d'une façon régulière, sans l'aide de chasses, il faut exécuter environ 500,000 mètres cubes de dragages par an, dont 60,000 à 75,000 mètres cubes entre les jetées. Nous

reproduisons Pl. XXVIII, le plan des sondages effectués à l'entrée du port en 1876, immédiatement avant que les premiers essais de dragages eurent lieu, et à côté, le plan levé en octobre 1885 et qui représente les résultats obtenus à cette époque.

Le prix de revient de ces dragages, qui depuis 1884 se font en régie, ne dépassait pas à cette époque, nous l'avons vu, 0,20 fr. le mètre cube, non compris l'intérêt ni l'amortissement du coût du matériel.⁽¹⁾ Ce prix a sensiblement augmenté ces dernières années; il s'élevait en 1890 à 0,279 fr., en 1891 à 0,287 fr. et en 1892 à 0,33 fr. en moyenne. Mais il est à remarquer qu'à mesure que la profondeur à l'entrée du port et dans la fosse de garde s'est accrue, il s'y est produit plus de dépôts de vase et que le rendement des dragues dans ce sable de plus en plus vaseux a diminué progressivement.

On remarquera sur le plan de sondages de 1885, que la plage de l'ouest s'est amaigrie dans le voisinage du port et que la laisse des basses mers, le long de la jetée, a par là même sensiblement reculé; c'est que la profondeur dans la passe extérieure et dans la fosse de garde attenante ayant augmenté, cette partie de la plage a pris insensiblement un nouveau talus d'équilibre en rapport avec l'abaissement de l'estran sous-marin devant le port.

Comme nous l'avons dit plus haut, le régime de la plage de Dunkerque est particulièrement défavorable au point de vue du maintien des profondeurs à l'entrée du chenal; aussi la quantité de dragages à faire chaque année, 500,000 mètres cubes, pour y maintenir la cote de 2^m,70 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, est considérable.

Depuis la mise en pratique des dragages, les chasses ne sont employées que fort accessoirement à Dunkerque. La création des nouveaux bassins de commerce a d'ailleurs nécessité la suppression du réservoir Becquet, et les installations existant au port ne se prêteraient guère à reconstruire ce réservoir sur un emplacement qui permettrait de le faire servir à combattre les envasements de l'avant-port et du chenal intérieur, où l'on ne maintient du reste aujourd'hui qu'un goulet central, ayant à peine 2^m,00 à 2^m,50 de profondeur sous le niveau des basses mers de vive eau. Cette profondeur est entretenue au moyen d'une drague à godets, qui extrait annuellement 150,000 à 180,000 mètres cubes de matières vaseuses.

Pour ce qui est des grands travaux exécutés pendant ces dernières années à Dunkerque, ils ont commencé par la construction du bassin à flot de l'ouest ou darse n° 1, qui s'ouvre sur le port d'échouage par une écluse à sas de

(¹) Voir page 266.

21 mètres de largeur, avec buscs placés à la cote — 1,^m55, le niveau des cartes marines étant pris comme repère.

Plus tard, la darse n° 1 a été agrandie et on a établi à côté la darse n° 2 ; celle-ci est jointe à la précédente par un grand bassin creusé à la cote — 2,^m50, et communiquant lui-même avec deux autres nouvelles darses à l'aide d'une écluse simple de 21 mètres de largeur. Ces dernières darses, dont le plafond est creusé à la cote — 4,^m50, sont en relation avec le chenal par une écluse à sas, l'écluse du Nord, en voie d'achèvement, qui mesure 177 mètres de longueur utile, 25 mètres de largeur et dont le radier se trouve à la cote — 5,^m00. (Pl. XXVIII).

Toutes ces darses ont une largeur de 90 mètres et sont entourées de quais en maçonnerie. Les terre-pleins qui les séparent ont 180 mètres de largeur ; ils sont pourvus de hangars, ainsi que de lignes ferrées conduisant à une vaste gare maritime, laquelle est établie à l'ouest des bassins, en prolongement de la gare du chemin de fer du Nord.

La rive ouest de l'avant-port, depuis l'écluse de la darse n° 1 jusqu'à l'écluse nord, sera bordée de quais maçonnés.

Un canal de 40 mètres de largeur au plafond, avec 2,^m12 de tirant d'eau minimum, a été ouvert entre le quai du Mardyck et l'ancien canal de dérivation. Ce canal, appelé « Canal de l'île de Jeanty », est à l'usage de la petite navigation et communique avec les bassins à flot par deux écluses à sas de 6 mètres de largeur et de 40 mètres de longueur utile.

Les formes de radoub, au nombre de quatre, sont placées le long des bassins à flot entre l'écluse à sas de l'Ouest et celle du Nord. La plus grande a 21 mètres de largeur, 190 mètres de longueur franche, avec seuils placés à la cote — 2,^m10. La plus petite a 14 mètres de largeur, 84 mètres de longueur franche, avec seuils placés à — 0,^m55 ; les deux autres ont 14,^m00 de largeur et 109 mètres de longueur franche, avec seuils placés respectivement à — 2,^m05 et à — 0,^m55. Ces diverses formes se ferment à l'aide de bateaux-portes ; trois d'entre elles sont accessibles du côté de l'avant-port comme du côté des bassins ; la quatrième ne s'ouvre que de ce dernier côté.

Les travaux projetés à l'est du chenal comprennent l'établissement d'un bassin à flot, destiné spécialement à la petite navigation, et l'installation de chantiers de construction ; mais ils ne sont pas encore entamés.

On est en outre activement occupé en ce moment à élargir le chenal et à reconstruire dans ce but la jetée de l'est.

Le musoir de la nouvelle jetée, dont nous avons indiqué le mode de

construction au chapitre précédent, se trouvera à une distance d'environ 125 mètres en arrière du musoir de la jetée ouest, laissant à l'entrée une largeur de 130 mètres. La largeur du chenal ira en augmentant de façon à mesurer 210 mètres immédiatement en aval de la grande écluse Nord du bassin Freycinet. La nouvelle jetée, à son point d'enracinement avec la côte, se termine par un brise-lames offrant une ouverture de 153 mètres, avec plan d'épanouissement incliné à $1/10$ et dont le seuil, du côté du port, sera placé à la cote $+ 1,50$.

Les travaux d'élargissement du chenal, en voie d'exécution à Dunkerque, amélioreront notablement les conditions de navigabilité du port, d'autant plus que la grande écluse Nord des bassins à flot se trouve à peu de distance de l'origine des jetées, c'est à dire de l'extrémité de la partie du chenal comprise entre des ouvrages à claire-voie ou mi-coffrés, bien moins sujette par conséquent aux envasements que les autres parties du port soumises à la marée et où les dragues à aspiration peuvent fonctionner efficacement; les écluses d'évacuation des bastions 27 et 28 et celle du Phare débouchent d'ailleurs immédiatement en aval de l'écluse à sas précitée.

Il est à remarquer que dans le chenal élargi, la houle sera plus forte et occasionnera sans doute des sujétions pour la manœuvre des portes de la grande écluse précitée, de 25 mètres de largeur, qui se trouve à 1000 mètres seulement de la tête des jetées; il est à craindre même que cette manœuvre sera parfois impossible; toutefois, comme le port est très abrité par les nombreux bancs qui s'étendent devant la côte de Dunkerque, cette circonstance fâcheuse ne se présentera que par les tempêtes violentes du large; on pourra d'ailleurs, dans l'avenir, atténuer au besoin ces effets de la houle, en ouvrant de nouveaux brise-lames le long du chenal, à travers les jetées à claire-voie. De plus, en cas de mauvais temps, les navires de dimensions ordinaires n'auront qu'à se rendre dans les bassins à flot, soit par l'écluse de l'Ouest, soit par celle de la Marine, lesquelles sont situées à une distance beaucoup plus grande de l'entrée du chenal et moins exposées par conséquent à l'action des lames, tandis que les grands navires peuvent dans ce cas attendre en toute sécurité dans la rade qui précède le port et dont les qualités nautiques, nous l'avons vu, sont excellentes. L'existence de cette rade, qui constitue à vrai dire un vaste avant-port placé en pleine mer, est l'un des grands avantages du port de Dunkerque. Elle atténue beaucoup, pour le trafic ordinaire des marchandises, les inconvénients qui résultent du manque de profondeur du chenal, car elle permet aux navires d'attendre sans difficulté ni danger le plein de la mer pour attaquer le port.

II. — NIEUPOORT, OSTENDE ET BLANKENBERGHE.

Port de Nieuport. — Le port de Nieuport est situé à l'embouchure de l'Yser. Cette rivière se divisait autrefois en plusieurs branches ; l'artère principale passait devant Lombartzyde et y formait le port de ce nom ; elle se prolongeait en amont suivant la direction de la crique de Nieuwendamme. Une autre branche passait devant le bourg de Santhove, qui se trouvait à une demi-lieue de la mer, en face de Lombartzyde. C'est cette branche qui fut utilisée, à partir de 1160, comme nouveau port, après que le port de Lombartzyde eût été envasé à la suite des inondations, et le bourg de Santhove prit le nom de Neuf-port ou Nieuport.

De nombreuses ramifications s'étendaient en amont de ces branches principales ; l'une d'elles laissait pénétrer la mer jusque dans les moères de Furnes. Les courants continuels, occasionnés par la masse des eaux qui entraient à chaque marée dans ces vastes réservoirs, pour en sortir à la marée descendante suivante, constituaient un puissant mode de curage pour le port et y entretenaient la profondeur des passes. Mais par suite de l'endiguement graduel des criques et des bas-fonds d'amont, et après que la construction des écluses eût arrêté les incursions journalières de la mer vers l'intérieur des terres, ces passes se sont envasées en partie et le chenal du port n'est plus entretenu aujourd'hui que par le jeu des marées dans son lit et par l'évacuation des eaux supérieures.

Le chenal extérieur a 600 mètres de longueur, 80 mètres de largeur moyenne et est compris entre des jetées à claire-voie en charpente ; la jetée ouest est reliée à la dune par une digue recouverte d'un perré (Pl. XXVII).

Le chenal intérieur, d'une longueur totale d'environ 3000 mètres, présente une partie droite, formant le prolongement du chenal extérieur, et deux coudes situés en amont. Il est limité à l'ouest par une passerelle en charpente, faisant suite à l'estacade, et plus loin par une digue insubmersible en terre qui continue jusqu'au terre-plein existant devant la ville ; à l'est, il est bordé par une bande de terrains de schorres que la mer inonde dans les grandes marées de vive eau et qui se terminent au pied des dunes ; en amont de celles-ci, les terrains situés le long du port sont protégés par des digues en terre.

La partie du chenal qui s'étend devant la ville est utilisée comme bassin d'échouage ; elle est pourvue de quais d'un développement total de 332 mètres, dont 178 mètres sont en maçonnerie, et le restant en charpente adossée contre un talus perreyé. Ces quais se terminent à l'emplacement occupé précédemment par le " Long pont ", qui était établi au-dessus du chenal et appartenait à la

route d'Ostende à Nieuport. Cet ouvrage, dont l'ouverture n'était plus en rapport avec le débouché des nouvelles écluses construites au fond du port pour l'évacuation des eaux du pays environnant, a été démoli lors de la crue de l'Yser de 1880 ; actuellement le passage de la route précitée se fait exclusivement par le détournement existant au-dessus des ponts de ces écluses.

On vient de construire à Nieuport un bassin à flot, ayant une écluse d'entrée simple de 15 mètres de largeur, avec buses placés à 2^m,50 sous le niveau des basses mers de vive eau. Ce bassin, dont le canal d'accès s'ouvre sur la rive gauche du chenal immédiatement en aval de l'emplacement de l'ancien phare, offre une superficie d'environ un hectare et demi ; il est limité par des perrés maçonnés dont le pied se trouve au niveau du plafond, soit à 3^m,00 sous le niveau précité, et la crête à 7^m,00 au-dessus de ce repère ; le perré de la rive ouest est pourvu de débarcadères en charpente. Le canal d'accès du bassin, de forme évasée, est bordé de perrés semblables et sera maintenu également à la cote 3^m,00.

Les écluses établies au fond du port sont au nombre de six : l'écluse d'Ypres, la nouvelle écluse de Furnes, l'écluse du Furnes-Ambacht, l'écluse du Vladslloo-Ambacht, l'écluse du Comte et l'écluse de Chasse.

Ces quatre premières écluses ont été reconstruites en 1875 et 1876, sous notre direction et d'après des dispositions en harmonie avec l'ensemble des travaux exécutés à cette époque pour l'amélioration du régime de l'Yser.

L'écluse d'Ypres et la nouvelle écluse de Furnes se trouvent respectivement au débouché de l'Yser et à celui du canal de Nieuport à Furnes, lequel sert aussi, en temps de crue, à écouler les eaux amenées de cette rivière par le canal de Loo. Elles se composent chacune d'un sas de 8^m,50 de largeur et de 50 mètres de longueur utile, ainsi que d'un déversoir accolé, comprenant cinq pertuis pour le premier et quatre pertuis pour le second de ces ouvrages. Chaque pertuis a 2^m,10 d'ouverture et est muni de deux vannes, manœuvrées au moyen de crics installés sur un bâti en fer. Les vannes d'aval servent de vannes de garde. En temps de crue, la décharge des eaux s'opère à la fois par l'ouverture du sas et par les pertuis ; les buses se trouvent au niveau des basses mers de vive eau.

L'écluse de Chasse appartient à la crique de Nieuwendamme, qui communique avec l'Yser à l'aide d'un déversoir à vannes, placé dans la digue droite de la rivière, à 500 mètres environ en amont de l'écluse d'Ypres. Elle se compose de deux pertuis de 5 mètres d'ouverture chacun, munis d'une porte tournante et d'une paire de portes de flot. Cet ouvrage a été construit autrefois pour écouler les eaux surabondantes de l'Yser, concurremment avec l'ancienne écluse d'Ypres ; il

servait en outre à opérer des chasses dans le chenal du port avec l'eau emmagasinée dans la crique de Nieuwendamme. Depuis la construction de la nouvelle écluse d'Ypres, cette crique a été mise en communication par un canal de dérivation avec le Zydelingsvaart, l'une des principales artères de la Wateringue de Vladsloo, et l'écluse de Nieuwendamme sert aujourd'hui au dessèchement des terres de cette wateringue, situées à droite de l'Yser, entre Dixmude et Nieuport.

Pour faire comprendre l'importance de cette rivière sous le rapport des crues auxquelles elle est sujette, nous en décrirons sommairement le régime.

L'Yser a ses sources en France, aux environs de Cassel et de St-Omer; il pénètre en Belgique à Rousbrugghe, en se dirigeant vers le N.N.E., passe à Dixmude et se jette à la mer à Nieuport. Entre la frontière et Elzendamme, la vallée est assez étroite; à partir de ce village, elle s'élargit rapidement sur la rive droite, et présente d'immenses prairies qui s'étendent jusqu'à Dixmude. La rive gauche de la rivière est endiguée depuis La Fintelle jusqu'à Nieuport, et la rive opposée, depuis Dixmude seulement.

Outre les eaux qu'il amène de France, l'Yser reçoit toutes celles de la partie de notre territoire qui se trouve à droite de son cours, jusqu'à la rencontre d'une ligne dont les extrémités seraient situées respectivement à Oere et à Thourout; son niveau ordinaire de navigation se trouve à 3^m,25 au-dessus du niveau moyen des basses mers de vive eau, observées à Ostende. En temps de sécheresse, le débit de la rivière est presque nul; mais après quelques jours de pluies intenses, les eaux affluent rapidement de la France et, ne trouvant qu'une faible pente en arrivant sur notre territoire, leur niveau s'élève dans un temps très court à une hauteur considérable au-dessus de l'étiage. Le lit de la rivière étant insuffisant, les eaux inondent les vastes prairies de la rive droite jusqu'à Dixmude et celles de la rive gauche jusqu'à La Fintelle.

Lors de la grande crue de décembre 1872, alors que les écluses de Nieuport n'étaient pas encore reconstruites, les eaux de l'Yser ont atteint, à la Fintelle, la cote + 5^m,55 par rapport au (Z); aux écluses de Nieuport, le niveau de la rivière, rapporté au même repère, se trouvait alors à + 4^m,53 au moment de l'ouverture des portes et à + 3^m,56 au moment de la fermeture de celles-ci.

La situation ne fut pas moins alarmante pendant la crue du mois de décembre 1880.

Mais depuis cette époque, les travaux de recreusement et d'endiguement du canal de Loo et du canal de Furnes à Nieuport ont été terminés, et l'écoulement des eaux se fait actuellement à la fois par la rivière et par la dérivation qui est formée à l'aide des canaux précités.

Ces travaux, qui ont été complétés par le redressement et le recreusement de quelques parties du lit de la rivière, ont parfaitement répondu à leur but, ainsi qu'on a pu le constater lors de la forte crue qui a eu lieu en décembre 1882 et janvier 1883, et pendant laquelle les eaux de l'Yser n'ont atteint que la cote $+ 4^m,50$ à La Fintelle et la cote $+ 4^m,01$ à Nieuport. Actuellement les eaux de cette rivière sont maîtrisées autant que de besoin et ne produisent plus d'inondations nuisibles.

En temps de crue ordinaire, les écluses de l'Yser restent moyennement ouvertes, à chaque marée, durant $7 \frac{3}{4}$ heures en vive eau et durant $8 \frac{1}{2}$ heures en morte eau. Mais, par les grandes crues, la durée moyenne des évacuations est de 9 heures aux marées de vive eau ordinaires; en morte eau, les portes ne se ferment alors que pendant une heure environ, et il arrive même que, grâce à un temps calme, elles restent ouvertes au plein de la mer. Chaque hiver d'ailleurs, surtout pendant les années pluvieuses, les écluses de l'Yser fonctionnent, toutes larges ouvertes, pendant des mois entiers.

Passons aux autres écluses débouchant dans l'arrière-port de Nieuport.

L'écluse du Furnes-Ambacht et celle du Vladsloo-Ambacht, reconstruites toutes deux en 1875, sont exclusivement destinées aux dessèchements des terres des wateringues de même nom.

La première se trouve au débouché de la nouvelle dérivation de l'Oostvaart, et comprend 8 pertuis de $2^m,00$ d'ouverture chacun, munis d'un double système de vannes, manœuvrées à l'aide de crics; les buses sont placés au niveau des basses mers de vive eau. Toutes les eaux du territoire compris entre l'Yser, le canal de Bergues, le canal de Nieuport à Dunkerque (partie de Furnes à la frontière) et les dunes, d'une superficie de 24,000 hectares, arrivent par les canaux intérieurs du Furnes-Ambacht vers le Koolhofvaart et l'Oostvaart, et se déversent à la mer par cette écluse.

L'écluse du Vladsloo-Ambacht dépend du canal de ce nom et comprend trois pertuis de $2^m,50$ de largeur chacun, présentant le même mode de fermeture que ceux de l'écluse du Furnes-Ambacht; elle sert à l'assèchement des terres de la grande Wateringue de l'Ouest, situées du côté de Middelkerke.

Les terres du Furnes-Ambacht et du Vladsloo-Ambacht se trouvent en général à un niveau inférieur à celui des hautes mers. En temps ordinaire, le niveau du canal du Furnes-Ambacht est maintenu en moyenne à la cote $+ 2^m,54$ par rapport au (Z), et celui du Vladsloo-Ambacht à la cote $+ 2^m,39$; à l'époque des grandes crues, le niveau de ces canaux s'élève à $0^m,40$ environ au-dessus de leur étiage. L'écoulement des eaux surabondantes s'y effectue moyennement

pendant 4 à 4 1/2 heures avant, et pendant 1 à 1 heure 1/2 après la marée basse.

L'écluse du Comte est une écluse de navigation, établissant la communication entre le canal de Nieuport à Plasschendaele et l'arrière-port; elle a 8^m,00 d'ouverture et 50 mètres de longueur franche de sas. Les portes sont munies de vannes permettant, concurremment avec des larrons ménagés dans les bajoyers, d'évacuer les eaux des terres qui s'égouttent dans le canal.

On peut juger, d'après ce qui précède, de la masse d'eau considérable qui s'écoule, pendant les saisons pluvieuses, par le chenal de Nieuport. Cette circonstance est précieuse pour le maintien de la profondeur du port; les chasses naturelles qui correspondent à ces évacuations d'eau sont très efficaces et elles font sentir leurs effets jusqu'à l'extrémité des jetées, malgré la longueur et les sinuosités du chenal.

Dans le voisinage de Nieuport l'estran présente, tant à l'est qu'à l'ouest, une largeur moyenne de 400 mètres et une inclinaison moyenne de 0^m,012 par mètre.

Près du chenal et de part et d'autre de celui-ci, la laisse des basses mers de vive eau ordinaires s'avance d'environ 100 à 130 mètres, et se raccorde avec les têtes des jetées, sans toutefois les dépasser. Elle se rapproche rapidement de la dune à mesure qu'on s'éloigne du port et reprend, des deux côtés, sa position normale à 1/2 kilomètre de distance environ de ce dernier. Mais il est à remarquer que cette saillie de l'estran n'est pas une conséquence de la construction des jetées du port; elle existe depuis un grand nombre d'années, ainsi qu'on peut le voir sur les anciens plans, dressés à des époques où pareils ouvrages n'existaient encore que le long d'une partie du chenal.

D'après l'un de ces plans, daté de 1734 et qui se trouve aux archives de l'hôtel de ville de Nieuport, le chenal était bordé à cette époque par quelques épis, établis transversalement sur les rives, et dans sa partie aval, par deux tronçons de jetées basses, appelées *têtes* ou *duyckers*. Ces jetées se dirigeaient, à leur extrémité, vers le N.O.; la jetée de l'ouest était un peu plus longue que celle de l'est, mais toutes deux s'arrêtaient dans la zone supérieure de la plage. Au delà de ces ouvrages, le chenal présentait, à marée basse, un coude prononcé en s'infléchissant vers l'est.

La jetée de l'est fut prolongée par parties successives; le premier prolongement date de 1770; le dernier, comprenant le musoir, a été construit en 1869. La jetée actuelle de l'ouest, de construction plus récente, fut commencée en 1868 et achevée en 1873.

Devant le chenal de Nieuport, les fonds de 5 mètres se trouvent, d'après

les derniers sondages de M. le Lieutenant de vaisseau Petit, à 450 mètres environ de la laisse des basses mers; plus loin, l'estran sous-marin ne présente qu'une inclinaison moyenne de 0^m,0015 par mètre sur une étendue de près de 1800 mètres, et il se raccorde ensuite avec les fonds de plus de 10 mètres de la rade sous une pente de 0^m,005 par mètre.

Le régime des vents dans les parages de Nieuport est caractérisé par la prédominance des vents d'ouest; les vents du nord au N.O. sont généralement les plus violents.

L'établissement du port est de 12^h20^m.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau est de 4^m,84. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 0^m,80 au-dessus de celui des basses mers de vive eau; celui des hautes mers de morte eau est à 3^m,92 au-dessus de ce dernier niveau.

Dans la rade de Nieuport, la vitesse maximum du courant de flot, par des marées moyennes de vive eau, est de 1^m,30, et celle du courant de jusant, de 1^m,10 par seconde. La direction du courant de flot, au moment de sa plus grande vitesse, qui se produit vers l'instant de la haute mer, est N.E. 1/4 E.; celle du courant de jusant au moment de sa plus grande vitesse, soit vers l'instant de la basse mer, est O 1/4 S.O.

En morte eau, la vitesse maximum des courants de flot et de jusant est respectivement de 0^m,70 et 0^m,55 par seconde. La direction de ces courants, au moment de leur plus grande vitesse, ne diffère pas sensiblement de celle que l'on observe pendant les marées de vive eau.

Lorsque le vent n'intervient pas, la durée du flot est supérieure de 1 heure 1/2 environ à celle du jusant.

Le chenal intérieur du port de Nieuport, malgré l'absence complète de tout système de curage artificiel, se maintient dans un état relativement satisfaisant. Il présente, à marée basse, un goulet central de 20 à 30 mètres de largeur dans les parties courbes d'amont, et de 30 à 50 mètres dans la partie droite d'aval; la profondeur y varie de 0^m,75 à 2^m,50 sous le niveau des basses mers de vive eau. Quant à la passe d'entrée, elle ne présentait avant 1888, époque à laquelle on a commencé l'approfondissement de la barre par dragages, que 0^m,50 d'eau environ à marée basse; à l'époque des grandes sécheresses, elle était du reste souvent déviée vers l'est et obstruée en partie par les sables, jusqu'à ce que les crues de l'Yser eussent rétabli la situation normale.

Comme nous le disions tantôt, les premiers dragages à l'entrée du chenal

de Nieuport ont commencé en mars 1888, au moyen d'un bateau-aspirateur du type de l'*Aurore II*, qui a été décrit précédemment. Au mois de septembre 1888, cette drague avait extrait 88,832 mètres cubes de sable, dont 77,881 mètres dans la passe extérieure et 10,951 mètres entre les jetées à claire-voie. Les travaux étaient exécutés à forfait, à raison de 0,788 fr. le mètre cube, transporté à 7 kilomètres de distance en mer. Trois autres adjudications ont successivement eu lieu, à la suite desquelles on a enlevé un nouveau déblai de 543,635 mètres cubes, au prix moyen de fr. 0,527 le mètre. De ces 543,635 mètres cubes, il en a été extrait 420,469 devant la tête des jetées et 123,166 entre ces ouvrages. Depuis lors, les dragages qui s'exécutent à Nieuport, font partie de l'entreprise générale pour l'entretien des ports de la côte belge, dont nous avons parlé au chapitre VI.

Sur la pl. XXVIII sont reproduits les plans de sondage de l'entrée du chenal, dont le premier a été levé en septembre 1887, avant qu'aucun dragage y fût effectué, et le second en octobre 1893.

On remarquera que la passe extérieure et la partie aval du chenal offrent aujourd'hui une profondeur minimum de 2^m,50 sous le niveau des basses mers de vive eau, et que les fosses de garde, de part et d'autre de l'entrée, commencent à se dessiner; mais les talus de raccordement de la passe n'ont pas encore atteint leur inclinaison d'équilibre, et l'estran, le long des jetées basses, est encore peu amaigri. Il en résulte que par des tempêtes du large, d'assez grandes quantités de sable sont entraînées devant le port, et y occasionnent parfois, en certains points, un relèvement de 0^m,75 environ dans la passe extérieure, et de 1^m,00 dans le chenal, notamment près de la jetée ouest.

Des observations faites avec beaucoup de soin par M. l'Ingénieur Ch. Piens, ont permis de constater les faits suivants, relativement à l'importance annuelle des apports de sable à l'entrée du chenal de Nieuport.

Au large des musoirs des jetées il a été dragué, du mois de mars 1888 jusqu'en octobre 1893, soit pendant une période de 5 1/2 ans, 577,000 mètres cubes. Ces dragages ont eu lieu dans un secteur de 500 mètres de rayon, limité par une ligne tangente aux musoirs et par les deux alignements AB et CD (Pl. XXVIII), et ils y ont produit un approfondissement correspondant à un volume d'environ 250,000 mètres cubes. Dans l'intervalle des 5 1/2 années précitées, la quantité de sable entraînée des plages et de l'estran sous-marin mesurait donc en moyenne 60,000 mètres cubes par an.

Une évaluation analogue donne comme apport annuel entre les jetées, un cube moyen de 20,000 mètres; on peut conclure de ces chiffres qu'un dragage de 80,000 à 100,000 mètres cubes par an, permettra, les évacuations d'eau

douce aidant, de maintenir les profondeurs existant actuellement à l'entrée du port.

En terminant la description du port de Nieuport, nous signalerons un premier fait qui montre avec quelle rapidité, le long de la côte des Flandres, les vases envahissent les parties des ports sujettes à la marée et où il n'existe aucun courant de chasse naturel ou artificiel, de nature à combattre les dépôts formés par cette alluvion.

Le chenal d'accès du nouveau bassin à flot en voie d'achèvement a été creusé en partie à l'abri d'un batardeau et en partie par dragage, après l'enlèvement complet de celui-ci. La partie draguée fut mise à la cote — 2^m,90 par rapport au niveau des basses mers de vive eau; or trois mois après, on n'y sondait plus que — 1^m,80, c'est à dire que le fond s'était exhaussé pendant ce court laps de temps de 1^m,10, soit de 0^m,37 en moyenne par mois; l'envasement y a continué ensuite, mais moins activement à mesure que la profondeur diminuait; cependant, il mesurait encore 0^m,25 environ par mois en moyenne; en moins d'un an, le plafond se trouvait au niveau des basses mers précité.

Il est prévu annuellement pour l'entretien des parties intérieures du port de Nieuport un dragage variant de 30,000 à 45,000 mètres cubes.

Port d'Ostende. — Ostende n'était au début qu'une bourgade de pêcheurs, dont les embarcations s'échouaient sur la plage. L'origine du port remonte à 1445. Cette année, Philippe-le-Bon autorisa les Ostendais à creuser à travers la digue qui protégeait la ville contre les assauts de la mer, un havre pour servir de refuge aux bateaux de pêche. Ce havre ou chenal fut ouvert à l'ouest. Mais en 1585, la ville fut entourée de fortifications et l'on rasa les dunes situées à l'est. La mer se fraya bientôt un passage de ce côté, et elle submergea à chaque marée le pays plat environnant; sous l'action de ce mouvement alternatif de montée et de descente des eaux, la nouvelle issue se creusa rapidement et c'est de cette époque que date le chenal actuel du port. L'ancien chenal, qui était d'un accès difficile et dangereux, et qui n'offrait du reste que peu de profondeur, fut abandonné vers 1600⁽¹⁾.

Grâce à l'étendue des criques et des bas-fonds qui étaient couverts par la marée en amont du port et dans lesquelles se déversaient aussi les eaux douces des terres avoisinantes, le chenal avait de grandes profondeurs; d'après Bouwens, elles atteignaient, vers 1700, 40 à 50 pieds à l'intérieur, et 30 pieds à l'extrémité de celui-ci; sur le banc situé devant l'entrée, on sondait 4 à 5 pieds. Ces

(1) BOUWENS. *Naamkeurige beschrijving der oude en beroemde zee stad Oostende.*

profondeurs diminuèrent ensuite à mesure que les endiguements faisaient disparaître les bassins de submersion; vers 1800 la passe d'entrée du port était devenue fort étroite et n'offrait plus que 2 à 3 pieds d'eau aux basses mers.

A partir du XIX^e siècle, les chasses naturelles, produites par l'introduction de la marée dans les parties basses situées en amont du port, furent remplacées par des chasses artificielles avec bassins et écluses de retenue.

Actuellement le chenal extérieur du port d'Ostende présente une longueur d'environ 450 mètres; il est compris entre deux jetées à claire-voie en charpente, avec digues basses, orientées sensiblement vers le N.O.; l'extrémité de la jetée est s'incline davantage vers le nord. (Pl. XXVII).

La jetée ouest, nous l'avons déjà dit, a été reconstruite entièrement en 1889 dans le but d'élargir le chenal, qui n'avait que 60 mètres d'ouverture à l'endroit le plus resserré et 100 mètres à l'entrée. Ces dimensions ont été portées respectivement à 100 et 150 mètres⁽¹⁾.

Le chenal intérieur, dirigé à peu près du N. 1/4 N.O. au S. 1/4 S.E., conduit vers l'avant-port et communique, à gauche, avec le bassin d'échouage destiné aux chaloupes de pêche.

Ce bassin, qui est entouré de murs de quai en maçonnerie, ne mesurait jusqu'en 1885 que 275 mètres de longueur et 85 mètres de largeur moyenne. On a procédé cette année aux travaux nécessaires pour l'étendre de 100 mètres vers le nord, et pour modifier en même temps la disposition de l'entrée. Il a été construit à cet effet un môle à travers l'entrée primitive, au moyen de caissons à air comprimé, de façon à laisser une ouverture de 35 mètres entre l'extrémité de cet ouvrage et l'ancien quai des bateaux à vapeur.

Plus loin et du même côté, le chenal donne accès à la crique des pêcheurs et à l'écluse d'entrée des bassins à flot. Le quai réservé à l'accostage des paquebots-poste de l'Etat qui font la traversée entre Ostende et Douvres, est situé immédiatement en amont de la crique des pêcheurs.

Sur la rive est du chenal s'ouvre la passe d'accès conduisant au nouveau banc de carénage des bateaux de pêche. Il a été construit en 1890 dans une partie endiguée du bassin de chasse de l'écluse Léopold et mesure 250 mètres de développement sur 25 mètres de largeur; la face supérieure se trouve en moyenne à la cote + 1^m,00 par rapport au niveau moyen des basses mers de vive eau ordinaires ou (Z). Cet ouvrage comprend cinq petits grils où les bateaux de pêche à voiles et à vapeur peuvent venir se placer sur quille, et s'accorer latéralement contre des triangles en charpente, construits de part et d'autre de ces grils. Des

(1) Voir chapitre VI, page 184.

aqueducs de chasse, en relation avec le réservoir de l'écluse Léopold, servent à enlever régulièrement les couches de vase qui se déposent sur le banc ; ces aqueducs sont formés de tuyaux cylindriques en fonte, munis chacun d'une vanne et d'un clapet.

Passé le banc de carénage, le chenal communique avec le bassin des chantiers de la Marine, où s'effectuent les réparations des paquebots-poste de l'Etat ; un gril affecté au même usage est installé sur la rive est de l'avant-port.

Les bassins à flot, au nombre de trois, s'étendent derrière la ville à la suite l'un de l'autre ; ils ont une superficie totale d'environ 5 hectares et sont entourés de 1150 mètres de murs de quai ; l'écluse d'entrée a 12^m,00 de largeur, 58^m,50 de longueur utile de sas, avec buscs placés à 1^m,48 sous le (Z). Le bassin situé à l'extrémité est communique, au pont-barrage, avec la dérivation du canal de Bruges à Ostende, qui s'embranché sur ce canal au pont de la Chapelle, à Slykens. Ce pont-barrage est fondé sur un radier en maçonnerie, reposant sur des pieux avec grillage et plancher. Le passage en est muni de deux paires de portes busquées, dont les buscs se trouvent à 0^m,56 en contre-bas du (Z) ; celles busquées vers le canal sont munies chacune de deux vantelles.

Les portes du pont-barrage restent généralement logées dans leurs enclaves, et la même cote de flottaison est maintenue dans le canal et dans les bassins de commerce. Elles ne sont manœuvrées que lorsqu'on veut baisser séparément soit le canal, soit les bassins, ou lorsqu'on introduit la haute mer dans ces derniers pour faire passer, par l'écluse d'entrée, un navire d'un fort tirant d'eau. Dans ce cas, la profondeur peut atteindre 6^m,30 dans le premier bassin, du côté de l'avant-port, et respectivement 5^m,40 et 3^m,70 dans les deux autres.

En temps ordinaire, la profondeur d'eau dans les bassins correspond à la flottaison du canal de Bruges à Ostende ; elle mesure respectivement, pour les trois bassins, 5^m,60, 4^m,70 et 3^m,00.

A 1400 mètres environ en amont du pont-barrage, sur la branche dérivée de ce canal, se trouve l'écluse du Contredam, qui a 12 mètres de largeur et 64 mètres de longueur de sas, avec buscs placés à 0^m,55 en dessous du (Z). Elle est munie de deux paires de portes busquées vers l'aval ; ces portes restent aussi généralement ouvertes et ne servent que dans le cas où l'on veut baisser les eaux dans le canal principal, et maintenir un niveau plus élevé dans la partie du canal comprise entre l'écluse et les bassins de commerce à Ostende.

L'écluse d'entrée du bassin où sont installés les chantiers de la Marine mentionnés plus haut, est une écluse simple de 17 mètres d'ouverture et dont les buscs sont établis à la cote 1^m,50 par rapport au repère précité.

Au fond de l'avant-port se trouve l'écluse Militaire qui permet le passage des navires dans l'arrière-port. Ce dernier a une longueur de près de 1350 mètres et se termine à l'amont par l'écluse de Slykens, laquelle établit la communication avec le canal de Bruges à Ostende.

L'écluse Militaire a été construite en 1820 par le Génie militaire du royaume des Pays-Bas. Elle se compose d'un passage de navigation de 12^m,00 d'ouverture, et de deux pertuis de chasse de 6^m,00 de largeur chacun. Ces pertuis sont munis d'une paire de portes de flot et de deux portes tournantes à ailerons inégaux.

Le passage de navigation se ferme au moyen d'une paire de portes de flot et d'une paire de portes d'ebbe; dans ces dernières, il est aménagé des vantaux tournants qui servent également à l'écoulement des eaux pendant les chasses. Les buses sont placés à 1^m,50 sous le (Z).

L'écluse de Slykens date de 1758; elle a été établie en remplacement de l'ancienne écluse de ce nom, qui fut construite en 1675 et dont il existe encore des vestiges dans l'arrière-port. Elle présente deux passages de navigation; le premier a 10^m,90 de largeur et 119^m,20 de longueur utile; le second a 4^m,90 de largeur et 23^m,00 de longueur utile; tous deux sont munis de quatre paires de portes busquées. L'écluse comprend en outre un pertuis intermédiaire de 4^m,05 de largeur, muni d'une paire de portes busquées et d'une porte tournante, ainsi que quatre larrons de 3^m²,86 de section chacun, manœuvrés au moyen de vannes. Ce pertuis et ces larrons servent spécialement à écouler les eaux surabondantes du canal de Bruges à Ostende; mais il est arrivé, par des crues extraordinaires, de devoir évacuer à la fois par le pertuis et les larrons, et par l'ouverture des deux sas. Les buses de cette écluse sont établis à 4^m,75 sous la cote de flottaison du canal de Bruges à Ostende, dite *cote de XVIII pieds*, laquelle se trouve à 4^m,05 au-dessus du (Z).

L'arrière-port reçoit les eaux des écluses du Camerlinckx, du Vingerlinckx et de la Noordheede, servant à l'assèchement des terres de plusieurs wateringues, d'une superficie totale de près de 25,000 hectares. Il constitue en outre le bassin de retenue de l'étage de chasse d'amont, correspondant aux pertuis de l'écluse Militaire. Ceux-ci offrent un débouché effectif de 21^m,20 et lancent dans le chenal environ 300,000 mètres cubes d'eau pendant les 30 premières minutes qui suivent l'ouverture des portes.

Le second étage de chasse est formé par l'écluse Française, située au fond de l'avant-port, à côté de l'écluse Militaire et à 1500 mètres environ de la tête des jetées. Cette écluse a été construite en 1810 et correspond à un bassin de retenue d'une superficie de 22 hectares; elle comprend deux pertuis, munis chacun

d'une porte tournante à ailerons inégaux, et d'une paire de portes de flot busquées. Les buscs sont placés à 0^m,45 au-dessus du (Z). Les deux pertuis ont ensemble 11^m,40 de débouché utile et lancent à la mer, pendant la première heure, un volume d'eau d'environ 450,000 mètres cubes.

Dans le prolongement de l'axe du chenal extérieur et à 500 mètres environ de la tête des jetées, se trouve l'écluse du troisième étage de chasse, qui date de 1859.

Le 31 juillet de cette année, le Roi Léopold I posa comme pierre commémorative, la première assise de l'arrière-bec de la pile du milieu et daigna, par un arrêté en date du 2 septembre suivant, donner son nom à la nouvelle écluse.

L'écluse Léopold, exécutée d'après les plans de M. l'Ingénieur Crepin, ne correspond plus, depuis la construction du nouveau banc de carénage, qu'à un bassin de 15 hectares de superficie et se compose de 6 pertuis; chaque pertuis a 4^m,00 de largeur utile et est muni, du côté de la mer, d'une vanne et d'une porte de flot, et du côté de la retenue, d'une porte de chasse à ailerons inégaux. Les buscs sont placés à 0^m,45 au-dessus du (Z). Les pertuis débitent ensemble environ 375,000 mètres cubes en $\frac{3}{4}$ d'heure.

La puissance actuelle des chasses du port s'élève donc à un volume total de 1,100,000 mètres cubes, lancés moyennement dans le chenal en trois quarts d'heure, soit à 408 mètres cubes par seconde.

Arrivons aux données concernant le régime hydrographique de l'atterrage d'Ostende, en commençant par celles relatives au régime de l'estran situé des deux côtés du chenal, et au sujet duquel nous avons deux faits remarquables à signaler.

A l'est de la digue de mer, l'estran présente une largeur moyenne d'environ 300 mètres, avec une inclinaison variant de 0^m,013 à 0^m,016 par mètre, depuis la laisse des basses mers jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau; de l'autre côté du port, au delà du perré attenant au chenal, l'estran mesure 375 mètres de largeur environ. Mais devant la digue de mer, qui se trouve de 160 mètres en saillie sur la ligne générale des dunes et dont le talus est baigné à chaque marée montante, la laisse des basses mers continue régulièrement jusqu'au chenal du port, de sorte que la largeur de l'estran s'y trouve réduite à 180 mètres. Or, il est à noter que cette digue est indiquée sur les anciens plans de la ville, notamment sur celui de 1740, dans une situation peu différente, par rapport aux plages et aux dunes environnantes, de celle d'aujourd'hui, et que déjà à cette époque, elle était défendue au moyen d'épis. Ceci prouve à l'évidence que le principe généralement admis, en vertu duquel tout ouvrage

avancé, construit sur une plage de sable, doit nécessairement avoir pour effet de faire avancer, au bout d'un certain temps, la laisse des basses mers d'une quantité au moins égale à la saillie de cet ouvrage sur l'alignement des dunes, n'est pas applicable d'une manière absolue.

Un autre fait, non moins intéressant, c'est qu'il résulte de la comparaison des plans de la petite rade d'Ostende, levés respectivement en 1804 et en 1867 par M. Beauteemps-Beaupré et M. Stessels, que les prolongements en mer qui ont été successivement apportés aux jetées du port d'Ostende, n'y ont provoqué aucune extension de la plage. (Pl. VIII).

En 1804, le chenal du port était évasé vers l'ouest et limité de ce côté par une jetée, dont la saillie sur l'alignement de la digue de mer n'était que de 75 mètres environ; la jetée est, d'une direction sensiblement perpendiculaire à celle de cette digue, dépassait de près de 100 mètres le musoir de la jetée opposée. A l'ouest du chenal, la laisse des plus basses mers se trouvait à 200 mètres environ au delà du musoir; du côté est, elle formait, le long de la passe extérieure, une saillie terminée en pointe, laquelle dépassait de 80 mètres la limite inférieure de la plage de l'ouest. On sondait, dans la passe extérieure, 0^m,30 à 1^m,00 d'eau, sous le niveau des plus basses marées.

Depuis 1804, les jetées du chenal ont été prolongées à différentes reprises; les derniers prolongements ont été construits de 1837 à 1843, de manière que déjà cette dernière année, la longueur des jetées dépassait de 75 mètres, la longueur de la jetée la plus avancée en mer de 1804.

Or, la carte de Stessels de 1867, dont les indications correspondent d'ailleurs parfaitement à celles des plans les plus récents du port, n'accuse pas le moindre développement de la plage près des jetées; le contraire paraît même avoir lieu, tout en tenant largement compte de ce que la laisse des basses mers de vive eau, renseignée sur la carte de Stessels, n'est pas, comme sur la carte de Beauteemps-Beaupré, celle des plus basses mers observées. L'estran ne s'est donc pas développé avec le prolongement des jetées, comme on aurait pu s'y attendre, et la ligne des basses mers de vive eau ordinaires se tient actuellement à plus de 75 mètres en arrière des musoirs de ces ouvrages.

Au cours des discussions de la Commission chargée d'examiner le projet d'établissement d'une communication directe de Bruges à la mer, M. l'Ingénieur en chef Piens a signalé le même fait, qu'il avait déduit, de son côté, de la comparaison des anciens plans du port d'Ostende dressés par l'administration des Ponts et Chaussées, avec les plans actuels⁽¹⁾.

(1) Rapport de la commission, page 70.

Les particularités que nous venons de citer montrent clairement que dans les environs d'Ostende, les transports de sable le long de la plage sont relativement peu importants et qu'ils ne sont pas à comparer à ceux de la plage de Dunkerque, où la laisse des basses mers dans l'ouest du port se trouve à plus de 500 mètres au delà de la tête des jetées.

A Ostende, la digue en saillie existant devant la ville a du reste eu pour résultat d'accentuer encore ce caractère du régime de la plage, ainsi que nous le ferons ressortir plus loin.

Les vents régnants, dans les parages d'Ostende, soufflent du S. O. et de l'O ; les coups de vent du N. au N. O. sont les plus dangereux. Le tableau suivant donne, d'après les observations de M. l'ingénieur principal Bovie, la fréquence relative des vents pour les huit directions principales de la boussole, aux heures des hautes et des basses mers, pendant les années 1878 et 1879.

1878.	N.	N.E.	E.	S.E.	S.	S.O.	O.	N.O.	TOTAUX.
Janvier	9	15	10	4	9	23	35	15	120
Février	6	20	3	17	16	21	21	4	108
Mars	28	10	6	3	2	17	29	25	120
Avril	9	24	21	12	15	12	21	2	116
Mai	9	11	9	8	16	28	31	8	120
Juin	12	28	8	11	7	19	20	8	113
Juillet	10	16	12	5	4	12	32	24	115
Août	2	24	17	7	16	29	16	9	120
Septembre	10	7	5	5	17	32	31	9	116
Octobre	8	2	7	23	29	28	15	8	120
Novembre	2	6	19	19	12	39	10	9	116
Décembre	8	8	9	25	19	25	18	7	119
1879.	113	171	126	139	162	285	279	124	1403
Janvier	1	10	63	13	10	6	11	6	120
Février	5	14	27	11	14	15	16	6	108
Mars	5	17	18	19	16	13	24	8	120
Avril	16	25	9	15	4	24	16	7	116
Mai	9	43	5	8	9	20	21	5	120
Juin	3	5	1	16	18	49	18	6	116
Juillet	3	15	"	7	11	35	35	14	120
Août	2	7	"	11	18	63	12	6	119
Septembre	6	27	"	4	19	23	25	12	116
Octobre	11	23	19	7	14	13	25	8	120
Novembre	24	27	33	24	7	1	"	"	116
Décembre	2	13	18	30	13	34	6	4	120
	87	226	193	165	153	296	209	82	1411
Totaux	200	397	319	304	315	581	483	210	2814

L'établissement du port est de 12^h,23^m.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau est de 4^m,61. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 0^m,70 au-dessus des basses mers de vive eau, et celui des hautes mers de morte eau à 3^m,68 au-dessus de ce dernier niveau.

Dans la petite rade d'Ostende, la vitesse maximum du courant de flot, par des marées ordinaires de vive eau, est de 1^m,10, et celle du courant de jusant, de 0^m,85 par seconde. La direction du flot, au moment de sa plus grande vitesse qui se produit vers l'instant de la haute mer, est N. E. $\frac{1}{4}$ E.; celle du jusant, au moment de sa plus grande vitesse, soit vers l'instant de la basse mer, est O. $\frac{1}{4}$ S. O.

En morte eau, la vitesse maximum du courant de flot est en moyenne de 0^m,60 et celle du courant de jusant, de 0^m,50 par seconde.

Avant qu'on eût recours aux dragages pour améliorer l'entrée du port d'Ostende, et lorsque les chasses fonctionnaient régulièrement, le chenal présentait à l'intérieur et jusqu'à une faible distance des musoirs des jetées, une profondeur de 2^m,80 à 3^m,00 sous le niveau des basses mers de vive eau; dans la passe extérieure on sondait en moyenne 2^m,00 à 2^m,40 sur une longueur de 200 mètres environ à partir des musoirs, puis on rencontrait les fonds de 3 et de 4 mètres, dont les courbes de niveau se tenaient respectivement à 240 et à 300 mètres en moyenne de la tête des jetées.

On voit qu'à Ostende, la situation de l'entrée du port, lorsqu'elle était entretenue par les chasses seules, était déjà bien plus satisfaisante que celle obtenue à Dunkerque par des chasses d'une puissance à peu près équivalente.

Mais ce sont surtout les résultats obtenus par le dragage qui sont remarquables.

Les premiers essais eurent lieu en 1880, du 30 juin au 24 novembre, à l'aide d'une drague à aspiration non-porteuse appartenant aux entrepreneurs hollandais Volker et Bos. C'était un navire en fer de 32^m,50 de longueur, 6^m,10 de largeur et 2^m,70 de creux, portant deux pompes centrifuges de 1^m,60 de diamètre, mises en mouvement par une machine de 40 chevaux nominaux. Les tuyaux d'aspiration correspondant à chacune de ces pompes avaient 7^m,50 de longueur et 0^m,50 de diamètre intérieur; ils passaient dans des ouvertures pratiquées de part et d'autre et parallèlement à l'axe longitudinal du bateau. Les tuyaux de refoulement présentaient à leur partie supérieure un retour à angle droit avec joint flexible en cuir; leur extrémité pouvait être déplacée à l'aide de palans pour faciliter le déversement des matières aspirées dans les chalands. Mais les deux aspirateurs ne fonctionnaient pas avantageusement ensemble, parce que

la machine motrice n'était pas assez puissante et qu'il était en outre difficile de disposer un chaland de chaque côté du bateau, quand la houle était un peu forte.

Dans l'intervalle précité, l'appareil a travaillé pendant 66 jours; il a dû chômer pendant 58 jours à cause de l'état de la mer, et pendant les 23 autres, à cause de réparations faites au bateau et aux mécanismes. La quantité de matières extraites était de 37,000 mètres cubes, et l'accroissement de profondeur obtenu de 0^m,70 environ, en moyenne, suivant l'axe du chenal.

Les dragages furent repris en octobre 1881 avec une drague du type de l'*Aurore II*, portant une machine de 120 chevaux indiqués; elle avait enlevé à la fin du mois de septembre de l'année suivante 120,000 mètres cubes de déblai. La profondeur minimum obtenue sur la barre atteignait à cette dernière époque près de 3 mètres à l'endroit le plus élevé; toutefois la passe était encore peu évasée du côté ouest.

Entretemps, il fut procédé à l'adjudication des travaux de dragage à exécuter pendant un bail de cinq années, jusqu'à concurrence d'une somme ne pouvant être inférieure à 200,000 francs par an.

Ces travaux furent commencés en octobre 1882 à l'aide du bateau-dragueur qui avait fonctionné jusqu'alors et de l'*Aurore II* précité. Depuis cette époque, l'approfondissement de la passe extérieure a continué à s'accroître d'une manière très rapide. Au mois de juin 1884, il avait été extrait un nouveau déblai de 457,000 mètres cubes, ce qui portait à 615,000 mètres cubes le volume total des matières enlevées par dragage depuis le mois de juin 1880, date à laquelle commencèrent les premiers essais. La passe extérieure avait acquis, suivant l'axe prolongé du chenal, une profondeur de 6^m,20 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, et elle était déjà assez fort évasée, tant du côté ouest que du côté est. Le plan des sondages reproduit Pl. XXVII indique la situation de l'entrée du port d'Ostende au 27 juin 1884.

On a continué jusqu'en juin 1886 à augmenter la largeur de la passe et à étendre la fosse de garde à l'ouest; le cube total enlevé mesurait alors 1,200,000 mètres cubes.

Depuis cette année, on se borne à exécuter les dragages nécessaires pour maintenir la situation obtenue, qui est représentée Pl. XXIX; leur importance est annuellement de 100,000 à 120,000 mètres cubes environ, dont 40,000 mètres cubes, en moyenne, servent à entretenir la partie du chenal comprise entre les jetées à claire-voie à une profondeur de 4^m,00 à 5^m,00 sous le niveau des basses mers.

Voici le relevé des dragages effectués pendant les 5 dernières années :

Du 1 juillet 1888 au 30 juin 1889	110,529 mètres cubes.
" " 1889 " " 1890	73,491 " "
" " 1890 " " 1891	112,062 " "
" " 1891 " " 1892	77,758 " "
" " 1892 " " 1893	148,924 " "

La quantité des apports annuels devant le port d'Ostende est donc relativement faible et l'on peut dire que, grâce au régime des plages attenantes, le maintien de la profondeur à l'entrée du chenal n'y est pas une difficulté.

Disons, en terminant, que la composition des atterrissements de la barre du port d'Ostende était assez variable. La couche supérieure que l'on a draguée au début, se composait, sur une épaisseur de 0^m,50 à 0^m,60 en moyenne, de sables mobiles, d'une couleur grisâtre et qui provenaient des apports les plus récents; la couche suivante, d'une épaisseur à peu près égale, était formée de sable mêlé de beaucoup de coquillages et offrait plus de résistance; elle était interrompue en divers points par des dépôts argileux. Puis on rencontrait du sable fin bleuâtre sur 1^m,50 à 2 mètres d'épaisseur, reposant sur de l'argile ou de la tourbe. Au delà d'une profondeur moyenne de 5 mètres environ sous le niveau des basses mers de vive eau, le fond se compose généralement de sable; mais à mesure que la profondeur s'est accrue dans la passe extérieure et dans le chenal, les dépôts de vase s'y sont accentués, circonstance évidemment nuisible au point de vue du rendement des dragues à aspiration.

Il nous reste à parler des parties du port soumises au régime vaseux et qui comprennent le chenal intérieur, l'avant-port et les bassins de marée.

En 1887, le chenal intérieur et l'avant-port ont été dragués à 4 mètres sous le niveau des basses mers; cette profondeur s'y maintient sensiblement par l'effet des évacuations d'eau de l'arrière-port et par les chasses artificielles, lorsque celles-ci peuvent fonctionner régulièrement; près de l'écluse Militaire, il s'est même formé une fosse à flot, mesurant environ 180 mètres de longueur sur 60 mètres de largeur, et où l'on sonde jusqu'à 7 mètres d'eau et plus à marée basse. Les navires de fort tirant d'eau qui arrivent à Ostende se rendent directement dans cette fosse et y attendent une marée favorable pour entrer dans les bassins, après avoir allégé autant que de besoin.

Cependant les chasses à Ostende sont peu puissantes et elles ne sont en outre pas convenablement installées; le bassin de l'écluse Militaire, formé par l'arrière-port, n'a que 12 hectares de superficie, et l'écluse Française a des buscs placés trop haut (+ 0^m,45), pour que les eaux lancées par cet ouvrage puissent produire dans le chenal un grand travail de frottement utile. D'autre part, l'avant-port, au fond duquel se trouvent les écluses de retenue,

fait pour ainsi dire partie intégrante du chenal; il en résulte que les chasses sont souvent interrompues à cause de la présence de navires qui doivent se tenir à l'ancre dans la fosse à flot, devant ces écluses, et alléger, jusqu'à ce qu'ils puissent entrer dans les bassins à flot, dont l'écluse a un radier trop élevé.

Tandis que le chenal du port, néanmoins, se maintient dans d'assez bonnes conditions, il n'en est pas du tout ainsi de ses dépendances, ni des bassins à marée, qui s'ensavent avec une rapidité étonnante; les apports s'y accumulent d'autant plus vite que les espaces que l'on considère ont plus de profondeur et que le jeu des marées, et par conséquent les courants de vidange auxquels celles-ci donnent lieu, s'y font moins sentir. C'est ainsi que le fond du bassin de pêche, lorsqu'on le drague à un mètre sous le niveau des basses mers de vive eau, se relève en moins d'un an jusqu'à ce niveau et au delà. En 1887, le pertuis d'accès de l'écluse de la Marine a été creusé à la même cote que le chenal du port, soit à $-4^m,00$; l'année suivante, il était ensavé à nouveau jusqu'à la cote $0^m,00$.

L'ancienne crique des pêcheurs et le pertuis d'accès de l'écluse des bassins de commerce se tiennent mieux; on y conserve, sans dragages, plus de $1^m,00$ de profondeur sous marée basse; mais il existe au fond de cette crique un aqueduc d'évacuation, de 2 mètres carrés de section seulement, qui communique par l'intermédiaire des bassins précités avec le canal de Bruges à Ostende. Ce fait prouve combien les écoulements d'eau sont efficaces pour combattre les ensavements.

Les dépôts de vase des bassins de marée à Ostende, ainsi que des diverses parties du chenal et de ses dépendances où les chasses ne peuvent suffisamment agir, sont enlevés au moyen d'une drague à godets. La quantité de déblais à extraire annuellement avec cette drague, d'après les clauses du cahier des charges, est de 65,000 mètres cubes au minimum et de 90,000 mètres cubes au maximum⁽¹⁾.

Port de Blankenberghe. — Le port de Blankenberghe a été creusé entièrement de main d'homme pour abriter les chaloupes de pêche de cette localité, lesquelles s'échouaient primitivement sur la plage. Les travaux ont été exécutés, la première partie de 1862 à 1866, et la seconde partie, de 1867 à 1872, d'après les plans et sous la direction de M. l'ingénieur Piens. Ils ont coûté ensemble 2 millions de francs, en chiffre rond.

Ce port se compose d'un chenal extérieur, d'un chenal intérieur, d'un bassin d'échouage et d'un bassin de chasse. (Pl. XXVII).

(1) Voir chapitre VI, page 229.

Le chenal extérieur a 350 mètres de longueur, 50 mètres de largeur et est compris entre deux jetées en charpente à claire-voie, orientées au N.O. L'extrémité de la jetée ouest s'infléchit un peu plus vers de nord, de manière à donner au chenal une ouverture de près de 100 mètres entre les musoirs. Le chenal intérieur fait suite au chenal extérieur et est limité par des digues insubmersibles revêtues de perrés en moëllons; il communique, par un canal d'accès de 30 mètres de largeur au plafond, avec le bassin d'échouage, situé à l'est du chenal, en arrière de la digue de mer. Ce bassin, de forme rectangulaire, a 120 mètres de longueur, 100 mètres de largeur, et est bordé de digues en terre avec revêtements en maçonnerie de briques; il comprend un débarcadère en charpente, établi sur la rive nord.

Au fond du chenal et à 650 mètres de l'extrémité des jetées se trouve l'écluse de chasse, qui correspond à un bassin de retenue présentant en plan la forme d'un secteur circulaire, de près de 7 hectares de superficie. Cette écluse, dont les dimensions ont été arrêtées en prévision d'un agrandissement ultérieur du bassin de retenue, comprend 4 pertuis, ayant 4^m,00 d'ouverture chacun et dont les buscs sont placés au niveau des basses mers de vive eau ordinaires; elle lance dans le chenal environ 150,000 mètres cubes d'eau en moins d'une demi-heure. Mais les chasses sont souvent interrompues en hiver, à cause de l'évacuation des eaux de crue du canal de Blankenberghe, qui se déversent dans le bassin de retenue par une écluse à vannes comprenant 3 pertuis de 2^m,75 d'ouverture chacun, et s'écoulent à la mer par l'écluse de chasse; ces eaux sont d'ailleurs peu abondantes et elles exercent peu d'effet sur la situation du chenal.

L'estran conserve, près du port de Blankenberghe, la largeur restreinte qu'il présente dans toute la partie de la côte de Belgique comprise entre Wenduynne et Heyst; cette largeur est d'environ 260 mètres depuis le pied de la dune jusqu'à la laisse des basses mers, laquelle s'arrête à l'extrémité des jetées du port.

Le régime des vents, dans les parages de Blankenberghe, est encore caractérisé par la fréquence des vents de l'O. au S.O.

L'établissement du port est de 12^h,35^m.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau ordinaires est de 4^m,52. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 0^m,75 au-dessus des basses mers de vive eau, et celui des hautes mers de morte eau à 3^m,62 au-dessus de ce dernier niveau.

Devant Blankenberghe, la vitesse maximum du courant de flot, par des marées moyennes de vive eau, est de 1^m,35, et celle des courants de jusant, de 1^m,25 par seconde. La direction de ces courants, au moment de leur plus

grande vitesse, est sensiblement E.N.E. et O.S.O. En morte eau, la vitesse maximum des courants de flot et de jusant est respectivement de 0^m,70 et de 0^m,60 par seconde.

Malgré la faible puissance des chasses, le chenal du port de Blankenberghe présente en moyenne une profondeur de 1^m,50 à 1^m,80 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires; dans la passe extérieure on sonde, immédiatement en dehors des jetées, 0^m,60 de profondeur au moins; les fonds de 2^m,00 et de 4^m,00 ne sont éloignés respectivement que de 200 et de 250 mètres en moyenne des musoirs des jetées. On a commencé l'année dernière à améliorer la passe d'entrée par dragage.

Quant au bassin des chaloupes de pêche, creusé au début à 1^m,00 sous le niveau des basses mers, il s'est envasé rapidement. Lorsque le plafond se trouve à la cote précitée, l'épaisseur annuelle des apports atteint plus de 0^m,80 à 1^m,00.

Il est à remarquer que le chenal de Blankenberghe ne se trouve pas dans les mêmes conditions que celui des autres ports de la côte des Flandres; il est creusé à travers une plage, défendue contre les érosions de la mer par des épis en pierres et en fascinages, qui s'avancent perpendiculairement à la côte et dont la longueur est à peu près égale à celle des jetées du port. Celles-ci ne pouvaient donc, en aucun cas, produire des modifications bien appréciables dans la situation de l'estran; aussi les profils de la plage, pris de part et d'autre du chenal en 1872, soit immédiatement après l'achèvement du port, comparés aux profils les plus récents, n'accusent pas de différence sensible. Et nous sommes convaincus que le prolongement de ces jetées à une distance plus considérable en mer, n'occasionnerait pas non plus un avancement prononcé de la laisse des basses mers, pas même au bout d'un grand nombre d'années. Car depuis Wenduine jusqu'à Heyst, la côte présente un régime hydrographique particulier et tend à être envahie par la mer, malgré l'existence des nombreux épis que l'on y entretient avec soin depuis longtemps. Cette situation, comme on sait, résulte principalement de ce que les talus sous-marins qui précèdent l'estran jusqu'aux fonds limitant au sud la passe du Wielingen est fort raide, et que dans ces conditions, les apports de sable qui viennent nourrir la plage en temps ordinaire, ne suffisent pas pour compenser les corrosions qui s'y produisent pendant les grosses mers.

La côte de Blankenberghe et de Heyst n'est d'ailleurs pas une côte essentiellement sablonneuse; les couches d'argile et de tourbe y affleurent en divers points de l'estran et des fonds qui le précèdent, et le dépôt de sable

recouvrant ces couches, ne paraît pas, en général, avoir une grande épaisseur.

Un fait assez saillant, et que nous mentionnerons en passant parce qu'il prouve combien les mouvements des sables le long du rivage sont peu à redouter en cette partie du littoral, a été constaté près de l'écluse d'évacuation du canal de Schipdonck, à Heyst (Pl. XVII). Cette écluse date de 1860. Les jetées qui bordent le chenal d'évacuation ont 260 mètres de longueur et sont construites en maçonnerie; elles vont en s'inclinant vers le large et dépassent le niveau des hautes mers de vive eau sur la moitié environ de leur longueur. Or, la jetée de l'ouest, quoique exposée aux vents régnants, n'a produit aucune accumulation de sable dans l'angle qu'elle forme avec la dune; l'estran y a subi au contraire des affouillements prononcés, à la suite desquels on a dû prolonger en sous-œuvre, de 2^m,00 environ, les revêtements maçonnés de la jetée; la charpente de fondation de ces revêtements, qui avait été établie, lors de la construction de l'écluse, à 0^m,50 sous le niveau de l'estran, est aujourd'hui complètement mise à nu. On n'observe non plus aucun indice d'ensablement dans le chenal; creusé au début à 0^m,25 sous le niveau des plus basses mers, les eaux écoulées du canal l'ont approfondi progressivement et on y sonde aujourd'hui 1^m,50 à 2^m,00; l'ouverture comprise entre la tête des jetées reste d'ailleurs toujours libre, même aux époques de l'année où les évacuations d'eau subissent des interruptions plus ou moins prolongées.

Remarquons qu'il ne faudrait pas conclure de l'affouillement existant près de l'écluse du canal de Schipdonck, qu'un amaigrissement aussi important s'est produit sur toute la plage avoisinante; cet affouillement est dû, en grande partie, à cette circonstance que les lames en retour, en descendant le long du talus maçonné de la jetée, entament plus facilement les sables au pied de ce talus. Mais il n'en reste pas moins établi que les ouvrages avancés de la côte de Blankenberghe et de Heyst sont loin de produire un exhaussement de l'estran, contrairement à ce qu'on observe sur une plage fortement nourrie, comme celle de Dunkerque par exemple, où pareils épis provoqueraient des effets d'ensablement presque immédiats.

Les plages de la partie nord du littoral de Belgique, depuis Wenduynne jusqu'à Heyst, offrent donc ce caractère remarquable d'être fort peu sujettes aux mouvements de sable. Cette particularité du régime de la côte se maintient, mais d'une manière moins prononcée, jusque dans l'est d'Ostende, et les derniers prolongements exécutés aux jetées de ce port, n'y ont exercé aucune influence fâcheuse sur la situation de l'estran. Sur la côte française, de Dunkerque à Calais, le cas est tout différent; les plages y ont un grand développement et

les sables y sont transportés en abondance, de sorte qu'ils s'accumulent rapidement dans les angles formés par les jetées des ports avec la dune.

Nieuport semble occuper une position intermédiaire entre ces deux régions, et c'est sans doute à cause de cette circonstance, que l'on a quelquefois cherché à expliquer la différence de leur régime, comme étant l'effet d'une oscillation lente que subirait notre littoral autour d'un axe situé dans les environs de cette localité.

CHAPITRE VIII.

AMÉLIORATION DES PORTS DE LA CÔTE DE BELGIQUE.

I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

De ce que nous avons exposé aux chapitres précédents, il résulte que l'examen des questions relatives à la création et à l'entretien des profondeurs des ports en plage de sable, doit porter sur trois points, savoir :

- 1° les conditions d'accessibilité.
- 2° l'ensablement à l'entrée.
- 3° l'envasement intérieur.

Conditions d'accessibilité. — Les conditions d'accessibilité d'un port sont déterminées par la configuration de la terrasse sous-marine qui le précède. Tandis que certaines plages se raccordent directement avec les grands fonds du large suivant un talus plus ou moins incliné, d'autres en sont séparées par des bancs de sable, parfois nombreux et puissants, et qui laissent entre eux des passes utilisées par les navires.

Dans bien des cas, ces passes manquent de profondeur et ne peuvent être franchies à toute heure de la marée par les grands bâtiments de commerce ; il en est même qui n'offrent pas assez d'eau pour leur donner passage à l'heure du plein.

Cet inconvénient grave était autrefois sans remède, mais il n'en est plus ainsi aujourd'hui ; les dragues à aspiration, dont l'emploi a pris tant de développement dans ces dernières années pour l'approfondissement de l'entrée des ports à la côte, peuvent en effet fonctionner en pleine mer, soit pour creuser une passe à travers un banc de sable, soit pour approfondir une passe existante.

Le côté pratique de pareils travaux a paru et paraît encore douteux à bien des ingénieurs, qui redoutent que les transports de sable provoqués par l'action

des courants et des vagues ne fassent rapidement disparaître les approfondissements obtenus, ou qu'il ne faille tout au moins des dragages continuels et coûteux pour les maintenir.

Nous croyons que dans la plupart des cas, cette crainte ne doit pas exister ; elle est inspirée par l'importance exagérée que l'on attribue d'ordinaire aux mouvements des sables des fonds sous-marins, comme ceux du littoral des Flandres. Or les sables de ces fonds, souvent durs et fortement tassés, et dont les grains plus ou moins enchevêtrés ne sont pas sans offrir une certaine cohésion, sont sollicités, on se le rappelle, par les courants de flot et de jusant et charriés avec lenteur, alternativement en un sens et en sens opposé ; ils ne se déplacent en définitive qu'en vertu de la prépondérance de l'un de ces courants par rapport au courant contraire, et cette prépondérance, résultant surtout de l'influence des vents régnants, doit être bien faible à une certaine profondeur sous le niveau de l'eau, tandis que d'autre part, l'effet des lames diminue aussi rapidement à mesure qu'on descend sous ce niveau. C'est ainsi que l'on s'explique la stabilité relative vraiment frappante de la plupart des bancs de la côte des Flandres⁽¹⁾.

C'est pour les mêmes motifs que le creusement d'une passe à travers un banc de sable, offre d'autant plus de chance de succès que ce banc se trouve plus bas sous le niveau des basses mers ; de plus, la dépression à créer et à entretenir ensuite devant alors avoir d'autant moins de profondeur par rapport à la crête du plateau, l'étendue des talus qui la limitent latéralement diminue, et les sables plus ou moins remués qui descendent de ces talus vers le fond de la passe, perdent en importance. Inutile d'ajouter qu'il est toujours avantageux d'orienter la passe, là où la situation le permet, de façon qu'elle soit traversée régulièrement par les courants de flot et de jusant pendant la partie de leur durée où ils ont le plus d'intensité.

Il est sans doute des plateaux peu profonds, dont la situation particulière est de nature à favoriser les transports de sable dans un sens déterminé ; nous avons signalé l'exemple du Stroombank, qui s'étend au large d'Ostende. Mais dans ces cas encore, les déplacements de sable sont le plus souvent moins rapides que l'on n'est tenté de le croire, ni assez considérables pour qu'on ne puisse les maîtriser par dragage ; les conditions y sont sous ce rapport bien plus favorables que celles que l'on rencontre à la passe d'entrée des ports, où il s'agit de maintenir une dépression à travers l'estran, lequel s'alimente à chaque tempête par les apports provenant de la partie supérieure des plages ; d'ordinaire, le sable y est en outre beaucoup moins pur.

(1) Voir page 143.

Sur notre proposition, il a été procédé en 1890 et 1891 au creusement d'une passe à travers le Stroombank précité; c'est la première fois, à ce que nous sachions, qu'on a percé un banc de sable situé en pleine mer, et le résultat obtenu a parfaitement confirmé l'opinion que nous avions soutenue au sujet de la réussite de ces travaux. Nous les décrirons au chapitre suivant.

Ensemblement à l'entrée. — Pour améliorer et entretenir la passe d'entrée des ports en plage de sable, ainsi que la partie du chenal comprise entre les jetées à claire-voie et où le régime des sables domine, c'est encore aux dragues à aspiration qu'il convient de recourir. En enlevant les dépôts au moyen de ces engins, pour les transporter en des endroits où le déversement des déblais ne peut occasionner aucun inconvénient à la navigation, on a certainement adopté une solution rationnelle et décisive.

Nous avons vu toutefois, que l'effet utile qu'on peut obtenir par dragage varie beaucoup avec les caractères propres au régime de la plage où le port est établi. Le rendement des dragues augmente vite avec le degré de pureté du sable, tandis que le nombre de jours pendant lesquels elles peuvent fonctionner par an, dépend de la situation plus ou moins abritée de l'atterrage qui précède le port; ensuite, plus la profondeur existante et celle des passes à parcourir sont grandes, plus on peut donner de tirant d'eau, et par conséquent de puissance, aux bateaux-aspirateurs. Mais l'efficacité des dragages est surtout influencée par la configuration de l'estran sous-marin et de la plage existant de part et d'autre du chenal, notamment par la largeur de celle-ci. A Ostende, par exemple, on entretient à l'entrée du port une profondeur de 6 mètres sous le niveau des basses mers moyennant un dragage annuel d'environ 100,000 mètres cubes, et il est certain que sur une côte amaigrie comme celle de Heyst, on arriverait à un résultat meilleur encore. Au port de Dunkerque, au contraire, situé sur une plage excessivement développée, on doit exécuter 500,000 mètres cubes de déblais par an pour maintenir dans la passe extérieure 3^m,00 de profondeur seulement sous le même niveau, ce qui exige l'emploi de trois dragues à aspiration de la puissance de l'*Aurore II*.

Or, si on voulait reprendre la période d'approfondissement de cette passe, pour y creuser et entretenir ensuite une profondeur notablement plus grande, le cube de dragages à faire chaque année croîtrait progressivement avec la cote à atteindre, et ce dans des proportions relativement rapides. Car à mesure que la dépression devient profonde, les talus de raccordement de l'estran avec le fond de celle-ci augmentent en étendue, et le sable entamé le long de ces talus y descend en plus grande quantité. Sur des côtes alluvionnaires, il se forme en outre dans

ces fosses profondes des dépôts de vase, ce qui diminue beaucoup le rendement des dragues.

Le creusement d'une passe à l'entrée d'un port tel que Dunkerque, doit donc nécessairement donner lieu, à un moment donné, à de sérieux inconvénients par suite du nombre ou de la puissance des dragues à mettre en place.

Nous croyons qu'en pareil cas, le meilleur moyen de vaincre la difficulté consiste à diminuer artificiellement la largeur de la plage de chaque côté du chenal, mais surtout du côté des vents régnants, à l'aide de digues en saillie sur la ligne des dunes, dans le genre de celle qui existe à Ostende.

On supprime ainsi, dans le voisinage du port, la zone supérieure de la plage qui est précisément celle sur laquelle, en temps ordinaire, les lames et les eaux de marée viennent s'épanouir et où elles rejettent, en dehors de leur limite d'action, les sables qu'elles charrient; ces sables auxquels viennent s'ajouter ceux entraînés par le vent, s'y amoncellent pour être ramenés, dès le premier gros temps, en quantité plus ou moins considérable vers l'entrée du port, sous l'action des vagues de tempête. Devant une digue qui empiète suffisamment sur la plage, ces accumulations de sable ne peuvent se produire; car pareil ouvrage intercepte en grande partie les transports directs d'alluvion vers les jetées du port, surtout ceux dus au vol de sable, pendant que les lames en retour qui descendent du talus de la digue, affouillent plus ou moins la partie de l'estran qui précède ce talus, et la maintiennent dans un état relativement amaigri.

Il ne faut du reste pas craindre que la digue soit contournée à la longue par les sables, à moins de se trouver sur une plage non en équilibre, comme celles qu'on rencontre dans une anse ou un ancien estuaire en voie de comblement, et à condition de faire l'endiguement sur une longueur assez grande. Nous en avons la preuve à la digue d'Ostende, dont l'existence n'a modifié en rien l'allure de la laisse des basses mers. Le fait s'explique par les considérations qui précèdent, et on comprend que si les mouvements de sable dûs à l'action des agents naturels agissant le long des plages, donnent ordinairement lieu à un recul rapide de la laisse des basses mers près d'une simple jetée, il n'en est pas de même devant une digue en saillie, qui constitue par elle-même une cause d'amaigrissement de nature à détruire à chaque mer houleuse, sous l'effet des vagues venant se briser sur son talus, les accumulations de sable qui tendraient à s'y former.

Ajoutons que dans certains cas, la dépense à résulter de la construction d'un perré en saillie sur la dune serait compensé, en tout ou en partie, par la valeur du terrain que l'on aurait ainsi acquis sur le domaine de la mer.

Sur une plage naturellement étroite et amaigrie, comme sur une plage endiguée, le prolongement des jetées influe assez peu sur la situation de la laisse des basses mers et la configuration de l'estran sous-marin; on a alors tout avantage, au point de vue du maintien des profondeurs à l'entrée du port, à placer celle-ci le plus près possible des fonds situés à la cote à laquelle il faut creuser le chenal; car les sables entraînés de la plage produisent évidemment des effets d'autant moins directs et immédiats dans la passe d'entrée, que celle-ci est plus éloignée du rivage.

Envaselement intérieur. — On rencontre de la vase sur la plupart des atterrages, même sur des côtes rocheuses de nature primordiale. Dans ces cas toutefois, elle ne s'y trouve qu'en quantité relativement faible, et provient en général de la désagrégation des parties argileuses qui entrent dans la composition des falaises, ou du débit solide des rivières qui débouchent sur la plage ou dans des anses voisines. A l'intérieur de certaines baies, au contraire, où il existe de vastes dépôts de vase, de formation séculaire, et surtout le long des côtes plates à régime essentiellement vaseux, cette alluvion chemine en abondance.

Nous savons qu'il en est ainsi pour le littoral des Flandres; les fonds mous y occupent des étendues considérables et se trouvent en grande partie à des profondeurs restreintes; en temps de houle, ils sont remués plus ou moins profondément par les lames, et comme d'autre part, les courants de marée dans ces parages ont beaucoup d'intensité, les eaux y mettent constamment de grandes quantités de vases en suspension. Aussi la mer présente généralement, dans cette zone maritime, une teinte gris-jaunâtre.

Le degré de saturation des eaux y varie du reste à chaque instant avec l'agitation de la nappe marine et avec la vitesse des courants; il est beaucoup plus grand près du fond qu'à la surface.

D'après une série d'observations auxquelles nous avons procédé devant Heyst, la quantité moyenne de matières recueillies par une mer calme ou faiblement agitée, est de $\frac{9}{10}$ de centimètre cube pour un litre d'eau prise à la surface, et de $\frac{28}{10}$ de centimètre cube pour un litre d'eau recueillie à 1 mètre au moins du fond. Aux étales des courants, elle n'est souvent que la moitié environ de celle observée au moment de la plus grande vitesse des courants.

Lorsque la mer est houleuse, les quantités de matières en suspension, principalement celles qui circulent près du fond, sont très grandes et donnent des dépôts dix à quinze fois plus épais que ceux obtenus avec des eaux recueillies en temps calme.

En pénétrant dans les parties abritées des ports, les vases en suspension

dans l'eau se précipitent sur le fond et y restent pendant quelque temps à l'état de boue liquide, puis elles se tassent peu à peu et finissent par prendre de la cohésion; elles offrent alors l'aspect de l'argile humide.

Les vases varient beaucoup dans leur composition; elles contiennent souvent des matières organiques et sont presque toujours mélangées de sables fins, pour former ainsi des vases plus ou moins sableuses.

En 1881, des échantillons d'eau de mer recueillis devant Heyst et un échantillon de vase desséchée ont été analysés par M. Swarts, professeur de chimie à l'Université de Gand. Les échantillons d'eau de mer, au nombre de quatre, étaient contenus dans des tonnelets d'environ 15 litres de capacité et qui avaient été remplis, les deux premiers à la surface, les deux autres à 1 mètre du fond, la mer étant calme.

Les quantités de sable fin et d'argile qu'ils contenaient sont renseignées dans le tableau suivant :⁽¹⁾

N ^o DES TONNELETS.	CAPACITÉ des TONNELETS.	POIDS DES DÉPÔTS					
		PAR TONNELET.			PAR MÈTRE CUBE.		
		sable	argile	total	sable	argile	total
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1. Recueilli à la surface à marée haute	16 litres	0,175	2,085	2,260	10,9	130,3	141,2
2. " " à marée basse	15,5 "	0,471	1,696	2,167	30,4	109,4	139,8
3. " à 1 m. du fond à marée haute	15 "	1,642	2,792	4,434	109,4	186,1	295,5
4. " " à marée basse	14,5 "	1,521	3,312	4,833	106,2	298,0	404,2

L'échantillon de vase desséchée provenait du mélange des dépôts de divers tonnelets, recueillis à des jours différents, et pesait 2 gr. 520.

Après lévigation dans l'eau de mer, M. Swarts l'a dédoublé en

0,243 gr. de sable et
1,303 gr. d'argile
total 1,546 grammes;

⁽¹⁾ « La détermination de la teneur de l'eau de mer en sable et en argile, dit M. Swarts dans son rapport, a été faite par la méthode dite de lévigation. L'entraînement a été effectué au moyen de l'eau de mer elle-même. On sait, en effet, par les expériences de Schlösing, que l'argile se dépose différemment suivant qu'on opère au sein de l'eau pure, ou au sein d'une solution contenant des sels de magnésium, comme c'est le cas pour l'eau de mer.

« Les sables ont été recueillis sur des filtres, lavés à l'eau distillée, séchés à 110° et pesés. Les dépôts argileux, au contraire, ont été lavés par décantation, et, quand les eaux de lavage étaient pures, ils ont été transvasés dans des capsules, lavés, évaporés et desséchés à 110°, suivant la méthode recommandée par Fresenius. »

ce qui accuse une perte d'environ un gramme, provenant de ce que l'échantillon n'était pas sec et qu'il était imprégné d'une quantité considérable de matières salines, que le lavage à l'eau distillée a enlevées.

Le sable et l'argile s'y trouvaient donc, en poids, dans le rapport de 1 à 5.36, et comme leurs densités respectives, telles qu'elles furent déterminées par M. Swarts, sont de 1.98 et de 1.35, la composition, en volume, était de 0^{cc}.128 pour le sable et de 0^{cc}.965 pour l'argile; soit 1 volume de sable pour 7,54 volumes d'argile. Mais on comprend que la proportion de sable et d'argile des matières en suspension doit varier constamment avec l'état de la mer, et que la quantité de sable est beaucoup plus grande — le tableau mentionné plus haut le montre du reste — pour les couches qui circulent près du fond que pour les couches supérieures.

M. Swarts fait remarquer, dans son rapport, qu'en déterminant la densité de l'argile, il a opéré sur les dépôts des échantillons après leur dessiccation à 110°; il croit que cette densité doit être beaucoup plus faible pour une argile non desséchée, de sorte qu'elle se rapprocherait de la densité de l'eau même. On pourrait en conclure qu'à l'intérieur des espaces abrités, soustraits à l'action des courants de marée et où l'agitation de la mer ne se fait que faiblement sentir, les vases en suspension dans les eaux ne doivent se précipiter que fort difficilement; mais cela n'est pas, d'abord, parce que ces vases contiennent du sable, et ensuite, parce que la salure des eaux favorise considérablement leur dépôt sur le fond⁽¹⁾.

C'est ainsi que les criques existant autrefois en divers endroits de la côte des Flandres, le Zwyn notamment, se sont envasées rapidement à mesure que les endiguements avaient fait disparaître les parties basses qui les bordaient en amont et remplissaient, à marée descendante, l'office de vastes réservoirs de chasse. C'est encore ainsi que se produisent les envasements excessivement abondants que l'on constate dans les bassins de marée et dans les dépendances des chenaux des ports de Nieuport, d'Ostende et de Blankenberghe.

D'une manière générale, l'importance des dépôts de vase dans les parties abritées des ports, croît très vite avec la profondeur à laquelle elles sont creusées; car la précipitation des matières en suspension est d'autant plus active

(1) M. l'Ingénieur en chef Fargue, dans son *Étude sur la largeur du lit moyen de la Garonne*, Annales des Ponts et Chaussées de France, année 1882, cite une expérience bien simple pour s'assurer de ce fait. Elle consiste à verser le même poids de la même vase naturelle et préalablement desséchée dans deux récipients en verre blanc, d'égale capacité, contenant l'un de l'eau pure, l'autre de l'eau de mer, et d'agiter le liquide. Les deux eaux deviennent troubles; mais on remarque bientôt que la vase se précipite beaucoup plus rapidement dans l'eau salée que dans l'eau pure. Après un repos absolu de six heures, la première est complètement clarifiée, et la vase est déposée au fond en couche nettement limitée. Les mêmes résultats ne sont obtenus, dans la seconde, qu'après dix-huit heures environ.

que la nappe d'eau a plus d'épaisseur, et présente par conséquent un calme relatif plus prononcé dans ses couches inférieures ; ensuite, la profondeur de l'eau diminue l'action érosive de la vague sur le fond, en même temps qu'elle atténue l'effet des courants d'émission sur celui-ci. Il est à noter enfin que ce sont les endroits du port où la marée vient s'épanouir, et où les eaux en circulation au flux et au reflux n'ont qu'un faible volume, qui se combleront le plus vite.

Ce que nous avons dit concernant les envasements intérieurs des ports d'Ostende et de Nieuport, prouve combien la profondeur de l'eau influe sur l'épaisseur des dépôts. Des observations faites au port de S^t Nazaire le montrent mieux encore.

A ce port, les eaux sont toujours fort troubles et contiennent une grande quantité de matières vaseuses extrêmement fines. La densité de ces vases, lorsqu'elles sont fraîchement apportées, est de 1175. Elles se tassent lentement sous eau, de manière à diminuer, en volume, d'un quart au bout de 3 à 4 mois, et de la moitié, au bout de 7 à 8 mois ; elles ont alors respectivement 1222 et 1323 de densité. Après 18 mois, leur volume se réduit dans le rapport de 2,71 à 1 ; leur densité atteint alors 1430, soit celle des vasières du rivage. Or, on a constaté que pour des profondeurs du chenal du port, portées successivement de 1^m,70 à 2^m,20, 2^m,70 et 3^m,20 sous la basse mer de vive eau d'équinoxe, l'épaisseur des apports journaliers croissait de 0^m,0146 à 0^m,0225, 0^m,0321 et 0^m,0467. (1)

L'action de l'eau en mouvement est certainement le meilleur moyen d'empêcher l'accumulation des vases à l'intérieur des ports, ceux-ci étant, bien entendu, creusés préalablement à la profondeur qu'on désire y maintenir. C'est ce que nous avons exposé au chapitre précédent. Chaque fois donc que les circonstances permettent d'utiliser à cette fin les eaux surabondantes d'une rivière ou celles des canaux de dessèchement de la contrée avoisinante, il convient d'en tirer parti, en disposant les écluses et les aqueducs d'évacuation, de façon à ce que leur fonctionnement produise le plus d'effet possible dans le chenal intérieur et le long des quais de marée. Il est ordinairement à conseiller aussi, quand la différence d'amplitude entre les marées de vive eau et de morte eau est assez grande, de faire en vive eau des chasses avec la tranche supplémentaire des bassins à flot, et d'opérer ainsi le curage des chenaux d'accès à ces bassins.

Généralement ces moyens sont insuffisants, et on doit y suppléer, soit par le dragage, soit par une installation spéciale de chasses artificielles. Le choix à faire dépend des circonstances locales, mais surtout de l'abondance plus ou moins grande des apports qu'il s'agit de combattre.

(1) LE FERME. *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1869.

Lorsque, grâce au régime de l'atterrage que l'on considère, ceux-ci sont relativement faibles, on a le plus souvent avantage à recourir au dragage; rien n'empêche alors de donner au port une grande superficie, ce qui est évidemment très utile au point de vue nautique. Mais sur une côte essentiellement alluvionnaire, les conditions sont tout autres. Là, il est indispensable de réduire le chenal intérieur et l'avant-port aux dimensions strictement nécessaires pour satisfaire aux exigences de la navigation, et d'adopter, en principe, le dispositif des ports de la côte des Flandres, tels qu'Ostende et Dunkerque; ce dispositif, qui est aussi celui d'un grand nombre de ports établis sur des côtes bien moins vaseuses, se prête en outre à recevoir des installations de chasses artificielles. Cependant, lorsque le port, eu égard à sa destination, ou par suite de sa situation en face d'une rade bien abritée, n'a pas absolument besoin d'offrir beaucoup de profondeur sous le niveau de marée basse et ne doit admettre les grands navires qu'au plein de la mer, on peut encore, sans difficulté, enlever les apports au moyen de dragues. Depuis les grands perfectionnements apportés à ces engins, il y a du reste une tendance bien accentuée à agir ainsi, d'autant plus que les réservoirs de chasse occupent des terrains étendus, dont l'acquisition serait parfois fort coûteuse; dans certains cas même, on ne peut guère songer à les établir en amont de l'avant-port et du chenal, à cause des constructions existantes.

Mais quand ces circonstances ne se présentent pas, et dès que la profondeur à entretenir sous le niveau des basses mers est de plus de 3 à 4 mètres, les chasses constituent incontestablement un excellent mode de curage, que l'on ne pourrait assez recommander pour des ports établis sur des côtes où le régime vaseux est exceptionnellement prononcé. Il ne faut pas perdre de vue en effet que de tous les systèmes connus, la drague à godets convient le mieux et est le plus généralement employée pour enlever des déblais en terrains mous. Or ces dragues sont fort encombrantes, surtout quand elles ne sont pas porteuses et que les matières extraites se transportent à l'aide de chalands remorqués ou de porteurs à vapeur; leur présence continuelle dans le chenal, dont la largeur est nécessairement limitée, constitue un sérieux inconvénient pour les navires, et peut, en cas d'abordage, créer de grands embarras; et si les dépôts à enlever chaque année exclusivement à la drague dans le chenal intérieur, l'avant-port et ses dépendances, sont considérables, il faudrait avoir recours à deux ou plusieurs de ces engins, suivant leur force de rendement. Dans bien des cas, l'emploi de dragues porteuses puissantes est d'ailleurs exclu, car ces dragues, qui ont un grand tirant d'eau, exigent la profondeur nécessaire non seulement dans le port, mais aussi dans les passes qui conduisent au lieu de déversement des déblais.

Notons enfin que pour les dragages de l'espèce, il faut chaque fois creuser à une profondeur supérieure à celle qu'il y a lieu de maintenir en permanence, et attendre ensuite que les dépôts aient acquis à nouveau une certaine épaisseur et une certaine cohésion.

Les chasses artificielles ne présentent pas tous ces inconvénients ; lorsqu'elles sont suffisamment puissantes et bien établies, elles expulsent régulièrement des parties du port où elles agissent, les matières vaseuses qui tendent à s'y déposer et dont l'abondance, dans certains parages maritimes, est telle, qu'il n'est guère possible, en pratique, de les maîtriser exclusivement à la drague, dès que la profondeur à entretenir est grande.

Les exemples que nous citerons dans les chapitres suivants fixeront mieux les idées à cet égard.

II. — PORT D'OSTENDE.

Rappelons brièvement quelle est la situation hydrographique de l'atterrage d'Ostende.

Il comprend deux rades, séparées par le Stroombank. Au-dessus de la partie est de ce banc, on ne sonde, sur la crête, que 2^m,50 à 3^m,00 d'eau à marée basse ; à l'ouest d'Ostende la profondeur varie de 3^m,00 à 4^m,00, en moyenne.

La rade extérieure offre 10 à 12 mètres de profondeur, sur des fonds de sable et de vase ; elle n'est guère abritée et ne sert que de mouillage provisoire, où les navires, avant le creusement de la passe Ouest du Stroombank, devaient attendre le moment favorable pour passer dans la rade intérieure, au-dessus de l'extrémité ouest de ce banc, et se diriger ensuite vers le port en profitant du flot.

Il résulte de la comparaison des cartes hydrographiques de 1801 et 1866, ainsi que des sondages exécutés pendant les années 1879 et 1880 par M. le Lieutenant de vaisseau Petit, que les passes et les grands fonds situés au nord de la grande rade se sont bien maintenus, et que cette rade elle-même semble plutôt gagner en profondeur.

Le Stroombank, à part un certain abaissement de la crête et une tendance de rapprochement du talus nord du plateau vers le talus opposé, n'a pas subi, depuis le commencement du siècle, des modifications importantes à l'ouest d'Ostende. Mais à l'est, il a diminué notablement en largeur et s'est allongé, suivant sa direction, au point de se souder à la côte devant Breedene.

La petite rade d'Ostende s'étend le long de la côte, entre Middelkerke et Clemskerke ; à marée basse, elle présente actuellement 8 à 10 mètres de profon-

deur depuis son extrémité ouest jusque par le travers de Mariakerke, 5^m,50 à 6^m,50 devant Ostende, et 4^m,00 à 5^m,00 seulement à son extrémité ouest. On y trouve, dans la plus grande partie de son étendue, des fonds mous de vase et de sable vasard, d'une tenue médiocre.

Avant le creusement de la passe Ouest du Stroombank, cette rade était d'un accès difficile, puisque les navires ne pouvaient y entrer qu'en passant au-dessus d'un plateau, à moins d'arriver par la rade de Nieuport. D'autre part, la passe qui existait primitivement entre la pointe est du Stroombank et la côte, s'est oblitérée.

Mais un fait plus fâcheux encore, c'est l'envasement relativement rapide que l'on constate dans toute l'étendue de la partie est de la petite rade; en 1801, on y sondait, à l'est du méridien de Mariakerke, 6^m,90 à 8^m,20 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, et en 1866, 5^m,60 à 7^m,00 seulement; aujourd'hui la profondeur, du côté de Breedene, n'y est plus que de 4^m,10 à 4^m,70, et cet exhaussement du fond s'étend jusque devant le port d'Ostende, où l'on ne trouve que 5^m,70 à 6^m,40 d'eau aux endroits où les cartes de 1867 et de 1801 accusaient respectivement 6^m,50 à 7^m,00 et 7^m,00 à 8^m,20. (')

Pour améliorer l'atterrissage d'Ostende, on ne peut songer à créer pour la grande rade les abris qui lui manquent; les endiguements à exécuter à cet effet seraient non seulement d'un coût énorme, mais ils provoqueraient en outre une perturbation dans le régime des courants de cette partie du littoral, ce qui pourrait avoir des conséquences extrêmement graves pour les passes d'accès des atterrages voisins, notamment pour celles de l'entrée de l'Escaut.

Il en serait de même, si on voulait construire devant Ostende, ainsi que des ingénieurs l'ont proposé, une vaste enceinte ou avant-port, dont l'entrée serait placée au delà du Stroombank. Pareille enceinte serait d'ailleurs envahie par les vases et on ne parviendrait pas à y maintenir la profondeur.

Il y a quelques années, M. Helin, Lieutenant de vaisseau de 1^{re} classe, a émis l'idée de transformer la petite rade d'Ostende en une rade artificielle couverte, en construisant sur le Stroombank un breakwater de 3700 mètres de longueur et dont les extrémités seraient relevées N.E. et O.N.O. par compas. (Pl. XXXIII).

Voici les avantages qui résulteraient, d'après M. Helin, de l'exécution de ce projet :

„ La conséquence première, immédiate, de la construction du breakwater, „ serait de mettre l'entrée d'Ostende à l'abri de tous les mauvais vents du large „ et de la rendre facile et praticable en tous temps. Comme il n'y aurait plus

(') Voir chapitre IV page 141.

„ de mer sur la barre, toute la profondeur d'eau sur celle-ci serait une profondeur utile, puisqu'il n'y aurait plus rien à défalquer pour le creux de la lame.

„ Le courant qui entretient les passes, étant devenu plus puissant, pourrait donner à la petite rade des fonds de 12 à 15 mètres, comme ceux de la rade de Dunkerque.

„ Le port étant bien abrité, en cas d'insuffisance des chasses, il serait facile de draguer la barre presque sans interruption.

„ Enfin, l'inspection de la carte montre clairement qu'il devrait se former à l'extrémité est du breakwater, qui est incliné vers le nord, une passe profonde sur le Stroombank, et la digue pourrait être construite de manière à provoquer la formation de pareille passe vers l'ouest.

„ Des renseignements qui nous ont été donnés par des hommes compétents, ayant une grande expérience des travaux maritimes, il résulte que pour une longueur de deux milles marins, c'est à dire 3700 mètres, la dépense n'atteindrait pas 20 millions.

„ La surface de la rade ainsi abritée serait d'environ 400 hectares. „⁽¹⁾

L'auteur cite comme exemples les rades artificielles de Cherbourg, de Plymouth et de Portland, situées toutes trois dans la Manche.

Disons en premier lieu que ces rades artificielles sont situées sur des atterrages n'ayant aucune analogie avec celui d'Ostende, ni par leur régime hydrographique, ni par leur configuration. Elles ont été établies à la faveur d'une disposition particulière du rivage, dans des anses naturelles déjà abritées en partie contre les vents du large, et dans un autre but d'ailleurs que celui indiqué par M. Helin. Nous en parlons plus loin.⁽²⁾

En proposant d'endiguer le Stroombank, le premier avantage que M. Helin a en vue, c'est de soustraire l'entrée du port aux vents du large, afin de la rendre praticable en tout temps, et d'accroître la hauteur d'eau sur la barre en y diminuant le creux des lames.

Mais les navires n'en devraient pas moins continuer à passer à l'ouest du breakwater, au-dessus du Stroombank; or, quand les bâtiments ont actuellement traversé ce plateau culminant, qui constitue déjà un abri sérieux, ils n'éprouvent plus guère de difficulté à se diriger vers le port; et pour ce qui est de l'entrée du chenal lui-même, nous avons vu qu'on y a creusé et qu'on y entretient aujourd'hui une profondeur de 6 mètres sous le niveau des basses mers de vive eau, soit celle de la petite rade devant Ostende. La diminution à résulter de

⁽¹⁾ HELIN. *Les ports du littoral de Belgique*.

⁽²⁾ Voir chapitre IX. § III.

l'endiguement du Stroombank pour le creux de la lame à l'entrée du port serait donc de fort peu d'utilité, d'autant plus que ce creux resterait le même sur la partie non endiguée du plateau, que les navires auraient toujours à traverser et qui est beaucoup moins profonde.

M. Helin croit, il est vrai, que le breakwater, construit sur 3700 mètres de longueur, aurait pour conséquence de rendre les courants plus puissants, à tel point que leur action sur le fond donnerait à la rade une profondeur de 12 à 15 mètres, égale à celle de la rade de Dunkerque, et qu'en inclinant convenablement les extrémités de cet ouvrage, il se formerait, tant à l'est qu'à l'ouest de celui-ci, une passe profonde à travers le Stroombank. Mais cette supposition n'est fondée sur aucun argument et ne nous semble pas admissible.

Notons d'abord, qu'en exhaussant une partie du Stroombank jusqu'au-dessus du niveau des plus hautes mers, on serait loin de réaliser à Ostende, sous le rapport des effets à attendre des courants de marée sur les fonds sous-marins, les conditions hydrographiques qui caractérisent les abords de la rade de Dunkerque. Celle-ci est précédée de six lignes de bancs à peu près parallèles, séparés par de vastes sillons et reliés en quelques points par des plateaux plus ou moins élevés.

Nous avons vu d'autre part que cette agglomération de bancs de sable, de formation ancienne, se maintient dans une situation relativement stable, et que les fonds de la rade elle-même n'ont pas changé depuis le commencement du siècle. Il serait donc bien difficile, eu égard aux éléments si compliqués qui interviennent dans la question, de dire quelle a été l'influence des bancs de l'atterrage de Dunkerque sur les sillons qui les séparent, ou réciproquement, ni de tirer de cette situation existante, la moindre conclusion quant aux effets que l'endiguement du Stroombank exercerait sur les fonds de la petite rade d'Ostende.

Si l'on examine au contraire, sur la carte des bancs des Flandres, le mode de propagation des courants de flot et de jusant devant la côte d'Ostende, on remarquera que le gisement du Stroombank s'écarte peu de la direction de ces courants au moment de leur plus grande vitesse; l'exhaussement artificiel d'une partie du banc ne ferait que mieux séparer la masse des eaux qui circulent alternativement de l'ouest vers l'est et de l'est vers l'ouest, d'un côté dans la grande rade et de l'autre côté dans la petite rade d'Ostende, et il n'aurait évidemment pour résultat ni d'augmenter le volume, ni d'accroître la vitesse des eaux qui se propagent, à chaque marée, au-dessus des fonds de la petite rade.

La construction d'un breakwater sur le Stroombank ne pourrait par conséquent produire aucun accroissement de profondeur pour ces fonds.

Il ne nous semble pas non plus qu'il y ait quelque raison de croire à

la formation d'une passe à travers le Stroombank, à chacune des extrémités du breakwater. Considérons l'extrémité est, par exemple, que M. Helin propose d'incliner à cet effet vers le nord ; il est possible que les eaux qui, pendant le flot, longeraient la digue au sud et s'épancheraient vers le large en suivant ce tronçon incliné de l'ouvrage, y creuseraient une certaine dépression sur la crête du Stroom ; mais les courants qui se propageraient le long du talus nord de la digue, en rencontrant l'extrémité saillante de celle-ci, donneraient aussi lieu à des remous et pourraient fort bien occasionner des modifications en sens contraire.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que les courants de marée de notre littoral sont animés d'un mouvement giratoire ; le courant de flot, après avoir atteint son maximum de vitesse, s'incline lentement vers le nord et étale vers cette région. Si l'on élevait sur le Stroombank une digue d'une grande longueur, les eaux entraînées par ce courant à l'intérieur de la rade, seraient contrariées dans leur marche au moment d'étaler vers le large, et elles déposeraient, près de la partie endiguée du plateau, une certaine quantité des matières vaseuses qu'elles tiennent en suspension ; ces dépôts seraient repris, puis emportés sans doute, en partie plus ou moins grande vers l'ouest, par les eaux du courant de jusant ; mais par suite de la configuration du Stroombank, le jusant pénètre beaucoup moins librement dans la petite rade que le flot, et comme les fonds de celle-ci, d'une profondeur déjà faible, s'exhaussent naturellement, il est à craindre que la construction d'une digue sur le Stroombank n'aggrave la situation, plutôt que de l'améliorer.

La petite rade d'Ostende, on doit le reconnaître, ne se prête aucunement à être transformée en une bonne rade couverte ; elle n'est pas assez profonde, et n'offre pas de passes d'accès praticables en tous temps aux grands navires ; d'un autre côté, et contrairement à l'opinion de M. Helin, l'endiguement du Stroombank n'est pas de nature à modifier l'action des courants de marée sur les fonds de la petite rade, et à y provoquer ainsi une amélioration quelconque.

Un autre projet, conçu dans le même ordre d'idées, a été mis en avant dans le but de créer à Ostende un débarcadère pour des steamers, ayant au moins 5 mètres de tirant d'eau et destinés à un service de paquebots-postes à établir entre la Belgique et l'Angleterre.

Dans ce projet, la jetée de débarquement est placée en pleine mer et de façon à être protégée par le breakwater (Pl. XXXIII). La ligne du chemin de fer d'Ostende est prolongée à partir de la station et conduite au-dessus d'un pier en fer à claire-voie, placé normalement à la côte, à 1400 mètres dans l'est du chenal du port ; à une distance en mer de 1350 mètres à partir de la plage,

ce pier présente un tronçon recourbé à angle droit, de 600 mètres de longueur, raccordé par une partie intermédiaire en arc de cercle, de 300 mètres de rayon. C'est ce tronçon extrême qui devait constituer la jetée de débarquement; le breakwater, d'une longueur de 2350 mètres, aurait pu être prolongé plus tard vers l'ouest.

Pareil débarcadère, construit à Ostende, offrirait de sérieux inconvénients, et il ne serait pas d'une exploitation sûre ni commode, malgré la dépense considérable à laquelle il donnerait lieu.

Le pier en fer couperait entièrement l'accès du port du côté est, ce qui serait regrettable, surtout pour la navigation des bateaux de pêche. Aujourd'hui les pêcheurs attaquent le port des deux côtés, tandis qu'ils seraient forcés alors, quels que soient le vent ou la marée, d'entrer en rade à l'ouest. D'autre part, il est certain que les steamers ne trouveraient pas, à l'abri d'un môle de longueur aussi restreinte, le calme nécessaire pour pouvoir accoster la jetée sans danger par les mauvais temps, et dans tous les cas, ils n'arriveraient à celle-ci qu'après avoir traversé le Stroombank, où il n'y avait partout, avant le creusement de la passe Ouest, que 3^m,00 à 4^m,00 d'eau à marée basse, à moins d'arriver par la rade de Nieuport.

Dans l'étude des projets d'amélioration de l'atterrage d'Ostende, il faut surtout se préoccuper de la situation de la petite rade; celle-ci menace de devenir mauvaise, à cause de l'envasement qui se produit dans toute la partie est de ce sillon maritime et qui s'étend de plus en plus vers Ostende, où la profondeur a déjà beaucoup diminué. Il faut en même temps améliorer les conditions d'accès du port du côté de l'ouest.

La solution que nous avons préconisée consiste à creuser, par dragage, deux passes à travers le Stroombank, l'une à l'est, l'autre à l'ouest. Nous y avons été conduits à la suite des considérations développées au chapitre IV, pages 140 à 142, au sujet du régime des fonds sous-marins de la côte d'Ostende; elles établissent en effet à l'évidence que l'envasement de la petite rade n'est qu'une conséquence naturelle de l'allongement du Stroombank vers l'est, et nous croyons par conséquent que le seul moyen de remédier à la situation, consiste à enlever de ce côté la pointe du banc. En donnant à la passe à creuser une profondeur de 6^m.00 sous le niveau des basses mers de vive eau, et une largeur d'environ 1000 mètres entre les lignes AB et CD (Pl XXXIII), on se rapprocherait déjà de l'état hydrographique que la rade présentait au commencement du siècle, alors que les courants de marée pouvaient s'y propager librement, et y entretenaient des profondeurs de 8 à 9 mètres sous le niveau des basses mers de vive eau. On peut prévoir

qu'après l'exécution de ce travail, les fonds mous situés devant Ostende et dans l'est de ce port, s'approfondiront à nouveau peu à peu sous l'action de la masse d'eau beaucoup plus considérable qui circulera entre le Stroombank et la côte ; car quand il s'agit, comme dans le cas actuel, de creuser des dépôts contemporains peu résistants, dont les éléments sont entraînés sous de faibles vitesses, c'est surtout la masse des eaux qu'on doit avoir en vue. Il est impossible sans doute de préciser quel sera exactement l'effet obtenu, mais on peut affirmer tout au moins que la cause de l'envasement ayant disparu, l'envasement lui-même s'arrêtera, et que la profondeur existant encore actuellement devant Ostende, qui est de 6 mètres environ sous marée basse, se maintiendra ; or c'est là le résultat qu'il importe d'atteindre avant tout. La nouvelle passe constituera en outre une bonne voie d'accès pour les navires qui voudraient, par des circonstances favorables de vent et de marée, attaquer le port de l'est.

La carte hydrographique de 1880 indique pour la partie du Stroombank à draguer, un fond de sable ; on rencontrera sans doute, pour les couches supérieures à enlever, encore du sable, puisque le plateau y correspond à l'allongement qu'il a subi de ce côté depuis 1804, époque à laquelle le plan de l'atterrage d'Ostende a été levé par Beautemps-Beaupré ; mais il est probable qu'à partir d'une profondeur se rapprochant de la cote primitive de ces fonds, le sable est vaseux et mélangé de couches glaiseuses, provenant de dépôts qui s'étaient formés avant l'époque précitée, et aussi des mouvements de vase qui ont provoqué l'exhaussement des fonds avoisinants de la petite rade. Le creusement de la passe exige un déblai que l'on peut évaluer approximativement à 8 ou 9 millions de mètres cubes.

Mais il est une objection qui se présente immédiatement à l'esprit : puisque rien ne sera changé dans le régime de la partie du banc située à l'ouest de la dépression à creuser, les sables de ce plateau ne continueront-ils pas à marcher vers l'est, et ne viendront-ils pas envahir la nouvelle passe, tout comme ils ont envahi celle qui existait en 1804 ?

L'objection est fondée, mais elle n'a pas l'importance qu'on pourrait y attacher à première vue. Les déplacements des sables du Stroombank se sont produits d'une façon active sans doute, comparés à ceux observés à la plupart des autres bancs de la côte des Flandres ; cependant, on ne peut perdre de vue que l'allongement constaté pour ce plateau, depuis la date de la carte de Beautemps-Beaupré, est le résultat des effets accumulés pendant plus de trois quarts de siècle. Si l'on évalue approximativement la masse des sables qui correspond à la partie allongée du banc, laquelle représente environ le volume total des

matières déplacées depuis 1804, on trouve un chiffre de 12 à 13 millions de mètres cubes, soit un cube moyen annuel d'à peu près 150,000 mètres. Or comme le banc est aujourd'hui moins large et son talus nord plus raide que pendant la période de temps où l'allongement a eu lieu, il est rationnel de conclure que les apports dans la nouvelle passe, spécialement dus au mouvement des sables du Stroombank vers l'est, ne dépasseront pas notablement ce chiffre, et qu'en tous cas, il sera aisé de les maîtriser par dragage.

Une autre solution pour préserver la passe projetée des apports de sable de la partie est du banc, consisterait à endiguer l'extrémité EAB de celui-ci au moyen d'un massif en enrochements, défendu extérieurement par de gros blocs artificiels. Cette digue dont la crête ne devrait pas s'élever au-dessus du niveau des plus basses mers et qu'il faudrait signaler à l'aide de bouées lumineuses, empêcherait le déplacement des sables du plateau vers la petite rade, de sorte qu'ils ne pourraient se mouvoir que du côté opposé, en augmentant l'étendue du talus suivant lequel le Stroombank se raccorde avec les fonds de la grande rade. Mais la dépense à résulter de ces travaux serait fort élevée, et l'entretien de la passe par simple dragage nous semble à tous égards mériter la préférence.

La passe à creuser à travers le Stroombank dans l'ouest d'Ostende est destinée à la navigation; nous avons proposé de lui donner 500 mètres de largeur, et 6 mètres environ de profondeur sous le niveau des basses mers, soit celle de la petite rade devant le port.

Le projet de creusement des deux passes en question a été soumis en 1889 à l'examen du Comité spécial des Ponts et Chaussées, qui l'a approuvé. La même année, un premier crédit de 300,000 francs fut voté par la Législature, et on décida de commencer par le creusement de la passe de l'Ouest.

L'emplacement exact de celle-ci a été fixé de commun accord avec les officiers de la Marine.

M. le lieutenant de vaisseau Petit proposa d'approfondir la dépression existant au droit de Middelkerke, et dont la fixité se constate par la comparaison des anciennes cartes marines avec les reconnaissances les plus récentes.

C'était là évidemment une considération sérieuse au point de vue du succès des travaux à entreprendre. Mais cet emplacement est trop éloigné du port d'Ostende; il aurait en outre présenté un certain danger pour les navires, à cause du voisinage de la pointe est du banc de Nieuport.

Pour ces motifs, on décida d'ouvrir la passe à 1800 mètres environ à l'ouest du clocher de Mariakerke, suivant une direction N. N. O. du compas magnétique;

la largeur en fut fixée à 600 mètres, et la profondeur provisoirement à 5 mètres sous le niveau moyen des basses mers de vive eau.

Les premiers travaux de dragage de la passe de l'Ouest furent adjugés le 15 mars 1890, jusqu'à concurrence d'une somme de 200,000 fr., à raison de 0,5835 fr. le mètre cube; les déblais devaient être transportés à une distance moyenne de 4 kilomètres, dans les fonds de 7 à 8 mètres de profondeur, situés contre le talus nord du Stroombank, en un endroit où le déversement des déblais ne peut occasionner aucune gêne pour la navigation.

Ces dragages furent commencés le 10 juin de la même année avec deux bateaux-aspirateurs et porteurs, le *Léopold II* et l'*Adam VI* du type de l'*Aurore*.

La puissance des machines de chacun d'eux est de 220 chevaux indiqués, et la capacité du puits de 350 mètres cubes.

Le sable dragué avait généralement le même aspect; il était presque pur, de grosseur ordinaire, et en certains endroits du talus intérieur plus ou moins coquillier. Le long du talus nord du Stroombank, la couche de sable était dure, et les parties du fond creusées successivement à profondeur, se maintenaient sous des talus assez raides.

Le long du talus sud du banc, le sable a moins de cohésion et semble provenir partiellement des apports rejetés par les vagues de tempête de la partie culminante du plateau.

Les dragues n'aspiraient pas de glaise et rarement de la tourbe, à part de très petites quantités, qui avaient sans doute été entraînées par les tempêtes les plus récentes dans la dépression en voie de creusement. Aussi les rendements obtenus étaient considérables; chaque bateau se remplissait en moyenne en 50 minutes; il mettait 35 minutes pour se rendre au lieu de déversement des déblais. Tant que la saison le permettait, les dragues sortaient à 4 heures du matin du port et y rentraient vers 9 heures du soir. Dans ces conditions, elles ont fait souvent jusqu'à 3,600 mètres cubes chacune, soit 7,200 mètres cubes ensemble en un jour.

Les travaux adjugés ont été terminés le 27 janvier 1891; le cube de matières draguées était de 343,000 mètres, représentant, en importance, le crédit de 200,000 francs mentionné plus haut, à raison de fr. 0,5835 le mètre cube. Ils ont duré près de huit mois.

Pendant cette période, les dragues ont pu fonctionner 110 jours, parmi lesquels un assez grand nombre d'incomplets, les bateaux ayant dû rentrer à cause de la houle. Il va de soi que dès la fin de l'été, la durée d'une journée de travail a notablement diminué; en hiver, elle n'était que de 11 heures; les

dragues sortaient vers 6 h. 30 m. du matin et rentraient vers 5 h. 30 m. du soir.

Le nombre total d'heures que ces engins ont fonctionné au Stroombank pendant les jours de travail précités, est de 651 pour le *Léopold II* et de 611 pour l'*Adam VI*; leur rendement était donc de 272 mètres en moyenne par heure de travail effectif. Le transport des déblais au lieu de déversement a occupé en tout 321 heures environ pour la première de ces dragues, et 288 heures pour la seconde.

Dès que les travaux furent entamés, les sondages accusaient des résultats fort satisfaisants; les dépressions creusées se maintenaient dans de bonnes conditions, et à la date du 10 novembre 1890, la passe offrait déjà une profondeur minimum de 4^m,20 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau. Ce résultat était remarquable, d'autant plus que pendant la durée des travaux, les gros temps avaient fréquemment sévi le long de la côte; il confirmait déjà les prévisions que nous avions émises au sujet de l'efficacité des dragages entrepris. Au milieu de la passe, sur une largeur de 250 à 300 mètres, la profondeur creusée ne subissait d'ailleurs pas de changements notables; les exhaussements se produisaient dans les zones latérales, ce qui provenait principalement de la tendance des talus à se mettre sous leur inclinaison d'équilibre. Encore, du côté est, la sonde n'accusait pas de fréquents apports; ceux-ci se produisaient le plus du côté ouest, surtout dans l'angle sud-ouest de la passe.

Cette particularité s'explique: c'est précisément de ce dernier côté qu'on trouve les sables plus ou moins mouvants et fins dont il a été parlé précédemment, et c'est aussi de ce côté que la prépondérance du flot se fait le mieux sentir sous l'influence des vents d'ouest; en cet endroit, les courants qui circulent entre le talus accore du Stroombank et le rivage, traversent des fonds avec 7 mètres d'eau au moins sous marée basse; de plus, comme le flot, au moment de sa plus grande force, rencontre le talus intérieur du plateau suivant une certaine inclinaison, il doit se produire à l'angle sud-ouest de la passe creusée, des remous et des actions tourbillonnaires favorisant l'entraînement des sables.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, la première série des travaux de dragage de la passe de l'Ouest, comprenant l'enlèvement de 343,000 mètres cubes de déblais, fut terminée le 27 janvier 1891.

Au mois de février suivant, le Gouvernement conclut avec les entrepreneurs de ces travaux un marché de gré à gré pour l'extraction d'un nouveau déblai, d'une importance de 250,000 mètres cubes, à raison de fr. 0,40 le mètre, au lieu de fr. 0,58, prix obtenu à l'adjudication de la première série; les entrepreneurs devaient encore mettre en œuvre deux dragues à aspiration, mais

moyennant cette diminution de prix, ils avaient la faculté d'employer en même temps l'une d'elles à l'entretien de la passe d'entrée du port.

Les dragages de ce nouveau marché ont duré du 9 mars 1891 au 21 octobre de la même année, soit sept mois et demi environ. Disons toutefois que pendant cette période, le temps a été défavorable; de plus, au mois de mai, le *Léopold II* a fonctionné seul dans la passe, l'*Adam VI* ayant été occupé alors aux dragages d'entretien du chenal du port.

Pendant la durée des travaux de cette seconde entreprise et dans les conditions que nous venons de mentionner, le *Léopold II* a été occupé pendant un nombre total de 636 heures, réparties sur 97 jours de travail, dont un assez grand nombre d'incomplets; l'*Adam VI* a été occupé pendant 434 heures, réparties sur 64 jours de travail; le rendement moyen de ces dragues était donc de 234 mètres cubes par heure de travail effectif. Le transport des déblais au lieu de déversement a pris en tout 293 heures pour le *Léopold II*, et 200 heures pour l'*Adam VI*.

On remarquera que le rendement moyen des dragues a été moindre pendant la durée de la seconde entreprise que pendant celle de la première. Cela résulte surtout de ce qu'on a eu à attaquer en dernier lieu des tranches relativement peu épaisses, et que les dragues ont dû se déplacer plus fréquemment, afin d'obtenir, au moyen du cube de déblais prescrit, une profondeur sensiblement uniforme dans toute l'étendue de la passe.

Les figures 1 et 2, Pl. XXIX, représentent respectivement la situation du banc, à l'emplacement de la passe, au 10 juin 1890, avant que les dragages eussent commencé, et le résultat obtenu au 10 octobre 1891, soit immédiatement après l'achèvement des travaux; la profondeur sous le niveau des basses mers de vive eau n'y est pas inférieure à 5 mètres.

Depuis cette date jusqu'au 15 septembre 1892, soit pendant un an environ, aucun dragage n'a été effectué dans la nouvelle passe; celle-ci s'est fort bien maintenue et n'a subi que de faibles apports, ainsi que les sondages effectués par M. Mersch, Inspecteur du Pilotage, et ceux faits par nous même, l'ont confirmé.

A partir du mois de septembre précité, les dragages de la passe Ouest du Stroombank ont été compris dans l'entreprise relative aux travaux d'entretien des ports de la côte de Belgique. Le cahier des charges qui régit ces travaux, prescrit pour la passe l'extraction d'un déblai annuel ne pouvant être inférieur à 80,000 mètres cubes, ni supérieur à 150,000 mètres cubes, sans le consentement de l'entrepreneur.

S'il ne s'agissait que de maintenir la passe à la profondeur de 5^m,00 sous

Le niveau des basses mers, le premier de ces cubes suffirait sans doute ; mais il convient de la porter graduellement à 6^m,00 environ sous ce même niveau, de façon à le mettre en rapport avec la profondeur existant à l'entrée du port. Dès lors, la quantité de sable à extraire par an augmente non seulement en raison de l'approfondissement nouveau à obtenir, mais aussi parce que, d'une manière générale, les apports dans les passes creusées à travers des fonds de sable croissent avec la profondeur de celles-ci, et ce dans des proportions assez rapides ; nous l'avons fait ressortir précédemment.

La fig. 3 Pl. XXIX indique la situation de la passe Ouest du Stroombank au 11 janvier 1894 ; à cette date, le cube dragué depuis le 15 septembre 1892, soit pendant 2 ans et 4 mois, s'élevait à 339,000 mètres, représentant en moyenne 145,000 mètres cubes par an. Dans la partie centrale de la passe, la profondeur accusée par le sondage n'est pas inférieure à 5 mètres, et varie plutôt de 5 mètres à 5^m,50 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau. On constate quelques apports le long du talus est, où la courbe des fonds de 4^m,80 fait une certaine saillie ; mais il est à noter que les mois d'hiver qui avaient précédé la date du sondage avaient été marqués par de nombreux gros temps et par des tempêtes violentes de la région de l'est.

Les sables extraits de la passe Ouest continuent à donner de forts rendements, à cause de leur grand degré de pureté. Cependant lorsque le tuyau d'aspiration des dragues descend dans les couches de plus de 7 mètres de profondeur sous le niveau des basses mers de vive eau, il amène, avec le sable, des morceaux de glaise agglutinée, de couleur noire ou grise suivant les endroits. Ils proviennent de couches glaiseuses de faible épaisseur existant à la profondeur précitée.

Pour signaler la passe, il vient d'être installé à terre deux feux fixes blancs de 4^e ordre, d'une portée moyenne de dix milles ; le premier est placé sur la crête des dunes les plus rapprochées de la mer, le second à 110 mètres en arrière du premier ; les foyers de ces feux se trouvent respectivement à 28 et à 22 mètres au-dessus du niveau des basses mers ; tenus l'un par l'autre, ils indiquent exactement l'axe de la passe.

Pour se diriger vers celle-ci, les navires d'un grand tirant d'eau venant du Westhinder, en destination d'Ostende, après avoir gouverné à l'E. S. E. pendant trois milles environ, pour éviter à marée basse la pointe du Dyck oriental, mettent le cap au S. E. sur Ostende et suivent cette direction jusqu'au moment où ils relèvent le phare de Nieupoort dans le S. 11° 15' O. ; ils se trouvent alors à 8 milles de terre, au large de la passe, et en gouvernant au S. S. E., ils arrivent dans

l'alignement des feux de direction. Afin de signaler aux navires le moment où ils ont traversé celle-ci, il a été apporté une modification au feu vert du musoir de la jetée ouest du port; ce feu, de vert devient rouge quand on arrive dans la petite rade. De plus, une bouée lumineuse est mouillée à l'accote intérieure du Stroombank à proximité de l'origine de la passe; elle est destinée à remplacer, par temps épais, le feu de la jetée ouest du port.

Lors de la conférence dans laquelle l'emplacement de la passe Ouest du Stroombank a été arrêté, il a été question de la creuser devant Ostende même, dans le N.O. de l'entrée du port. Mais il fut objecté qu'une coupure dans le Stroombank, pratiquée en cet endroit, aurait probablement beaucoup augmenté la houle dans le port, et la proposition n'a pas eu de suite. La solution indiquée présentait cependant ce grand avantage que par de forts vents du large, et surtout par les tempêtes de la région du Nord, la passe aurait été d'une attaque plus commode pour les voiliers et même pour les steamers. Car par ces vents, les navires ont bien plus facile à faire route droit sur le port, en commençant déjà à gouverner régulièrement dans cette direction au large du Stroombank. En disposant la passe dans le N.O. de l'entrée du chenal du port, les voiliers, sur la distance de 1500 mètres à parcourir entre la passe et le port, n'auraient du reste pas de peine à régler leur marche sans subir trop de dérive et de façon à atteindre le musoir de la jetée ouest, même par flot et vents d'ouest.

Aussi, en présence du bon maintien de la passe déjà creusée, nous croyons qu'il conviendrait d'en créer une seconde à l'emplacement précité N.O. de l'entrée du port. La dépense à résulter de ce travail ne serait pas élevée, et en ne donnant au début à la nouvelle passe d'accès dont il s'agit que 4^m,50 de profondeur sous le niveau des basses mers de vive eau, sur 400 mètres de largeur environ, elle rendrait déjà de grands services à la navigation; d'un autre côté il n'est pas probable que dans ces conditions, la houle dans le port deviendrait notablement plus forte. La direction de cette passe serait d'ailleurs tout indiquée par l'alignement du feu de marée et le grand phare.

Les travaux de creusement de la passe Est du Stroombank ne sont pas encore décrétés. L'importance des déblais qu'ils comprennent, 8 à 9 millions de mètres cubes, est grande sans doute; mais on peut prévoir que le prix du mètre cube serait fort modéré, y compris le transport dans les fonds limitant à son extrémité nord-est la grande rade d'Ostende, près du banc de Wenduyne, soit à 5 kilomètres de distance. Des quantités de dragages aussi considérables offrent en effet des conditions avantageuses pour l'amortissement du coût du matériel, si on a soin d'admettre pour leur exécution un terme assez long, 5 ans par exemple.

A notre avis, le creusement, à bref délai, de la passe Est du Stroombank s'impose, si l'on veut sauvegarder le maintien de la petite rade d'Ostende, dont la situation menace de devenir inquiétante pour le port; et à mesure que cette situation s'aggrave, l'exécution du travail lui-même devient plus difficile et plus coûteux.

Le Comité spécial des Ponts et Chaussées, chargé de l'examen du projet en question, a partagé cette manière de voir; les conclusions de son rapport se terminent en ces termes :

« Le Comité ne voit d'autres moyens d'améliorer les conditions d'accès du port d'Ostende que ceux préconisés par M. De Mey. Le creusement de deux passes à travers le Stroombank, l'une à l'est, l'autre à l'ouest, est chose praticable. On peut avoir confiance que la réouverture de la passe à l'extrémité est du Stroombank aura tout au moins pour effet d'arrêter l'envasement de la petite rade. Le Comité estime que les travaux à effectuer dans ce but doivent être commencés sans aucun retard » (1)

Amélioration du port proprement dit. — Ainsi que nous l'avons dit au chapitre VII, le chenal du port d'Ostende n'offrait, jusqu'en 1889, que 70 mètres de largeur moyenne; le coude formé par la jetée ouest, en face de l'écluse de chasse Léopold, créait en outre en cet endroit une situation fort dangereuse pour la fréquentation des grands navires. (Pl. XVIII fig. 3). Il fut décidé alors de reconstruire entièrement cette jetée, de donner au chenal une largeur de 110 à 120 mètres, et de le prolonger de 50 mètres en mer. Ces travaux furent adjugés le 13 juin 1888 et terminés au mois de juin 1890; ils ont coûté ensemble 1,922,719 fr.

La nouvelle jetée ouest présente, au musoir, une légère inclinaison vers cette région, tandis que le prolongement de la jetée opposée s'incline d'une manière assez prononcée en sens inverse; cette disposition, qui porte la largeur de l'entrée du port à 160 mètres, semblait devoir être fort avantageuse, tant au point de vue de la manœuvre des steamers que de celle des voiliers, et l'expérience a confirmé cette opinion.

Le port d'Ostende, avons-nous vu, offre aujourd'hui à marée basse 6 mètres d'eau environ dans la passe extérieure, et 4^m,00 au moins à l'intérieur du chenal. A marée haute, celui-ci a donc 8^m,50 de profondeur moyenne en vive eau et 7^m,50 en morte eau; depuis qu'il a été élargi, les voiliers comme les steamers peuvent l'attaquer par tous les temps, et il ne s'y produit plus guère de cas d'avarie. Les paquebots-postes de la ligne Ostende-Douvres entrent sans diffi-

(1) *Annales des Travaux publics de Belgique*. Tome XLVIII. Année 1890.

culté au port aux plus basses mers, et aussi par les plus fortes tempêtes.

En 1888, il a été établi dans l'avant-port un nouveau quai d'accostage destiné au service des paquebots précités. Cet ouvrage est construit en charpente de bois de greenheart et de chêne ; il occupe une longueur totale de 360 mètres et est divisé en trois postes ; chacun d'eux comprend 4 étages disposés de façon que les paquebots puissent, quel que soit l'état de la marée, accoster avec leurs tambours en un point déterminé, et trouver de part et d'autre deux étages de débarquement, correspondant respectivement aux jardins et au promenade-deck du navire.

Le premier poste est installé devant l'ancien quai d'accostage des paquebots. Les deux autres se trouvent en prolongement de ce dernier ; ils prennent appui contre un perré en maçonnerie de briques, retenu au pied par une ligne de pilots jointifs, dont la tête se trouve à 0^m,50 au-dessus du niveau moyen des basses mers de vive eau ou (Z). Devant cette ligne de pilots, le talus de raccordement avec le fond du chenal est formé de terres glaiseuses ; il est protégé par des enrochements en pierres de Tournay, recouverts de sacs en béton et soutenus au pied par des plates-formes en facinage lestées. Quoique la houle ait augmenté dans l'avant-port par suite de l'élargissement et de l'approfondissement du chenal, les paquebots-postes accostent commodément à ces débarcadères, dont la construction à claire-voie atténue les effets de l'agitation et des ressacs (Pl. XXIX).

Comme nous le rappelions plus haut, le chenal intérieur du port d'Ostende est maintenu régulièrement à la cote minimum de -- 4 mètres ; il n'y avait guère d'avantage, jusqu'à présent, à augmenter cette profondeur à cause de l'insuffisance des installations actuelles du port. Les bassins à flot, en effet, trop peu spacieux d'abord, communiquent avec le chenal par une écluse à sas de 12 mètres d'ouverture, 58 mètres de longueur utile, avec buscs placés à 1^m,48 seulement sous le (Z) ; cet ouvrage se trouve en outre au fond d'un pertuis étroit, bordé de quais verticaux, de sorte que la houle, par de fortes brises, y acquiert beaucoup d'intensité. Aussi les navires de plus de 6 mètres de tirant d'eau, à moins d'arriver par une marée particulièrement élevée, doivent se mettre dans la fosse à flot existant dans l'avant-port en aval de l'écluse de chasse Militaire, et y alléger, pour entrer ensuite dans les bassins au moment du plein et toutes portes ouvertes.

L'avant-port, formé par le fond du chenal, a trop peu d'étendue ; il est presque entièrement occupé par les paquebots de la ligne Ostende-Douvres ; les bâtiments en chômage sont même forcés de se placer à des postes d'amarrage établis à l'extrémité du chenal intérieur, en un endroit où la houle, en cas de gros temps, est forte. Il n'existe du reste dans l'avant-port aucun quai, ni

apportement, où les navires puissent opérer des déchargements, à l'exception de l'ancien quai des bateaux à vapeur, utilisé par les steamers de la Général Steam navigation Company.

Le plan des nouvelles installations maritimes à créer à Ostende en vue de remédier aux inconvénients signalés, a été arrêté par une Commission mixte composée de délégués de l'État et de la ville d'Ostende, sous la présidence de M. de Raeye, Administrateur-Inspecteur général des Ponts et Chaussées. Elles comprennent l'agrandissement de l'avant-port, la construction d'un nouveau bassin à flot avec écluse à sas, et divers travaux accessoires nécessités par les circonstances locales (Pl. XXIX).

La partie agrandie de l'avant-port mesurera 430 mètres de longueur et 200 mètres de largeur; elle sera bordée de chaque côté de perrés maçonnés avec quais en charpente, système mixte de bois et de fer, avec terre-plein formé de voussettes en maçonnerie, recouvertes d'un pavage. Le quai de la rive est servira spécialement au stationnement des paquebots-postes de la ligne Ostende-Douvres, et celui de la rive opposée aux navires de commerce. Quant à la profondeur qu'il conviendra de donner à l'avant-port, elle a été fixée à 4^m,50 au moins sous marée basse; mais le long du quai destiné au commerce, il sera maintenu une souille aussi profonde que possible pour permettre aux navires d'y rester à flot. Le chenal du port, jusqu'à cette souille, sera creusé et entretenu à la profondeur existant actuellement devant la tête des jeteés.

Au fond de l'avant-port agrandi s'ouvrira l'écluse à sas du nouveau bassin de commerce; elle présentera 18 mètres de largeur et 120 mètres de longueur utile, avec buscs placés à 4^m,50 sous le niveau des basses mers de vive eau.

Le nouveau bassin comprendra, sur la rive est, 520 mètres de quai en maçonnerie, et sur la rive ouest, des perrés avec apportements en charpente; il aura 90 mètres de largeur et se raccordera par une section élargie avec la partie aval du canal de dérivation, ce qui le mettra en communication avec le canal de Bruges à Ostende. Une tête d'écluse, avec pont mobile, sera construite sur cette dérivation; les portes en seront busquées vers l'aval, et permettront de baisser partiellement ou totalement les eaux du canal de Bruges à Ostende, ou de surélever les eaux du bassin à flot. La flottaison normale de celles-ci correspondra à la cote dite de XVIII pieds, passant à 4^m,05 au-dessus du (Z); le plafond du bassin sera creusé à 3^m,75 sous ce repère.

Si l'on voulait plus tard construire à Ostende des cales sèches, non seulement pour les navires de commerce, mais aussi pour les paquebots-postes de la ligne Ostende-Douvres, dont la largeur hors tambours atteint déjà jusqu'à 22^m,01,

il y aurait à creuser, immédiatement à côté de l'écluse à sas, une tête d'écluse de 25 mètres de largeur, et à la faire déboucher dans un bassin d'évolution, placé en tête du bassin à flot. Les cales sèches pourraient être installées dans de bonnes conditions sur la rive ouest de ce bassin. La tête d'écluse permettrait en outre d'admettre éventuellement dans le bassin à flot des bâtiments de dimensions exceptionnelles.

On remarquera que la partie aval du canal de dérivation doit être comblée, et le pont de la porte de Bruges supprimé. La station d'Ostende-quai sera reliée directement à la voie ferrée près du Contredam, tandis que le canal d'évacuation des eaux du Kamerlynkx sera conduit vers le fond de l'avant-port et voûté à son extrémité aval.

Tous les quais de l'avant-port et du nouveau bassin à flot seront munis de voies ferrées, reliées à une gare maritime.

On reconnaît aisément que s'il fallait, dans l'avenir, étendre ce bassin ou créer des bassins nouveaux, il n'y aurait qu'à détourner le chemin de fer d'Ostende à Bruxelles à partir de son raccordement avec la ligne d'Armentières, ainsi que le canal précité du Kamerlynkx, de façon à pouvoir développer les installations maritimes vers le sud, sur le territoire de la commune de Steene.

Les travaux projetés nécessiteront la suppression du bassin de chasse de l'écluse Française qui sera tout entier occupé par les nouvelles installations; mais on creusera en son remplacement un bassin en libre communication avec celui de l'arrière-port, correspondant à l'écluse Militaire; cette écluse a un débouché assez grand pour desservir un réservoir de chasse puissant, d'autant plus que son radier se trouve à 1^m,50 sous le niveau des basses mers de vive eau. Il conviendrait de donner au bassin de l'écluse Militaire une surface totale de 80 à 100 hectares, car les chasses qu'il est destiné à alimenter doivent servir, concurremment avec les évacuations d'eau qui s'opèrent par les écluses de Slykens et de la Noordheede, à curer le chenal intérieur et partiellement l'avant-port. L'extension de ce bassin peut du reste se faire dans des conditions économiques à travers les terrains bas et peu coûteux qui bordent l'arrière-port à l'est.

Le nouvel avant-port recevra les eaux surabondantes de la dérivation du Kamerlynkx; à l'époque des marées de vive eau, on y effectuera en outre des chasses à l'eau de mer avec la tranche supplémentaire emmagasinée dans le bassin à flot, et aussi avec une partie des eaux amenées du réservoir de l'arrière-port vers des aqueducs spéciaux à construire dans la digue du fond, à l'est de l'écluse de navigation.

Dans les conditions indiquées, on entretiendra aisément la profondeur dans

les diverses parties du port, en suppléant aux chasses par un dragage annuel modéré, destiné spécialement à curer les dépendances du chenal plus ou moins soustraites à leur action. L'entretien de la passe d'entrée et du chenal extérieur continuerait évidemment à être assuré au moyen d'une drague à aspiration.

Il est possible que dans l'avenir, on ait avantage à augmenter le développement des quais directement accessibles de la mer. Si cette éventualité devait se présenter, nous proposerions de supprimer l'écluse Militaire, et de créer, à l'est des installations à construire aujourd'hui, un nouvel avant-port, qu'il serait possible d'étendre jusqu'à Slykens. Les nouveaux quais seraient établis le long de la rive gauche, sur plus de 1,000 mètres de longueur, au besoin; ils se trouveraient dans les meilleures conditions tant au point de vue de leur exploitation qu'au point de vue du maintien de la fosse à flot à creuser à leur pied; car on n'aurait qu'à utiliser dans ce dernier but les chasses naturelles résultant de l'évacuation des eaux déversées à la mer par l'écluse de Slykens; et en appropriant convenablement le bassin de chasse de la rive est de l'arrière-port, on suppléerait autant qu'il serait nécessaire à ces chasses naturelles (Pl. XXIX).

Les eaux de la Noordheede seraient dérivées directement dans l'avant-port, en aval de l'emplacement de l'écluse Militaire. Il faudrait enfin, après que cet ouvrage serait démoli, construire une autre écluse, immédiatement en aval de celle de Slykens, avec portes busquées vers l'amont; cette écluse ne serait fermée qu'à l'époque des chasses; elle permettrait de maintenir la communication entre le réservoir de chasse et l'avant-port de l'ouest, par l'intermédiaire du petit bassin compris entre l'écluse en question et celle de Slykens, et de continuer à opérer des chasses à l'eau de mer dans cet avant-port.

III. — PORT DE NIEUPOORT.

La rade de Nieuport, nous l'avons vu, est non seulement la meilleure, mais aussi la seule du littoral belge offrant des avantages sérieux pour la navigation.

Elle est profonde, spacieuse et présente un bon fond d'ancrage; ses quatre passes d'accès sont situées respectivement à l'ouest, au nord, à l'est et au nord-est.

La passe de l'Ouest, ou de Zuydcote, se trouve en prolongement de la rade de Dunkerque, laquelle est accessible en tout temps aux bâtiments du plus fort tonnage; les navires en destination pour Nieuport peuvent suivre cette direction, et attendre près du Hillsbank le moment favorable pour traverser le canal de l'ouest, où l'on trouve 7 mètres d'eau sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires. La passe du Nord est la plus directe et offre 8 mètres

de profondeur minimum sous ce même niveau. Les passes de l'Est et du Nord-Est communiquent, la première avec la rade intérieure et la seconde avec la rade extérieure d'Ostende. On y sonde en moyenne 10 mètres d'eau.

La comparaison de la carte de Stessels de 1866 avec les cartes marines anciennes, nous a montré d'ailleurs que la situation hydrographique de l'atterrage de Nieuport est relativement stable, et que rien ne semble devoir donner lieu à des craintes au sujet du maintien des profondeurs de la rade, ni des passes d'accès de celle-ci. Le canal du Nord s'est même notablement amélioré depuis 1866, ainsi qu'il résulte des sondages faits en 1880 par M. le Lieutenant de vaisseau Petit, et cette amélioration semble devoir s'accroître encore dans l'avenir. De plus, il s'est produit près de ce canal, à l'extrémité est du Smalbank, un autre approfondissement, de sorte que l'on trouve aujourd'hui, en cet endroit, une ligne de fonds non interrompus avec 7 mètres à 7^m,50 d'eau à marée basse, conduisant du chenal compris entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank vers la rade, suivant une direction sensiblement N. N. O..

Les passes d'accès de la rade de Nieuport, que l'on pourrait au besoin améliorer encore par dragage, sont donc praticables par les grands bâtiments de commerce; elles devraient toutefois être signalées au moyen d'un système d'éclairage et de balisage.

Mais la rade de Nieuport paraît trop peu abritée pour permettre en tout temps le stationnement des grands navires; ceux-ci ne pourraient donc pas y attendre en sécurité une marée favorable, ni y alléger, comme cela se pratique quelquefois à Dunkerque. Quoique l'expérience n'ait pas encore permis de se prononcer sur les qualités nautiques réelles de cette rade, il convient, si l'on veut assurer la bonne exploitation du port, de lui donner une profondeur telle, que les bâtiments de fort tonnage puissent y entrer, sinon à tout instant, du moins pendant plusieurs heures à chaque marée.

Le commerce existant actuellement à Nieuport est presque nul et l'importance du port tout entière à créer; il semble donc prudent de n'y établir au début que des installations relativement modestes, mais conçues d'après un plan d'ensemble qui permette de les étendre plus tard, si l'avenir justifiait les espérances qu'on peut avoir au sujet du développement commercial de cette ville.

Notre intention n'est pas de nous occuper ici d'une manière approfondie de l'élaboration de pareil plan; nous avons spécialement pour but de rechercher les meilleurs moyens à mettre en usage pour rendre le port praticable aux grands navires. Aussi les dispositions générales décrites ci-après et qui sont figurées Pl. XXX, sont celles d'une simple esquisse, indispensable pour l'intelligence

de notre étude. Elle montre cependant quel parti il serait possible de tirer de la situation qui se présente à Nieuport, où les terrains bas que l'on rencontre sur chacune des rives du chenal actuel et près de la ville, se prêtent avantageusement à la création de vastes bassins et de tous les ouvrages formant les parties constitutives d'un port de premier ordre.

On se rappelle que la profondeur existant aujourd'hui à l'entrée et dans la partie aval du chenal extérieur du port, est de 2^m,50 sous le niveau des basses mers de vive eau ; elle se maintient moyennant un dragage de 100,000 mètres cubes environ par an. Le chenal intérieur, entretenu exclusivement par l'évacuation des eaux du bassin de l'Yser, offre 0^m,75 à 2^m,50 d'eau sous le même niveau, que nous adopterons comme repère.

Nous proposerions de porter la profondeur à 6 mètres, tant à l'entrée qu'à l'intérieur du chenal, en prolongeant tout d'abord les jetées à claire-voie jusqu'aux fonds de 5 à 6 mètres existant devant le port, et en draguant tout le chenal à cette dernière cote. La crête des jetées basses se maintiendrait, à partir de la laisse des basses mers jusqu'aux musoirs, à 1 mètre environ au-dessus du niveau de celles-ci. Nous conseillerions en outre de rétrécir la plage de part et d'autre du chenal, du côté ouest ou des vents régnants surtout, à l'aide de perrés en saillie par rapport à la laisse des hautes mers.

A Nieuport, nous en sommes convaincus, le prolongement des jetées, ainsi conçu, ne provoquerait pas une extension notable de l'estran, ni un exhaussement des fonds qui le précèdent. La plage, d'une largeur moyenne de 375 mètres, n'est pas caractérisée par des mouvements de sable abondants ; son régime ressemble à celui de la plage d'Ostende, où les ensablements, on se le rappelle, n'occasionnent pas de grandes difficultés. Quant à l'estran sous-marin qui la précède, il a une inclinaison assez faible sans doute, mais il est formé de fonds de sable dur, qui tendent plutôt à s'approfondir, du côté est surtout, ainsi que les dernières reconnaissances hydrographiques, comparées aux cartes marines anciennes, permettent de le constater. En endiguant la partie supérieure de la plage, de chaque côté du port, on diminuerait encore, dans une large mesure, le mouvement des sables vers le chenal, et en éloignant la tête des jetées de la plage, on empêcherait les sables enlevés de celle-ci pendant les fortes houles, d'être portés aussi directement jusque devant l'entrée du port. (1)

Dans ces nouvelles conditions, on peut prévoir qu'à Nieuport la quantité de dragages nécessaires chaque année à l'entretien d'une passe d'entrée, creusée préalablement à 6 mètres sous le niveau des basses mers, ne dépasserait pas beaucoup

(1) Voir § I de ce chapitre.

celui qu'on y exécute aujourd'hui. A Ostende, où la plage est endiguée à l'ouest, un dragage de cette importance suffit pour maintenir la passe d'entrée à la profondeur précitée, et celle-ci pourrait sans difficulté y être augmentée encore, si la situation de la petite rade s'y prêtait utilement.

Pour les considérations développées au chapitre VI, § 1, les jetées prolongées seraient dirigées au N. O. $1/4$ N. ; celle de l'ouest dépasserait de 100 mètres environ le musoir de la jetée opposée et elle s'inclinerait, à son extrémité, au N. O.. La largeur du chenal, obtenue par la reconstruction de la jetée est, serait de 120 mètres.

L'avant-port, creusé à l'ouest du chenal et à la même profondeur que ce dernier, présenterait 350 mètres de longueur sur 175 mètres de largeur, et se trouverait à 1750 mètres environ de la tête des jetées, de sorte que les navires auraient le temps d'amortir leur aire avant d'arriver aux écluses des bassins à flot. Ils trouveraient d'ailleurs à l'entrée de l'avant-port un espace suffisant pour évoluer. La rive gauche de celui-ci serait bordée d'un perré en moëllons, ayant une inclinaison très faible, afin d'atténuer les effets du ressac et de la houle ; elle serait précédée d'une estacade avec débarcadères en charpente, pour permettre l'accostage des bâtiments. La rive droite serait également revêtue d'un perré, et se raccorderait avec le talus gauche du canal des chasses, dont nous parlerons tantôt, au moyen d'un musoir en quart de cône, avec estacades de garde. Les terre-pleins de ces perrés seraient placés à 2^m,45 au-dessus du niveau moyen des hautes mers, soit à 7 mètres au-dessus du repère.

Par sa disposition à l'intérieur des dunes et à une distance relativement grande de l'entrée du chenal, l'avant-port offrirait sans doute le degré de calme voulu pour le stationnement des navires et leur entrée dans les écluses des bassins à flot ; s'il était nécessaire, on atténuerait encore la propagation de la houle dans le chenal en construisant, de part et d'autre de celui-ci, des brise-lames ou criques d'épanouissement.

En face de l'avant-port, sur l'autre rive du chenal, s'ouvrirait un bassin de pêche. Les talus de cette rive, depuis l'extrémité de la jetée est jusqu'à l'entrée du bassin de pêche, auraient la même inclinaison que ceux de l'avant-port ; ils seraient défendus également à l'aide de revêtements en pierres.

Pour entretenir la profondeur dans le chenal intérieur, nous utiliserions en premier lieu les chasses naturelles résultant de l'écoulement des eaux supérieures, très abondantes à Nieuport pendant la plus grande partie de l'année, et nous les compléterions par une installation de chasses à l'eau de mer. Ainsi qu'il convient de faire, les évacuations d'eau douce seraient complètement indépendantes

des chasses artificielles, de manière que les unes ne puissent entraver les autres.

Les eaux déversées dans l'arrière-port seraient conduites droit vers le chenal, entre deux digues insubmersibles. Le plafond du canal d'évacuation aurait 70 mètres de largeur, dimension qui permettrait, par les crues les plus intenses, d'écouler librement toutes les eaux amenées par les écluses de l'arrière-port; il serait établi, à son origine, au niveau des buscs de ces écluses, soit sensiblement à celui du repère, et il offrirait une pente régulière de manière à se trouver à la cote — 4 mètres, à son débouché dans le chenal. La digue gauche se raccorderait en amont avec le perré attenant à l'écluse du Vladsloo-Ambacht, et la digue droite avec le perré attenant à l'écluse de Furnes. Ces digues présenteraient 5 mètres de largeur en crête, qui se trouverait uniformément à la cote + 7 mètres; les talus, inclinés à raison de trois de base pour deux de hauteur, seraient consolidés au moyen de revêtements maçonnés.

De chaque côté du canal d'évacuation, il serait installé un réservoir de retenue destiné aux chasses artificielles. Celui de l'ouest, le plus important, aurait une superficie de 60 hectares; il serait creusé à la cote + 2 mètres, mais il offrirait dans sa partie aval un chenal central, dont le plafond irait en s'inclinant et se raccorderait avec le radier de l'écluse, établi à la cote — 4 mètres. L'écluse comprendrait 5 pertuis de 5 mètres de largeur chacun, ce qui permettrait plus tard d'agrandir au besoin l'étendue du bassin de chasse. Le bassin de l'est occuperait une surface d'environ 30 hectares et déboucherait dans le chenal par une écluse composée de 3 pertuis de 5 mètres d'ouverture chacun; deux de ces pertuis suffiraient; le troisième servirait en réalité de réserve, en cas d'accident à l'un des deux autres.

Les pertuis de l'écluse seraient munis de portes de chasse en bois à ailerons inégaux et d'un système de vannes à flot. Les portes tourneraient autour d'un poteau vertical, placé à 0^m,06 en dehors de leur milieu, et s'appuieraient à leurs extrémités contre des poteaux-valets. Le poteau de rotation se composerait d'une poutre en fer; l'âme de cette poutre aurait une hauteur égale à l'épaisseur de la porte, et les semelles affleueraient les faces de celle-ci; il serait terminé par deux pivots, dont l'un correspondrait à une crapaudine, scellée dans le radier, et dont l'autre s'engagerait dans un collier fixé à une poutre en fer reposant sur deux piles consécutives. Dans le grand aileron de la porte serait placée une vantelle, tournant également autour d'un axe vertical excentrique et tenue fermée au moyen d'un taquet.

On connaît la manœuvre de ce genre de portes : en levant le taquet de la

vantelle, celle-ci s'ouvre ; la pression sur le petit aileron de la porte devient prépondérante et le poteau-valet, qui le retient, étant en même temps dégagé, la porte tourne et se place suivant la direction du courant ; on la fixe d'ailleurs au moyen de deux loquets. En fermant la vantelle, la pression acquiert plus de force sur le grand aileron, et il suffit de pousser la porte légèrement pour qu'elle reprenne naturellement sa position transversale.

Les vannes de flot seraient placées en aval des chambres des portes de chasse ; pour qu'elles ne soient pas trop larges et par conséquent d'une manœuvre difficile, il y en aurait deux pour chaque pertuis. Les culées et les piles de l'écluse présenteraient des rainures destinées à recevoir ces vannes ; elles seraient reliées de ce côté par des voûtes surbaissées, dont les naissances se trouveraient à 6 mètres au-dessus du repère. Une forte poutre verticale en fer, munie latéralement de rainures correspondant à celles des piles, serait solidement fixée vers le milieu de chaque pertuis, de manière à se trouver tout près de la porte de chasse, lorsque celle-ci est ouverte. Au-dessus de la partie voûtée du pertuis, on établirait un pont de service, sur lequel serait installé le bâti en fer portant les crics de manœuvre des vannes. Lorsque le bassin de retenue serait rempli, on pourrait répartir la pression sur les portes de chasse et sur les vannes de flot. Celles-ci seraient pourvues à leur partie inférieure de vantelles permettant de vider le bassin, quand, par une circonstance quelconque, les chasses ne pourraient avoir lieu. Les avant- et les arrière-becs des piles, de même que la partie correspondante des culées, présenteraient, sur chaque face, une double ligne de rainures verticales pour poutrelles, destinées à l'établissement de batardeaux pour le cas où le radier de l'écluse devrait être visité ou réparé.

Au moyen des deux écluses qui viennent d'être décrites, on pourrait lancer dans le chenal un volume d'eau d'environ 2,250,000 mètres cubes. Ces chasses, jointes aux évacuations d'eau de l'arrière-port, seraient certainement assez puissantes pour prévenir les envasements dans le chenal intérieur.

Pour curer l'avant-port, on utiliserait en vive eau la tranche supplémentaire des bassins à flot, qu'on lâcherait par des vannes aménagées dans les portes de l'écluse d'entrée ou par des aqueducs spéciaux. On recourrait en outre, autant qu'il serait nécessaire, aux eaux du bassin de retenue de l'est pour opérer des chasses par d'autres aqueducs, à radier profond, établis dans la digue du fond, à l'ouest de l'écluse précitée ; elles feraient affluer régulièrement les vases fluides, qui tendraient à se déposer dans l'avant-port, vers le chenal, d'où elles seraient reprises par les courants principaux et refoulées vers la mer. Rien n'empêcherait d'ailleurs de faire servir spécialement le bassin de retenue de

l'ouest au curage de l'avant-port, et d'agrandir au besoin le bassin de l'est.

Dans les conditions indiquées, les dragages annuels qu'on aurait à faire pour suppléer aux chasses seraient de peu d'importance, même en y comprenant ceux nécessaires à l'entretien d'une souille profonde le long du quai d'accostage, et ils ne seraient évidemment pas de nature à créer des embarras. En aval du débouché du canal d'évacuation et des écluses de chasse, près de l'avant-port, il se formerait naturellement une large fosse à flot.

Les dispositions d'ensemble que nous venons de décrire, pourraient être appropriées de façon à utiliser les bassins de retenue latéraux comme bassins de secours, où les eaux de l'Yser, par des crues exceptionnellement intenses, viendraient s'emmagasiner pendant que la marée empêche de les écouler à la mer, et d'employer en même temps, en été, le canal d'évacuation comme troisième bassin de chasse. Mais depuis l'achèvement des travaux d'amélioration du bassin de l'Yser, l'écoulement des eaux de crue de cette rivière ne laisse plus rien à désirer, et nous croyons donc inutile de mentionner encore cette combinaison.

Il reste à parler des installations qu'il y aurait à créer graduellement à Nieuport en vue du commerce.

Le premier bassin à flot s'étendrait jusque près de la ville actuelle; il aurait 90 mètres de largeur et serait précédé d'un bassin d'évolution; la rive est, placée du côté du bassin de retenue, serait formée de talus perréys; la rive opposée serait bordée de quais en maçonnerie. L'écluse établissant la communication entre l'avant-port et le bassin offrirait une largeur de 17^m,50 et 125 mètres de longueur utile de sas; mais on réserverait à côté de son emplacement l'espace voulu pour construire plus tard une seconde écluse de dimensions plus grandes. Ce bassin à flot se terminerait à son extrémité amont par une écluse à sas, en communication avec l'arrière-port et destinée au passage des bateaux de l'intérieur; il vaudrait mieux encore d'aménager de ce côté un bassin de batelage.

De nouveaux bassins à flot pourraient être installés plus tard, en communication avec le premier, ainsi que la Pl. XXX l'indique suffisamment. Les terre-pleins qui sépareraient ces bassins auraient une largeur de 180 mètres; il conviendrait évidemment de les pourvoir de hangars-abris, destinés au dépôt des marchandises, de voies ferrées de chargement et de déchargement, d'une large voie charretière, et de réserver en outre le long du bord des quais, une dernière bande comprenant les points d'amarrage et les engins de manutention. Les voies ferrées seraient reliées à une gare maritime, dont l'importance dépendrait du mouvement du port.

On trouverait un emplacement convenable pour des cales sèches le long de

l'une ou de l'autre rive des bassins d'évolution qui précèdent les bassins à flot.

Comme les terrains qui bordent la rive droite du bassin de chasse de l'ouest, se prêteraient fort bien à recevoir des chantiers de construction, on pourrait, en prévision de cette éventualité, établir au fond du bassin de pêche une écluse à sas, qui permettrait le passage dans l'avant-port des navires et bateaux de pêche construits sur ces chantiers, et qui servirait en même temps de forme de radoub. L'assèchement d'une forme, placée dans de pareilles conditions, serait aussi facile que possible, puisqu'elle communiquerait d'un côté avec le bassin de pêche soumis au régime de la marée, et de l'autre avec le bassin de chasse, où la mer n'est introduite que pendant la période des marées de vive eau.

En ce qui concerne les quais de marée, on utiliserait au début le quai en charpente de la rive ouest de l'avant-port ; on pourrait, dans l'avenir, creuser une darse bordée de nouveaux quais, à l'emplacement compris entre l'avant-port et le chenal. Cet emplacement, situé en aval du bassin de retenue de l'est, permettrait, sans grande difficulté, d'établir des installations de chasse destinées à combattre les envasements de la darse, concurremment avec le dragage.

CHAPITRE IX.

DES RADES ET DES PORTS EN EAU PROFONDE.

I. — DE LA NAVIGATION MODERNE.

Le matériel naval, on le sait, a subi dans ces derniers temps une transformation considérable; à mesure que le commerce maritime, sous l'influence de la concurrence, a pris du développement, les dimensions des navires, de même que leur vitesse, ont augmenté; mais ce mouvement de transformation a surtout été accéléré par la création de la marine à vapeur.

C'est en 1807 que Fulton lança le premier steamer sur l'Hudson, le *Clermont*, pour la navigation entre Albani et New-York. Fort peu de temps après, le bateau à vapeur entra dans le domaine de la pratique; il fit d'abord ses preuves en rivière, et déjà vers 1820, des steamers naviguaient le long du littoral anglais.

En 1819, un navire à vapeur, le *Savannah* traversa pour la première fois l'Atlantique. Il avait été bâti comme un voilier ordinaire, et pourvu ensuite d'une machine à vapeur et de roues à aubes. Il fit la traversée de Savannah à Liverpool en 22 jours. Vint ensuite le *Royal William*, d'un tonnage de 720 tonnes et dont la machine avait 400 chevaux de force; puis le *Sirius*, lorsque en 1838, la Compagnie des chemins de fer du Great Western créa la première ligne de vapeurs destinés à traverser l'Atlantique. Elle débuta par le *Great Western*, steamer à aubes, qui mesurait 65 mètres de longueur, 10^m,70 de largeur et 5 mètres de tirant d'eau en charge, avec un tonnage net de 1340 tonneaux; il était muni de machines d'une force de 440 chevaux nominaux et faisait la traversée en quinze jours.

En 1840, la célèbre Compagnie Cunard construisait à son tour quatre steamers transatlantiques, tandis que cinq ans plus tard, la Great Western Company de Bristol lança le *Great Britain*; ce navire avait sa coque en fer et les roues à aubes y étaient remplacées par un propulseur à hélice; il portait une machine de 1500 chevaux.

Depuis ce moment, l'art des constructions navales s'est développé d'une façon étonnante, grâce aux progrès accomplis dans la métallurgie et aux perfectionnements apportés aux machines à vapeur, et aussi par suite de la rivalité existant entre les différentes Compagnies, qui se sont occupées du service des lignes si importantes reliant les ports des Etats-Unis aux ports européens.

Déjà en 1875, la Compagnie Cunard avait en tête de sa flotte, naviguant entre Liverpool et New-York, la *Bothnia* et la *Scythia*, qui mesuraient 128 mètres de longueur, 12^m,80 de largeur, 10^m,97 de creux et un tonnage de 4,500 tonnes; les machines étaient du système compound et avaient une puissance de 4000 chevaux indiqués. La Compagnie Française de la ligne du Havre à New-York avait transformé ses anciens navires à roues en navires à hélice, et les avait munis de machines à cylindres superposés; ces steamers, le *Labrador*, la *France* et l'*Amérique*, mesuraient 123 mètres de longueur, 13^m,50 de largeur et 4,600 tonnes de déplacement; ils filaient environ 13 nœuds à l'heure. Mais la marche ascendante des dimensions et de la vitesse des transatlantiques a été plus accentuée encore pendant ces quinze dernières années, et les magnifiques paquebots de nos jours laissent bien en arrière les modestes steamers *Great Western* et *Great Britain*.

Ce qui a beaucoup contribué à ces admirables succès de l'architecture navale, c'est l'emploi de l'acier, dont la fabrication a atteint depuis quelques années un grand degré de perfectionnement. Les aciers doux qu'on fournit de nos jours sont homogènes, malléables et faciles à travailler; comme ils ont une résistance permanente bien supérieure à celle du fer de bonne qualité, et qu'ils peuvent subir de plus grandes déformations, ils supportent mieux les efforts imprévus et anormaux tant à redouter à la mer. Or les navires capables de filer à une grande vitesse ont à résister à des vibrations intenses et doivent être pourvus de machines très puissantes; l'accroissement de vitesse ne suit que de fort loin le développement de la force motrice.

Aussi l'acier est-il de plus en plus préféré dans la construction des navires, non seulement pour la coque, mais encore pour les pièces les plus importantes des machines, et il a permis de donner aux grands bâtiments une longueur qu'il aurait été difficile d'atteindre avec le fer. D'autre part on a pu, par l'emploi

de l'acier, augmenter la pression de régime des chaudières marines, sans donner aux tôles une épaisseur excessive, et comme conséquence, substituer aux appareils compound des machines à triple et même à quadruple expansion. Or les machines à triple expansion donnent une économie de combustible d'au moins 20 % sur la consommation des machines compound. (1) Enfin, à la diminution de poids qui est résultée de la substitution de l'acier au fer pour les coques, les machines et les chaudières, est venu s'ajouter l'allégement obtenu pour les générateurs, par l'emploi du tirage forcé. C'est ainsi qu'on est parvenu à construire des torpilleurs dont la vitesse atteint 25 à 27 nœuds, soit 46 à 50 kilomètres à l'heure.

La *Servia* lancée en 1881 par la Compagnie Cunard, a été le premier paquebot construit en acier et à double fond. Il a 162^m,15 de longueur, 15^m,88 de largeur, 11^m,50 de creux et un tonnage brut de 7,390 tonnes. Les machines sont à pilon, du type compound à trois cylindres; les chaudières, au nombre de sept, ont 39 foyers avec 98 mètres carrés de surface de grille et une surface totale de chauffe de 2,510 mètres carrés. Les machines ont développé aux essais 10,400 chevaux, donnant une vitesse de 17,85 nœuds, avec une consommation journalière de charbon de 190 tonnes. Ce magnifique paquebot a fréquemment fait le trajet de l'Atlantique en 7 jours et quelques heures.

Sont venus ensuite, en 1884, l'*Eutruria* et l'*Umbria* de la ligne Guyon; *La Champagne*, *La Bretagne*, *La Bourgogne* et *La Gascogne* de la Compagnie Générale Transatlantique. Les deux premiers steamers ont 158^m,50 de longueur, 17^m,44 de largeur, 11^m,63 de creux sur varangues, et un tonnage de 7718 tonnes; ils ont des machines de 14,500 chevaux indiqués et filent 17,5 nœuds. Les quatre autres mesurent 150^m,70 de longueur, 15^m,90 de largeur, 11^m,26 de creux et un tonnage de 6,920 tonnes; ils ont une vitesse un peu moindre, 17 nœuds environ. La force indiquée des machines est de 8,000 chevaux.

Parmi les grands transatlantiques construits depuis 1885, enfin, citons le *City of Paris* et le *City of New-York*, de l'Innman line, le *Majestic* et le *Teutonic* de la White Star line, la *Campania* et la *Lucania* de la ligne Cunard. Tous ces paquebots sont à double hélice et pourvus de machines à triple expansion, dont la force indiquée atteint pour les deux premiers 18,500 chevaux, pour les deux suivants 17,000, et pour les deux derniers près de 30,000 chevaux indiqués.

Le *City of Paris* a donné aux essais une vitesse de 20,70 nœuds; il a fait certaines traversées entre Queenstown et New-York en 5 jours 18 heures.

La *Campania*, lancée en 1892 et appartenant à la ligne Cunard, a fait cette traversée plus rapidement encore.

(1) L. PIAUD, ingénieur en chef du « Bureau véritas » : *La Marine Marchande*.

Voici les principales dimensions de ces énormes navires :

	Longueur.	Largeur.	Creux sur varangues.	Tonnage brut.	Vitesses aux essais.
City of New-York . . . }	170,70	19,25	11,94	10,500	{ 20,50
City of Paris. . . . }					{ 20,70
Majestic }	177,39	17,57	11,95	9,680	20,00
Teutonic }					
Campania }	188,97	19,81	13,10	12,950	22,00
Lucania }					

Des paquebots de la Compagnie Belge Américaine (ancienne Red Star line), qui naviguent entre New-York et Anvers, le *Friesland* est le plus grand ; il a 142^m,34 de longueur, 15^m,60 de largeur, 10^m,67 de creux, 8^m,12 de tirant d'eau en charge à l'arrière et un tonnage de 7116 tonnes ; les machines sont à triple expansion et ont une force indiquée de 5100 chevaux (*). De nouveaux paquebots, destinés à desservir dans l'avenir le port d'Anvers, conjointement avec la flotte actuelle, sont en ce moment en construction à Philadelphie.

Ce n'est d'ailleurs pas seulement pour les lignes transatlantiques principales que l'on construit des steamers de plus en plus grands ; le même fait se constate pour les lignes secondaires, comme celles qui vont desservir les ports de l'Afrique, de l'Asie et de l'Océanie, en passant par le canal de Suez. Le *Raffaele-Rubattino* et le *Domenico-Balduino*, affectés aux services de l'Océan Indien et des mers de Chine et appartenant à la Compagnie de navigation Générale Italienne, ont 123^m,65 de longueur, 13^m,55 de largeur, 9^m,90 de creux, et un tonnage brut de 4579 tonnes ; ils sont pourvus de machines du système compound, de 3000 chevaux indiqués et filent en service à une vitesse moyenne de 12 nœuds. Le *Norham* et le *Roslin-Castle*, de la ligne Currie Donald et C^o, qui exploite les ports de la côte orientale de l'Afrique, ont 114 mètres de longueur, 14^m,40 de largeur, 9^m,90 de creux et un tonnage brut de 4,250 tonnes ; leurs machines sont aussi du système compound et ont une puissance indiquée d'environ 4,000 chevaux.

La *Ville de Metz*, naviguant sur les îles de Madagascar, Maurice et la Réunion, pour le compte de la Compagnie Havraise Péninsulaire, a 107 mètres de longueur, 12 mètres de largeur et 8^m,85 de creux sur quille ; construit en 1885, ce navire est pourvu d'une machine à triple expansion, de 1750 chevaux indiqués ; les installations pour passagers y sont relativement restreintes, mais il peut embarquer 4,500 tonnes de marchandises. Ce navire se rapproche déjà du type des cargo-boats, spécialement destinés au transport des marchandises et

(*) Voir tableaux annexe III.

dont les dimensions tendent aussi à croître de plus en plus; c'est que les frais de transport diminuent en employant des navires de grandes dimensions, ce qui résulte principalement de ce que la puissance de propulsion et la quantité de charbon consommé ne croissent à peu près que comme le carré d'une dimension, tandis que la capacité de chargement augmente avec le cube de cette dimension. (')

Récemment la firme Denny frères, de Dumbarton, a lancé le *Southwark*, qui porte, en pleine charge, environ 10,000 tonnes de marchandises. C'est un navire à deux hélices, gréé à 4 mâts à pible, de 146^m,30 de longueur, 17^m,37 de largeur, 12^m,19 de creux et un tirant d'eau en charge de 6^m,70. Il comprend des installations pour 120 passagers de 1^{re} classe et 1000 passagers d'entrepont; aux essais, il a atteint une vitesse de 16 1/2 nœuds. Le *Southwark* appartient à la Compagnie internationale de Philadelphie et fait le service entre cette ville et Liverpool.

Le cargo-boat *Samoa*, qui est arrivé l'an dernier au port d'Anvers, se rapproche beaucoup comme dimensions du *Southwark*. Il mesure 141^m,73 de longueur, 15^m,85 de largeur, 10^m,56 de creux, 7^m,62 de tirant d'eau en charge et un tonnage brut de 6839 tonnes. En chargement, le *Samoa* porte 9,560,000 kg^s de marchandises; il embarque 1,934,000 kg^s de charbon et a un lest d'eau de 2,100,000 kg^s.

Jusqu'à présent les cargo-boats de la puissance du *Samoa* font sans doute l'exception, mais il en existe beaucoup ayant 100 mètres environ de longueur, 10 à 13 mètres de largeur, 6 à 7 mètres de tirant d'eau, et un tonnage brut de 3000 à 4000 tonnes. Ces navires n'ont pas besoin évidemment d'avoir des vitesses comparables à celles de paquebots affectés au service des grandes lignes postales; le plus souvent, ils ne filent, en service, que 9 à 10 nœuds en moyenne mais il en est cependant dont la vitesse atteint 13 nœuds et au delà.

On voit par ce qui précède combien la navigation à vapeur a pris de l'extension pour les transports à grande distance en général. Il en est de même du reste pour le trafic de cabotage, que l'on opère au moyen de bâtiments de tonnage moyen; les steamers s'y substituent de jour en jour davantage aux navires à voiles.

Toutefois, bien des pays, notamment l'Angleterre, les Etats-Unis, la Suède-Norvège et l'Italie ont conservé une flotte importante de voiliers, qui ont l'avantage d'être très économiques, de se prêter à de longues escales et de convenir spécialement à la navigation dans les parages où les steamers ne trouveraient pas de moyens de réparation.

(') BOULVIN. — *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand*. Année 1882-1883.

C'est ainsi qu'en Angleterre on construit encore annuellement quantité de navires à voiles ayant pour la plupart de fortes dimensions ; pendant ces dernières années, les voiliers nouvellement construits dans ce pays ont même beaucoup gagné en importance. Tandis que leur tonnage, comparé au tonnage total des navires lancés, ne représentait que les 10 centièmes environ en 1887 et 1888, il atteint les 25 centièmes en 1891, et dépasse cette proportion en 1892. Dans le courant de cette année, les chantiers anglais ont en effet livré au commerce 512 steamers d'un tonnage brut de 841,356 tonnes, et 269 voiliers d'un tonnage brut de 268,504 tonnes.

La plupart de ces voiliers, qui filent jusqu'à 12 et 15 nœuds, sont bâtis en tôle d'acier et remarquables par leurs formes élégantes ; les manœuvres s'y font au moyen d'engins mécaniques, actionnés le plus souvent par une machine à vapeur et n'exigeant qu'un personnel peu nombreux. Quelquefois même, les navires sont pourvus d'une machine auxiliaire ; tel est le cas pour le trois-mâts-barque *Severn*, construit en 1891 et jaugeant 1,350 tonnes. Il mesure 70 mètres de longueur, 10^m,97 de largeur et 6^m,63 de creux ; destiné à faire le service entre les ports des Etats-Unis et le Brésil, sa machine peut lui imprimer une vitesse de 7 1/2 à 8 nœuds par temps ordinaire, ce qui lui permet de mieux franchir les zones calmes de l'équateur, où les voiliers subissent d'habitude beaucoup de retard.

Parmi les grands voiliers, il en est qui mesurent près de 120 mètres de longueur, 15 mètres de largeur et plus de 7 mètres de tirant d'eau. Le *Maria Rickmers* a 114 mètres de longueur, 14^m,63 de largeur et 8^m,60 de creux. Le *Liverpool*, 101^m,55 de longueur, 14^m,56 de largeur, 8^m,68 de creux sur quille et un tonnage brut de 3400 tonnes. Ce dernier navire a été lancé en 1889 par MM. Russell et C^o à Port-Glasgow ; il appartient à la Sailing Ship Liverpool C^o de Liverpool.

Les tableaux ci-après, extraits du *Nautical Magazine*, donnent des renseignements intéressants relatifs au nombre et au tonnage des navires de commerce de toute la terre.

On remarquera que le tonnage moyen des steamers, qui était de 1067 tonnes en 1885, s'est accru progressivement et est de 1194 tonnes en 1891. Le tonnage moyen des voiliers a augmenté moins rapidement ; il mesurait 435 tonnes au commencement de la période septennale 1885-1891, et n'atteint à la fin de celle-ci que 460 tonnes.

Le dernier tableau fait voir combien l'emploi de l'acier devient général dans la construction des navires ; tandis que le tiers seulement des navires lancés

NOMBRE ET TONNAGE DE TOUS LES STEAMERS ET VOILIERS EXISTANT EN 1890 ET 1891.

DÉSIGNATION DES P A Y S.	STEAMERS.				VOILIERS.			
	1890		1891		1890		1891	
	Nombre de navires.	Tonnage.	Nombre de navires.	Tonnage.	Nombre de navires.	Tonnage.	Nombre de navires.	Tonnage.
Grande Bretagne :								
Royaume-Uni	5,756	8,167,762	6,035	8,601,679	3,342	2,417,985	3,225	2,555,983
Colonies	839	485,781	846	515,204	1,969	857,096	1,859	782,821
Total	6,595	8,653,543	6,881	9,116,883	5,311	3,275,081	5,084	3,338,804
Allemagne	806	1,054,899	846	1,088,830	1,058	623,547	1,005	614,924
France	542	848,522	532	853,799	803	234,152	678	203,909
Etats-Unis	460	587,442	431	572,252	2,897	1,356,000	2,866	1,354,174
Espagne	390	423,254	409	436,925	478	116,118	471	118,037
Norvège	473	305,236	515	335,537	2,921	1,360,241	2,818	1,346,212
Italie	217	303,924	227	317,197	1,357	524,234	1,173	501,643
Pays-Bas	181	247,070	201	284,804	352	154,203	316	150,987
Suède	491	189,863	517	209,754	961	283,238	960	288,751
Russie	239	158,552	249	205,093	934	268,223	947	276,706
Danemark	231	169,483	236	173,894	587	126,461	604	136,782
Autriche-Hongrie	131	157,188	138	172,375	218	108,792	207	101,437
Japon	255	151,595	250	142,492	99	27,205	83	21,810
Grèce	104	100,312	112	119,569	910	231,795	918	236,914
Brésil	136	81,698	180	116,088	388	85,551	380	83,884
Belgique	80	108,370	82	110,112	10	3,374	8	2,429
Turquie	101	72,707	85	65,533	846	166,774	854	169,639
Portugal	47	49,203	46	56,788	161	42,580	141	40,380
Chine	33	42,543	41	47,806	7	1,282	4	760
Chili	30	32,478	34	38,860	117	67,916	108	63,735
Argentine	62	23,238	58	20,528	81	27,587	89	30,155
Egypte	—	—	16	16,196	—	—	20	4,493
Hawaii	16	11,101	17	11,848	9	5,397	9	10,641
Uruguay	21	9,570	20	9,254	12	2,532	13	2,675
Mexique	16	6,952	15	4,510	16	3,302	15	3,127
Zanzibar	5	4,314	5	4,314	—	—	—	—
Venezuela	6	1,933	7	2,285	6	980	6	1,052
Pérou	1	2,048	1	2,100	35	8,957	36	9,525
Monténégro	1	1,857	1	1,857	17	3,190	21	4,142
Haïti	5	1,339	5	1,619	3	475	1	223
Sarawak	6	2,269	3	1,084	1	347	1	347
Siam	3	644	3	846	6	3,064	5	2,607
Perse	1	838	1	838	—	—	—	—
Roumanie	3	529	3	529	2	407	2	407
Costa Rica	3	815	2	528	1	288	1	318
Bolivie	—	—	—	—	3	2,302	1	921
Colombie	1	241	2	341	2	444	6	2,587
Autres pays	13	10,949	22	18,725	12	7,410	22	7,368
Totaux	11,705	13,816,509	12,193	14,562,003	20,621	9,123,449	19,873	9,132,505

Tableau comparatif du nombre et du tonnage des steamers et des voiliers existant sur la terre, pendant chacune des sept dernières années.

ANNÉES.	STEAMERS.		VOILIERS.		TOTAL.	
	NOMBRE.	TONNAGE.	NOMBRE.	TONNAGE.	NOMBRE.	TONNAGE.
1885	9,642	10,291,241	25,766	11,216,615	35,408	21,507,856
1886	9,969	10,531,843	25,155	10,411,807	35,124	20,943,650
1887	9,890	10,918,153	23,310	9,820,492	33,200	20,738,645
1888	10,260	11,552,101	22,402	9,496,603	32,662	21,048,704
1889	11,101	12,985,372	21,190	9,166,279	32,298	22,151,651
1890	11,705	13,816,509	20,621	9,123,449	32,326	22,939,958
1891	12,193	14,562,003	19,873	9,132,505	32,066	23,694,508

STEAMERS ET VOILIERS CONSTRUITS EN 1890 ET 1891.								
DÉSIGNATION DES PAYS.	STEAMERS.				VOILIERS.			
	1890.		1891.		1890.		1891.	
	Nombre.	Tonnage.	Nombre.	Tonnage.	Nombre.	Tonnage.	Nombre.	Tonnage.
Royaume-Uni.	632	1,076,220	629	941,031	84	121,015	142	214,352
Allemagne.	56	87,382	63	52,265	12	15,083	20	24,166
États-Unis.	30	58,903	13	18,067	145	89,975	156	81,995
Norwége	36	17,170	32	17,343	20	9,983	36	17,986
Pays-Bas	20	23,376	10	15,528	4	2,757	9	12,009
Suède	33	12,692	23	11,054	—	—	5	1,126
Danemark	12	8,685	10	8,750	9	1,500	13	3,900
France	14	27,666	7	8,044	18	6,896	11	8,675
Italie	1	345	6	7,109	43	19,297	36	19,300
Colonies britanniques .	16	7,185	16	6,408	92	37,355	83	31,942
Autriche-Hongrie . .	5	1,352	6	6,082	2	661	6	1,477
Grèce	—	—	1	218	32	8,704	38	10,344
Russie	2	979	—	—	15	4,073	29	8,408
Autres pays	23	6,586	13	3,551	6	969	7	1,697
Totaux.	880	1,328,541	829	1,095,450	482	318,268	591	437,377

DÉSIGNATION DES MATÉRIAUX EMPLOYÉS POUR LES NAVIRES CONSTRUITS EN 1891.				
MATÉRIAUX EMPLOYÉS.	VOILIERS.		STEAMERS.	
	Nombre.	Tonnage.	Nombre.	Tonnage.
Fer.	10	4,586	196	44,396
Acier	184	271,494	590	1,033,691
Bois	396	160,389	38	16,101
Composite	1	908	5	1,262
Totaux. . .	591	437,377	829	1,095,450

en 1885 et évalués par leur tonnage, sont en acier, en 1891 cette proportion dépasse les $\frac{8}{10}$.

En ce qui concerne les proportions des steamers, elles offrent assez de diversité ; on constate que la longueur a augmenté plus rapidement que la largeur ; le rapport de la longueur à la largeur, qui pour des vapeurs de tonnage moyen varie d'ordinaire de 7 à 8, s'est rapproché pour les grands transatlantiques, de 10, tendant même à dépasser ce chiffre, comme dans le *City of Rome* et le *Teutonic*. Le creux des navires à vapeur et par conséquent leur tirant d'eau, s'est accru également d'une manière continue, au point d'atteindre rapidement la limite correspondant à la profondeur des principaux ports existants ; on est arrivé ainsi à des tirants d'eau mesurant 7 mètres à 7^m,50 et jusqu'à 8 mètres.

Aujourd'hui cependant, on donne aux grands steamers relativement plus de largeur, et on les munit de deux propulseurs à hélice, actionnés chacun par un moteur indépendant. L'accroissement de la largeur avait fait craindre tout d'abord une perte sensible de vitesse, à résulter de la diminution d'acuité des lignes d'eau. La pratique n'a pas justifié cette crainte, dans les limites où on est resté, et ainsi, elle a confirmé les conclusions que sir William Froude a déduites de ses expériences, faites à l'aide de modèles de petites dimensions et relatives à la part qu'il convient d'attribuer, dans la résistance des navires, à leurs formes, à la réaction passive de l'eau, aux vagues et aux remous provoqués par leur marche, et enfin à la nature de la surface de leur carène.

La *Normannia*, par exemple, paquebot à double hélice lancé en 1890, a 17^m,48 de largeur pour 152 mètres de longueur, 10^m,80 de creux et un tonnage de 8250 tonnes ; il porte deux machines motrices à triple expansion, indiquant

ensemble 14,000 chevaux, d'une puissance relativement modérée par conséquent comparée à celle de plusieurs autres paquebots ; cependant, la *Normannia* a donné aux essais la vitesse considérable de 21 nœuds. Nous avons vu que les paquebots des lignes Innman et Cunard, construits en dernier lieu, ont près de 20 mètres de largeur au maître-bau et sont également munis d'une double hélice.

L'emploi des hélices jumelles devient d'ailleurs fréquent pour les navires à grande vitesse. Les propulseurs doubles ont l'avantage d'accroître la sécurité et la régularité des longues traversées, puisqu'en cas d'accident à l'une des machines, le navire continue sa marche avec l'autre, et ce avec une force de propulsion encore assez grande pour ne pas subir trop de retard. De plus, en fractionnant la force motrice, les machines deviennent plus maniables, et cette disposition permet en outre de mieux cloisonner les navires et d'en augmenter la rigidité dans le sens longitudinal. Avec deux machines, enfin, la voilure et le gréement de ces bâtiments perd beaucoup de son utilité, et on tend aujourd'hui à la réduire le plus possible. La *Normannia* n'a que deux mâts à pible, tout comme la *Campania*.

Nous avons parlé plus haut des transatlantiques appartenant à des lignes de navigation importantes et dont les ports d'attache ont généralement beaucoup de profondeur d'eau. Les paquebots des lignes rapides qui relient des pays voisins, tels que la France, la Belgique, l'Irlande et l'Angleterre, doivent le plus souvent desservir des ports de marée de profondeur restreinte, de sorte que le tirant d'eau de ces bâtiments, qui ont besoin de partir à heure fixe, est nécessairement limité. On doit alors avoir recours aux roues à aubes, qui permettent d'atteindre également de grandes vitesses. Les paquebots de la ligne d'Ostende-Douvres comprennent une flotte de sept nouveaux steamers de ce type, des mieux aménagés. L'un d'eux la *Marie-Henriette*, construit en 1893 aux ateliers de J. Cockerill, a 108^m,60 de longueur totale, 23^m,50 de largeur hors tambours, 7^m,20 de creux et 2^m,80 de tirant d'eau. Il est entièrement en acier Siemens-Martin et muni de machines du genre compound à bielles directes. Les générateurs, au nombre de huit, sont en acier et à flammes en retour ; ils ont 24 foyers et une surface de chauffe de 1316 mètres carrés. Aux essais officiels, la puissance indiquée des machines a été de 8400 chevaux, avec une pression d'air dans les chaufferies de 30 à 40 millimètres d'eau. Dans ces conditions, le paquebot a donné une vitesse moyenne de 22,2 nœuds, sur un parcours total de 100 kilomètres. La *Marie-Henriette* est ainsi le navire le plus rapide existant.

La profondeur d'eau des ports est le grand facteur avec lequel les constructeurs ont à compter, quand il s'agit d'augmenter la capacité et la vitesse des grands navires ; car les dimensions horizontales qu'ils peuvent leur donner

dépendent essentiellement du tirant d'eau dont ils disposent, et ont besoin d'être bien proportionnées avec celui-ci. Ainsi, une plus grande longueur donnée aux steamers permet de réaliser de meilleures dispositions sous le rapport de la propulsion, mais à moins de pouvoir augmenter aussi le tirant d'eau, il devient difficile ou tout au moins fort coûteux, à partir d'une certaine limite, d'accroître encore cette dimension, tout en construisant les bâtiments avec la solidité voulue.

Au congrès international de travaux maritimes, tenu à Londres en 1893, M. Dunlop, en parlant des paquebots transatlantiques de grande vitesse, appela l'attention des membres sur ce point, en disant notamment que si on pouvait porter à 30 pieds le tirant d'eau d'un steamer de 600 pieds de longueur par exemple, on gagnerait en puissance de transport dans la même proportion que si l'on avait donné au navire 100 pieds de longueur en plus.

Quand on examine la question au point de vue des navires de commerce en général, il est à remarquer que la majeure partie de ceux qui fréquentent nos ports ne calent pas plus de 16 à 18 pieds; mais il est cependant nécessaire de nos jours, pour lutter avantageusement avec les ports concurrents de pouvoir y admettre des navires d'un tirant d'eau beaucoup plus grand. Aussi est-ce vers ce but que tendent les efforts dans les divers pays, quoiqu'il soit souvent difficile, et dans certains cas à peu près impossible, d'atteindre complètement ce résultat. C'est ce que nous verrons au paragraphe suivant, où nous décrivons la situation que présentent, sous ce rapport, plusieurs ports choisis parmi les plus importants.

II. — DE LA PROFONDEUR DES PRINCIPAUX PORTS DE COMMERCE EXISTANTS.

Port de New-York. — New-York, le plus grand port de la terre, se trouve à l'embouchure de l'Hudson et à la rencontre de ce fleuve avec l'East-River, bras de mer qui sépare la terre ferme de l'île de Long-Island. Devant la ville s'étend une vaste rade intérieure offrant au S. E. un chenal étroit " The Narrows ", et plus loin une rade extérieure communiquant à l'est, par une large ouverture, avec l'Océan Atlantique. Ces deux rades et le Narrows constituent l'entrée principale du port. Elle comprend cinq passes navigables, séparées par des bancs de sable et dont les principales, le Swash et le Main, servent aux grands navires; celles-ci se trouvent en prolongement du Gedney-channel, qui débouche dans l'Océan Atlantique et constitue une des plus belles passes du monde. (Pl. XX, fig. 1 et 2).

On y trouve, sur une très grande largeur, 7^m,30 d'eau sous le niveau moyen des basses mers, et 8^m,80 sous le niveau moyen des hautes mers. Mais afin

d'éviter que les paquebots transatlantiques du plus fort tonnage aient à attendre le plein pour entrer au port ou pour prendre le large, il a été décidé, en 1884, d'approfondir par dragage la passe de Gedney, ainsi que celle du Main qui conduit de ce chenal, à l'intérieur du Sandy-Hook, vers le port de New-York, et d'y creuser une profondeur de 30 pieds (9^m,15) sous le niveau moyen des basses mers. Vers la fin de 1889, on avait extrait de ces chenaux environ 1,750,000 mètres cubes de sable; la profondeur obtenue dans le Gedney était déjà de 8^m,50 sous le niveau moyen des basses mers et de 10 mètres sous celui des hautes mers, sur une largeur d'environ 200 mètres; dans le Main channel, ces profondeurs étaient respectivement de 8^m,20 et de 9^m,20, sur 130 mètres de largeur. Les dragages ont été activement poursuivis depuis lors, et en 1892, la profondeur précitée de 30 pieds était à peu près atteinte depuis la mer jusqu'aux quais de New-York.

Disons en passant que les travaux de dragage se sont effectués dans de très bonnes conditions, tant sous le rapport de leur exécution que sous celui du maintien des profondeurs créées. Le fond du Gedney channel est formé en effet de sable coquillier à gros grains, circonstance fort avantageuse pour le rendement des dragues; dans le Main channel cependant, le sable est plus fin et plus ou moins vaseux. La distance de transport des déblais varie de 6 à 10 milles. D'autre part, comme les dépressions obtenues n'ont pas plus de 2 mètres de profondeur par rapport à la surface des fonds qui les limitent de chaque côté, et qui se trouvent à une profondeur relativement grande déjà sous le niveau des basses mers, on n'a pas à craindre d'y voir affluer des apports annuels importants⁽¹⁾.

Il existe une seconde entrée au port de New-York qui s'ouvre au Nord-Est, par le détroit de Long-Island, Hell's Gate et l'East-River; mais elle était parsemée de rochers dangereux situés aux abords du port. L'enlèvement de ces écueils, entreprise considérable, évaluée à une dépense de plus de 25,000,000 de francs, a commencé en 1877 par la destruction de l'Hallet's reef, obstacle fort redouté qui se trouvait dans l'Hell's Gate, et continué ensuite par celle du Floodrock, espèce d'îlot sous-marin. Cet îlot a été disloqué en 1885, au moyen de travaux de mines et de l'emploi d'explosifs d'une importance énorme; les débris de la roche désagrégée ont été extraits ensuite par dragage, en vue de donner à la seconde entrée de New-York une profondeur de 7^m,80 à marée basse et de 9^m,30 à marée haute.

(1) Voir chapitre VIII, § I.

Mais des situations aussi favorables que celle de New-York sont exceptionnelles et ne se rencontrent pas même dans les grands ports de relâche comme Aden, Calcutta, Melbourne, Adelaïde, Sidney, où la profondeur est inférieure à 8^m,50. C'est cette considération qui a décidé la Commission internationale, chargée de donner son avis sur les travaux d'amélioration à exécuter au canal de Suez, d'adopter pour ce canal une profondeur de 8^m,50, sauf à la porter plus tard à 9^m,00, afin d'y permettre le passage des navires de 27 pieds anglais (8^m,24), avec une vitesse de 15 kilomètres à l'heure. La profondeur actuelle y est de 8 mètres.

Londres. — L'entrée de la Tamise jusqu'à la rade de la Nore, présente des passes praticables aux grands bâtiments à toute heure de la marée; plus loin on rencontre des parties sèches, où la profondeur varie de 4 à 6 mètres sous basse mer, mais le port de Londres est accessible, à marée haute, à des navires de 8 mètres de tirant d'eau. Jusqu'à présent on n'a exécuté aucun travail de dragage, ni autres, pour améliorer les passes de ce fleuve; les navires de commerce en destination pour Londres y trouvent d'ailleurs plusieurs mouillages où ils peuvent en toute sécurité étaler la marée.

Liverpool. — Nous avons déjà eu l'occasion de parler du port de Liverpool, situé sur la Mersey, ainsi que de l'embouchure de ce fleuve. La Mersey est formée par la réunion du Goyt et de l'Etherow, à 7 kilomètres environ à l'est de la ville de Stockport, dans le Cheshire; elle se jette dans la mer d'Irlande à New-Brighton, après un parcours de 114 kilomètres. Le lit de la Mersey, sur les 40 premiers kilomètres à partir du Goyt, est étroit et sinueux, puis il s'élargit graduellement jusqu'à la ville de Runcorn. En aval de cet endroit, le fleuve constitue plutôt un estuaire intérieur ou bras de mer, de 18 kilomètres de longueur et dont la largeur varie de 2500 à 4800 mètres. Mais devant Liverpool, il offre une section relativement rétrécie, qui a été diminuée encore par la construction des docks et des quais établis sur les deux rives. La rive gauche de la Mersey tourne brusquement vers l'ouest à l'extrémité nord de la ville de Liverpool, en face de New-Brighton, où commence la baie du fleuve (Pl. XX, fig. 4).

Le goulet qui s'étend de Liverpool à Birkenhead est très profond et constitue une rade parfaitement abritée et de bonne tenue. Les profondeurs s'y maintiennent d'ailleurs dans d'excellentes conditions, grâce à la configuration de la partie aval du fleuve; les eaux de la mer remplissent à chaque marée le vaste estuaire formé par la Mersey en amont de Liverpool, et en s'écoulant, elles produisent au jusant des chasses puissantes à travers le goulet, comme aussi à travers les passes de l'embouchure. Le volume d'eau de mer qui passe moyennement pendant le flot

devant Brighton, est évalué à 545,000,000 de mètres cubes pendant les marées de vive eau, et à 215,000,000 de mètres cubes pendant celles de morte eau. Le volume des eaux douces, évacuées moyennement en 12 heures, varie de 1,500,000 à 2,300,000 mètres cubes.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau ordinaires, devant Liverpool, mesure 8^m,39; en morte eau, le niveau moyen des hautes et des basses mers se trouve respectivement à 1^m,22 et à 6^m,18 au-dessus de celui des basses mers de vive eau. La marée se propage dans la Mersey, en vive eau, jusqu'au barrage de Woolston, situé à 56 kilomètres de New-Brighton; en morte eau, le flot ne se fait guère sentir au delà de Fiddlers' Ferry, soit à 42 kilomètres environ de l'embouchure.

La baie de la Mersey, on se le rappelle, est encombrée de bancs de sable puissants, laissant entre eux plusieurs passes secondaires, entre autres le Rock channel et le Formby channel, et une passe principale. La partie amont de celle-ci, appelée Crosby channel, continue, suivant une direction sensiblement nord-ouest et sur une longueur de 10 kilomètres, le goulet ou rade de Liverpool; puis il tourne vers l'ouest et prend le nom de Queen's channel (Pl. XX, fig. 3).

La passe principale, entre les lignes de bouées placées de chaque côté, a une largeur qui varie de 725 à 1275 mètres, et une profondeur de 7 à 15 mètres; mais à 17 1/2 kilomètres de Brighton, elle présente une barre où l'on ne sondait jusqu'en 1890, époque à laquelle on a entrepris l'approfondissement de celle-ci par dragage, que 3 mètres à 3^m,50 d'eau à marée basse.

L'examen comparatif des cartes hydrographiques de la baie de la Mersey, levées à différentes époques depuis 1689 jusqu'à nos jours, a permis de constater que les bancs de cette baie, formés de sable plus ou moins gros et pur, sont relativement stables, et que dans ces derniers temps, la passe principale s'est même mieux dessinée. Mais la direction de son axe a subi certaines fluctuations, et on a reconnu aussi que la barre se déplace en s'éloignant de la côte, tout en conservant dans son ensemble sa configuration primitive; depuis 1818, elle a avancé d'environ 1050 mètres vers le large.

Ces mouvements alluvionnaires toutefois sont bien faibles, eu égard à la masse énorme des atterrissements où ils se produisent; la barre seule a déjà un volume considérable, et sa formation, qui date de loin, est le résultat de dépôts accumulés pendant une longue période de temps.

Les modifications qu'on y observe sont dues à l'action des courants de marée, combinée avec celle des vents qui soufflent vers l'intérieur de la baie et y soulèvent des vagues plus ou moins puissantes. Le sable entraîné par le

jusant vers la mer, de même que celui refoulé par le flot et les lames du large, tendent à provoquer des apports dans la zone de la passe où ces actions, de sens contraire, se neutralisent en tout ou en partie. Mais tant qu'aucun changement artificiel n'est apporté dans la situation de la baie, ces apports n'ont pas une grande importance ; car parmi les agents qui provoquent le charriage des sables, les eaux constamment mises en mouvement par la marée produisent un effet prépondérant, à cause de leur masse et de leur action régulière ; elles empêchent que les sables, entraînés par les lames vers la baie et dont le dépôt est favorisé, au jusant, à la rencontre de ce courant, ne puissent provoquer un exhaussement continu de la barre. C'est ainsi que les passes de l'estuaire ont pris une configuration oscillant, dans des limites assez restreintes, autour d'un certain état d'équilibre relatif, tantôt en un sens, tantôt en sens opposé, suivant l'influence exercée par les circonstances atmosphériques, principalement par les tempêtes et les marées extraordinaires.

C'est en 1889 que le Mersey Docks and Harbour Board décida, sur les propositions de M. l'Ingénieur en chef, A. Lyster, et non sans hésitations, de faire des essais pour approfondir la barre par dragage.

Le travail à entreprendre se présentait cependant dans des conditions qui permettaient d'en espérer le succès, puisqu'il avait été constaté que les fonds de l'estuaire, malgré les grands bancs de sable qu'ils comprennent, offrent relativement beaucoup de fixité, circonstance des plus favorables, et que d'autre part, la passe à approfondir est traversée par des courants fort intenses ; le jusant, au droit de la barre, conserve une vitesse d'environ 1^m,40 par seconde en vive eau et de 0^m,70 en morte eau, et on l'observe encore d'une façon appréciable à une distance de plus de 17 kilomètres au delà.

En revanche, les plateaux qui limitent la passe, notamment le great Burbo bank, le little Burbo, les Jordan et Taylor banks, sont très élevés ; à marée basse, ils émergent sur une superficie de près de 10,000 hectares, et on trouve en divers endroits des parties culminantes qui dépassent ce niveau de 4 à 5 mètres. On devait donc s'attendre, dès que la barre, peu profonde elle-même, aurait été draguée à une cote relativement prononcée, à voir s'y produire d'assez grands apports, provenant surtout de l'affluence des sables des talus latéraux, alimentés eux-mêmes par ceux entraînés de la surface des plateaux voisins, sous l'action des vagues ; car sur des fonds aussi élevés, celles-ci agissent dans toute leur intensité. Mais il était à prévoir aussi, qu'en continuant à draguer dans des proportions suffisamment vastes, on obtiendrait, au bout d'un certain laps de temps, pour les talus de raccordement du chenal creusé à travers la barre, avec la crête des

bancs auxquels ces talus appartiennent, un certain état d'équilibre, et qu'à cette nouvelle situation correspondrait un cube annuel de dépôts plus ou moins importants, suivant la cote à laquelle l'approfondissement aurait été porté.

Les dragages de la barre de la Mersey ont fait l'objet d'un mémoire des plus intéressants, présenté par M. l'Ingénieur en chef Lyster au congrès international des travaux maritimes tenu à Londres en 1893⁽¹⁾. Commencés en septembre 1890, ils ont débuté par le creusement d'une souille dans la direction de l'alignement du bateaux-phares du Crosby et du Formby, lequel conduit droit vers l'axe du Queen's channel et constitue la meilleure route à suivre par les navires (Pl. XX fig. 5).

Au chapitre V paragraphe III, nous avons parlé des dragues employées à ces travaux ; les premières, au nombre de deux, consistaient, on se le rappelle, en des porteurs à vapeur, qui avaient servi au transport en mer du produit des dragages des docks de Liverpool, et sur lesquels on avait installé des pompes à sable. D'une capacité de chargement de 500 tonnes (312 mètres cubes), elles se remplissent en moins d'une heure, et lorsqu'elles fonctionnent dans les conditions les plus favorables, en 20 à 25 minutes ; la distance de transport jusqu'au lieu de déversement était d'environ 5 kilomètres. Le sable extrait sur le talus intérieur de la barre est assez gros et pur ; il devient plus fin à mesure qu'on avance vers le talus extérieur, où il est en outre mélangé de vase.

Au 30 juin 1892, le volume total de sable dragué sur la barre de la Mersey s'élevait à 1,108,390 tonnes (790,527 mètres cubes), et la profondeur obtenue était de 6^m,00 au moins sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires. Cette profondeur avait du reste été atteinte dès le commencement de l'année 1892, quand on n'avait encore extrait que 657,000 tonnes (409,311 mètres cubes) ; depuis lors, les dragages effectués n'avaient eu d'autre résultat que de la maintenir, quoique le déblai enlevé pendant cette période de temps était d'environ 1,781,710 tonnes (1,110,005 mètres cubes), bien plus grand par conséquent que celui dragué pendant la première période. Ce fait confirme ce que nous avons dit et répété au sujet de l'influence résultant de l'accroissement de profondeur d'une passe, creusée graduellement à travers un atterrissement sablonneux, sur l'importance des apports amenés des fonds avoisinants.

A la Mersey, les dragages exécutés font dès aujourd'hui sentir leur effet dans une zone de plus de 1,800 mètres de largeur, comme il est indiqué sur les profils pris au droit de la crête de la barre et représentés Pl. XX, fig. 6.

Il a été constaté par des observations régulières qu'à mesure que la barre

⁽¹⁾ *International maritime Congress, Minutes of proceedings, section I.*

est devenue plus profonde, la vitesse du courant de jusant y a augmenté, et ce d'une manière très sensible, circonstance qui est sans doute de nature à concourir au maintien de l'amélioration obtenue.

En présence du succès dont les premiers travaux de dragage sur la barre de la Mersey ont été couronnés, il fut résolu de leur donner une nouvelle impulsion et de construire dans ce but la drague porteuse le *Brancker*, que nous avons décrite au chapitre VII. Ce bateau aspirateur, le plus puissant qui ait été construit jusqu'ici, a commencé à fonctionner régulièrement au mois de septembre 1893 ; il a une puissance de rendement sept fois plus grande environ que celle des deux anciennes dragues réunies, lesquelles continuent d'ailleurs à travailler, de sorte qu'avec ce matériel, on effectuera huit fois plus de déblais qu'auparavant. Il n'y a pas de doute, que dans ces conditions, la profondeur de la barre de la Mersey pourra être portée en peu de temps, et maintenue ensuite à 28 pieds (8^m,53), et même à 30 pieds (9^m,14) sous le niveau des basses mers de vive eau ; on aura ainsi doté le port de Liverpool d'une passe d'accès profonde, de nature à rivaliser avec la passe principale qui conduit au port de New-York.

Le Hâvre. — Devant le port du Hâvre, on rencontre des bancs élevés et dangereux, notamment le banc de l'Eclat, les Hauts de la rade et le Haut de la petite rade ; ces bancs laissent entre eux plusieurs passes qui ont été balisées et éclairées avec soin ; mais il existe à l'ouvert du port un plateau sensiblement horizontal, situé à 2 mètres seulement sous le niveau des basses mers et où on ne sonde à marée haute que 9^m,85 en vive eau, et 8^m,15 en morte eau. Dans les plus faibles marées, la profondeur n'y est que de 7^m,90 au moment du plein ; les navires de plus de 7^m,00 ne doivent pas essayer alors d'entrer au port, et ceux qui ont ce tirant d'eau ne peuvent le tenter que lorsque la houle n'est pas forte. (').

Le projet d'amélioration du port du Hâvre qui va être mis à exécution et dont nous parlerons au paragraphe IV de ce chapitre, comprend le creusement, par dragage, d'une passe destinée à permettre la circulation des navires de 6 mètres de tirant d'eau à toute heure en morte eau et pendant 8 heures en vive eau, et à donner passage aux grands paquebots transatlantiques pendant 6 heures au moins à chaque marée.

Anvers. — De même que pour la Tamise, les navires de fort tonnage peuvent toujours courir dans l'Escaut par la passe de Wielingen ; ceux qui se rendent à Anvers trouvent à l'intérieur du fleuve des chenaux profonds jusque

(') QUINETTE DE ROCHEMONT. — *Ports maritimes de France.*

dans la rade de Terneuzen; les passes qu'ils ont à parcourir plus loin offrent au moins 5^m,50 à 6^m,00 d'eau sous le niveau des basses mers de vive eau et 9^m,50 environ sous celui des hautes mers moyennes, de sorte que le port d'Anvers est régulièrement accessible aux grands bâtiments de commerce.

Port d'Ymuiden. — Au port d'Ymuiden, situé à l'entrée du nouveau canal d'Amsterdam et que nous décrirons plus loin, le chenal d'accès est maintenu par dragage à 8 mètres de profondeur environ sous marée basse; mais lors des gros temps, il s'y produit assez souvent des dépôts de sable, principalement à l'entrée du port, dans l'espace compris entre les musoirs des jetées et une ligne prolongeant le segment extrême de la jetée sud, et aussi à l'intérieur, au nord de l'axe de l'avant-port. Après des tempêtes persistantes, ces dépôts ont atteint jusqu'à 1^m,20 de hauteur en moyenne, et davantage même en certains points; d'autre part la côte d'Ymuiden n'est précédée d'aucun banc de sable, ni d'aucun abri; elle est battue avec violence par les vagues de la mer, et les dragues ne peuvent fonctionner à l'entrée du port que pendant un nombre de jours très limité de l'année; il est arrivé ainsi que la passe n'avait que 6^m,80 d'eau sous marée basse et une largeur variant de 100 à 200 mètres.

Rotterdam. — La profondeur de la nouvelle voie maritime conduisant au port de Rotterdam, mesurait en 1892, à l'embouchure, 7^m,00 environ sous le niveau des basses mers et 8^m,70 sous celui des hautes mers, sur une largeur de 100 mètres; la passe navigable jusqu'à Rotterdam avait partout, à marée basse et sur la même largeur, 6^m,50 d'eau au moins, sauf en un endroit, appelé « Zuiden », situé à 6 kilomètres à l'aval de Maassluis; là, on ne sondait à marée basse que 6^m,30⁽¹⁾. De plus il se forme également à l'entrée du nouveau chenal, pendant les gros temps de l'hiver, des exhaussements accidentels mesurant parfois 0^m,50 à 0^m,80 et pour l'enlèvement desquels on doit attendre un temps favorable. La navigation ne peut donc compter en pareils cas sur une profondeur à l'entrée de plus de 6^m,40 à marée basse et 8 mètres à marée haute.

Hambourg. — A une distance d'un peu plus de 120 kilomètres de son embouchure, l'Elbe se divise en deux bras, qui se rejoignent à 20 kilomètres en aval de cette bifurcation. Le port de Hambourg se trouve sur le bras septentrional ou Norder Elbe. La marée se propage moyennement dans le fleuve jusqu'à un point situé à 34 kilomètres en amont de ce port (Pl. XXXI).

Pour faciliter la propagation du flot à travers le bras septentrional et maintenir les profondeurs dans la rade de Hambourg, de grands travaux de rectification et d'élargissement ont été effectués de 1865 à 1873 à cette partie du

(¹) Voir chapitre VI, § III.

fleuve. Depuis quelques années, on effectue en outre des dragages importants en aval de Hambourg, afin d'abaisser un haut fond qui s'est formé dans la section dilatée que l'Elbe présente près de Blankenese, à la réunion du Norder Elbe et du Süder Elbe. A l'aide de ces dragages, on tache d'y obtenir un mouillage de 5^m,50 sous le niveau des marées basses et de 7^m,30 sous celui des marées hautes ordinaires.

La profondeur d'eau dans l'Elbe inférieure ne permet pas d'ailleurs aux grands bâtiments de se rendre directement à Hambourg. Ils sont forcés d'alléger soit à Cuxhaven, situé près de l'embouchure, soit à Glückstadt ou à Stade; au départ, ils n'embarquent qu'une partie de leur charbon et complètent leur approvisionnement plus tard dans l'un ou l'autre port, où ils font escale.^(*)

Dans ces dernières années cependant, le mouvement commercial de Hambourg a pris un développement étonnant, grâce à la situation géographique de ce port et aux installations maritimes considérables qui y ont été établies.

Au début, le port ne consistait qu'en un mouillage en rivière, où les navires s'amarraient à des ducs d'Albe; ils débarquaient ou embarquaient leurs marchandises au moyen d'allèges, qui circulaient dans les canaux creusés à travers la ville, où se trouvaient les magasins. C'est en 1866, que les premiers bassins ouverts sur l'Elbe, le Sandthorhafen et le Grasbrookhafen, furent mis en exploitation; ils sont bordés de quais parfaitement outillés ainsi que de magasins, et mis en communication avec des canaux destinés aux bateaux de navigation intérieure et aux allèges. Un troisième bassin, le Petroleum hafen, fut achevé en 1880; à cette époque, la longueur totale des murs de quai accostables aux navires de mer était de plus de 4,000 mètres, et celle des lignes de ducs d'Albe de 12,500 mètres (Pl. XXXI).

L'accroissement rapide du trafic du port nécessita bientôt la création de nouveaux bassins, et il fut décidé en 1882 d'aménager à Hambourg un port franc, occupant une surface d'environ 1000 hectares, exempte de charges douanières. Les travaux, commencés sans retard et conduits avec beaucoup de célérité, étaient achevés en 1888, et les nouvelles installations livrées au commerce la même année. Le port ainsi transformé comprend, à part quelques lignes de ducs d'Albe conservés le long de la rive droite du fleuve, une série de bassins offrant ensemble 118 hectares de surface, avec 14313 mètres de développement de quais. Tous ces bassins s'ouvrent directement sur l'Elbe, quoique les eaux de ce fleuve soient assez chargées et y donnent lieu à de grands apports; les dragages à exécuter pour les enlever, y compris ceux que l'on effectue dans le lit du fleuve près de Blankenese, dépassent aujourd'hui 2,000,000 de mètres cubes.

(*) QUINETTE DE ROCHEMONT. *Annales des Ponts et Chaussées de France*. Année 1891.

La profondeur entretenue dans les bassins varie suivant leur destination; elle est de 3^m,25 sous le plan des basses mers dans les Ausserer et Innerer Oberländerhafen, de 5^m,50 à 5^m,75 dans le Sandthorhafen, le Petroleumhafen et le Grasbrookhafen, et de 6^m,25 dans le Baakenhafen et le Segelschiffhaven.

Le Petroleumhafen est séparé du fleuve par un barrage comprenant une partie centrale mobile pour le passage des navires. Entre le Sandthorhafen et le Brookthorhafen, il existe une écluse à sas de 67^m,40 de longueur utile et 11^m,50 de largeur; elle est munie de portes roulantes, manœuvrées à l'aide de palans hydrauliques.

Les canaux creusés à travers la ville, ainsi que les bassins spécialement occupés par les bateaux de l'intérieur, ont aussi été multipliés et améliorés dans de vastes proportions.

Le port de Hambourg est d'ailleurs en relation par de nombreuses voies navigables avec une grande partie de l'Allemagne, et ces voies seront améliorées encore par le canal de la mer du Nord, actuellement en exécution, ainsi que par d'autres canaux projetés, qui relieront l'Elbe à la Trave d'un côté, au Weser et à l'Ems de l'autre.

Les communications par chemin de fer ne sont pas moins nombreuses.

En 1893, il est arrivé à Hambourg 8,792 navires, d'un tonnage total de 5,886,000 tonnes, dont 6,399 steamers, mesurant ensemble 5,288,000 tonnes.

On remarquera que presque tous les bassins de Hambourg sont en communication directe avec l'Elbe, ce qui n'est pas sans donner lieu à des inconvénients sous le rapport de l'importance des dragages, qu'on doit y exécuter régulièrement pour l'entretien des profondeurs; il aurait peut-être été préférable de munir quelques uns de ces bassins d'écluses à sas profondes, bien aménagées, en choisissant ceux destinés aux navires marchands avec cargaisons de matières pondéreuses, telles que houilles, céréales, minerais etc.; car pour ces navires, la perte de temps à résulter des sassements est absolument négligeable à côté de la durée du trajet qu'ils accomplissent. Les dragages auraient pu être mieux utilisés alors à maintenir des darses spéciales de marée pour les steamers de vitesse et ceux des lignes régulières, et à améliorer l'accès du port lui-même. D'un autre côté, il ne faut pas perdre de vue que les bassins à flot offrent une grande sécurité, et comme le niveau des eaux y est peu variable, la manutention des marchandises s'y fait très commodément.

Les eaux de l'Elbe cependant, quoique sujettes à des fluctuations assez notables, suivant l'importance des marées et la situation des eaux d'amont, ne subissent pas un grand mouvement d'oscillation dans une même marée (0,70 à 2 mètres)

Ensuite, des bassins en libre communication avec le fleuve coûtaient moins cher d'établissement et étaient d'une exécution plus rapide que des bassins à flot; ils se prêtent mieux aussi à la circulation des navires et des allèges, et en cas de fortes gelées, enfin, il est plus facile de les débarrasser des glaces.

Ce sont ces considérations qui leur ont fait donner la préférence à Hambourg.

De ce que nous venons d'exposer dans ce paragraphe, on peut conclure que les grands ports de commerce offrant régulièrement la profondeur voulue pour admettre en tous temps des bâtiments de plus de 7 mètres à 7^m,50 de tirant d'eau, sont peu nombreux. Le plus souvent, un aussi fort mouillage n'y existe que pendant une ou plusieurs heures à chaque marée, grâce à l'amplitude de celle-ci; encore, dans bien des cas, n'a-t-il été obtenu qu'au prix de lourds sacrifices.

Pour les ports où le commerce est susceptible de prendre un grand développement, il est évidemment à conseiller de les approfondir le plus possible et de les rendre accessibles à toute heure de la marée aux navires du plus fort tonnage, tout au moins quand ce résultat peut être obtenu dans des conditions pratiques; et ce serait manquer de prévoyance que de ne pas établir tous les ouvrages en vue de pareilles améliorations. Il est à remarquer cependant que les bâtiments de plus de 7 mètres de tirant d'eau forment la grande minorité, et que les constructeurs tendent même à ne pas dépasser sensiblement cette dimension pour les navires ordinaires de commerce.

C'est ainsi que Hambourg, devenu l'un des ports les plus importants de l'Europe, ne peut recevoir des navires de plus de 6^m,20 à 6^m,50 de tirant d'eau.

A Rotterdam, les bâtiments de plus de 7 mètres sont aussi peu nombreux, comme on peut en juger par le tableau ci-contre, qui indique le nombre de vaisseaux par catégories de tirant d'eau, qui ont parcouru la Nouvelle Meuse pendant les 4 dernières années.

Au port d'Anvers enfin, il n'y a eu en 1893 que 114 arrivages de plus de 7 mètres de tirant d'eau, sur un nombre total de 3871 pour les steamers, et 2 seulement, sur un nombre total de 544 pour les voiliers; et la plupart de ces arrivages correspondent aux services réguliers de la Red Star line sur New-York et Philadelphie (*).

Ajoutons enfin que de tous les navires du Royaume-Uni, y compris ceux affectés aux transports de cabotage, 60 pour cent ne jaugent pas plus de 500 tonnes et ont un tirant d'eau inférieur à 15 pieds (4^m,58), et 96 pour cent

(*) Voir à l'annexe III, le tableau des arrivages au port d'Anvers en 1893, par catégorie de tirant d'eau.

Navires qui ont circulé sur la Nouvelle Meuse vers Rotterdam, dans les deux sens, non compris les bateaux de pêche.

TIRANT D'EAU EN MÈTRES OU EN PIEDS D'ANGLETERRE.

	Nombre.	Tonnage.	Au-dessous de 5 M. ou 16 pieds 5'	5 16 pieds 5'	5.1 16 pieds 9'	5.2 17 pieds 1'	5.3 17 pieds 5'	5.4 17 pieds 9'	5.5 18 pieds 1'	5.6 18 pieds 5'	5.7 18 pieds 8'	5.8 19 pieds 1'	5.9 19 pieds 4'	6.0 19 pieds 9'	6.1 20 pieds	6.2 20 pieds 4'	6.3 20 pieds 8'	6.4 21 pieds	6.5 21 pieds 4'	6.6 21 pieds 7'	6.7 22 pieds	6.8 22 pieds 4'	6.9 22 pieds 8'	7.0 22 pieds 12'	7.1 23 pieds 3'	7.2 23 pieds 8'	7.3 23 pieds 11'	7.4 24 pieds 3'	7.5 24 pieds 7'	7.6 24 pieds 11'	Nombre total des navires d'un tirant d'eau minim. de 5 M. ou 16 pieds 5'.	
90	9637	6,028,536	8367	—	3	30	13	54	144	88	121	97	22	140	25	73	35	103	93	59	43	43	19	28	18	16	—	3	—	—	1270	
91	9458	6,190,055	8099	—	—	30	17	67	131	102	132	117	32	168	15	58	50	112	88	58	34	40	22	41	24	10	7	2	2	—	—	1359
92	9191	6,410,751	7942	—	1	5	7	29	124	101	104	99	53	102	55	51	71	75	46	79	46	60	39	62	21	7	8	4	—	—	1249	
93	9628	7,212,554	7871	66	46	63	54	50	154	122	94	97	74	82	95	106	92	87	77	80	68	53	47	65	46	24	9	4	2	—	—	1757

n'atteignent pas un tonnage de 2000 tonnes, ni un tirant d'eau de 22 pieds (6^m,71) (1).

III. — DES RADES ABRITÉES.

Pour tout port, le voisinage d'une rade abritée, sûrement accessible chaque jour et à toute heure de la marée, constitue évidemment un avantage considérable, surtout quand elle se trouve droit devant son emplacement, de manière à permettre aux navires d'y mouiller momentanément, sans devoir dévier de leur route. Car la plupart des ports n'ont pas la profondeur voulue pour admettre les bâtiments de fort tonnage à marée basse, et en fut-il autrement, une rade s'ouvrant sur la mer par des passes profondes et bien orientées, est toujours d'un grand secours pendant les gros temps, alors que les navires, principalement les voiliers, redoutent d'attaquer directement l'entrée des ports, où les vagues de tempête occasionnent des embarras d'autant plus sérieux que la côte est moins abritée.

Anciennement, on le comprend, lorsque la marine à vapeur était inconnue, de même que les puissants engins de dragage, tant en usage aujourd'hui pour l'amélioration de l'entrée des ports, les rades couvertes étaient plus appréciées

(1) W. WHEELER. — *Principes de l'amélioration des rivières à marée*. Mémoire présenté au congrès de navigation intérieure tenu à Manchester en 1890.

encore, à tel point qu'on disait généralement qu'il n'y avait pas de bon port sans bonne rade.

Nous avons déjà eu l'occasion de parler de la rade de Dunkerque, protégée par une série de bancs de sable des coups de vent du large, et qui constitue un mouillage excellent.

Citons encore la rade de La Pallice, située dans le pertuis d'Antioche, sur la côte est de France. Abritée par l'île de Ré et facilement accessible de la mer, cette rade offre des profondeurs de 6 à 12 mètres et constitue un bon refuge pour les navires qui sont surpris au large par un coup de vent. C'est ce qui a déterminé M. Bouquet de la Grye, Ingénieur en chef de l'hydrographie française, à choisir comme emplacement du nouveau port de La Rochelle, un point situé au Nord de la baie de même nom, en face de La Pallice. (Pl. XXXVI, fig. 5).

Les ports situés à l'intérieur et près de l'embouchure d'un fleuve, d'un accès facile de la mer et formant lui-même, devant le port, une rade abritée, se trouvent dans une situation particulièrement favorisée; ils se prêtent fort bien, non seulement au trafic commercial ordinaire, mais aussi aux services des lignes rapides et aux escales. Le port de New-York, nous l'avons vu, est dans ce cas.

Celui de Southampton encore; c'est le plus important des ports de la côte sud de l'Angleterre, en relation par de nombreuses lignes régulières avec ceux du continent et de l'Amérique. Il est situé près de l'embouchure du chenal de Southampton, au confluent de l'Itchen et de la Teste; formé par une profonde découpure dans le rivage, à travers les couches de Bagshot et Bracklesham du terrain éocène moyen, le Southampton-Water est parfaitement protégé contre les fortes mers par l'île de Wight. (Pl. XXXII, fig. 3 et 4). Depuis Calshot-Castle jusqu'au port, soit sur une longueur de 5 milles, il a environ 600 mètres de largeur, et 9 à 15 mètres de profondeur; à une distance de 1 1/2 mille de la ville, il existe un haut-fond, le Netley, compris entre deux passes navigables, qui ont été approfondies par dragage; dans celle de l'ouest, on sonde 7^m,80 à basse mer, et dans celle de l'est, 5^m,50. L'amplitude de la marée est d'environ 4 mètres en moyenne. Au delà du banc de Netley jusqu'à l'entrée de l'Empress Dock, le chenal a été dragué à une profondeur de 7 à 8 mètres sous marée basse; les passes qui s'étendent des deux côtés de la ville, ont 3^m,75 à 5^m,50 d'eau sous ce même niveau.

Les navires arrivent de la mer par le Needles channel dans le Solent channel, lequel est très profond sur une grande partie de son étendue, et conduit par de bonnes passes vers le Southampton-Water.

Le port de Southampton comprend un bassin de marée, ouvert sur la rive ouest de l'Itchen et donnant accès à un bassin à flot et à plusieurs cales sèches, ainsi qu'à l'Empress Dock déjà cité. Cette darse, qui a 7^{ha},25 de superficie et une entrée de 53 mètres de largeur, est entretenue par dragage à 8 mètres de profondeur environ sous le niveau des basses mers de vive eau; elle est entourée de quais parfaitement outillés.

Mentionnons encore le port de Queenstown, situé dans une anse profonde, découpée à travers les terrains de grès et de calcaire carbonifère qu'on rencontre en cet endroit de la côte sud d'Irlande. Cette rade, qui comprend l'estuaire de la Lee, est une des plus spacieuses et des plus sûres des îles Britanniques; d'un accès facile, elle constitue par sa situation géographique un port de relâche très fréquenté (Pl. XXXII, fig. 5 et 6).

Les nombreux navires qui viennent y chercher un abri, après avoir contourné la pointe de Roche, n'ont qu'à suivre le chenal profond qui s'étend à l'intérieur de la baie, dans une direction N. et N.N.E. sur une longueur d'environ 2 1/2 milles, jusqu'au-dessus de Spike island et du Spit bank, et qui tourne ensuite brusquement vers l'ouest, entre Haulbowline et Queenstown, pour se confondre plus loin avec la rivière Lee. La route est signalée au moyen de feux, de bouées et de balises, indiquant les hauts-fonds et les écueils à éviter, notamment le Poor head et le Pollock rock à l'entrée de la baie, le Cow and Calf rocks près de la pointe Roche, le Chicago knoll, le Harbour rock, le Turbot bank, le Ram point bank et le Bar rock situés à l'intérieur de la baie, depuis la pointe de Roche jusqu'à l'entrée de la rade de Queenstown.

L'amplitude de la marée est de 3^m,60 en vive eau, et de 2^m,75 en morte eau. Le flot en pénétrant dans la baie s'y dirige d'abord vers la rive de White et court ensuite obliquement vers Crosshaven; puis il reprend de nouveau la direction nord-est, en produisant des contrecourants et des remous le long des deux rivages. Le jusant se propage en sens directement opposé. La vitesse de ces courants est de 1 mètre environ, en moyenne, par seconde; aux abords du Turbot bank, de l'Harbour rock, ainsi que devant Monkstown et dans la passe de l'Est, elle atteint 1^m,50.

Les navires trouvent un excellent mouillage dans le nord de Dogsnose; à la hauteur de ce banc, la profondeur est de 27 mètres; elle mesure 18 à 27 mètres en face de Spike island, et 9 à 11 mètres en face du feu de Spit. Les grands bâtiments se tiennent de préférence à l'est de Spike island dans la route du Man-of-war. Le mouillage intérieur, ou rade de Queenstown, s'étend en

face de l'extrémité est de cette ville jusqu'à l'île de Haulbowline; on y trouve un bon fond d'ancrage et 14 à 18 mètres d'eau.

La partie aval de la Lee est navigable pour les grands navires sur une longueur de 2 1/2 milles environ au delà de Haulbowline, soit jusqu'à Passage; plus loin se trouve le lac de Mahon, à travers lequel il a été dragué un chenal vers Cork, de 75 mètres de largeur et 4^m,25 de profondeur sous le niveau des basses mers de vive eau.

Dans ces dernières années, on a exécuté des travaux importants dans la rade de Cork et Queenstown, comprenant la construction de quais en eau profonde, de formes de radoub, d'ateliers de réparation des navires etc.

Au droit du port de Cork, qui a pris du développement dans ces dernières années, on a établi le long de la rivière des quais et des jetées, où les navires de moins de 6 mètres peuvent se tenir à flot et effectuer leurs opérations.

Certaines baies, situées sur des côtes formées de terrains de nature primordiale et peu exposées à l'envahissement des alluvions, ont été transformées en rades artificielles au moyen de môles ou de breakwaters, destinés à y compléter les protections formées par les rives existantes.

C'est ce qui a été fait avec succès à Cherbourg, à Plymouth et à Portland.

Rade de Cherbourg. — La rade de Cherbourg, d'une superficie de 1500 hectares, se trouve sur une côte rocheuse et est formée de deux anses naturelles; celle de l'ouest, connue sous le nom d'anse Sainte-Anne, s'étend depuis la pointe de Querqueville jusqu'aux roches de la pointe du Homet; l'autre, comprise entre la pointe du Homet et l'île Pélée, est l'anse de Cherbourg (Pl. XXXIII).

La rade est abritée, par les hauteurs qui l'environnent, des vents de l'E. N. E. à l'O. N. O. en passant par le sud; le breakwater la protège contre les autres vents. Cette magnifique digue, de 3,600 mètres de longueur, est assise sur des fonds de 12 à 13 mètres de profondeur sous marée basse; elle est formée, à la base, d'un massif en enrochements de grès, provenant des environs de Cherbourg et consolidée du côté du large au moyen de gros blocs. Sur ce massif et à partir du niveau des basses mers, on a établi une couche en béton, terminée du côté nord par des caisses jointives posées en boutisses et en carreaux vers le large et remplies également de béton. Ces caisses, dont le fond était en toile pour se mouler facilement sur les enrochements, avaient surtout pour but de protéger l'emplacement de l'assise de fondation située en arrière. La muraille de couronnement, construite en maçonnerie à mortier avec parements en granit, a 10 mètres de largeur sur 7^m,50 de hauteur, et est

surmontée d'un parapet de 2^m,50 de largeur et 1^m,50 de hauteur. Elle constitue un immense monolithe, pesant plus de 200,000 kilogrammes le mètre courant, et que les flots ne peuvent plus guère dégrader⁽¹⁾.

Le breakwater de Cherbourg comprend deux branches ou alignements, formant un angle obtus d'environ 170 degrés; il a sa direction générale de l'est à l'ouest, suivant la ligne qui joint la pointe occidentale de l'île Pélée à la pointe septentrionale de Querqueville. A chacune de ses extrémités se trouve une passe profonde; celle de l'est a 9 mètres de profondeur et environ 500 mètres de largeur; celle de l'ouest a 11 mètres de profondeur et 1,000 mètres de largeur. Ajoutons qu'en ce point du littoral de la Manche, le fond sous-marin, composé en partie de roches schisteuses et en partie de dépôts de sable mêlé de vase, est relativement fixe; on constate tout au plus quelques mouvements de sable du côté du fort Flamand.

Rade de Plymouth — Le port de Plymouth se trouve au fond de l'anse profonde située sur la côte sud d'Angleterre, dans la baie d'Eddystone (Pl. XXXIII).

Pour protéger cette anse des vents qui s'y engouffraient directement, on a établi un breakwater, de 1550 mètres de longueur, entièrement construit en pierres sèches et à pierres perdues; au-dessus du plan de marée basse, les pierres de la surface ont été reliées avec du ciment Parker. Cette digue, qui fut commencée en 1812, abrite toute la partie de la baie située dans le S.E. d'une ligne menée de la pointe de Penlée à la pointe de Dunstone.

A l'intérieur du breakwater, on trouve des profondeurs de 9 à 12 mètres en moyenne, sur fond de sable et de coquillages ou de vase molle; il existe, en plusieurs points, des bancs de roches qui sont signalés à l'aide de bouées. La rade communique, de chaque côté de la digue, avec le restant de la baie par une large passe, où l'on sonde 10 à 12 mètres d'eau à marée basse.

Rade de Portland. — La rade de Portland se trouve également dans une anse naturelle, limitée au nord par la côte et au sud par la presqu'île de Portland, laquelle est reliée à celle-ci par la digue en galets, le Chesilbank, (Pl. XXXIII). Elle a toujours présenté un bon abri contre les vents autres que ceux de S.S.E. à l'E.N.E., et c'est pour la préserver de ces derniers qu'on a construit le breakwater.

Cet ouvrage se compose d'un massif en enrochements, surmonté d'un mur en maçonnerie, dont l'assiette de fondation se trouve au niveau des basses mers, et qui s'élève jusque près de 8 mètres au-dessus de la marée haute, de manière

(1) Voir annexe II.

à soustraire aux vagues les quais terminant la digue du côté du port de refuge. Il part de la pointe N. E. de Portland et s'avance dans une direction E. N. E. sur une longueur de 610 mètres; il tourne ensuite vers le nord, laissant une passe de 120 mètres de largeur, et se termine à une distance de 2130 mètres environ de cette passe. Le port ainsi formé comprend plus de 500 hectares de superficie, avec des fonds de 12 à 16 mètres de profondeur sous mer basse; il communique directement avec les fonds de même profondeur de la baie et est par conséquent d'un accès facile pour les plus grands navires.

La question d'établir un breakwater devant une côte ouverte comme celles de la Belgique et de la Hollande a été émise en mainte circonstance. On proposait, le plus souvent, de construire pareil ouvrage dans la direction que suivent les courants de marée pendant la période de leur mouvement où ils ont le plus d'intensité, et qui, sur les côtes précitées, est sensiblement parallèle à l'orientation du rivage. Il s'agissait, suivant les cas, de créer devant celui-ci une rade couverte, ou de protéger simplement l'entrée d'un port contre la houle et les lames de tempête, ou bien d'installer un accostage en pleine mer, en communication avec le rivage au moyen de môles ou de tout autre manière.

Nous avons déjà parlé d'un projet qui avait été conçu dans cet ordre d'idées pour Ostende, en faisant ressortir que cet atterrage ne se prêtait pas à l'exécution de pareils travaux. (1)

D'une manière générale, l'établissement d'un breakwater sur des côtes basses et ouvertes soulève de sérieuses objections.

Il semble tout d'abord difficile d'y créer de cette manière une rade abritée, à moins de se trouver dans une situation spéciale, là par exemple, où des bancs de sable exceptionnellement bien disposés pourraient venir en aide. Car le breakwater devrait se trouver à une distance relativement grande du rivage pour permettre aux navires d'entrer sans difficulté dans les eaux qu'il limite; or, par des vents intenses soufflant parallèlement à la direction de la côte, il se produirait entre cette digue et la plage une agitation dangereuse, à laquelle contribuerait encore l'effet des courants de marée; même par des vents de tempête dirigés normalement au breakwater, les vagues déviées pénétreraient par les larges passes existant de chaque côté de celui-ci, et il faudrait donner à cet ouvrage une fort grande longueur pour qu'elles ne se rencontrent pas dans l'espace qu'il serait destiné à transformer en rade.

Si l'on construisait vers le milieu de la longueur et du côté intérieur du breakwater, un môle dirigé perpendiculairement à son alignement, ainsi que des

(1) Voir chapitre VII, § II.

ingénieurs l'ont proposé, les navires pourraient sans doute se réfugier de l'un ou de l'autre côté de ce môle, suivant la direction du vent. Mais dans nos parages, cette combinaison ne serait pas non plus sans offrir de sérieux inconvénients, à cause des changements brusques que les vents y subissent; ainsi il n'est pas rare d'y voir des vents violents du S.O., accompagnés de pluies, se terminer par une tempête du N.O. au N.N.O., laquelle, après avoir provoqué une ou plusieurs fortes marées, saute brusquement au N.E.

Indépendamment de ces considérations, il importe, sur des côtes d'alluvion, de ne pas perdre de vue le côté technique de la question.

Un breakwater isolé, établi dans les conditions que nous avons indiquées, n'entraverait pas beaucoup la circulation des courants de marée et ne serait par conséquent pas de nature à provoquer des atterrissements inquiétants; c'est tout au plus, croyons-nous, qu'il pourrait se produire quelque ensablement à chacune des extrémités de la digue, là où les courants circulant du côté du large, contourneraient celle-ci et occasionneraient, à la rencontre de ceux qui se propageraient du côté intérieur de l'ouvrage, des remous plus ou moins prononcés. Mais il n'en serait plus de même, si, du côté intérieur du breakwater, on construisait des môles perpendiculaires à sa direction, reliés au rivage, à moins de les faire entièrement à claire-voie, et dès lors ils ne constitueraient plus un abri contre les vents de travers. (Pl. XXXIII, fig. 1).

Quant à construire devant une côte ouverte une digue reliée à terre par une jetée à claire-voie et destinée à l'accostage des navires de vitesse, l'idée ne nous semble pas plus heureuse. Il ne serait pas possible, en général, de disposer cette digue de façon à y avoir des eaux suffisamment calmes, et par de mauvaises mers, les bâtiments qui voudraient s'approcher des postes d'accostage seraient mis en péril par la houle et le ressac.

Sur des atterrages comme ceux dont nous nous occupons ici, l'établissement d'un breakwater ne nous paraît en définitive présenter de côté utile, que lorsqu'il s'agit d'abriter simplement un port ouvert à travers une plage, se raccordant directement avec les grands fonds du large, sans l'interposition de bancs de sable, et qui subit par là même l'assaut des vagues dans toute leur intensité. En pareil cas, un breakwater diminuerait certainement les difficultés que les navires éprouvent quand ils attaquent l'entrée du port par de gros temps, et il préserverait le port lui-même des fortes houles. Mais cette digue, nous l'avons déjà dit, devrait être assez éloignée de la côte pour que les bâtiments, après avoir contourné l'une ou l'autre de ses extrémités, puissent changer à nouveau de direction, et courir au port sans avoir des déviations trop brusques à faire.

Il est à remarquer toutefois que l'établissement d'un breakwater exige des dépenses considérables, tandis que d'autre part, les difficultés que les navires ont à vaincre à l'entrée d'un port situé sur une côte ouverte, sont beaucoup atténuées, l'expérience des pilotes aidant, lorsqu'elle est assez large et bien orientée par rapport aux vents dominants; et pour ce qui est de la propagation de la houle vers l'intérieur, il est généralement possible, en agencant convenablement les parties constitutives du port et en y aménageant au besoin des brise-lames ou criques d'épanouissement, de diminuer la houle dans des proportions suffisantes pour qu'elle n'occasionne plus d'agitation dangereuse devant les quais de marée, ni devant l'écluse d'entrée des bassins à flot. Aussi, jusqu'ici n'a-t-on nulle part tenté l'expérience, à ce que nous sachions, d'établir un breakwater devant une côte basse et ouverte.

Un autre système qui a été mis en avant pour construire une rade ou avant-port en pleine mer, consiste à établir devant la plage un grand môle courbe relié au rivage et qui aurait sa convexité tournée contre les vents dominants, dont la direction coïncide, pour certains atterrages, avec celle des vents régnants; des ouvertures plus ou moins larges seraient ménagées dans ce môle, afin d'y livrer passage aux courants de marée et de prévenir ainsi les envasements dans l'avant-port; ce dernier serait creusé à la profondeur nécessaire pour que les grands navires puissent y rester à flot à marée basse (Pl. XXXIII, fig. 2).

D'une manière générale, ce dispositif ne serait pas de nature à créer, devant une plage ouverte, un espace convenablement abrité; il ne serait certainement pas recommandable s'il s'agissait de l'appliquer à une côte plate et alluvionnaire comme celle de la Hollande ou de la Belgique, d'autant plus que dans ce dernier cas, l'existence des bancs qui précèdent le littoral y complique encore les conditions d'accessibilité des ports.

D'abord, la surface abritée par le môle ne constituerait aucunement un abri où les navires pourraient se tenir en sécurité. Cette digue servirait sans doute de protection contre les mauvaises mers de l'O. au N.O., mais quand le vent soufflerait avec une certaine violence de cette région, il pénétrerait une forte houle, non seulement à travers les ouvertures ménagées dans le môle, mais aussi du côté de l'est, là où le port serait entièrement ouvert à la mer. La situation de celui-ci serait évidemment bien plus mauvaise encore en cas de fortes brises de l'E. au N.; les vagues viendraient alors s'y engouffrer avec violence, et les navires en stationnement seraient drossés contre le talus intérieur du môle; même par les vents d'ouest, les bâtiments auraient encore à se prémunir contre les sautes de vent, qui sont assez fréquentes dans nos parages.

Un défaut non moins grave de ce dispositif au point de vue du marin, consiste dans la mauvaise orientation de l'entrée de l'avant-port.

Sur la côte des Flandres et de la Néerlande, les navires, par les vents dominants de l'O. au N., se dirigent généralement vent arrière ou vent large, et à la faveur du flot, vers le port. En suivant cette route et en se tenant le mieux possible dans le nord du môle, ils auraient cependant, arrivés près du musoir, à tourner d'un angle de plus de 90° pour entrer dans l'abri, et c'est là précisément que la difficulté commence. Les steamers, lorsqu'ils gouvernent bien, exécuteraient aisément cette manœuvre en temps ordinaire. Mais par de fortes brises, et plus encore par des tempêtes, ces bâtiments, au moment de virer, subiraient de travers toute la force du flot et du vent, et seraient exposés à être jetés en dérive sur la plage, surtout quand la distance entre celle-ci et le musoir n'est pas grande; ils pourraient à la rigueur, pour tourner, user de l'ancre; mais avec de grosses mers, on est exposé à voir la chaîne se briser; le navire, pour se sauver, devrait alors battre en arrière et tâcher de gagner le large, et sur certains atterrages, il serait exposé à ne pouvoir rallier d'assez près le nord pour éviter les bancs situés dans le voisinage de la côte.

Les voiliers se trouveraient dans de plus mauvaises conditions encore; pour doubler le musoir, ils auraient à carguer leurs voiles en raison de la direction et de l'intensité du vent, mettre le gouvernail à bâbord, puis laisser tomber l'ancre afin de permettre au navire de mettre le cap au vent, pour le conduire ensuite à la remorque. Or pareille manœuvre n'est pas à tenter lorsque le vent souffle avec force, car en cas de bris de la chaîne d'ancre, le navire serait infailliblement perdu. Il ne serait pas non plus possible d'avoir recours à un remorqueur; celui-ci, pour faire virer le bâtiment, aurait le même office à remplir que l'ancre, de sorte que tout dépendrait de la résistance du câble de remorque; mais en mauvais temps, ce câble serait exposé à des chocs violents et d'autant plus dangereux, qu'au moment où le navire devrait tourner, il subirait une tension considérable.

On voit que par de mauvais temps de l'O. au N., un port établi sur la côte des Flandres d'après le système en question, serait impraticable aux voiliers et d'un accès périlleux pour les grands steamers. De plus, bien souvent, en temps ordinaire, les voiliers ne pourraient y entrer sans l'aide de remorqueurs.

Ajoutons que les navires, en arrivant de l'ouest, ne verraient pas ce qui se passe dans l'avant-port, et qu'en y pénétrant, ils seraient exposés à des dangers de collision, surtout avec les allèges et les embarcations de faibles dimensions, qu'il serait impossible d'apercevoir du large.

Si on voulait disposer à l'abri de la digue de l'avant-port l'entrée d'un port intérieur, l'existence de cet ouvrage au lieu d'en faciliter l'accès, constituerait au contraire une entrave (Pl. XXXIII, fig. 2). Il règnerait en effet un courant assez intense par les ouvertures pratiquées dans le môle, de sorte que pendant le flot, les navires devraient attaquer le chenal intérieur de l'ouest; or les voiliers remorqués et même les grands steamers ne trouveraient pas dans l'avant-port l'espace voulu pour tourner dans ce but, à moins de donner à ce dernier une étendue très vaste. La manœuvre serait plus facile au jusant, mais par de forts vents d'est, les navires seraient exposés à être entraînés contre le môle.

Au point de vue technique, le projet n'est pas davantage à conseiller, quand il s'agit de l'appliquer à une côte très alluvionnaire.

L'avant-port, en effet, y serait sujet à des envasements rapides, et les courants de marée qui se propageraient à travers des ouvertures aménagées dans le môle, n'en atténueraient pas beaucoup l'importance. En même temps que les eaux du flot pénétreraient par ces ouvertures, le courant contournerait le musoir et tendrait à suivre dans l'avant-port un circuit courbe, pour aller s'étaler ensuite dans le segment directement abrité par le môle; il rencontrerait donc les eaux entraînées, à travers l'ouverture précitée, parallèlement à la plage, ce qui donnerait lieu à des remous et à des zones stagnantes, de nature à favoriser la précipitation des matières en suspension.

D'autre part, les eaux du jusant, en s'engouffrant dans l'avant-port, où elles ne trouveraient qu'une issue resserrée à travers le môle, seraient entravées dans leur mouvement et occasionneraient à chaque marée des dépôts nouveaux, principalement au moment d'étalement de ce courant.

Il résulte des considérations qui précèdent que devant des côtes basses et ouvertes comme celle des Flandres, il n'est pas rationnel de vouloir construire, à grands frais, des rades abritées, ni même de simples débarcadères, au moyen de môles ou breakwaters établis en pleine mer; car on ne pourrait disposer ces ouvrages de façon à en assurer l'exploitation dans des conditions pratiques. Comme nous le verrons aux paragraphes suivants, il est plus simple et bien meilleur à tous les points de vue d'y établir les accostages dans un port intérieur, à l'abri de la houle, sauf à rendre ce port d'un accès facile de la mer par tous les temps.

IV. — DES PORTS EN EAU PROFONDE.

Dans la Méditerranée, nombre de ports se trouvent à l'intérieur de baies, en des points où les fortes profondeurs avoisinent le rivage et où les caps et

les saillies de la côte favorisent la création de vastes avant-ports au moyen de digues ou de môles, diversement disposés, suivant les circonstances. Là, le problème consiste à construire ces digues dans les meilleures conditions de stabilité possible, et à les orienter de façon que l'espace qu'elles abritent ait une entrée praticable par les mauvais vents, tout en offrant des eaux relativement calmes. Le port proprement dit, en communication directe avec l'avant-port, est formé d'ordinaire d'une série de darses, entourées de môles où se fait l'accostage des navires et la manutention des marchandises. Les plans de deux havres importants de l'espèce, Barcelone et Gênes, sont indiqués Pl. XXXII, fig. 1 et 2.

Le premier comprend du côté du large une grande jetée en blocs d'enrochements, orientée sensiblement N. et S., et appelée jetée de l'Est; une seconde jetée, dite de l'Ouest, s'avance perpendiculairement au rivage et laisse entre son musoir et celui de l'autre jetée, une ouverture de 280 mètres de largeur. Dans le mouillage ainsi formé, on a construit le quai de Rive ou de la Muraille, de 100 mètres de largeur, abrité par les môles de Barcelone et de la Capitainerie. D'autres môles encore sont en exécution ou projetés; ils serviront à subdiviser la darse et à y augmenter le développement des quais. Le môle de la Capitainerie sera relié à celui des Pêcheurs par le quai d'Espagne, et on établira perpendiculairement au quai de la Muraille deux nouveaux quais, ceux de l'Espérance et de la Fortune. Un autre môle enfin, dit du Carénage, sera enraciné à la digue du large.

La grande darse, de 80 hectares de superficie, est aujourd'hui bien abritée de la houle, et elle offre 8 mètres de profondeur sur une grande partie de son étendue; l'avant-port, qui a 60 hectares de superficie, est d'un accès sûr par tous les temps.

Le port de Gênes se trouve au fond d'une anse, découpée en hémicycle et bordée de terres élevées. Jusqu'en 1877, il n'était protégé que par deux môles, appelés le môle Neuf et le môle Vieux, laissant entre leurs musoirs une entrée d'environ 500 mètres de largeur, ouverte vers le sud-est. Il servait à la fois de rade et de port d'opération pour les navires; mais il manquait de calme, et ce n'est que le long des parties des quais directement abritées par les môles, que les navires pouvaient accoster commodément. Par des vents violents du sud-ouest, l'agitation occasionnait même de la gêne aux bâtiments en stationnement dans le port, et par de fortes tempêtes du sud, les bateaux de faibles dimensions ne s'y trouvaient plus en sécurité.

En 1877, le marquis Raphaël Deferrari, duc de Galliera, fit don au gouvernement italien d'une somme de vingt millions, destinée à améliorer le

port et à y aménager des quais étendus, parfaitement abrités et outillés. Le projet fut dressé par MM. A. Parodi, Inspecteur du Génie civil, et P. Giaccone, Ingénieur en chef du même corps; les travaux furent entamés aussitôt, et déjà en 1888, ils étaient à peu près complètement terminés.

Ils consistent dans le creusement d'un avant-port de 95 hectares de superficie, formé par deux môles en blocs naturels et artificiels⁽¹⁾. Celui de l'ouest est surtout destiné à défendre l'avant-port contre les mauvaises mers de l'O.S.O., qui sont le plus à redouter dans le golfe de Gênes; elles y soulèvent parfois des vagues de 5 à 7 mètres de hauteur. Le môle Est protège l'avant-port contre les houles soulevées par les vents compris entre le sud et l'est; celles-ci sont très fréquentes et peuvent occasionner, par là même, des embarras aux navires en chargement ou en déchargement. Le môle ouest est formé de deux tronçons, faisant entre eux un angle obtus; il a une longueur totale de 1,500 mètres et s'avance jusqu'aux fonds de 27 à 28 mètres de profondeur. Le môle est à 595 mètres de longueur et se termine dans les fonds de 15 mètres.

Tout l'espace ainsi abrité a été creusé par dragage à une profondeur de 8 à 9 mètres au moins, ce qui a nécessité un déblai de 772,000 mètres cubes de matières, composées en majeure partie de tuf et de marne compacte. Des quais munis de voies ferrées, de hangars, de grues hydrauliques etc., ont été aménagés et parfaitement groupés suivant leur destination, le long de la rive intérieure du port et de chaque côté des traverses disposées normalement à celle-ci. En 1892, l'ensemble de ces quais mesurait plus de 11,000 mètres de développement.

Dans les mers à marées et principalement le long des côtes à régime vaseux, l'établissement des ports en eau profonde offre bien plus de difficultés. Aujourd'hui cependant, grâce aux progrès de l'art des constructions maritimes et notamment aux perfectionnements apportés dans les engins de dragage, pareils travaux ont pu être entrepris avec succès.

Ils consistent, d'une manière générale, à établir devant la côte des enceintes plus ou moins spacieuses, entourées de digues en enrochements naturels ou en blocs artificiels et dont l'entrée débouche dans les grands fonds qui précèdent le rivage.

La question d'établir un port en eau profonde sur la côte de Belgique, à Heyst, a été soulevée il y a quelques années par M. de Maere Limnander⁽²⁾, et elle a donné lieu à de longues discussions, tant au point de vue technique, qu'au point de vue économique.

Avant d'examiner jusqu'à quel point et dans quelles conditions l'exécution

(1) Voir annexe II.

(2) DE MAERE LIMNANDER. — *D'une communication directe de Bruges à la mer.*

de ce projet nous paraît possible, nous allons donner une description succincte de quelques ports qui ont été construits ou projetés, dans le même ordre d'idées, chez nos voisins du Sud, du Nord et d'Outre-Manche.

Nous parlerons successivement des ports de Kingstown et de Howth en Irlande, de Douvres en Angleterre, de Boulogne, du Havre et de La Pallice en France, de Nieuwe-Diep et d'Ymuiden en Hollande. Nous citerons en passant le port de Madras, situé sur la côte des Indes.

Toutefois, disons dès maintenant que ce n'est qu'avec la plus grande circonspection que l'on peut chercher à établir des points de comparaison entre des ports situés sur des côtes de nature et de régime différents; il faut bien se garder surtout de tirer des conséquences trop absolues des résultats obtenus, dans certains ports, par une disposition particulière des ouvrages exécutés, quand il s'agit d'en construire un nouveau, conçu dans le même système, mais projeté sur une autre côte. Ces résultats peuvent tout au plus, d'une manière générale, confirmer les prévisions auxquelles une étude attentive des circonstances locales, propres à chaque port, permet de conclure en ce qui concerne la réussite des ouvrages à entreprendre.

Port de Kingstown. — Le port de Kingstown a été construit à l'intérieur et près de la pointe méridionale de la baie de Dublin, dans le canal Saint-Georges (Pl. XXXIV).

Le régime des courants qui se propagent à travers ce canal a beaucoup d'analogie avec celui des courants de la Manche. Il s'explique également par l'interférence de deux ondes opposées, mais dont les caractères distinctifs sont propres au cas de deux ondes *égales*(¹).

La direction du courant de flot, au large de Kingstown, reste comprise entre le N. et le N.N.E., et celle du courant de jusant entre le S. et le S.S.O. En entrant dans la baie, le courant de flot s'incline vers le N.O., puis il porte successivement vers l'O. et le N.E. $\frac{1}{4}$ E., pour reprendre ensuite sa direction primitive; le courant de jusant, en passant au sud du Hill de Howth, court vers l'O., suit à peu près l'orientation du rivage et quitte la baie suivant une direction S.S.E.

L'amplitude moyenne de la marée est de 3^m,50 en vive eau, et de 2^m,70 en morte eau.

On rencontre sur la côte est de l'Irlande, dans toute l'étendue du canal Saint-Georges et de la mer d'Irlande, des roches appartenant au terrain silurien inférieur et au terrain cambrien, ainsi que du granit et des pierres calcaires.

(¹) Voir chapitre I, § III.

A l'intérieur de la baie de Dublin, la côte est formée de roches granitiques au sud, et de roches calcaires dans la partie restante. Le fond y est formé de dépôts de sable, et aussi de couches de vase provenant surtout de l'estuaire de la Liffey; mais, à partir d'une certaine distance du rivage, on ne trouve plus guère que du sable.

Le port de Kingstown date de 1825; il se compose de deux môles entièrement construits à pierres sèches et à pierres perdues, abritant une surface d'environ 100 hectares et laissant entre eux une passe d'entrée de 235 mètres de largeur. Ces môles s'avancent à 975 mètres de distance environ du rivage et se terminent aux fonds de 7 à 8 mètres de profondeur sous marée basse.

La largeur et la direction de la passe d'entrée ont donné lieu, dès le début, à de nombreuses discussions. L'ouverture adoptée paraît un peu grande, et lorsque le vent souffle perpendiculairement à l'entrée, il se produit une assez forte houle à l'intérieur du port. Pour remédier à cet inconvénient, on a proposé de diminuer la largeur de la passe et même de modifier sa direction; ces projets, malgré l'opinion autorisée de quelques praticiens, n'ont pas été admis. D'autres ingénieurs ont émis l'idée de protéger l'entrée au moyen d'un breakwater isolé; mais on a craint que ce moyen, fort coûteux d'abord, eût pu faire dévier les courants vers l'intérieur du port et provoquer ainsi des ensablements dangereux.

Ceux-ci ne sont actuellement pas du tout à craindre, et Kingstown offre, sous ce rapport, l'exemple d'un avant-port des mieux réussis, quoiqu'il se trouve à l'entrée d'une baie directement ouverte aux mauvais vents du large et où il existe de vastes dépôts de sable.

Ce résultat doit être attribué à la situation hydrographique des fonds qui s'étendent au large du port, et au régime des courants qui circulent dans la baie. On remarquera en effet que l'estran sous-marin, situé au sud de celle-ci, se raccorde par un talus fort raide avec le chenal profond compris entre le banc de Burford et la ligne reliant les pointes rocheuses de Dalkey et de Bailey. Le port de Kingstown est placé précisément sur ce talus, lequel est relativement fixe.

Dans ces conditions, les vagues ne peuvent, en temps ordinaire, occasionner des déplacements bien notables dans les matières du fond aux environs du port; les fortes lames du large, dues principalement aux vents du S. E., pénètrent dans la baie, en suivant la côte rocheuse et profonde qu'on rencontre depuis la pointe de Dalkey jusqu'à Scotch-Bay, passent ensuite devant le port et vont se briser sur les hauts-fonds de l'estuaire de la Liffey. Ainsi que la situation des fonds de la baie l'indique d'ailleurs, les sables soulevés tendent à s'accumuler

de part et d'autre de l'embouchure de cette rivière et près du Hill de Howth.

Les courants de marée produisent également un transport définitif des sables vers le nord, en rasant la passe d'entrée du port, où l'on ne constate aucun ensablement.

Mais un fait plus remarquable encore, c'est que l'enceinte du port de Kingstown est à peu près exempte des envasements à l'intérieur. A part une légère tendance à l'exhaussement qui se manifeste le long des jetées, les dépôts y sont insignifiants et ne paraissent pas atteindre plus de 3 pieds d'épaisseur au bout de cinquante ans. Aussi les dragages d'entretien que l'on exécute à Kingstown, ne dépassent généralement pas 6000 à 8000 mètres cubes par an; ils servent spécialement à enlever un petit plateau qui se forme à l'intérieur des jetées, non loin de l'entrée, probablement à cause des remous que les courants produisent en pénétrant dans le port, après avoir contourné les musoirs.

L'absence des apports de vase dans l'enceinte de Kingstown a été expliquée de différentes manières. L'amiral Washington, dans son rapport de 1875 sur le projet d'un nouveau port à Douvres, dit à ce sujet :

« Les causes auxquelles il faut attribuer la bonne tenue du port de Kingstown sont, sans aucun doute, l'heureuse disposition de son entrée exactement dans la direction des courants de flot et de jusant; la proportion de cette entrée avec l'espace qui se vide et se remplit à chaque marée, et par laquelle il n'entre et ne sort qu'un courant insensible; sa forme circulaire, sa petite profondeur d'eau et sa superficie qui est assez étendue pour permettre un certain degré d'agitation, et ceci est, je crois, le principal remède contre les dépôts. »

Dans une étude sur les ports anglais, M. Calver attribue le bon maintien du port de Kingstown au grand degré de pureté des eaux qui le remplissent; il cite à ce propos l'opinion de sir N. Cubitt qui a déclaré devant la Commission du port de refuge de Douvres, qu'il connaissait très bien Kingstown, qu'il l'avait observé de marée en marée et de semaine en semaine, et qu'il ne vient là que des eaux claires et bleues de l'Océan.

L'opinion de M. Calver est la mieux fondée; le port se remplit par les eaux du courant de flot, lesquelles, en arrivant du large, longent la côte rocheuse et accore existant au sud de la baie, et doivent être très peu chargées de vase; tandis que les eaux du jusant qui entraînent les matières soulevées dans l'estuaire de la Liffey, passent devant l'enceinte au moment où elle se vide et ne peuvent par conséquent occasionner des dépôts notables à l'intérieur de celle-ci.

Il est à remarquer d'ailleurs que l'atterrage de Kingstown n'est pas à proprement parler à régime vaseux; l'étendue des fonds de vase y est relativement

peu grande, et les matières mises en suspension, après s'être mélangées à la masse des eaux qui circulent dans la baie, ne donnent à celles-ci qu'un faible degré de saturation. Sous ce rapport, l'influence des alluvions amenées directement par la Liffey est aussi peu appréciable, et si le remplissage du port se faisait d'une manière moins favorable, eu égard aux eaux sortant de cette rivière, les apports qui pourraient en résulter ne seraient pas encore bien grands, ni de nature à exiger des dragages d'entretien coûteux.

Port de Howth. — Le port de Howth est placé immédiatement au nord de la baie de Dublin et comprend, comme Kingstown, une enceinte abritée au moyen de deux jetées à pierres perdues; sa superficie n'est que de 35 hectares, dont la moitié environ assèche à marée basse (Pl. XXXIV).

On ne trouve, en basse mer, que 3^m,50 d'eau devant la tête des jetées; à l'intérieur du port, la profondeur est variable, mais elle ne dépasse nulle part 2^m,50. La passe d'entrée a un peu plus de 100 mètres de largeur; elle est abritée contre les vents du N. au N.E. par l'île de Irelands-Eye.

Ce port se trouve dans une situation hydrographique défavorable et toute différente de celle de Kingstown. Il débouche dans des fonds de peu de profondeur et qui tendent naturellement à s'exhausser, de sorte que les matières meubles du fond y sont facilement remuées et rejetées vers la passe d'entrée. D'autre part, les courants de jusant amènent les sables et le sable vaseux des dépôts existant le long de la côte au nord de Howth, et les déposent en quantités plus ou moins grandes sur les fonds situés devant le port, d'où ils sont ensuite refoulés vers l'intérieur, par l'action combinée des lames et des courants de flot. Les eaux transportées par ces derniers courants et qui passent devant l'enceinte du port, pendant qu'elle se remplit, entraînent les vases de l'estuaire de la Liffey et ajoutent encore à ces causes d'envasement.

Aussi le port de Howth a été rapidement envahi par les alluvions; depuis la construction de celui de Kingstown, qui sert aujourd'hui au service rapide à heure fixe entre l'Angleterre et l'Irlande, ce n'est plus qu'un simple port de pêche.

Port de Douvres. — Le port de Douvres est situé sur la côte sud-est d'Angleterre, au fond d'une baie peu profonde, entourée de falaises crétacées avec lits de silex. Celles-ci entretiennent à la partie supérieure de la plage des amas de galets, auxquels succèdent des dépôts de graviers de plus en plus fins; puis on trouve le sable et exceptionnellement de la vase; en quelques endroits, le sol naturel de craie est à nu (Pl. XXXIV).

L'estran sous-marin, devant le port, présente une inclinaison moyenne de 2 centimètres par mètre, de sorte que les fonds de 10 mètres de profondeur

sous marée basse ne sont éloignés que de 450 mètres environ du rivage; cette inclinaison se réduit de plus de la moitié, dans la partie nord de la baie.

Au large de Douvres, le courant de flot porte entre le N.E. et l'E.N.E., au moment de sa plus grande vitesse, qui atteint 1^m,50 en moyenne en vive eau, et 0^m,80 en morte eau. Le courant de jusant est dirigé entre le S.O. et l'O.S.O.; sa vitesse maximum diffère peu de celle du courant de flot.

L'amplitude de la marée est de 5^m,80 en vive eau, et de 4^m,00 en morte eau.

Au nord de la baie de Douvres, on rencontre la rade des Dunes, qui s'étend le long de la côte, entre les châteaux de Walmer et de Sandown, et qui est abritée par les sables du Goodwin contre les vents venant de la mer, du sud-ouest et de l'ouest jusqu'au nord. Par les vents de tempête de ces régions, elle sert de refuge aux navires qui circulent dans ces parages. Les grands bâtiments peuvent y mouiller en sécurité par des profondeurs de 14 mètres, avec fonds de vase, au sud de l'alignement de l'église d'Upperdeal par le château de Deal; ceux de moins de 5 mètres choisissent d'habitude la partie de la rade se trouvant au sud de ces amers. Le Gull-stream qui sépare le Goodwin du banc de Brake, est le passage ordinaire des navires qui vont de Douvres à la mer du Nord, comme de ceux qui remontent la Manche ou en reviennent.

Le port de Douvres ne comprenait primitivement qu'un chenal de 40 mètres de largeur, ouvert au S.E. et bordé de deux jetées en bois coffrées de pierres, un avant-port, un bassin à flot et une retenue placée en amont du bassin. Les chasses de la retenue et du bassin servaient à entretenir l'avant-port et à repousser le galet qui tendait à barrer le chenal de l'ouest vers l'est. A l'entrée du port, le fond se trouvait généralement à 0^m,50 environ au-dessus du niveau des basses mers de vive eau.

En 1844, une Commission spéciale, présidée par l'amiral Byam-Martin, désigna la baie de Douvres comme le point le plus favorable de la côte sud-est d'Angleterre pour la création d'un grand port de refuge ou rade couverte, susceptible de recevoir, non seulement les grands navires de commerce, mais encore les vaisseaux de la Marine militaire.

De nombreux projets ont été successivement proposés et discutés; on peut les classer en deux catégories: dans ceux de la première catégorie, les jetées sont disposées de manière à laisser, soit une seule et large ouverture, soit une série de passes plus étroites dans chacune des branches limitant l'enceinte à l'est et à l'ouest (Pl. XXXIV).

Cette disposition avait pour but, à part les considérations nautiques, de permettre aux courants de marée de circuler librement à travers le port, et de

prévenir ainsi l'accumulation du galet le long des jetées, mais surtout l'envasement à l'intérieur.

Dans le même ordre d'idées, sir John Rennie proposa de construire un breakwater, et, à l'intérieur de celui-ci, deux môles perpendiculaires à la côte pour l'accostage des navires.

Il fut objecté à ces solutions, qu'avec de larges passes aux extrémités est et ouest de l'enceinte, et plus encore avec un simple breakwater, le port resterait exposé aux vents régnants et à la grosse mer, et qu'il n'offrirait pas de sécurité pour les navires, tandis qu'une série de passages étroits ne sauraient maintenir efficacement le courant de marée à travers le port.

Les projets de la seconde catégorie comprennent une enceinte fermée, dont la forme se rapproche de celle du trapèze et qui n'offre qu'une ou deux passes d'entrée, établies dans le môle sud; il en est cependant qui comprennent une seconde passe, moins large, réservée dans la jetée est (Pl. XXXV).

La Commission de 1846, chargée de donner son avis sur les divers projets présentés, redoutait beaucoup moins les effets du mouvement du galet le long de la côte que les dépôts de vase à l'intérieur du port. Voici comment elle s'exprimait sur ces questions capitales :

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

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

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

« Les expériences faites à la demande de la Commission de 1844, pour déterminer la quantité de vase en suspension dans l'eau de la baie de Douvres, ont eu lieu de février à septembre 1845.

« Peu de ports échappent à l'inconvénient des dépôts, et, si la possibilité d'un envasement devait être une objection à la création des ports artificiels, il faudrait renoncer à en créer en un point quelconque des côtes de l'Angleterre.

Nous ne voulons donc pas poursuivre l'impossible, puisqu'il arrivera toujours que la plus grande partie des matières en suspension dans l'eau entrant dans un port, se déposera avec plus ou moins de rapidité suivant le plus ou moins de calme du port, et qu'une portion seulement des matières légères, susceptibles de rester en suspension, sera entraînée en dehors par le jusant. "

Dans l'opinion de la Commission de 1846, le moyen le plus efficace pour prévenir l'envasement intérieur, consiste à n'admettre dans le port que la quantité d'eau strictement nécessaire pour y maintenir le niveau, sans provoquer un courant sensible à l'intérieur. Pour ce motif, elle était d'avis qu'aucune ouverture ne devait être laissée dans les branches est et ouest de la digue, mais que la tendance au dépôt des vases, et aussi la marche du galet, exigent que les passes d'entrée ne soient placées que sur le côté sud, dans le sens direct du courant de marée; deux passes de 700 pieds (213 mètres) chacune lui paraissaient suffisantes à cet effet, et elle considère cette largeur comme assez grande pour permettre l'entrée et la sortie des navires.

La Commission de 1846 termine l'examen de la question de l'envasement intérieur en disant :

" La tendance au dépôt par diffusion, provenant de ce que l'eau plus chargée à l'extérieur tend à rétablir l'équilibre avec l'eau moins chargée de l'intérieur, ne doit pas être négligée, bien que nous soyons d'avis que ce dépôt ne présentera pas grande importance.

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

A la suite de ce rapport, on commença, en 1847, la construction de la jetée ouest, dite *de l'Amirauté*. Cette jetée part de l'ancien épi, appelé Cheesmans'head, situé à l'ouest du chenal, et présente deux alignements droits dirigés respectivement vers le S. E. $\frac{1}{4}$ S. et le S. E. $\frac{1}{4}$ E; elle a une longueur totale d'environ 650 mètres, et se termine par une partie recourbée vers l'E. N. E. dans les fonds de 12 mètres de profondeur.

La forme adoptée pour le corps de la jetée est celle d'une muraille à peu près verticale, dont le parement régulier descend jusqu'au fond de la mer; tout le massif se compose, sauf la partie située près du couronnement, de blocs ayant la forme d'un parallépipède droit; ceux du parement sont en pierres dures naturelles, ceux de l'intérieur sont artificiels⁽¹⁾.

(1) Voir annexe II.

La jetée de l'Amirauté est construite sur sa longueur actuelle depuis 1865.

Voyons quelle influence elle a exercé sur la marche du galet le long du rivage et sur la situation du port de Douvres.

En 1873, la perte du galet dans la baie de Sainte-Marguerite fut l'objet d'une pétition de la part des propriétaires des maisons situées sur le rivage, qui attribuaient l'amaigrissement de la plage au " changement causé dans l'action des courants, par l'extension du môle de Douvres. "

La cour de Commerce chargea alors sir John Coode d'examiner la question et de faire toutes les recherches nécessaires. Cet ingénieur constata que le galet diminuait en effet dans la baie de Sainte-Marguerite, et il signala dans son rapport une série de faits intéressants, dont voici les principaux :

D'après les témoignages des plongeurs ayant travaillé depuis de longues années au môle de Douvres, le galet ne s'est jamais accumulé contre cet ouvrage sous la marée basse et ne s'y est jamais déplacé le long du sol.

Des plans dressés en 1847 prouvent qu'il y a eu perte sur les berges à l'ouest du môle de 1847 à 1873. L'estran a été si complètement dénudé de galet au pied du rocher Shakespeare, que deux éboulements assez considérables ont eu lieu en cet endroit au commencement de 1873 ; l'un d'eux a entraîné une partie du mur de revêtement existant à l'entrée du tunnel du chemin de fer de la compagnie du South-Eastern.

Vis-à-vis de la station de Lydden Spout, qui se trouve à deux milles et demi environ dans l'ouest de Douvres, la côte s'appauvrit également d'une manière notable ; les mêmes effets se constatent en divers points situés au delà de Folkestone, et notamment près de Sandgate et de Hythe.

Immédiatement à l'ouest de la jetée du port de Folkestone, il se produit au contraire une accumulation de galets. Depuis 1856, époque de la construction de cet ouvrage, jusqu'en 1873, la côte s'est avancée d'environ 120 pieds sur une longueur de 500 pieds. L'accroissement a surtout été rapide au début ; au bout des 7 premières années, il était de 90 pieds.

A la suite de cette enquête, sir John Coode conclut que la diminution du galet dans la baie de Sainte-Marguerite n'a pas été causée par l'extension du môle de l'Amirauté, et dit à ce sujet :

" Pour rencontrer des arguments qui seront probablement invoqués à l'effet de démontrer que le nouveau môle à Douvres a produit une diminution de galet sur les berges de cette localité, en détournant les courants de marée, je puis dire, après avoir consacré beaucoup de temps et d'attention à cette question dans les différentes parties de la côte du royaume, que les mouvements du galet

ne sont que fort peu influencés par les courants de marée dans certaines circonstances et que, dans la grande majorité des cas, ils ne le sont pas du tout; or, il n'y a rien dans les conditions de la côte de Douvres pour former une exception à cette règle.

« Que l'arrêt du galet occasionné par la construction de la jetée et des travaux de la compagnie de chemin de fer à Folkestone, soit intervenu, mais dans un degré comparativement limité, dans la diminution des amas de galets observée à l'est de ce port, est, je pense, hors de doute; mais en présence des faits établis concernant la diminution du galet à l'ouest de Folkestone, près de Sandgate, de Hythe, etc., il est évident que la cause doit se trouver ailleurs; et, après un examen soigneux de tous les faits se rattachant à la question, je suis arrivé à la conclusion que cela est dû à la forte accumulation du galet à Dungeness et à la saillie qui en est résultée en cet endroit de la côte. Afin d'obtenir une indication exacte des circonstances, j'ai analysé les documents que j'ai pu me procurer à Trinity-House et j'en ai déduit les faits suivants : que depuis l'année 1792 jusqu'en 1850, la pointe de Dungeness s'est avancée dans la mer de 530 pieds, soit en moyenne de 9 pieds par an, tandis que de 1850 à 1871, l'avancement était de 280 pieds, soit d'environ de 13 à 14 pieds en moyenne par an. La ligne du rivage, sur une petite distance au nord de la pointe et sur une distance considérable à l'ouest, s'est avancée dans la mer à un degré correspondant, et cet arrêt à Dungeness, par suite de causes naturelles, d'une grande masse de galets, augmentant progressivement, explique l'appauvrissement de la côte à l'est de cet endroit.

« Pour corroborer cette conclusion, M. Druce, Ingénieur du port de Douvres, m'informe que, pendant de fréquentes visites qu'il a eu l'occasion de faire aux travaux de Rye-Havres (à environ 9 milles à l'ouest de Dungeness) pendant les 15 dernières années, il a remarqué que l'accumulation du galet en ce point a été considérable et s'est augmentée graduellement, d'où il paraît résulter que l'influence de l'avancement de Dungeness se fait sentir à une grande distance à l'ouest. La circonstance que l'effet produit en cet endroit a été directement contraire à celui qui se produit à l'est, avec la seule exception observée à Folkestone et dont il a été fait mention ci-dessus, n'est qu'une confirmation plus forte de la conclusion à laquelle je suis arrivé, à savoir, que la diminution du galet, non seulement dans la baie de Sainte-Marguerite, mais aussi le long de la côte à l'est et à l'ouest de Douvres, n'est pas due au môle de l'Amirauté, mais surtout à des causes naturelles opérant à Dungeness et près de cette pointe. »

La construction de la jetée de l'Amirauté n'a donc pas eu grande influence

sur le mouvement du galet le long de la côte de Douvres ; l'effet de la pointe de Dungeness prédomine et intervient comme le principal élément dans le régime du galet en cette partie du littoral anglais.

Ce môle préserve actuellement le port de Douvres des galets qui se déplacent, par des vents S.O. surtout, à l'est de Folkestone ; la quantité de galets provenant d'une étendue de plage aussi limitée, est relativement peu importante, mais lorsqu'elle s'accumulait près du chenal de Douvres, qui ne forme qu'une issue restreinte à travers l'estran, elle y causait des embarras sérieux. Dès que le môle de l'Amirauté fut construit, les galets déposés à l'entrée ont été entraînés vers l'est sous l'action des lames et n'ont plus été remplacés ; on a creusé le banc de craie mis ainsi à nu à l'extrémité et en aval de la tête des jetées, et l'on a supprimé les chasses.

Depuis l'existence de la nouvelle jetée, les dépôts annuels de vase à l'intérieur du port paraissent avoir diminué également ; mais ce fait peut s'expliquer par cette circonstance que les eaux des égouts, qui se déversaient primitivement dans le port, se déchargent actuellement à l'ouest du môle. Dans l'opinion de M. Druce, la diminution de l'envasement peut provenir aussi de ce que les eaux amenées par le flot, avant de passer devant l'entrée du chenal, doivent contourner le musoir de la jetée et sont moins chargées que si elles circulaient librement le long de la côte.

Quoi qu'il en soit, il ne serait pas possible de juger, d'après les effets observés au port de Douvres depuis la construction de la jetée de l'Amirauté, quel résultat on obtiendrait sous le rapport de l'ensablement et de l'envasement, si l'on y établissait une rade fermée.

Aujourd'hui les courants, après avoir contourné le môle, produisent à l'est du port, des remous et des contre-courants qui attaquent la berge et occasionnent des dépôts en certains endroits de la baie. Mais ces déplacements d'alluvions n'auraient certainement pas lieu de la même manière, dans le cas d'une enceinte fermée.

Sir John Hawkshaw fut chargé en 1873, par le Gouvernement anglais, d'étudier un nouveau projet, de concert avec le Colonel sir Andrew Clarke ; il proposa la disposition indiquée pl. XXXV, et exprima l'avis que, dans ces conditions, les passes du large resteraient libres, comme la tête de la jetée de l'Amirauté est libre actuellement, et que les dépôts qui se sont faits à l'est de cet ouvrage sous l'action des remous, ne pourraient se produire qu'en dehors de l'enceinte, en des endroits où ils ne peuvent pas nuire à la navigation.

L'intérieur de l'enceinte serait sans aucun doute exposé aux envasements,

mais les eaux qui circulent dans la rade de Douvres ne sont pas fort chargées ; d'après les expériences du capitaine Washington, les matières qu'elles tiennent en suspension, si elles se déposaient complètement, ne donneraient qu'un dépôt de vase solide de 0^m,0762 d'épaisseur par an.

Nous croyons que ce chiffre est trop faible ; l'erreur provient sans doute de l'hypothèse qui a été faite au sujet du volume de remplissage du port, car quelle que soit la disposition de la passe d'entrée, il est impossible de n'admettre dans une enceinte en libre communication avec la mer que le volume d'eau strictement nécessaire pour y maintenir le niveau, ainsi que le recommandait la commission de 1846. Pendant la montée de la marée, les eaux qui y pénètrent graduellement en sortent sans cesse en partie, et la masse liquide totale qui y provoque des dépôts est bien plus grande que celle correspondant à la capacité de l'enceinte.

Il n'en est pas moins vrai que dans la baie de Douvres, les eaux sont relativement claires, et que les apports vaseux qu'elles occasionneraient dans un vaste avant-port ne seraient très probablement pas assez grands, pour qu'on ne puisse les enlever sans difficulté par dragage.

Le projet de construire un nouveau port à Douvres, abandonné depuis l'achèvement du pier de l'Amirauté, a été repris récemment et mis à exécution. Mais d'après le plan adopté, l'enceinte n'aura qu'une superficie de 56 acres (22 1/2 hectares). Elle sera formée au moyen d'une nouvelle jetée, qui prendra son origine à 490 mètres au nord de la jetée de l'Amirauté et aura 842 mètres de longueur jusqu'au musoir. (Pl. XXXIV).

Plus tard, cette dernière jetée sera complétée par une branche en retour, de façon à laisser une entrée de 450 pieds (137 mètres). On construira en outre à l'intérieur de l'enceinte, immédiatement à l'ouest de l'entrée de l'ancien port, deux môles destinés à l'accostage des paquebots-poste des lignes Calais-Douvres et Ostende-Douvres. Aujourd'hui ces bâtiments accostent au pier de l'Amirauté, où sont aménagés quatre postes, dont deux du côté est et deux du côté opposé ; les paquebots utilisent l'un ou l'autre de ces postes suivant la direction du vent, et non sans éprouver en mauvais temps de sérieuses difficultés.

Port de Boulogne. — La côte française, dans l'étendue comprise entre les estuaires des rivières la Somme, l'Authie et la Canche, est plate et encombrée de sables ; mais à partir d'Equihen jusqu'au cap Gris-Nez, on rencontre de hautes falaises, dont les bancs marneux ou calcaires appartiennent aux étages kimméridgien et portlandien. Ces falaises s'étendent du nord au sud jusqu'à la hauteur du cap d'Alpreck, situé à 2 milles environ au sud de Boulogne, puis elles se dirigent à

l'est, décrivent une courbe concave vers la mer et se rapprochent de nouveau du méridien d'Alpreck, près du cap Gris-Nez. Sous l'action de la mer et des gelées, elles subissent des érosions lentes, mais continues, qui leur ont donné une forme très irrégulière, à cause de la résistance différente des couches dont elles sont composées ; les parties les plus dures constituent une série de pointes saillantes ou caps, tandis que les roches plus tendres se creusent et forment des anses intermédiaires.

Le port de Boulogne se trouve au fond du rentrant qui sépare deux de ces pointes : la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche.

A une distance de 1 mille $\frac{1}{2}$ ou 2 milles au large de la ligne des falaises, s'étend le banc de sable, appelé *la Bassure de Baas*, d'une longueur de plus de 12 milles, dirigé à peu près N. $\frac{1}{4}$ N.E. ; il prend son origine un peu au nord d'Ambleteuse, à 4 kilomètres de la côte, et s'en éloigne jusqu'à 10^{km},3 par le travers de Dannes ; ses parties les plus élevées se trouvent de 4 à 5 mètres au-dessous du niveau des plus basses mers ; à la hauteur de Boulogne, le banc s'abaisse ; il y présente plus de 10 mètres d'eau à marée basse. Les fonds avoisinants, au large et entre la Bassure et la côte, ont en moyenne 17 à 20 mètres de profondeur.

La plus grande vitesse du courant de flot devant Boulogne, à 4 ou 5 milles au large, est de 1^m,50, et celle du courant de jusant, de 1^m,35 par seconde.

Au cap Gris-Nez, ces vitesses sont plus considérables ; elles atteignent, pour le courant de flot 2^m,05, et pour le courant de jusant 2 mètres par seconde. Les maxima se produisent respectivement environ trois quarts d'heure ou une heure après le moment de la pleine mer et après celui de la basse mer. Ils correspondent aux marées de vive eau et sont moindres en morte eau. Le courant de flot porte vers le N.N.E., et le courant de jusant vers le S.S.O., au moment de leur plus grande vitesse.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau ordinaires, au port de Boulogne, est de 7^m,86 ; en morte eau, elle est en moyenne de 4^m,42 (1).

Les courants de marée qui circulent entre la Bassure de Baas et la côte, sont assez intenses pour n'y laisser aucun dépôt de sable sur environ 1 mille $\frac{1}{2}$ de largeur moyenne à partir du pied intérieur du banc ; au droit du cap d'Alpreck et de la partie de falaises qui se prolonge jusqu'à 2 milles environ au sud de ce cap, cette zone, à fond dur d'argile et de pierre, s'étend jusqu'aux roches situées au pied du rivage. Mais, par suite de l'élargissement résultant de la concavité de la côte dans le nord du cap d'Alpreck, la vitesse du courant

(1) *Ports maritimes de la France*, Notice de M. l'Ingénieur VIVENOT.

près de terre diminue devant Boulogne et l'on y rencontre, de part et d'autre du port, des plages sablonneuses. Le sable de ces plages ne présente toutefois qu'une épaisseur relativement faible, qui diminue de plus en plus à mesure qu'on descend vers les fonds de 6 à 7 mètres sous marée basse, et on n'en trouve plus dans les fonds de 7 à 8 mètres.

MM. Stœklin et Laroche, en parlant du nouveau port de Boulogne⁽¹⁾ comparent l'action des courants qui se propagent entre la Bassure de Baas et le rivage, à celle d'un grand fleuve, dont la rive concave, formée par la côte du Boulonnais, aurait été fixée au moyen de deux grands épis, la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche.

Ces ingénieurs font valoir, à l'appui de cette théorie, une série de considérations qui font connaître en même temps le régime des fonds sous-marins de ces parages maritimes, et que nous reproduirons en partie :

« Le cap de l'Heurt et la pointe de la Crèche sont accores ; le fond du lit laisse voir partout le sol naturel ; le talus de la plage est brisé en plusieurs points, surtout vers la profondeur de 7 à 8 mètres, où l'on retrouve, en haut, le talus du lit majeur avec une inclinaison descendant jusqu'à 1 ou 2 millimètres par mètre, et, en bas, le talus du lit mineur avec une inclinaison dix ou quinze fois plus forte, et qui va, en certains points, jusqu'à 7 ou 8 centimètres. A la suite des épis se trouve un rentrant, et, comme le courant va alternativement dans chaque sens, le rentrant existe de chaque côté de l'épi, et il en résulte, vers le milieu, un renflement relatif.

« Les courbes de niveau se pressent autour des caps, autour de la pointe de l'Heurt surtout ; les eaux gonflées en amont se partagent ; les unes coulent entre la Bassure et la terre ; les autres se déversent vers le large, et produisent ainsi cette dépression que M. Ploix a constatée en ce point de la Bassure.

« Sur l'estran, les courants se font également sentir ; mais leur action est modifiée par l'action des lames, qui prend ici la prépondérance. L'action des lames a pour effet de corroder les couches d'argile et de tuf, et de niveler ensuite avec du sable les creux qui se produisent entre les bancs de roches. Mais, malgré la présence de ce sable, la plage de Boulogne est loin d'être ce qu'on appelle une plage de sable ; quand on la suit entre la pointe de l'Heurt et celle de la Crèche, on rencontre, à chaque pas, des arêtes de roche ou de tuf, et les forages exécutés par M. Legros, en 1872, autorisent à penser, que la chemise de sable n'a nulle part une épaisseur supérieure à 2 mètres.

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

« Si l'on pouvait enlever cette chemise, on retrouverait partout la falaise, se comportant sous l'eau comme elle se montre au-dessus, et produisant, par suite des couches très différentes dont elle est formée, les plateaux signalés par M. Ploix, et les irrégularités que l'on rencontre dans les fonds, et qu'il serait absolument impossible d'expliquer avec une plage de sable.

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

Les considérations qui précèdent ont décidé MM. Stœklin et Laroche à proposer pour Boulogne la construction d'un port en eau profonde, formé au moyen de jetées pleines et englobant l'entrée du port actuel⁽¹⁾.

D'après le plan adopté en 1878, la jetée du large était tracée à peu près parallèlement à la ligne du courant de flot et sur le bord du talus, dont les courbes de 6 à 8 mètres forment la crête (Pl. XXXV). D'une longueur de 1400 mètres, elle devait présenter vers le milieu une passe d'entrée de 250 mètres de largeur. La jetée sud-ouest, de 1350 mètres de longueur, se reliait à la rive sous un angle de 70°; celle du nord-est était projetée en prolongement de la jetée nord-est du port existant et suivant une ligne légèrement concave; elle

(1) Le port actuel ou port intérieur comprend un chenal de 70 mètres de largeur, bordé de jetées à claire-voie avec encoffrements, un avant-port conduisant d'un côté vers l'écluse d'entrée du bassin à flot, et de l'autre vers le bassin de marée, ainsi qu'un réservoir de retenue, formé par l'élargissement du lit de la Liane et par l'arrière-bassin. Ce dernier bassin est desservi par une écluse comprenant deux pertuis de chasse et un pertuis de navigation.

La passe extérieure du port a été creusée, à travers des dépôts de sable, à 4^m,50 sous le niveau des plus basses mers, au moyen de dragues à aspiration. Dans le chenal intérieur, l'avant-port et le bassin de marée, dont le fond est formé de marne compacte comprenant des bancs de grès plus ou moins calcaire, on a employé la drague à godets; la profondeur obtenue y est aujourd'hui de 2 mètres environ sous le niveau précité, et elle sera prochainement portée à 3^m,75. Le long du nouveau quai Chanzy, établi dans le bassin de marée, il sera maintenu une fosse à flot sur 145 mètres de longueur.

s'avançait jusqu'à une distance de 1410 mètres de la côte, de manière à laisser entre son extrémité et le musoir nord de la digue du large, une passe de 150 mètres, orientée vers le N. N. O.

L'enceinte ainsi formée aurait eu une surface de 300 hectares environ, dont 65 avaient naturellement 5 à 8 mètres d'eau par les plus basses mers, et dont 80 hectares devaient être dragués à la profondeur de 5^m,00; 100 hectares étaient réservés le long de la côte pour être remblayés ou occupés par de nouveaux bassins. Une traverse de 400 mètres de longueur sur 200 mètres de largeur à construire perpendiculairement à la limite de la surface réservée au fond du port, permettrait l'accostage des paquebots à toute heure de la marée.

Examinant d'abord le projet au point de vue de l'ensablement des passes, MM. Stœcklin et Laroche faisaient remarquer que le port, dans les conditions où il devait être placé, constituerait une sorte de cap intermédiaire entre la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche, et que l'on ne voit par conséquent aucune raison pour qu'il ne soit pas plutôt affouillé qu'ensablé du côté du large, comme le sont les caps naturels existants. Pour mieux assurer l'entraînement du sable au delà des passes d'entrée, la digue du large était tracée suivant une direction à peu près parallèle à celle du courant de flot; la petite différence entre ces deux directions paraissait devoir donner lieu à une composante normale, de manière que le courant aurait non seulement eu une tendance à suivre la jetée, mais même à l'affouiller.

Quant aux mouvements de sable qui auraient eu lieu dans le voisinage de l'enceinte, ils auraient probablement provoqué certains relèvements de la plage près des jetées, mais ces relèvements n'auraient pu atteindre une grande hauteur, ni compromettre l'existence du port; l'agitation de la mer devant Boulogne étant très grande, les vagues en se précipitant pendant les tempêtes dans les angles extérieurs compris entre les môles et la dune, auraient emporté au large une grande partie des sables apportés pendant les temps calmes.

L'ensablement des passes du port projeté n'était donc guère à craindre. Mais la disposition de ces passes ne semblait pas heureuse au point de vue nautique; sur une côte aussi peu abritée que celle de Boulogne, la mer aurait certainement occasionné, par les gros temps, une eau fort tumultueuse le long de la digue du large, et créé ainsi de sérieux embarras à l'entrée de l'enceinte. Aussi a-t-il été question de ne conserver que la passe prévue à l'extrémité de la jetée nord-est, et de la protéger par un prolongement convenablement orienté de celle du large.

Ce qui semble avoir préoccupé le plus les ingénieurs français, ce sont les

dépôts que les eaux de la mer et celles de la Liane auraient produits à l'intérieur du port, par suite du calme relatif et de l'absence de circulation qu'elles devaient y éprouver.

Pour juger de l'importance probable de ces dépôts, M. Ploix a procédé à une série d'expériences, dans le but de déterminer les quantités de sable et de vase que les eaux de la mer, en mouvement devant Boulogne, tenaient en suspension; il a trouvé qu'en temps calme ou presque calme, il y avait, en moyenne, par mètre cube d'eau de mer, 1,5 gr. de sable, correspondant aux $\frac{3}{4}$ d'un centimètre cube, et 11 grammes de vase; par une mer très agitée, 1 mètre cube d'eau recueillie entre les jetées, contenait 91 grammes de sable et 259 grammes de vase, soit 60 fois plus de sable et 25 fois plus de vase. M. Ploix a fait ensuite l'évaluation de ce qui se déposerait annuellement de sable dans le port projeté par l'effet de la marée, en tenant compte, d'après le relevé des observations de vent faites pendant 5 ans, du nombre de jours pendant lesquels la mer est respectivement calme, agitée ou dans un état intermédiaire, et en admettant, en outre, que la moitié seulement de l'étendue de l'enceinte serait soustraite à l'action des courants et des vagues; d'après cette évaluation, le cube total de sable apporté chaque année dans le port, ne dépasserait pas 37,000 mètres.

Mais M. Ploix ajoute qu'il ne veut en aucune façon réputer comme exactes les données et les hypothèses admises comme base de ses calculs, et qu'il est impossible de savoir dans quelles limites elles représentent la vérité; que d'un autre côté, il n'a pas compté les vases qui entrent pour une part bien plus considérable dans les dépôts constatés par ces expériences, et dont une certaine portion se serait déposée dans les endroits les plus abrités du port⁽¹⁾.

MM. Stœklin et Laroche, dans leur rapport précité, reconnaissent également qu'il était difficile de prévoir la quantité des dépôts qui se seraient formés à l'intérieur du port, mais ils apprécient la question d'une manière un peu différente :

Ces ingénieurs ne redoutent pas l'entraînement, dans l'enceinte, des sables lourds. Ces sables, chassés par le courant longitudinal, suivraient la direction de ce dernier en roulant sur le fond, et ils ne pourraient que difficilement remonter le talus assez raide qui se trouve devant les passes projetées; une certaine quantité aurait peut-être été refoulée à l'intérieur des jetées, sous l'action des courants et des vagues, pour se déposer près de l'entrée ou derrière l'extrémité du tronçon nord de la jetée du large; il est probable cependant que les courants d'émission, eu égard à la grande amplitude de la marée et à l'étendue

(1) E. PLOIX. *Recherches hydrographiques sur le régime des côtes*. Septième cahier.

considérable du port, auraient été assez puissants pour ramener la majeure partie de ces dépôts vers le large.

En ce qui concerne les sables fins, comme les entrées du nouveau port devaient être situées dans des profondeurs de 7 à 8 mètres par basse mer, et, qu'à cette distance, le fond ne subit plus guère l'action des lames, MM. Stœklin et Laroche admettaient que la quantité entraînée dans l'enceinte aurait eu peu d'importance et se serait réduite aux sables qui, soutenus par de la vase, peuvent se maintenir longtemps en suspension et être emportés à de grandes distances.

Restent les vases provenant soit de la mer, soit des eaux de la Liane ou des égouts. Les auteurs du projet font observer que l'on ne rencontre nulle part, sur les plages de Boulogne, des traces de dépôts de cette nature, bien que la falaise et le sol naturel de l'estran soient formés, en grande partie, de couches d'argile et que cette plage reçoive les matières provenant des eaux précitées. Ils en concluent que la mer doit apporter peu de vase; quant à la Liane et aux égouts, il est rationnel d'admettre que les matières lourdes qu'ils charrient, se déposent dans leur partie supérieure; en arrivant dans le port actuel, leurs eaux abandonnent une nouvelle quantité des matières entraînées et ne contiennent plus, en sortant de celui-ci, que les sables et les vases fines. Et, comme l'enceinte du nouveau port aurait eu une étendue fort grande et des eaux plus ou moins agitées, une partie seulement de ces vases serait précipitée sur le fond.

MM. Stœklin et Laroche faisaient observer enfin que, sous le rapport des dépôts à craindre, la situation de Boulogne ressemble beaucoup à celle de Douvres, et ils croyaient pouvoir évaluer l'importance de l'envasement probable du port de Boulogne, en se basant sur le résultat des expériences qui ont été faites, en 1845, par le capitaine Washington, pour déterminer la quantité des matières en suspension dans les eaux de la rade de Douvres.

D'après ces expériences, on se le rappelle, la couche des dépôts dans une enceinte comme celle qui avait été projetée à Douvres, ne dépasserait pas une épaisseur de 0^m,0762 de vase solide par an, si toutes les matières en suspension dans l'eau se déposaient. MM. Stœklin et Laroche estimaient que pour Boulogne, on pouvait adopter comme un maximum la moitié de ce chiffre, soit 380 mètres cubes d'apports par an et par hectare; mais nous croyons que ce que nous avons dit à ce propos, en parlant du port de Douvres, est applicable au cas actuel, et que les envasements auraient été bien plus rapides. Ils n'auraient toutefois pas atteint des proportions considérables, parce que devant Boulogne, comme devant Douvres, la quantité de matières en suspension dans l'eau de la mer est relativement faible.

Les travaux du port de Boulogne ont commencé en 1879 par la construction de la digue sud-ouest et de la branche sud de la digue du large; ces deux digues ne constituent en réalité qu'une seule et même jetée, dont les deux alignements sont raccordés par un arc de cercle de 350 mètres de rayon et 360 mètres de développement. Elle prend son origine au rivage à 1,750 mètres environ au sud de l'entrée du port intérieur et s'étend sur une longueur totale de 2,120 mètres, dont 495 mètres pour la partie située du côté du large. (Pl. XXXV).

La digue se compose d'un massif en enrochements naturels et artificiels, comprenant un noyau en moëllons d'un poids moyen de 80 kilogrammes, établi sur le fond et dont la face supérieure se trouve à 1 mètre au-dessus du niveau moyen des basses mers de vive eau. Les talus de ce massif sont recouverts, du côté de la rade, par une couche, de 2^m,50 d'épaisseur, en pierres d'enrochements, pesant chacune 500 kilogr. en moyenne; du côté du large, ils sont défendus par une première couche, de 2^m,00 d'épaisseur, en blocs d'un poids moyen de 4 tonnes, et par une couche extérieure de blocs naturels de 8 tonnes en moyenne, sur une longueur de 1,110 mètres à partir de l'origine de la digue; plus loin en mer, cette seconde couche est composée de blocs artificiels en maçonnerie de moëllons et mortier de ciment, pesant environ 33 tonnes chacun⁽¹⁾.

Sur le massif de la digue s'élève une muraille en maçonnerie, comprenant une fondation de 9 mètres de largeur et 2^m,00 d'épaisseur, et le mur proprement dit, qui a la forme d'un trapèze dont la hauteur varie de 6^m,90 à 7^m,25, avec une largeur de 6^m,00 en couronne et des parements offrant 0,121 de fruit. Ce mur, dont l'épaisseur diminue vers le rivage, est surmonté d'un parapet également en maçonnerie de 1^m,40 de hauteur et 2^m,00 d'épaisseur.

Le pied de la muraille est protégé au moyen d'une risberme en maçonnerie, formée de blocs isolés jointifs placés sur la plate-forme de fondation. C'est sur cette risberme que s'opère le service du transport des matériaux à marée basse.

A la partie courbe du môle, là où cet ouvrage est le plus exposé aux tempêtes de l'ouest et du sud-ouest, le talus, du côté du large, a été renforcé par des couches superposées de blocs en béton.

Depuis 1889, date de l'achèvement de la digue sud-ouest, les travaux du nouveau port de Boulogne sont ajournés.

Dans la situation actuelle, cette digue protège l'entrée du port intérieur contre les vents du sud-ouest, qui sont les vents régnants et dominants, et en partie contre ceux de l'ouest; elle a provoqué en outre une déviation du courant de flot,

(¹) Voir annexe II.

qui était primitivement fort intense devant la tête des jetées du chenal, tandis que maintenant, il n'y produit qu'un simple courant de remou du N. au S., soit dans le même sens que le jusant; il en résulte que les grands navires peuvent aujourd'hui, sans difficulté, attaquer le port vers l'heure de marée haute.

Quant à la surface directement abritée par le môle, sur 400 mètres environ du nord au sud et 300 mètres de l'ouest à l'est, elle a été creusée à 7^m,00, et en partie à 8^m,00 sous le niveau des basses mers de vive eau, au moyen de trois dragues à aspiration, et elle sera, par la suite, maintenue à cette cote. Mais ainsi qu'on devait s'y attendre, il se forme dans les parties profondes de la rade des dépôts de vase, surtout dans l'angle M du môle, où les courants de marée produisent des tourbillonnements, le courant de flot surtout, qui après avoir contourné l'extrémité de la digue et avoir circulé devant l'entrée du port intérieur, parcourt ensuite un certain circuit dans cet angle, pour s'épanouir enfin vers le nord. Ces dépôts seront enlevés à l'aide d'une puissante drague à godets, qui servira en même temps à l'entretien du port intérieur.

Quant aux modifications que la construction de la digue a apportées à la plage, elles se réduisent à un certain ensablement dans l'angle extérieur formé par cet ouvrage avec la côte; cet ensablement a provoqué un exhaussement notable de la partie supérieure de l'estran, mais qui n'a point influé d'une manière apparente sur l'état des fonds situés devant la partie de la jetée parallèle à la côte.

Par des houles de l'O. au S.O., les steamers peuvent faire escale à Boulogne à l'abri de la nouvelle digue, où ils s'affourchent au besoin sur des bouées d'appareillage, et effectuent leurs opérations d'embarquement et de débarquement au moyen de chalands remorqués. Mais par les gros temps, le stationnement des navires dans cette rade nous paraît dangereux, d'autant plus qu'on a toujours les sautes de vent à craindre; or dès qu'il vente avec force du N.O. et surtout du N. au N.E., l'agitation dans la rade doit être très forte, quoique à Boulogne ces vents soient atténués en partie par le cap Gris-Nez et bien moins intenses que ceux du sud-ouest et de l'ouest.

Port de Madras. — Le port de Madras construit dans ces dernières années sur la côte des Indes, comprend, comme celui projeté à Boulogne, une enceinte entourée de môles pleins.

Devant Madras, la côte est sablonneuse. Les vents qui y règnent sont ceux des moussons du N.E. et du S.O., soufflant périodiquement, les premiers du mois de novembre au mois d'avril, les seconds du mois de mai au mois d'octobre. Il se produit parfois dans ces parages des cyclones, pendant lesquels le vent souffle généralement du côté nord et soulève une mer fort impétueuse devant le port.

L'amplitude de la marée varie de 0^m,60 à 0^m,90.

Pendant le mousson du N.E., les vagues se dirigent obliquement vers la côte de Madras et produisent, le long de la plage, des transports de sable vers le sud; pendant le mousson du S.O., ils donnent lieu à des transports en sens inverse, mais qui sont plus actifs que les premiers⁽¹⁾.

Jusqu'en 1875, il n'existait devant Madras qu'une simple jetée, formée de pieux à vis en fer; elle servait à faciliter le déchargement des passagers et des marchandises, qui s'opérait au moyen de bateaux spécialement construits à cet effet, non sans de grandes difficultés et parfois du danger.

Divers projets ont été présentés pour améliorer cette situation; les uns consistaient, en principe, dans la construction d'un breakwater établi parallèlement et à une certaine distance de la côte; les autres en une enceinte fermée.

On redoutait beaucoup que la construction d'une enceinte, comprise entre des môles partant du rivage et interceptant complètement le mouvement des sables de la plage, aurait provoqué un avancement rapide de celle-ci et qui aurait finalement compromis la passe d'entrée du port. M. l'ingénieur Parkes cependant, était d'avis qu'en prolongeant les jetées jusque dans les profondeurs de 14^m,00, le danger d'ensablement était bien moins à craindre qu'on ne le supposait, et qu'il aurait fallu tout au moins un fort grand nombre d'années avant que l'extension de la plage ait pu atteindre la tête de ces ouvrages. C'est le projet de cet ingénieur qui fut adopté; les travaux, commencés en 1876, étaient achevés en 1881.

Le port est formé de deux môles pleins, distants de 900 mètres à leur enracinement et s'avancant en mer perpendiculairement à la côte, à une distance qui mesure également 900 mètres; ces môles se recourbent ensuite l'un vers l'autre sous un angle de 70° avec leur direction primitive. L'entrée a 170 mètres de largeur entre les musoirs et correspond à l'axe de l'enceinte, qui occupe une surface d'environ 90 hectares. (Pl. XXXVI, fig. 8).

Les môles sont composés d'un mur vertical, formé d'une double rangée de gros blocs artificiels, pesant 30 tonnes environ chacun et reposant sur un massif en enrochements. Mais lors du cyclone qui a passé à Madras le 12 novembre 1881, les parties des môles parallèles au rivage furent fortement endommagées, et ont dû être reconstruites et consolidées considérablement; on a donné une section beaucoup plus grande au massif de fondation en enrochements et on a en outre protégé le mur vertical, du côté de la mer, au moyen de gros blocs artificiels.

(1) VERNON-HARCOURT, *Harbours and Docks*.

Le Havre. — Le port du Havre se trouve à l'entrée et sur la rive nord de l'estuaire de la Seine. Le régime de l'atterrage de ce port est évidemment en connexion directe avec celui de l'estuaire, et comme ce dernier, il est fort complexe. (Pl. XXXVI, fig. 1).

A l'embouchure de la Seine, le phénomène dû à l'interférence des ondes marées venant respectivement de la Manche et de la mer du Nord, a un caractère particulier; l'onde principale de l'ouest s'infléchit et pénètre dans la baie, mais elle produit près de la presqu'île du Cotentin une onde secondaire de déversement, qui longe la côte alluvionnaire et corrodée du Calvados, et donne lieu, par sa rencontre avec la première, à une espèce de grand remou, provoquant les étales prolongées et les courants spéciaux qu'on observe à l'entrée du fleuve. De plus, la baie de la Seine, par sa configuration, favorise la concentration des effets exercés tant par les vents régnants et les lames que par les vents de tempête, lesquels tendent en outre à produire une surélévation et un surcroît de puissance des eaux du flot. C'est sans doute sous l'action de ces agents naturels que s'est formé à la suite des siècles le vaste dépôt qui couvre, sur une grande épaisseur, le fond de l'estuaire et qui se compose essentiellement de sable vaseux sans cohésion. Les courants de marée creusent à travers ce dépôt des chenaux sinueux, variables d'allure et de profondeur, en raison de l'influence exercée par les phénomènes atmosphériques sur les déplacements qui se produisent dans les couches supérieures de cette masse alluvionnaire. Les chenaux sont séparés par deux bancs fixes, les bancs d'Amfard et du Ratier, formés supérieurement de galets.

La baie de la Seine a toujours été sujette à recevoir de la mer des apports considérables; le fait a été constaté par les ingénieurs hydrographes, qui n'ont pas laissé de manifester leur inquiétude au sujet de l'avenir de l'estuaire, et aussi du port du Havre, dont les abords leur paraissaient plus directement exposés.

M. Lavoinne attribue à la houle la cause principale de ces mouvements d'alluvion. Parlant des remblais énormes qui ont eu lieu de 1863 à 1875, ainsi que l'avait signalé M. l'ingénieur hydrographe Estignard, M. Lavoinne fait remarquer que pendant la période précitée, la formation des dépôts à l'intérieur de l'estuaire a été favorisée par la construction des digues, destinées à l'amélioration de la partie aval du cours de la Seine et qui sont prolongées jusqu'à Berville, ainsi que par des circonstances météorologiques ayant accru le volume des matières introduites. Il estime cependant que la réduction ainsi opérée dans la capacité de la baie, ne semble avoir exercé jusqu'à ce jour qu'une très faible influence sur le régime des fonds en aval de la ligne du Hoc-Côte-de-Grâce, soit

que l'on considère la masse des matières déposées, soit que l'on considère la vitesse des courants de jusant (').

Il est à noter d'ailleurs que les dépôts provoqués par les digues dans l'est de l'estuaire, se sont fixés peu à peu, et ont déterminé pour celui-ci une nouvelle situation en rapport avec les modifications apportées par ces ouvrages à la partie aval du fleuve.

M. l'ingénieur Vauthier, qui dans de nombreux écrits des plus remarquables, s'est particulièrement occupé de l'étude du régime de la Seine, arrive à cette conclusion que l'estuaire du fleuve, considéré dans son ensemble, ne reçoit pas d'une manière continue des additions d'alluvion de la mer; il fait ressortir au contraire que depuis les relevés de Beaupré, en 1834, la comparaison des reconnaissances hydrographiques révèle successivement pour ces fonds des relèvements et des abaissements, mais qui ne permettent point de conclure à des excédants progressifs de remblais, ni à des dangers prochains pour le maintien des abords du Havre. " Sans doute, dit M. Vauthier, il existe pour " ces abords une cause réelle d'apports, tenant de la situation générale du " Havre et au gisement de la côte en allant vers le Hoc; car c'est là que se " portaient et se portent les galets enlevés à la Hève, mais dont le mouvement " sera réduit par les travaux de défense exécutés en cette partie corrodée des " falaises. "

Comme M. Lavoigne, cet ingénieur ne craint pas d'influence fâcheuse pour le Havre ni pour Honfleur du prolongement des digues de la Seine, dont l'estuaire régularisé se prêterait mieux à l'action de curage des eaux de marée que l'estuaire actuel; il estime que les nouvelles digues, judicieusement agencées, supprimeraient au contraire la zone de calme existant près du Havre, sous la côte des Neiges, et qui favorise en cet endroit l'accumulation des dépôts. En abaissant d'autre part les seuils qui se trouvent dans la Seine en amont de Tancarville, on augmenterait dans de fortes proportions le volume d'eau refoulé dans celle-ci de la mer, et par conséquent l'énergie des courants qui, au jusant, agissent dans les passes lorsque la profondeur d'eau y est la plus faible, et sont certainement d'une grande efficacité au point de vue de l'amélioration et de l'entretien des fleuves à marée et de leur embouchure.

D'après le tracé indiqué par M. Vauthier, et qui se rapproche assez bien de celui proposé par M. Lavoigne, les digues à construire à l'embouchure de la Seine se raccorderaient à la pointe de Tancarville avec les digues existantes, et elles i raient en s'écartant largement l'une de l'autre le long et en avant des alluvions

(') LAVOIGNE. — *La Seine maritime et son estuaire*

déjà formées près des rives de l'estuaire; celle du nord se terminerait à la digue du nouvel avant-port du Havre, dont le projet a été présenté en 1887 et dont nous parlerons tantôt; celle du sud s'arrêterait à Honfleur (Pl. XXXVI, fig. 4). On réserverait le point de savoir s'il conviendrait de prolonger plus tard cette dernière digue dans la direction du banc du Ratier⁽¹⁾.

M. Mengin a beaucoup étudié à son tour le régime de la Seine et de son estuaire, et dans les savants mémoires qu'il a publiés, cet ingénieur semble partager les idées de M. Vauthier⁽²⁾.

Nous n'avons pas à nous arrêter ici aux questions controversées que les projets d'endiguement de la Seine ont soulevées et qui, jusqu'à présent, ne sont pas encore définitivement tranchées, malgré le grand talent des ingénieurs qui s'en sont occupés et s'en occupent encore. Le problème est d'ailleurs des plus difficiles, d'autant plus que les appréhensions exprimées par les adversaires de l'endiguement de l'estuaire, au sujet des effets à résulter de ces travaux pour les fonds situés aux abords du Havre et de Honfleur, se compliquent des préoccupations de rivalité d'intérêt entre ces derniers ports et celui de Rouen. Nous nous bornerons à citer brièvement les caractères principaux du régime de l'atterrage du Havre.

La grande rade du Havre n'est pas abritée; les bâtiments y sont exposés à la violence des lames et des vents depuis le N. N. E. jusqu'au S. O., en passant par l'ouest. Les navires se tiennent au milieu de ce mouillage à 5 milles environ dans l'O. 1/4 N. O. du cap de la Hève, où l'on trouve de bons fonds d'ancrage (Pl. XXXVI, fig. 1).

La petite rade s'étend près du rivage depuis le cap précité jusqu'au Havre; elle est séparée de la grande rade par une série de hauts-fonds de pierres et de galets, comprenant le banc de l'Eclat et les Hauts de la rade. La terre abrite la petite rade contre les vents du N. N. E., à l'E. S. E., en passant par l'est, mais elle est ouverte à tous les autres, dont ceux du N. N. O. au S. O. soulèvent fréquemment de grosses mers; ce mouillage ne mesure d'ailleurs qu'un kilomètre environ de longueur de l'O. N. O. à l'E. S. E., sur 400 mètres de largeur, et il offre en outre trop peu de profondeur pour permettre aux grands navires d'y stationner. Il est accessible par une première passe s'ouvrant au N. 22° 30' O. et signalée au moyen de bouées, ainsi que par deux autres passes situées

(1) L. VAUTHIER. — *Rapport sur les améliorations dont sont encore susceptibles la Seine maritime et son estuaire.*

L. VAUTHIER. — *Déposition devant la commission des ports et voies navigables de la chambre des Députés dans sa séance du 22 février 1888*

(2) M. MENGIN. — *Mémoire sur la puissance hydraulique des fleuves à marée.*

respectivement au nord et au sud du banc de l'Eclat ; cette dernière est indiquée par l'alignement des deux feux de la Hève ; elle n'a pas plus de 2^m,00 de profondeur à marée basse. Une quatrième passe de 3^m,50 de profondeur, s'étend entre les Hauts du nord et ceux de l'ouest et du sud.

Les grands steamers mouillent ordinairement à l'ouvert du port jusqu'au moment de la pleine mer et prennent la passe du Sud. Comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, le tirant d'eau des bâtiments qui fréquentent le Havre, est limité par la profondeur du plateau existant à une distance d'un mille environ du port et où il ne reste que 2 mètres d'eau aux plus basses mers. Le niveau moyen des hautes marées de vive eau ordinaires se trouve à 7^m,85, et celui des hautes marées de morte eau à 6^m,15 au-dessus du niveau des plus basses mers, mais dans les faibles marées, il ne s'élève souvent qu'à 5^m,90. Une particularité fort avantageuse pour la navigation, c'est que l'étale de pleine mer dure une heure environ, ce qui permet de maintenir les bassins à flot du port ouverts pendant trois heures à chaque marée.

A l'entrée de l'estuaire, le flot commence à se faire sentir surtout du N.O. ; il porte alors au S. 1/4 S.E. dans la petite rade et à l'ouvert du port, au S.E. 1/4 E. entre le banc d'Amford et la plaine de l'Eure, pour tourner ensuite à l'est, direction qu'il affecte aussi entre Amford et le Ratier, tandis qu'au sud de ce dernier banc, il se propage parallèlement à la côte. Une heure environ avant la pleine mer, le courant se renverse devant la Hève, puis devant le Havre, pendant qu'il persiste le long de la côte du Calvados. Ce courant inverse qui se propage entre le banc d'Amford et la rive nord de l'estuaire et qui porte à l'ouest jusqu'au méridien du Havre et au N.O. dans la petite rade, est connu sous le nom de " verhaule " ; il se fait sentir d'une manière intense pendant 40 minutes environ, dont 20 avant et 20 après la haute mer.

Au courant de flot succède une étale assez longue, puis le jusant s'établit en éventail, et tend ensuite à tourner vers l'ouest et le sud-ouest. Vers le Havre, le dernier jusant porte dans la même direction que le premier flot (¹).

La vitesse maximum du flot est de 1^m,15 par seconde dans la petite rade, et de 1^m,70 à l'extrémité des jetées du port. La vitesse maximum du jusant ne dépasse pas 0^m,75 dans la petite rade et 1^m,35 devant le port. Le courant de " verhaule " a une vitesse de 1^m,25 par seconde et plus encore par les grandes marées ; comme il porte en travers de l'entrée du chenal et coïncide avec le plein de la mer, il n'est pas sans occasionner certains embarras aux navires qui attaquent le port.

(¹) BELLEVILLE. — *Monographie du régime hydrographique de la Seine maritime.*

Les vents dominants dans les parages du Havre soufflent du nord au sud, en passant par l'ouest; ceux du nord-ouest soulèvent les plus fortes mers dans la petite rade.

Le port du Havre se compose actuellement d'un chenal de 80 mètres de largeur entre les jetées, d'un avant-port et d'une série de bassins à flot. (Pl. XXXVI, fig. 2). La jetée nord dépasse de plus de 200 mètres le musoir de la jetée sud; l'axe du chenal se raccorde suivant une courbe assez prononcée avec celui de l'avant-port et de l'écluse d'entrée des transatlantiques. Deux brise-lames sont établis en arrière de la jetée Nord, et un troisième se trouve dans le terre-plein formant le prolongement de la jetée sud.

Pendant longtemps, on a eu recours à des chasses pour curer l'avant-port et dégager l'entrée du chenal des galets qui tendaient à l'obstruer. Mais depuis quelques années déjà, la profondeur du port a été portée à 2 mètres sous le niveau des plus basses mers au moyen de dragages et entretenue exclusivement par ce dernier procédé; elle correspond à un mouillage de 9^m,85 aux hautes mers de vive eau et de 8^m,15 aux hautes mers de morte eau ordinaires. Par des marées très faibles cependant, il n'y a parfois pas plus de 7^m,50. Les envasements qui se produisent dans l'avant-port, à la profondeur où il est creusé, atteignent annuellement une épaisseur de 0^m,30 en moyenne, mais ils s'y répartissent inégalement, et affectent surtout la zone centrale. Tandis que la partie du chenal, comprise entre les jetées et où les courants de marée circulent avec beaucoup d'intensité, se maintient bien, des dépôts se produisent en aval de l'extrémité de la jetée sud; ils partent du poulrier sud et se dirigent vers la jetée nord; leur cube atteint annuellement 20,000 m. c. environ⁽¹⁾.

On remarquera que la route que les navires ont à suivre pour parcourir le chenal et entrer au bassin des transatlantiques est sinueuse, et comme les grands bâtiments n'y conservent souvent que peu d'eau sous quille, ils ne peuvent marcher à grande vitesse et ont besoin de l'assistance d'un et quelquefois de deux remorqueurs. Pendant les manœuvres d'évitage des transatlantiques et des navires de fortes dimensions, les mouvements des autres steamers et voiliers sont forcément suspendus. C'est ainsi qu'aux époques où la navigation du port est active, les navires qui doivent entrer ou sortir dans la même marée, n'ont guère le temps d'effectuer leurs opérations, malgré la durée prolongée de l'étalement de haute mer qui caractérise le régime des marées de la baie de la Seine.

Afin de remédier à cette situation, et de parer en même temps aux dangers que l'on redoute des mouvements d'alluvion de l'estuaire pour la conservation

(1) QUINETTE DE ROCHEMONT. *Notice sur le port du Havre.*

de la passe d'accès Sud-Ouest du port, qui est celle fréquentée par tous les grands navires, il a été décidé de créer au Havre une nouvelle entrée.

Disons d'abord quelques mots des divers projets qui ont été mis en avant pour améliorer l'entrée du port, en endiguant la petite rade. Nous citerons ceux de MM. Dubosc, Hersent et Maitrot de Varenne.

M. Dubosc, membre de la Chambre de commerce du Havre, propose d'entourer la petite rade d'une digue pleine, ayant son origine à la jetée nord et suivant à peu près les Hauts de la rade et le banc de l'Eclat; cette digue offrirait deux entrées, l'une s'ouvrant au nord, l'autre au nord-ouest; elles auraient chacune 200 mètres de largeur et seraient séparées par un tronçon à claire-voie; une digue pleine, convexe vers le large, se rattacherait au rivage près de la Hève. Cet avant-port serait alimenté ainsi par les eaux claires que le flot amène du nord-ouest, et on y aménagerait au fond une nouvelle entrée vers les bassins à flot, placée au nord de l'entrée actuelle.

D'après le projet de M. Hersent, le constructeur bien connu, on installerait dans l'estuaire même, vis à vis des fronts de la Floride, un bassin de marée en eau profonde, en communication avec une série de bassins à flot, et on établirait en outre autour de la rade une digue de ceinture. A l'emplacement de la passe des transatlantiques, cet ouvrage offrirait une ouverture de 700 mètres, et plus loin, quatre autres ouvertures encore; vers l'intérieur de l'estuaire et à partir de la passe précitée, un môle plein de 2,000 mètres de longueur abriterait les nouvelles installations à créer au droit des fronts de la Floride; il serait relié par un autre môle à la digue à construire le long de la rive nord de la baie, en vue de l'achèvement du projet d'endiguement de la Seine. Ce dernier môle présenterait deux passes, mais que l'on fermerait plus tard, si elles donnaient lieu à beaucoup d'envasements.

M. Hersent, en laissant de nombreuses ouvertures dans les digues dont il propose d'entourer la petite rade, semble vouloir permettre aux courants qui entrent et qui sortent de l'estuaire, de circuler assez librement dans celle-ci pour prévenir les dépôts.

Le projet de M. Maitrot de Varenne, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, est basé sur un principe différent et qui se rencontre d'ailleurs dans le dispositif de M. Dubosc cité plus haut. Il consiste à endiguer la petite rade en la séparant entièrement de l'estuaire de la Seine, de manière à en assurer le remplissage par les eaux claires qui, pendant le flot, contournent la Hève, et à isoler le mieux possible le Havre des eaux troubles. M. Maitrot placerait l'entrée de la rade endiguée au sud du banc de l'Eclat, et au lieu de

donner, comme M. Hersent, une large ouverture à la passe Sud-Ouest actuelle ; il ne la maintiendrait qu'à titre provisoire, en attendant les effets à résulter des travaux exécutés. Dans ces conditions, M. Maitrot estime que les envasements du port ne seraient guère à craindre ; la vase, en effet, est surtout abondante dans la passe du Sud ; elle l'est beaucoup moins dans celle du milieu, et dans la passe du Nord, il n'entre au flot que des eaux claires. Au jusant, cette dernière passe est parcourue par des eaux chargées de l'estuaire, mais pendant quatre heures après la pleine mer, la région occupée par celles-ci ne dépasse pas une ligne partant du port du Havre et se dirigeant vers l'Ouest-Sud-Ouest. C'est un fait qui a été constaté par M. Lavoinne.

Aucun des projets relatifs à l'endiguement de la petite rade n'a été pris en considération. On n'était pas sans inquiétude au sujet des mouvements d'alluvion que cet endiguement aurait pu occasionner ; d'autre part, les pilotes se prononçaient contre la substitution d'une entrée Nord-Ouest à l'entrée existante du Sud-Ouest, et quant à la passe d'accès du Nord-Ouest, qu'il s'agissait d'améliorer par dragage, ils étaient d'avis que la passe Ouest, située au sud de l'Eclat et où la mer est moins forte que dans l'autre, aurait toujours été préférée.

En 1887, le gouvernement français proposa pour l'amélioration du port du Havre un avant-projet d'ensemble, qui fut adopté par la Chambre des Députés. Il consiste à établir devant les installations actuelles, un vaste avant-port entouré de môles en maçonnerie de blocs artificiels (Pl. XXXVI, fig. 3).

Cet avant-port, d'une superficie de 250 hectares, serait accessible par deux entrées, établies l'une au Nord et l'autre au Sud, ayant respectivement 275 mètres et 150 mètres de largeur. L'entrée principale, celle du Nord, s'ouvrirait au milieu de la petite rade par des fonds de 6 mètres de profondeur à mer basse, à l'abri des atterrissements de la Seine ; elle correspondrait à deux passes : la passe Ouest, située au sud du banc de l'Eclat, et la passe du Sud-Ouest ; la première serait creusée immédiatement à 5^m,50 sous le niveau des plus basses mers et pourrait encore être approfondie ultérieurement ; la seconde serait draguée à 3 mètres sous le même niveau. L'avant-port projeté serait divisé en deux parties par un môle transversal, laissant un passage de communication de 180 mètres de largeur ; la partie Nord, de 175 hectares de superficie, serait creusée à la cote — 5 mètres et approfondie au besoin plus tard ; elle servirait de rade aux navires de dimensions moyennes, qui y mouilleraient sur des corps morts, soit pour attendre le moment de gagner les bassins, soit pour transborder. La partie Sud, de 75 hectares de superficie, conduirait aux nouveaux bassins qui seraient munis d'écluses larges et profondes ; elle comprendrait des quais de marée

permettant aux transatlantiques de partir à toute heure, et aux navires d'escale d'y effectuer rapidement leurs opérations sans entrer dans les bassins; une fosse à flot serait creusée au pied de ces murs.

Comme le remplissage de cet avant-port se ferait presque exclusivement par l'entrée nord, alimentée surtout par les eaux claires des courants arrivant de la Hève, on pouvait admettre que les envasements n'y seraient pas trop abondants (*).

Le projet dont nous venons d'indiquer les grandes lignes n'obtint pas l'approbation du Sénat, à cause de la dépense élevée à laquelle son exécution devait entraîner.

Les ingénieurs français ont étudié depuis un nouveau plan, conçu sur des bases moins larges et n'embrassant que les travaux strictement nécessaires pour améliorer les conditions d'accès du port, tout en disposant les passes de façon à les préserver le plus possible des alluvions de la Seine. Ces travaux n'entraveront du reste en rien ceux de l'avenir; ils permettront d'exécuter plus tard les parties essentielles du projet complet de 1887, sans augmentation notable de l'estimation prévue pour ce dernier.

D'après le projet actuel, il sera construit en avant du port existant, un nouvel avant-port, accessible par deux passes, l'une dirigée vers l'ouest, l'autre vers le sud-ouest; les profondeurs nécessaires à la navigation y seront obtenues par dragage. Les jetées nord et sud actuelles seront démolies, de même qu'une partie des fronts de la Floride, afin de créer une communication facile avec l'avant-port intérieur (Pl. XXXVI, fig. 2). Celui-ci sera notablement agrandi, et on y construira un quai à fondations profondes, de 400 mètres de longueur, précédé d'une fosse à flot; ce quai est destiné aux navires d'escale, qui n'auront plus à entrer dans les bassins, ainsi qu'à ceux des lignes régulières de cabotage. Il facilitera en outre l'organisation, à heure à peu près fixe, des départs des transatlantiques. Enfin, une écluse à sas offrant 225 mètres de longueur utile et 30 mètres de largeur, permettra aux grands navires de pénétrer dans les bassins à flot pendant la moitié au moins de la durée de chaque marée.

Le nouvel avant-port sera limité entre deux digues convergentes, ayant respectivement 550 et 625 mètres de longueur. La digue Nord dirigée vers le Sud-Ouest, sera tracée suivant une courbe concave, afin de faciliter la manœuvre des navires à l'entrée. Elle se raccordera en avant de la plage de Frascati, qui sera conservée et fera fonction de brise-lames, afin d'atténuer la propagation de la houle de l'Ouest et du Sud-Ouest vers l'avant-port intérieur agrandi. La digue Sud, formée de deux alignements droits, sera reliée provisoirement avec le terre-plein du nouveau

(*) QUINETTE DE ROCHEMONT. *Le port du Havre, état actuel, travaux d'amélioration projetés.*

quai de marée, par un batardeau occupant l'emplacement de la passe d'entrée des bassins à construire plus tard au sud de la digue S^t Jean, si l'accroissement du trafic du port en justifie l'utilité. La crête de ce batardeau, arasée à une certaine profondeur sous le niveau des hautes mers, sera surmontée d'une estacade et offrira un talus intérieur de très faible inclinaison. Il servira de brise-lames, surtout par les houles de l'Ouest au Nord-Ouest.

L'avant-port, dont l'entrée aura 200 mètres de largeur, sera creusé et entretenu par dragage à 4^m,50 environ sous le niveau des plus basses mers, de même que la passe d'accès principale, ou passe Ouest, située au nord du grand Placard. On y trouvera donc un mouillage de 9 mètres pendant 6 heures environ à chaque marée, ce qui est suffisant pour les grands paquebots transatlantiques. Les navires de 6 mètres de tirant d'eau pourront y circuler à toute heure en morte eau, et pendant 8 heures en vive eau à chaque marée.

La passe du Sud-Ouest sera reportée entre le grand Placard et l'ancien haut du Sud-Ouest, parallèlement à la passe actuelle des grands navires ; elle traversera des fonds naturels de 2^m,50 de profondeur au moins sous le niveau des plus basses mers, à part quelques hauts-fonds où il n'y a que 1^m,70 à 2 mètres et qui seront arasés par dragage à la cote précitée. Cette passe offrira par conséquent 0^m,50 à 0^m,70 d'eau de plus que la passe du Sud-Ouest, qui est suivie aujourd'hui par les navires, et elle se trouvera à 600 mètres plus loin de la région de l'estuaire, où les atterrissements sont le plus à craindre. Elle ne constituera cependant qu'une passe secondaire, destinée surtout aux bateaux de Trouville, de Honfleur et de la Seine, ainsi qu'aux voiliers attaquant le port sans remorqueur, dans certaines conditions de vent et de marée.

On remarquera que les navires qui prendront cette passe n'auront plus que des courbes à grand rayon à décrire pour arriver au fond de l'avant-port. Quant à la passe de l'Ouest, elle conduira à peu près en ligne droite vers la nouvelle écluse, distante de 1250 mètres de l'entrée du port. Les voiliers qui craindraient ne pouvoir perdre leur aire sur cette distance, n'auront qu'à modifier légèrement leur direction, et se rendre par l'avant-port actuel vers les anciennes écluses des bassins. On peut du reste prévoir que dans cet avant-port, grâce aux surfaces d'épanouissement et aux brise-lames prévus au projet, le calme sera suffisant pour ne gêner en rien le stationnement des navires.

Port de La Rochelle. — Le port de La Rochelle se trouve sur la côte ouest de France, par le travers et à l'est de l'extrémité orientale de l'île de Ré (Pl. XXXVI, fig. 5). Le chenal est creusé dans une baie de 3 kilomètres de longueur, dont le fond est couvert sur de vastes superficies par des dépôts de

vase, et où cette alluvion est mise en mouvement en quantités considérables par les courants, et plus encore par les lames. En beau temps, la vase est seule entraînée, mais dès que la mer devient agitée, la densité du liquide inférieur devient plus grande, et en gros temps les couches superficielles des dépôts sont entamées sur une épaisseur de 0^m,30 à 0^m,40; les vases en circulation entraînent avec elles des matériaux plus denses, auxquels elles servent de véhicule et vont combler tous les espaces de la baie, mis à l'abri des courants et de la lame⁽¹⁾ » En coup de vent, dit M. Bouquet de la Grye, la mer est quelquefois tellement chargée, que ses effets en sont modifiés. Les fonds étant alors très remués, ce n'est plus un liquide homogène qui est soulevé par le vent, mais un liquide composé de plusieurs couches. Les inférieures atteignent des densités peut-être supérieures à 1,100. Il y a dans ce cas une atténuation de levée très marquée; la lame devient plus lourde, moins brisante et elle s'affaisse rapidement. »

Les circonstances particulières du régime de la baie de La Rochelle sont cause que la profondeur entretenue dans le chenal du port, au moyen de chasses et de dragages, ne dépasse pas un mètre sous le niveau des basses mers, et il paraissait difficile d'y créer et d'y maintenir une profondeur de 2 mètres, et surtout de 4 mètres sous le même niveau⁽²⁾.

L'amplitude des marées de vive eau ordinaires est de 5^m,10; le niveau moyen des hautes mers de morte eau se trouve à 4 mètres environ au-dessus de celui des basses mers de vive eau. M. Bouquet de la Grye, lorsqu'il fut chargé en 1876 de rechercher pour le port de La Rochelle les conditions propres à la création et au maintien d'un chenal accessible aux plus grands navires de commerce, proposa deux solutions :

La première consistait dans l'établissement, à travers la baie, d'une longue digue courbe, terminée aux fonds de — 3 mètres par rapport au niveau des basses mers. La partie amont de cet ouvrage, établie à la cote + 7 mètres, était destinée à limiter de nouveaux bassins de chasse desservis par quatre écluses, dont les axes auraient été disposés de façon à lancer les eaux tangentiellement à la digue; la partie aval aurait été élevée jusqu'à la cote + 2^m,40 seulement et devait servir à diriger les courants de chasse.

Ces chasses avaient pour but d'entretenir, concurremment avec le jeu des marées, un chenal le long de la digue, dont la courbure, en provoquant des tourbillons par le glissement des filets liquides les uns sur les autres, aurait activé le travail de creusement du fond.

(1) BOUQUET DE LA GRYE. — *Etude hydrographique de la baie de La Rochelle et projet d'établissement d'un bassin à flot*. Recherches hydrographiques sur le régime des côtes. — VII^e cahier.

(2) POTEL. — *Le port de la Pallice*.

Dans la seconde solution, que M. Bouquet de la Grye signale comme bien supérieure à la première et qui fut adoptée par le gouvernement français, cet éminent ingénieur hydrographe conseilla de choisir pour emplacement d'un nouveau bassin un point situé au nord de la baie de La Rochelle, à 5 kilomètres du port actuel, en face de la rade de La Pallice, réputée comme un mouillage excellent et dont nous avons déjà parlé au paragraphe III de ce chapitre.

En cet endroit, les fonds de 5 mètres sous le niveau des basses mers ne se trouvent en outre qu'à 600 mètres, et ceux de 10 mètres à 1,000 mètres du rivage; on ne pouvait donc choisir une situation meilleure pour la création d'une entrée vers le nouveau bassin, d'autant plus que les transports de vase, en ce point, sont peu importants, contrairement à ce qui se passe à l'intérieur de la baie de La Rochelle.

Les travaux du port de La Pallice furent commencés en 1881 et terminés en 1890. L'avant-port offre une superficie de 12 $\frac{1}{2}$ hectares; il est creusé à 5 mètres sous le niveau des plus basses mers et se termine dans l'angle Sud-Est, par une chambre d'épanouissement de 4 hectares de superficie environ (Pl. XXXVI, fig. 6). Cet ouvrage est placé immédiatement à côté de l'écluse d'entrée du bassin à flot, dont le sas a 22 mètres de largeur et 165 mètres de longueur utile; de l'autre côté de l'écluse, le fond de l'avant-port, sur 300 mètres de longueur, est limité par un talus disposé en brise-lames et creusé dans le rocher sous une inclinaison de 7 de base pour 1 de hauteur.

Les jetées de l'avant-port sont pleines et laissent entre elles une passe d'entrée de 90 mètres de largeur, s'ouvrant dans la direction de l'ouest-nord-ouest. La jetée sud, d'une longueur totale de 626 mètres, s'étend plus en mer de 55 mètres que la jetée opposée, de façon à couvrir l'entrée du port contre les lames du sud-ouest, qui sont les plus intenses; la partie de cet ouvrage qui longe la chambre d'épanouissement, est discontinue et formée de piles en maçonnerie de 2^m,50 de largeur en couronne, avec des intervalles de 10^m,36 recouverts de tabliers métalliques destinés au halage.

Les jetées sont maçonnées au mortier de ciment de Portland; elles forment un massif compact à parements verticaux et peuvent être accostés par les navires; elles ont permis ainsi de creuser l'avant-port à sec, avec l'aide de deux batardeaux établis, le premier à la laisse des basses mers, le second entre la jetée sud et le musoir de la jetée nord.

Les parties de jetées construites sur l'estran ont 9 mètres de largeur; les parties restantes ont 5 mètres de largeur en couronne, et comprennent un parapet de 1^m,50 de hauteur sur 2 mètres de largeur. Les fondations de ces ouvrages,

jusqu'à la laisse des basses mers, ont été établies à l'air libre, sur le rocher qui forme l'estran; plus loin, elles ont été exécutées au moyen de caissons amovibles, dont les dimensions permettaient de donner aux blocs de fondation 8 mètres sur 20; pour remplir les vides entre ces blocs, on a eu recours à des caissons auxiliaires constitués par les parois de deux blocs consécutifs, distants de 2 mètres à 2^m,50, et deux panneaux métalliques réunis par des tirants.

Le bassin à flot comprend deux parties, dont l'une a 200 mètres de largeur et permet aux navires d'évoluer, et l'autre 120 mètres seulement; il est entouré de quais spacieux et se prête à être mis en communication plus tard avec d'autres bassins.

Ainsi qu'on l'avait prévu, les dépôts dans l'avant-port n'atteindront annuellement pas plus de 0^m,30 d'épaisseur, car deux ans après qu'il a été mis en libre communication avec la mer, la couche des apports ne mesurait que 0^m,57 en moyenne; elle est d'ailleurs entièrement formée de vase molle. Les dragages d'entretien du nouveau port seront donc peu dispendieux, grâce à l'emplacement où il a été établi, en dehors de la baie de La Rochelle.

Port de Nieuwe Diep. — Le port de Nieuwe Diep est situé à l'est de la pointe du Helder, et débouche dans la passe du Texel, laquelle réunit le Zuiderzee à la mer du Nord (Pl. XXXV).

Devant l'entrée du Texel, il existe plusieurs bancs de sable, laissant entre eux des chenaux navigables. Le meilleur est le Schulpengat, qui court N.N.E. à une faible distance de la côte et présente, entre le plateau du Bollen d'un côté, et le Fransche bank et la côte de l'autre, une profondeur variant de 8 à 20 mètres; celle-ci se réduit à 7^m,50 environ sur le haut-fond situé dans le N.O. de Huisduinen, à l'endroit où le Schulpengat débouche dans le Helsdeur, ainsi qu'on appelle le large chenal compris entre le Helder et les hauts-fonds situés devant la côte S.O. du Texel. Le Helsdeur conduit à la rade du Helder et communique par le Marsdiep avec le Texelstroom.

Devant le Schulpengat, le flot commence par porter au Nord; puis à mesure qu'il gagne en intensité, le courant tourne au N.O., vers le Breewijd et le Helsdeur, et il pénètre directement dans ces passes au moment de sa plus grande force, pour se diriger ensuite vers la côte. Le jusant porte d'abord au S.S.O., puis, quand il est bien établi, vers le S.O., et tourne après vers l'ouest.

La côte située au sud de la pointe du Helder est bordée de dunes très larges; mais au nord de Huisduinen, elle est défendue contre la mer par la digue du Helder, le long de laquelle on ne sonde pas moins de 20 mètres de profondeur à une distance de 150 mètres du rivage.

Le port de Nieuwe Diep débouche dans la rade du Helder à l'extrémité est de cette digue. C'était autrefois un chenal de peu de profondeur, creusé par les courants de jusant qui, au sortir du Zuiderzee, longent du côté est la pointe du Helder. Pour favoriser l'action de ces courants, on a construit en 1782 une digue parallèle au rivage, terminée au sud par une autre digue, s'avancant obliquement par rapport à la première dans le Zuiderzee; les deux digues furent prolongées plus tard; la première a actuellement 1,900 mètres de longueur et dépasse de 2^m,30 le niveau des hautes mers; la seconde a 3,350 mètres de longueur et ne dépasse ce même niveau que de 0^m,30.

L'amplitude de la marée est de 1^m,20 à 1^m,40.

Les eaux, en descendant du Zuiderzee vers la mer du Nord, furent ainsi forcées de s'écouler en plus grande quantité à travers le chenal compris entre la digue longitudinale et la côte, et y creusaient peu à peu de grandes profondeurs; on facilitait l'érosion produite par les courants en désagrégeant les matières du fond au moyen de herses.

Ce chenal constitue aujourd'hui un port excellent, où l'on trouve en moyenne 9^m,50 d'eau à marée basse et près de 15 mètres à l'entrée.

Les courants de flot et de jusant qui circulent devant son emplacement, produisent des affouillements continuels le long de la digue du Helder, dont le pied doit être consolidé au moyen d'enrochements. Comme l'entrée du port se trouve en prolongement de cette digue, elle est rasée par les courants de marée qui la préservent de tout ensablement, pendant que les eaux du jusant entretiennent la profondeur à l'intérieur. L'action des vagues ne peut d'ailleurs y occasionner des apports de sable vers la rive, ni le long de celle-ci, à cause de la grande profondeur du talus sous-marin qui s'étend devant cette partie de la côte.

On peut dire que le port de Nieuwe Diep est une des conceptions les mieux réussies dans le domaine des constructions à la mer. Par des travaux relativement simples, on est parvenu à tirer tout le parti possible de la situation hydrographique exceptionnelle de la rade du Helder, pour y créer et y maintenir, par le jeu naturel des courants, un port à marée débouchant dans les grands fonds et accessible, en tout temps, aux navires du plus fort tonnage.

Port d'Ymuiden. — Le port d'Ymuiden sert d'entrée au nouveau canal reliant directement Amsterdam à la mer du Nord, à travers la partie la plus étroite de la Hollande, appelée *Holland op zijn smalst*. Avant 1825, la seule voie d'accès au port d'Amsterdam était le Zuiderzee et le golfe de l'Y; le peu de profondeur qui existait à l'entrée du golfe et les hauts-fonds dont le Zuiderzee est encombré, constituaient de grandes entraves à la navigation; pour ce motif, on a construit

de 1819 à 1825 le canal de Noord-Holland, dont l'écluse d'entrée se trouve au port de Nieuwediep et qui aboutit à la rade d'Amsterdam.

Mais les navires étaient toujours obligés de doubler la pointe du Helder et, pour parcourir le canal lui-même, il leur faut au moins de 18 à 24 heures. Cette voie navigable ne présente du reste que 5^m,50 de tirant d'eau, et les dimensions de ses écluses ne sont plus en rapport avec les besoins actuels de la grande navigation.

Ces inconvénients décidèrent le gouvernement hollandais à accorder, en 1863, à une compagnie puissante, la concession du nouveau canal et d'un port sur la mer du Nord, avec l'autorisation de barrer le golfe de l'Y au moyen d'une digue à établir à l'est de la ville d'Amsterdam, et de vendre, après les avoir desséchés, les terrains de toute la partie du golfe située de part et d'autre du canal.

Ces travaux furent exécutés de 1866 à 1878, d'après les plans dressés par sir John Hawkshaw, ingénieur anglais, conseil de la société concessionnaire, et sous la direction des ingénieurs en chef du Waterstaat néerlandais, MM. Dirks et Waldorp, assistés de MM. les ingénieurs van Ryn et van Gendt.

Le port d'Ymuiden se trouve à mi-chemin à peu près entre l'embouchure de la Meuse et le Texel. Depuis Terheyden, situé au nord du Hoek van Holland, jusqu'aux digues de défense existant entre Kamperduin et Petten, la côte présente la forme d'une ligne concave, dont la corde est dirigée du S. S. O. au N. N. E. ; elle est partout basse et sablonneuse et bordée d'une chaîne de dunes de hauteur et de largeur variables.

Les dunes qui s'étendent au Sud du port, sur une distance de 20 kilomètres de celui-ci, sont très puissantes ; elles ont 3,000 à 4,000 mètres de largeur. Celles que l'on rencontre immédiatement au Nord, sur une étendue de 4 kilomètres environ, n'ont que le tiers de cette largeur, mais plus loin elles s'accroissent de nouveau brusquement et se maintiennent sensiblement dans les mêmes conditions jusque près d'Egmond.

Devant Ymuiden, le courant de flot se dirige vers le N. E. $\frac{1}{4}$ E. ; sa vitesse maximum, observée en temps ordinaire à 4,000 mètres de la dune, atteint près de 1 mètre par seconde en vive eau, mais en morte eau, elle ne dépasse souvent pas la moitié de cette valeur. Le courant de jusant porte vers le S. O. ; sa vitesse maximum est de 0^m,65 par seconde.

La durée du flot est de 4^h,15^m et celle du jusant de 7^h,54^m.

L'amplitude de la marée ne mesure que 1^m,60.

La largeur normale de la plage, jusqu'à la laisse des basses mers, est en moyenne de 160 mètres. L'estran sous-marin qui la précède est très-faiblement

incliné; les lignes de niveau de 2^m,50, de 5^m00 et de 8^m,00 se trouvent respectivement à 450, 900 et 1600 mètres environ du pied de la dune. Plus loin, le fond se raccorde, sous une pente assez régulière, avec un plateau à peu près horizontal, de plus de 8 milles de largeur, et s'incline ensuite vers les profondeurs de 20 à 25 mètres, lesquelles se prolongent jusqu'à une grande distance au large.

On ne rencontre aucun banc dans le voisinage de la côte.

Quant au régime des vents, il est caractérisé dans ces parages par la fréquence des vents d'ouest au S.O.; les tempêtes soufflant du N.O. y ont le plus de violence et amènent par conséquent les plus hautes eaux sur le rivage.

Le port d'Ymuiden comprend une enceinte formée de deux jetées insubmersibles, qui s'avancent en mer jusque dans les fonds de 8 mètres sous le niveau de marée basse, laissant entre elles une ouverture de 260 mètres à l'entrée (Pl. XXXV).

Chaque jetée se compose d'une maçonnerie en gros blocs artificiels de béton, dont les parements n'ont que $\frac{1}{7}$ de fruit, et qui repose sur une large couche en pierres de basalte⁽¹⁾.

L'axe du port est dirigé à peu près à l'Ouest-Nord-Ouest.

Les deux jetées, espacées à leur origine de 1,200 mètres, convergent l'une vers l'autre, de telle sorte que, lorsque chacun de ces ouvrages a atteint une longueur de 1200 mètres, leur écartement se réduit à 660 mètres. A partir de là, elles s'inclinent suivant deux nouveaux alignements, raccordés avec les premiers par des courbes de 150 mètres de rayon et dirigés de façon à former ensemble, s'ils étaient prolongés, un angle de 90°. Ces parties de jetées ont une longueur de 345 mètres chacune, y compris les musoirs circulaires qui les terminent.

La surface totale de l'enceinte mesure plus de 120 hectares, mais dont la partie centrale seulement devait être tenue à profondeur, suivant une forme elliptique de 55 hectares de superficie et de manière à ce qu'il y ait 7^m,70 d'eau à marée basse.

Pour défendre l'entrée du canal contre les sables qui s'accumulent à l'intérieur de l'avant-port près de la dune, on a construit deux jetées basses en pierres, de direction parallèle, espacées de 220 mètres et terminées à la laisse des plus basses mers.

La grande jetée nord du port d'Ymuiden, commencée en 1867, avait 630 mètres de longueur en mai 1871, 1205 mètres en mars 1873 et 1420 mètres en mars 1876; elle a été terminée en décembre 1878. La jetée sud n'a été commencée qu'en 1869; elle avait 450 mètres de longueur en mai 1871, 1037 en mars 1873 et a été achevée dans le courant du mois de mars 1876.

La construction des jetées a naturellement été suivie d'un avancement de

(¹) Voir annexe II.

l'estran dans les angles extérieurs formés par ces ouvrages avec la dune, et aussi à l'intérieur du port.

En comparant le plan du port dressé en 1878 par la Marine néerlandaise (Pl. XXXV), au plan des sondages effectués devant Ymuiden en 1864, on constate qu'à cette première époque, la laisse des basses mers s'était déjà déplacée vers le large d'environ 130 mètres, et que la plage avait pris de chaque côté du port un accroissement triangulaire, qui reste sensible jusqu'à plus de 1400 mètres des jetées.

La fig. I pl. XXXVII représente la situation du port d'Ymuiden en 1883; elle fait voir que depuis 1878, la plage s'est encore développée de plus de 100 mètres près de la jetée nord, et que ce nouvel ensablement est appréciable à 1200 mètres de distance. Les courbes de 2^m,50 et de 5^m,00 sous le niveau des basses mers se sont déplacées dans des proportions semblables, et les fonds de moins de 7^m,00 ont pris de l'extension près du musoir. A la jetée sud, la plage s'est élargie suivant une saillie très prononcée, et la ligne des fonds de 5 mètres a reculé vers le large; celles de 6 et de 7 mètres ont pris une allure plus régulière, sans s'écarter beaucoup de la position qu'elles occupaient en 1878. Entre les lignes de niveau de 3 et de 4 mètres, on constate la formation d'une bande étroite et surélevée, où il ne reste que 1^m,90 à marée basse. Devant le port enfin, la courbe de 12 mètres s'est déplacée vers le large, et les fonds situés au delà de cette courbe, en face de la tête des jetées et dans le nord-ouest de celles-ci, se sont plus ou moins exhausés.

A Ymuiden, le fait de l'avancement assez rapide de la plage dans les angles extérieurs des jetées du port avec la dune s'explique par le régime hydrographique de cet atterrage. Le talus sous-marin qui précède la côte d'Ymuiden, est faiblement incliné, de sorte que les vagues y occasionnent, dans la zone peu profonde attenante au rivage, des transports de sable importants, lesquels sont interceptés par les môles du port et y produisent le relèvement de la plage. 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 sable abondants. L'avancement de l'estran qu'on observe à l'intérieur du port, provient plus spécialement de cette dernière cause.

Il n'est guère possible de prévoir jusqu'à quel point l'influence des jetées d'Ymuiden continuera à modifier, dans l'avenir, la situation de la plage et des fonds avoisinants, ni dans quelles conditions on pourra maintenir définitivement la profondeur de la passe d'entrée du port. Mais sur une côte sablonneuse, le

développement de l'estran provoqué par la construction de môles perpendiculaires au rivage, diminue nécessairement, nous l'avons vu précédemment, à mesure que la laisse des basses mers s'étend vers le large; et au bout d'un certain temps la plage tend à prendre une position d'équilibre, qui dépend du régime de la côte et de la saillie de ces ouvrages sur la ligne des dunes⁽¹⁾.

Ce fait se constate déjà en comparant la carte la plus récente d'Ymuiden, datant de 1889, avec celle de 1883; nous avons reporté sur cette dernière carte (Pl. XXXVII, fig. 1), quelques unes des courbes de niveau indiquant la situation des fonds en 1889; près de la jetée nord, l'ensablement n'a pas sensiblement gagné pendant cette période de six années, et il a plutôt perdu près de la jetée sud; les déplacements des courbes de niveau de 5 à 12 mètres, eu égard à la faible inclinaison de l'estran sous-marin, ne sont pas non plus prononcés. On peut donc admettre que l'avancement de la plage de chaque côté de l'enceinte ne continuera pas au point d'atteindre, même dans un temps éloigné, les musoirs des jetées, ni de menacer l'accès du port. A l'appui de cette opinion, M. Conrad invoque cette raison, qu'Ymuiden se trouve vers le milieu de la partie concave de la côte néerlandaise qui s'étend de l'embouchure de la Meuse au Helder, sur 82 kilomètres de longueur, et dont la flèche mesure 8 kilomètres. Les courbes de niveau de 5 à 12 mètres y sont parallèles au gisement concave de l'estran, et ce littoral, qui a subi anciennement des érosions considérables, tend encore à être affouillé.

ENSABLEMENT DE LA PASSE D'ENTRÉE. — L'ensablement de la passe d'entrée du port d'Ymuiden résulte principalement de l'action des courants de marée. Le courant de flot, en s'approchant du port, est dévié peu à peu de sa direction et acquiert plus d'intensité près de l'entrée; avec des vents modérés de l'ouest au nord, sa vitesse maximum est de 1^m,10 à 1^m,20 le long du musoir du môle sud. En quittant ce musoir, le courant se maintient encore dans l'alignement de la portion extrême de la jetée, mais il prend bien vite la direction de la côte et va se perdre dans la masse des eaux qui circulent devant le port. A la faveur des remous, occasionnés ainsi dans l'espace compris entre la ligne reliant les deux musoirs et celle qui correspond au prolongement de la jetée sud, le sable soulevé le long de cet ouvrage va se déposer devant et autour du musoir de la jetée nord; une partie de ce sable est entraînée à l'intérieur de l'enceinte et se précipite près du tronçon extrême de cette jetée, par l'effet de la partie des eaux du flot qui remplissent le port, en s'inclinant avec force autour du musoir de la jetée sud, pour se diriger ensuite le long de la jetée opposée avec

(1) Voir chap. VI, § II.

une vitesse ralentie, et s'étaler enfin dans le segment sud de l'enceinte, après avoir passé devant l'entrée du canal conduisant aux écluses (Pl. XXXVII, fig. 2).

Le courant de jusant s'appuie de même contre le môle nord ; mais comme sa vitesse est beaucoup moindre que celle du flot et que sa direction est quelque peu influencée par l'écoulement des eaux sortant de l'avant-port, il n'a pas la force d'attaquer efficacement les atterrissements résultant du premier de ces courants.

Les affouillements occasionnés par le flot et le jusant, le long de la partie inférieure des jetées, y produisent des sillons qui s'étendent sur 800 mètres de longueur environ à partir des extrémités de ces ouvrages, et dont la profondeur augmente à mesure qu'on s'approche de celles-ci. Près des têtes inclinées, cette profondeur est de 8 mètres à la jetée nord, et elle atteint jusqu'à 10 et 11 mètres à la jetée sud.

On comprend que les dépôts de sable devant l'entrée du port doivent se produire principalement lors des tempêtes du S. O. au N. O. ; les vagues remuent alors plus ou moins profondément la couche supérieure du sable de la plage et des fonds attenants, pendant que les eaux du flot sont chassées avec plus de violence au-dessus de l'estran et jusqu'au pied des dunes. C'est au nord de l'axe du port, sur une surface d'environ 2 hectares, que ces dépôts sont les plus considérables ; les sondages y accusent souvent, après des gros temps prolongés, un exhaussement moyen de 1^m,20 au bout d'un nombre de jours relativement restreint, avec des parties surélevées mesurant en divers points plus de 3 mètres de hauteur (').

Dans l'état où le port et les plages attenantes se trouvaient en 1878, l'enlèvement des sables devant l'entrée exigeait environ 80,000 mètres cubes de dragage par an ; mais lorsque le temps empêche les dragues de fonctionner, il arrive que les atterrissements ne peuvent y être enlevés promptement et que la passe navigable, avec 7^m,00 d'eau sous marée basse, n'a que 100 à 120 mètres de largeur, à partir du musoir du môle sud.

Les ingénieurs néerlandais, préoccupés de cet inconvénient, qui s'aggraverait si l'estran s'exhaussait encore notablement des deux côtés du port, ont examiné la question de savoir s'il ne conviendrait pas, pour des ports du genre de celui d'Ymuiden, d'adopter une autre forme de jetées.

M. l'Ingénieur en chef Dirks, voulant éviter les angles morts à l'entrée et diriger les courants de flot et de jusant parallèlement à celle-ci, préconise la disposition indiquée pl. XXXVII, fig. 4.

(') J. F. W. CONRAD, Inspecteur van den Waterstaat. *Beoordeeling van het door Jhr. H. Th. Hora Siccamo opgemaakt ontwerp eener zeehaven te Scheveningen.*

Les jetées nord et sud de l'enceinte y sont projetées perpendiculairement à la côte et seraient distantes de 1300 mètres l'une de l'autre ; elles s'avanceraient jusque dans les fonds de 8 à 10 mètres et se termineraient par des têtes parallèles au rivage, prolongées du côté ouest de 750 mètres et du côté est de 600 mètres au delà de l'alignement des jetées transversales. La passe d'entrée se trouverait dans l'axe de l'enceinte et aurait 250 mètres de largeur.

M. Dirks pense qu'avec ces dispositions les contre-courants et les remous qui sont la conséquence naturelle et inévitable de tout ouvrage avancé, se détruiraient dans les espaces situés derrière les jetées parallèles, c'est à dire en des endroits où ils ne peuvent créer aucun obstacle nuisible à la navigation ; que les courants de flot, en sortant de ces espaces, suivraient le côté intérieur des jetées parallèles et tourneraient autour de l'extrémité de celles-ci pour se réunir ensuite aux courants qui longent ces ouvrages à l'extérieur, de manière que ceux-ci, ne subissant plus aucune déviation, empêcheraient la formation des dépôts devant la passe d'entrée.

Comparant son système avec celui des têtes inclinées et ce dans les différentes hypothèses concernant la direction du vent, M. Dirks reconnaît, qu'au point de vue des inconvénients à résulter de l'action des vagues pour la manœuvre des navires, la disposition avec têtes parallèles est certainement moins bonne ; mais il lui semble que le mouvement des vagues contre de pareilles jetées ne rendrait pas cette manœuvre assez difficile pour qu'il fût impossible d'entrer dans le port par de mauvais temps, tandis qu'il est rare de voir des navires sortir en ce cas.

MM. les Ingénieurs en chef Conrad et Waldorp, dans une discussion fort intéressante, reproduite dans le *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, présentent plusieurs objections contre le système proposé par M. Dirks. Ils pensent que sous le rapport de la navigation, une enceinte avec têtes parallèles à la côte n'est pas à conseiller, car à l'exception des cas où le vent soufflerait suivant une direction parallèle à celle-ci, il se produirait, à l'entrée du port, des ressacs et des vagues de réflexion, ainsi que des courants en travers ; or, dans ces conditions, les navires n'écoutent plus le gouvernail et sont exposés à de grands périls.

Ces ingénieurs considèrent comme une condition essentielle que le port soit accessible en toute circonstance et pour ce motif, il convient, d'après eux, de placer l'entrée le plus loin possible en dehors des ouvrages pouvant occasionner des réflexions de lames, comme cela aurait lieu avec des jetées terminées par des têtes parallèles.

M. Waldorp ne croit pas d'ailleurs, qu'en adoptant ce dispositif, on éviterait les ensablements à l'entrée; il pense au contraire que le courant de flot, en sortant de l'espace compris entre la jetée parallèle, la jetée sud et la côte, irait former des remous le long de la première de ces jetées et y provoquerait des atterrissements; que le courant de jusant produirait de même des dépôts au nord de l'entrée du port, et que celle-ci présenterait finalement, entre ces ensablements, une forme en entonnoir, laquelle, au point de vue de la navigation, est la plus défectueuse possible.

D'après M. Waldorp, on doit chercher à atténuer les effets produits par les contre-courants, sans nuire à la facilité de manœuvre des navires à l'entrée. Il propose, à cette fin, de donner à la tête des jetées une forme courbe, disposée de manière que la direction, suivant laquelle les courants quittent les extrémités des jetées pour se réunir au courant général à l'extérieur du port, soit inclinée le moins possible par rapport à la ligne de la côte (Pl. XXXVII, fig. 3). Les sables entraînés par le courant de flot le long de la jetée sud, se déposeraient encore au nord de la jetée opposée, mais plus près de celle-ci, soit à peu près à l'intérieur de la tangente, menée à l'extrémité de la partie courbe qui se termine au musoir de la première de ces jetées; les dépôts laisseraient par conséquent l'entrée du port plus libre et les brisants qui s'y produiraient seraient moins dangereux.

D'un autre côté, le remou secondaire, auquel le courant de flot donne lieu au delà du musoir de la jetée sud, se réduirait à un minimum, parce que ce courant quitterait l'extrémité de la jetée à peu près tangentiellement et moins brusquement qu'avec des extrémités droites, inclinées sous un angle de 45° par rapport à la direction des courants.

ENVAISEMENT DU PORT. — L'enceinte du port d'Ymuiden reçoit des apports de vase considérables. C'est ainsi que le volume total des dragages à exécuter pour creuser à l'intérieur des jetées la surface elliptique projetée, avait été évalué à 1 million $\frac{1}{2}$ de mètres cubes et que, lorsqu'on en avait exécuté près de 4 millions $\frac{1}{2}$, mesurés dans les chalands, il restait encore $\frac{1}{2}$ million de mètres cubes à enlever pour obtenir la profondeur voulue. Pendant le creusement, l'expérience a appris que 3 mètres cubes de matières draguées et mesurées dans les bateaux ne donnaient, en moyenne, qu'une diminution de 1 mètre cube dans la contenance du profil; ce résultat, qui est partiellement dû, il est vrai, au volume plus grand que les vases occupent quand elles sont draguées, et à l'affluence des dépôts des segments latéraux vers les parties plus profondes du port, provenait surtout des apports nouveaux, amenés continuellement de la mer.

Du 4 octobre 1878 au 30 novembre 1879, alors qu'on essayait encore de

mettre toute la surface elliptique de l'avant-port à la profondeur de 6^m,70 à 7^m,70 sous le niveau des basses mers, il a été dragué environ 765,000 mètres cubes, mesurés dans les chalands, et malgré ce déblai considérable, le volume en profil avait diminué à peine de 4,000 mètres cubes.

En présence de résultats aussi défavorables, la société concessionnaire du nouveau canal d'Amsterdam a renoncé à l'entretien de l'enceinte et s'est bornée à celui d'une simple passe centrale de 250 mètres de largeur, ayant environ 30 hectares de superficie. Dans ce chenal, les dépôts sont encore très grands, d'autant plus qu'ils sont augmentés des matières qui affluent des segments latéraux, principalement à l'époque des gros temps; du 1^{er} août 1883, époque à laquelle la passe avait la profondeur prescrite, jusqu'au 1^{er} octobre de la même année, soit pendant deux mois seulement, il s'y est déposé 82,000 mètres cubes de vase et de sable vasard⁽¹⁾.

Il serait difficile de dire exactement quelle est l'importance des envasements qui se produisent au port d'Ymuiden; mais on peut admettre que leur épaisseur n'est pas inférieure, en moyenne, à 0^m,80 par an pour les parties de l'enceinte qui sont creusées à profondeur. L'entretien de la passe navigable de 250 mètres de largeur, dont la surface, y compris celle du chenal conduisant aux écluses d'entrée du canal maritime, est de 35 hectares, y exige annuellement le dragage d'environ 500,000 mètres cubes de matières vaseuses, mesurées dans les chalands. Les déblais sont transportés en mer à 5,000 mètres environ des jetées. Comme la côte d'Ymuiden est très exposée aux vents du large, les dragues n'y fonctionnent en moyenne pas plus de 150 à 160 jours par an dans le port, et bien moins encore à l'entrée.

Pour assurer l'écoulement des eaux des anciens polders, et pour faciliter le desséchement des terrains devenus disponibles de part et d'autre de l'Y, il importe de tenir le canal d'Amsterdam à un niveau à peu près constant, en déchargeant, à certains moments, une quantité d'eau plus ou moins grande par les écluses d'Ymuiden. On aurait donc pu croire que les dépôts qui se forment dans le port, résultent en partie de ces évacuations. Mais les analyses faites par M. Van Bemmelen, professeur à l'Université de Leyde, de divers échantillons de vases provenant respectivement des ports d'Ymuiden et de Blankenberghe, et des fossés d'Amsterdam, ont montré que la composition des deux premiers échantillons était sensiblement la même, et différait au contraire de ceux pris dans ces fossés. C'est ce qui a permis aux ingénieurs néerlandais de conclure que les dépôts qui se forment à l'intérieur des jetées, à Ymuiden, sont des vases *marines*, comme

(1) J. F. W. CONRAD. Ouvrage cité.

celles du port de Blankenberghe, et que les écoulements intermittents d'eau que l'on effectue par le canal d'Amsterdam, n'interviennent pas dans ces dépôts d'une manière appréciable.

DISPOSITIONS DU PORT AU POINT DE VUE DE LA NAVIGABILITÉ. — La largeur de l'entrée du port d'Ymuiden est de 260 mètres, mais elle est réduite en réalité à 200 mètres par les blocs en béton qui sont coulés devant les musoirs. De l'avis des hommes compétents, cette dernière dimension est suffisante, et c'est celle que sir John Hawkshaw avait proposée dans le principe; mais il ne serait pas à conseiller cependant d'adopter pour des ports de ce genre une largeur notablement moindre, surtout lorsqu'ils sont établis sur des côtes sablonneuses, où les ensablements à la tête des jetées diminuent souvent momentanément la largeur de la passe navigable.

La Commission qui fut chargée de l'examen du projet du port d'Ymuiden, décida que l'entrée de ce dernier devrait être ouverte à l'O.N.O., soit à la direction des vents dominants, de façon à ne pouvoir être franchie suivant une direction située plus au sud que celle de l'est et de l'ouest; les jetées sont disposées de manière à satisfaire à ces conditions, qui répondent bien aux exigences de la navigation.

En attaquant le port, les navires ont à lutter contre les courants de marée et contre les vagues.

Comme nous l'avons déjà dit, les courants acquièrent plus d'intensité devant l'entrée de l'enceinte par suite de la déviation qu'ils subissent le long des môles; le flot, avec des vents modérés de l'O. au N., atteint une vitesse maximum de 1^m,10 à 1^m,25 par seconde en quittant le musoir de la jetée sud, et le jusant, observé près de la jetée nord, avec des vents modérés de l'E.N.E., une vitesse maximum variant de 0^m,55 à 0^m,70 par seconde.

Quant aux vagues, comme devant Ymuiden les fonds sont régulièrement inclinés vers le large et qu'il n'existe aucun banc dans le voisinage de la côte, elles conservent la plus grande partie de leur force vive jusque près du rivage. Dès que le vent est un peu fort, les déferlements qu'elles produisent contre l'enceinte du port rendent les môles inaccessibles; le couronnement de ces ouvrages est placé à 4^m,10 au-dessus du Amsterdamsche peil, ou AP⁽¹⁾, avec un surélévement de 1 mètre aux musoirs. Pendant les gros temps, les vagues s'élèvent jusqu'à 3 mètres au-dessus des môles, malgré l'existence des blocs en

(1) Le Amsterdamsche peil, ou AP, 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. Voir page 36.

béton, qui sont coulés au pied de ceux-ci jusqu'à 1^m,70 au-dessus du niveau des hautes mers.

Lors de la tempête du 12 décembre 1883, les eaux atteignaient à l'intérieur du port une hauteur de + 2^m,80 par rapport à AP, et les lames qui se brisaient devant la tête des jetées, enlevèrent le bord saillant en cuivre du feu qui est installé sur le musoir du môle sud, à 14 mètres au-dessus de AP, ainsi qu'une partie de la voie ferrée établie sur le môle nord. Il est d'ailleurs fréquemment arrivé que des blocs en béton de 20,000 kilogrammes, coulés le long des parements des jetées, ont été déplacés et fortement endommagés.

Eu égard au régime des courants devant Ymuiden, les navires qui entrent au port, doivent, pendant le flot, se tenir près du musoir sud, et pendant le jusant, près du musoir nord, sans perdre de vue que l'avant du bâtiment est soustrait à l'action du courant déjà avant d'avoir dépassé les musoirs, tandis que l'arrière subit encore son entière influence. Au plus fort du flot, il faut une vitesse de 6 milles à l'heure, 185 mètres par minute, pour attaquer l'entrée. Aussitôt que les navires sont à l'intérieur des jetées, ils ont besoin de ralentir leur course à 4 ou 3 milles pour se diriger vers le canal extérieur, car la longueur de l'avant-port n'étant que de 1,000 mètres environ, ils seraient exposés, en pénétrant dans ce canal avec une vitesse plus grande, à occasionner des avaries aux navires qui s'y trouvent, et notamment au matériel des travaux de dragages⁽¹⁾.

Par de fortes brises du large, les voiliers prennent généralement un remorqueur, même s'ils ont franchi l'entrée à la voile, afin d'assurer leur marche à l'intérieur du port et de faciliter leur arrêt devant les écluses ; lorsque le vent est violent, l'emploi d'un remorqueur est jugé indispensable, et le câble est parfois attaché à l'arrière du bâtiment.

Dans l'idée des auteurs du projet, l'enceinte d'Ymuiden était destinée à servir de port de refuge où les navires, aussitôt l'entrée franchie, auraient pu, par les plus gros temps, jeter l'ancre et évoluer librement dans l'un ou l'autre segment de l'avant-port à l'abri de la jetée au vent.

Mais comme nous l'avons déjà dit, on a dû renoncer, par suite de l'abondance des envasements, à creuser l'enceinte elliptique projetée. D'autre part, par de fortes tempêtes, les bâtiments de mer, et surtout les petits navires, ne se trouvent pas en sécurité dans l'avant-port d'Ymuiden. C'est ainsi que les bateaux-dragueurs doivent se réfugier, pendant les gros temps ordinaires de l'ouest,

(1) J. DE JONG. — *Beschrijving der Nederlandsche zeegeten, Ymuiden en Texel*, uitgegeven door het Ministerie van Marine.

dans le canal extérieur, près des écluses, tandis que les navires de faibles dimensions ne sont pas même à l'abri dans la moitié nord de l'enceinte, lorsque le vent souffle avec quelque intensité du S.O., ni dans la moitié sud, lorsqu'il souffle du N.O.

« Malgré la hauteur des môles et la forme de l'avant-port qui doit favoriser l'épanouissement des lames, dit M. Conrad dans son ouvrage déjà cité, le port d'Ymuiden, pendant les tempêtes, n'est pas un mouillage offrant de la sécurité pour les navires de mer et certainement pas pour les petits navires. L'expérience a appris que ce port ne peut être considéré que comme une passe que les navires peuvent traverser en sécurité, but auquel il répond. »

Le chenal extérieur se trouve en ligne droite avec le chenal compris entre les jetées basses qui maintiennent, dans l'enceinte, les sables de l'estran et qui sont légèrement inclinées au sud par rapport à l'axe de celle-ci. Il a 1,400 mètres de longueur, de sorte que les écluses d'entrée du canal d'Amsterdam se trouvent à 2,500 mètres de la tête des môles.

A Ymuiden, qui est fort exposé aux vents du large, cette distance n'est pas assez grande pour que les navires, pendant les gros temps de l'O. au N.O., puissent perdre leur aire; car en pareils cas, ils doivent avoir suffisamment de voilure pour attaquer le port sans danger, et c'est alors qu'ils ont recours à un remorqueur dont l'amarre est fixée à l'arrière, de façon à arrêter leur marche avant qu'ils arrivent aux écluses.

D'autre part, les vents du large, du S.O. au N.O., occasionnent dans le port d'Ymuiden une assez forte houle, qui se propage dans le canal extérieur, en y conservant encore 0^m,60 à 0^m,80 de levée, et plus encore près des écluses, dont les portes battent souvent avec violence; pendant les fortes tempêtes, il s'y produit en outre des relèvements et des abaissements subits de l'eau, offrant des différences de niveau qui atteignent en quelques minutes 1^m,15, 1^m,80 et même 2^m,30. Dans ces circonstances, le sasement des navires est évidemment interrompu.

Les conditions d'accès du canal maritime seront beaucoup améliorées par les nouveaux travaux en cours d'exécution; ils comprennent la construction d'une nouvelle écluse à sas, placée dans une dérivation latérale à l'axe du port, à 450 mètres en arrière de l'écluse existante et où l'agitation sera notablement moindre. La nouvelle écluse offrira d'ailleurs des dimensions plus grandes que l'écluse actuelle; elle aura 24 mètres de largeur, 208 mètres de longueur utile et des radiers placés à 8^m,50 sous le AP. (Pl. XXXVII. fig. 1).

Pour faciliter la navigation à l'intérieur d'un port et y atténuer les

embarras occasionnés par la houle, le meilleur moyen consiste évidemment à augmenter les surfaces d'épanouissement de celui-ci, ainsi que la distance à parcourir par les navires depuis la passe d'entrée jusqu'aux écluses ; toutefois, comme on augmente en même temps l'étendue du port soumis aux envasements, et par conséquent l'importance des dragages d'entretien, on doit ne pas exagérer cette distance.

Dans l'opinion de bien des marins, il conviendrait de protéger le port d'Ymuiden par un breakwater placé à une distance de 2,000 mètres au moins de la côte, afin de créer devant celle-ci une eau relativement calme et de permettre aux navires de pénétrer plus facilement dans l'enceinte. Ce projet, dont l'exécution diminuerait sans doute l'effet des vagues de tempête à l'entrée du port, et aussi l'agitation existant à l'intérieur de celui-ci, n'a cependant pas été admis ; d'abord parce qu'on craint que les courants de marée pourraient occasionner des ensablements à chacun des musoirs du breakwater, et ensuite parce que les navires, au lieu de pouvoir, comme maintenant, se diriger droit vers le port, auraient un double changement de direction à faire, le premier pour contourner le breakwater, le second pour attaquer le port⁽¹⁾.

On a proposé aussi de créer à Ymuiden un avant-port précédé de brise-lames flottants, de construction beaucoup moins coûteuse qu'une digue ; on invoquait en outre que ces ouvrages, d'un remaniement facile d'ailleurs, entraveraient peu le régime des courants et la propagation des eaux d'émission du port. La fig. 5, Pl. XXXVII, représente le dispositif préconisé par MM. Croker et Burn. Le brise-lames se compose de 45 bouées en fer galvanisé de forme cylindrique, ayant 15^m,25 de diamètre extérieur et maintenues en place au moyen de fortes chaînes d'ancrage. Ces bouées, distantes l'une de l'autre de 15 mètres environ, occuperaient une longueur de 1,400 mètres, longueur qui semblait suffisante pour atténuer la force des vagues devant la tête des jetées, au point de rendre l'entrée du port praticable par les plus mauvais temps.

On a objecté avec raison que ce dispositif présenterait de graves inconvénients, à cause des dangers de déplacement et de destruction auxquels les bouées seraient nécessairement exposées, et qu'il ne paraissait pas pouvoir constituer un abri efficace pour les navires ; l'ensemble des bouées, tel qu'il était projeté, était d'ailleurs bien trop rapproché de l'entrée et il y aurait plutôt créé des inconvénients que des avantages.

Un essai de ce genre avait déjà été tenté en 1846 au port de la Ciotat, dans le Département des Bouches-du-Rhône, sans donner aucun résultat. Les

(1) Voir § III de ce chapitre.

appareils du brise-lames consistaient en des coffres en charpente à claire-voie et à mailles serrées, ayant 50 mètres de long sur 10 mètres de large. (Pl. XXXVII, fig. 6). Chacun d'eux était fixé à des ancrs au moyen de six chaînes en fer. Les coffres étaient placés suivant deux rangées parallèles; les vides laissés entre ces coffres dans l'une des rangées correspondaient aux pleins de l'autre. Mais ce système ne pouvait être tenu en place; pendant les tempêtes, les appareils furent disloqués et emportés, et l'on a fini par les enlever tous, comme ne répondant aucunement au but qu'on s'était proposé.

D'autres expériences, faites en Angleterre dans le même ordre d'idées, n'ont pas mieux réussi.

NOUVEAU CANAL D'AMSTERDAM. — Cette belle voie navigable est établie en tranchée depuis la mer jusqu'à Velsen, sur une longueur de 5,980 mètres, et à Buitenhuisen, sur une longueur de 800 mètres (Pl. XXXVII, fig. 7). Toute la partie restante, d'une longueur de 16,920 mètres, est située dans le golfe de l'Y. Le fond du canal se trouve partout à 8^m,20 sous AP, et le niveau de flottaison à 0^m,50 sous ce même repère, de façon à avoir un tirant d'eau de 7^m,70 entre les écluses d'Ymuiden et Amsterdam. Dans les parties en tranchée, les talus ont été arrêtés supérieurement à 1 mètre sous AP; à cette hauteur, il existe deux bermes de 6 mètres de largeur, qui se raccordent avec des talus de même inclinaison que les précédents et qui sont interrompus au niveau des chemins de halage, pour se prolonger plus haut jusqu'au terrain naturel. La cunette du canal, sur 4,660 mètres de longueur à partir des écluses, a 32 mètres de largeur au plafond et 52^m,50 dans le garage existant près des écluses; plus loin elle n'est que de 20 mètres.

Dans l'étendue de l'Y, les talus s'élèvent avec une inclinaison de 2 pour 1 jusqu'au terrain naturel, qui est conservé des deux côtés, comme bermes, sur une largeur de 30 mètres. Le long de ces bermes, se trouvent les digues latérales ayant 5 mètres de largeur en crête et des talus de 4 pour 1. Cette partie du canal a une largeur de 120 à 130 mètres au niveau de flottaison, suivant la profondeur plus ou moins différente du fond du golfe au droit de son emplacement; mais la largeur utile pour la grande navigation est la même que dans les parties en tranchée. A une distance de 3 kilomètres environ de la rade d'Amsterdam, le canal s'élargit et les deux digues vont en divergeant jusqu'à la rencontre des rives du golfe.

Les écluses d'entrée du canal sont placées à l'intérieur des dunes, à une distance de 1,200 mètres environ de la plage; elles sont au nombre de trois. La grande écluse a 154^m,40 de longueur totale, dont 120 mètres de longueur

utile, et 18^m,05 de largeur au niveau de AP, avec buscs placés à 7^m,75 sous ce repère. Elle est munie, à chacune de ses extrémités, de portes de flot et de portes d'ebbe; la longueur du sas peut être divisée en deux compartiments, ayant respectivement 50 et 70 mètres, à l'aide de portes de flot intermédiaires. Du côté aval, les bajoyers ont 5 mètres de hauteur au-dessus de AP, et dépassent de 1^m,60 le niveau moyen des hautes mers de tempête; le fruit des parements est de $\frac{1}{20}$.

La seconde écluse a 98^m,45 de longueur totale, dont 70 mètres de longueur utile, et 12^m,05 de largeur au niveau de AP, avec buscs établis à 5^m,00 sous ce même niveau.

La troisième écluse est une écluse de décharge; elle a 33^m,40 de longueur et 10^m,05 de largeur, avec buscs placés également à 5^m,00 sous AP; elle est munie de deux paires de portes de flot et d'une paire de portes d'ebbe.

La digue-barrage de l'Y est établie à l'est d'Amsterdam, près de Schellingwoude; elle a une longueur totale de 1,360 mètres. Pour maintenir la communication entre le Zuiderzee et la partie conservée du golfe, on a construit dans la digue, à 300 mètres de son extrémité nord, les écluses de Schellingwoude, appelées aussi les *écluses d'Orange*.

A l'endroit où le barrage a été élevé, la profondeur du golfe était en moyenne de 3 mètres; mais elle a augmenté sous l'action des courants, à mesure que les tronçons de la digue, commencés à partir de chacune des rives, se rapprochaient l'un de l'autre; cette profondeur atteignait plus de 8 mètres lorsque le barrage était sur le point d'être entièrement fermé.

Le fond du golfe, composé de sable et d'argile, était recouvert presque partout d'une couche de vase. Celle-ci a été préalablement enlevée et l'on a coulé, sur toute la largeur de la digue, une plate-forme en fascinage; sur cette plate-forme, et de chaque côté du profil transversal du barrage, on a immergé successivement une série d'autres plates-formes, plus petites, disposées en gradins et destinées à maintenir le noyau central, composé de sable et d'argile; les talus et la partie supérieure de l'ouvrage sont protégés à l'aide d'une couche d'argile de 1 mètre d'épaisseur au moins.

La digue a une largeur de 4 mètres en crête; sa hauteur est de + 3^m,50 par rapport à AP; dans le Zuiderzee, la marée ne s'élève, en temps ordinaire, qu'à 0^m,25 au-dessus du repère, et son amplitude n'est, en moyenne, que de 0^m,30; mais par les gros temps, la mer monte souvent jusqu'à 2^m,50 au-dessus de AP, de sorte que la crête de la digue ne dépasse que de 1 mètre environ le niveau des plus hautes mers. Les talus de la digue, du côté du Zuiderzee, sont inclinés à raison de 3 $\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur et présentent une berme de 3 mètres de largeur, placée à 0^m,50 + AP; du côté du canal, les talus

sont défendus au moyen d'un revêtement en enrochements ; leur inclinaison est de 2 pour 1, avec berme de 5 mètres de largeur.

Les écluses de Schellingwoude comprennent trois écluses de navigation, une écluse de décharge et trois pertuis. La grande écluse de navigation a 96 mètres de longueur utile et 18^m,05 de largeur au niveau de AP ; les deux écluses latérales ont chacune 72^m,80 de longueur utile sur 14^m,05 de largeur ; l'écluse de décharge a 10^m,05 et les trois pertuis ont chacun 4 mètres de largeur. Les buses sont placés à la cote 4^m,50 sous AP. Les écluses de navigation sont munies à chacune de leurs extrémités de portes de flot et de portes d'ebbe, et leur sas est séparé en deux compartiments par des portes de flot intermédiaires. Les grandes dimensions de ces écluses, eu égard à leur faible profondeur, ont été adoptées, parce que les navires qui arrivent par le Zuiderzee, sont très nombreux, mais n'ont qu'un faible tirant d'eau et des longueurs généralement assez restreintes.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, les eaux du canal et de la partie du golfe conservée devant Amsterdam doivent être maintenues à 0^m,50 sous AP, pour assurer le dessèchement des terres situées des deux côtés du canal. Or, le niveau moyen des basses mers, se trouvant dans le Zuiderzee à 0^m,25 seulement sous AP, la décharge des eaux aux écluses de Schellingwoude ne peut se faire que par de très basses mers ; aux écluses de la mer du Nord, où la marée basse se tient moyennement à 0^m,50 sous AP, l'évacuation des eaux du canal s'opère un peu plus fréquemment, mais pas suffisamment, en général, pour maintenir le canal à la cote prescrite. Afin de suppléer à ces moyens d'écoulement on a installé, près des pertuis des écluses de Schellingwoude, trois machines à vapeur, ayant chacune 75 chevaux de force, et faisant marcher trois pompes centrifuges, dont les cylindres ont 2^m,44 de diamètre. Ces pompes, dont le débit total est évalué à 6,000 mètres cubes par minute, fonctionnent en moyenne 90 jours par an.

Les travaux du port d'Ymuiden et du canal d'Amsterdam, dont nous venons de donner un aperçu succinct, sont certainement très remarquables, tant sous le rapport de la conception des plans, que sous celui des difficultés d'exécution.

L'entretien de l'avant-port exige des frais annuels de dragage assez importants, mais qui ne sont pas trop élevés quand on tient compte des grands avantages que cette nouvelle voie de communication avec la mer du Nord procure au commerce de la ville d'Amsterdam.

V. — PROJET D'ÉTABLISSEMENT D'UN PORT A HEYST.

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, dont nous avons parlé aux chapitres IV et VII, existe depuis longtemps et, malgré 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 des fonds de 7^m,00 de profondeur sous marée basse, lesquels se maintiennent sensiblement au même niveau jusqu'au banc du Binnen-Paardemarkt.

Ce banc s'étend dans une direction à peu près parallèle à la côte et à une distance d'environ 2,000 mètres de celle-ci; la partie est du plateau, comprise entre le village de Knocke et le Zwijn, n'offre que 0^m,60 à 2^m,00 d'eau à marée basse; la partie ouest est plus profonde; on y sonde près de 5^m,00 devant Heyst. La profondeur de la fosse, située entre ce banc et la côte, est de 7^m,00 à 7^m,50 à l'ouest des écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de dérivation de la Lys; elle atteint jusqu'à 8 et 10 mètres devant le village de Knocke.

A l'ouest et en prolongement du Binnen-Paardenmarkt se trouve « le Zand », où l'on sonde 5^m,70 à 6^m,20 d'eau à marée basse, et qui sépare la passe du Wielingen des fonds de 7 mètres attenant au rivage. L'étude des modifications survenues depuis le commencement du siècle dans les fonds sous-marins de l'atterrage de Heyst, nous a d'ailleurs permis de conclure qu'aucun changement n'est à craindre dans le régime des bancs et des passes de ces parages maritimes, qui soit de nature à modifier les conditions actuelles d'accès de la passe du Wielingen, au-dessus du Zand, vers la côte.

L'amplitude des marées moyennes de vive eau, observées aux écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de dérivation de la Lys, est de 4^m,48. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 0^m,80, et celui des hautes mers de morte eau à 3^m,58 au-dessus du niveau moyen des basses mers de vive eau.

Dans la fosse de Heyst, la vitesse maximum du courant de flot, en vive eau, est de 1^m,40, et celle du courant de jusant, de 1^m,30 par seconde. La

direction du courant de flot, au moment de sa plus grande vitesse, laquelle se produit vers l'heure de la haute mer, est E. N. E. ; celle du jusant, au moment de sa plus grande vitesse, soit vers l'heure de la basse mer, est O. S. O. En morte eau, la vitesse maximum des courants de flot et de jusant est respectivement de 0^m,75 et de 0^m,65 par seconde ; la direction de ces courants, au moment de leur plus grande vitesse, ne diffère pas sensiblement de celle que l'on observe pendant les marées de vive eau.

Comme nous l'avons déjà dit, M. de Maere-Limnander, dans sa brochure intitulée « *D'une communication directe de Bruges à la mer,* » propose de construire près de Heyst, à l'ouest et à 1,250 mètres des écluses d'évacuation établies au débouché des canaux de Selzaete et de dérivation de la Lys, un port en eau profonde, comprenant, comme celui d'Ymuiden, une enceinte formée par deux jetées insubmersibles, qui s'avanceraient en mer jusque dans les fonds de 7^m,00 sous le niveau de marée basse.

Sur le plan annexé à cette brochure, les jetées sont éloignées de 1,000 mètres à l'origine et comprennent une surface de 60 hectares (Pl. XXXVIII). La jetée de l'ouest, de 1,100 mètres de longueur, dépasse celle de l'est et est légèrement recourbée de façon, dit l'auteur « à conduire la vague au delà de l'entrée du port et à maintenir la profondeur dans la passe ; » celle-ci débouche dans les fonds de 7^m,00 sous marée basse ; sa largeur est fixée à 300 mètres. Dans un plan de publication plus récente, M. de Maere apporte certaines modifications dans la disposition des jetées ; il propose de les faire symétriques, en les terminant par un élément droit, parallèle à la côte et raccordé avec les ailes est et ouest au moyen d'une partie courbe peu différente de l'arc de cercle. La largeur de la passe est de 200 mètres (Pl. XXXVIII).

L'avant-port, ainsi formé, donnerait accès à une grande écluse à sas, placée en tête du canal maritime, qui serait creusé de Heyst à Bruges et conduirait à de nouveaux bassins de commerce à installer en cette dernière ville.

Le canal maritime projeté s'étend en ligne droite de la mer au bassin actuel de cette ville. Il ne présente qu'un seul bief de 12,000 mètres de longueur ; sa largeur est de 20 mètres au plafond et de 62 mètres au niveau de la flottaison, fixé à la cote 4^m,04 au-dessus du zéro d'Ostende ; sa profondeur sous ce niveau est de 7 mètres. Le canal serait alimenté exclusivement par l'eau de la mer.

L'écluse aurait 20 mètres de largeur et se composerait de deux têtes comprenant un sas intermédiaire ; chaque tête serait munie d'une double paire de portes avec buscs placés à 7 mètres sous la ligne d'eau ; le sas, terminé latéralement

par de simples talus avec perrés, aurait 200 mètres de longueur et 62 mètres de largeur à la flottaison.

La partie importante du projet de M. de Maere est celle qui se rapporte à l'établissement et à l'entretien de l'avant-port, et c'est la seule dont nous ayons à nous occuper ici.

Au point de vue purement nautique, il est à remarquer d'abord que la côte de Heyst n'est pas précédée d'une rade abritée, car le banc du Binnen-Paar-demarkt n'est ni assez puissant, ni assez élevé pour que l'on puisse considérer comme telle la fosse allongée située au sud de ce banc. Dans l'opinion de l'auteur, l'enceinte formée par les jetées constituerait elle-même " une rade de refuge où, en cas de gros temps, se remettraient les navires de toute provenance et de toute destination qui passent au large de nos côtes. "

" L'avant-port de Heyst, dit encore M. de Maere, se présentera comme celui d'Ymuiden, et comme ceux de Douvres, de Boulogne et de Scheveningen (en projet), et tant d'autres, droit devant le plein, sans qu'un brise-lames, un banc artificiel ou naturel viennent en abriter l'entrée. "

Cette appréciation n'est pas exacte; car les ports cités comme exemples sont précédés, à partir des fonds de 7 à 8 mètres sous marée basse, d'un talus sous-marin qui n'est encombré par aucun banc, comme à Ymuiden et à Douvres, ou qui offre des passes larges et profondes, comme à Boulogne. Encore est-il à noter que de pareils ports ne présentent pas la même facilité d'accès qu'une bonne rade couverte, soit naturelle, soit artificielle.

D'autre part, on sait que l'avant-port d'Ymuiden, que M. de Maere veut imiter à Heyst, ne constitue pas un lieu de stationnement où les navires sont en sécurité pendant les gros temps; il ne sert que de passe d'accès conduisant aux écluses du canal maritime, et la houle se fait même sentir assez vivement près de ces écluses, malgré la forme évasée de l'enceinte.

Il doit d'ailleurs en être nécessairement ainsi pour tous les ports, conçus dans le même système et établis sur une côte ouverte, lorsqu'on doit y compter en outre avec des apports alluvionnaires abondants, comme c'est le cas à Ymuiden, et plus encore le long de la côte des Flandres. Car cette circonstance empêche précisément de donner à l'enceinte, de part et d'autre de son axe, une étendue assez grande pour que les navires y soient suffisamment soustraits à l'influence des vagues de tempête et à la houle. D'autre part, plusieurs grands bâtiments ne peuvent à la fois jeter l'ancre et mouiller sans encombrement dans un avant-port, s'il n'a pas une très grande largeur; car un bâtiment de 120 mètres de longueur par exemple, a besoin d'une longueur de chaîne égale à 4 ou 5 fois la profon-

deur d'eau, soit 35 mètres environ, de sorte qu'un seul navire de cette dimension occuperait un espace de plus de 300 mètres pour évoluer librement. Sur des côtes à régime essentiellement vaseux comme la nôtre, il n'y a pas à songer à maintenir la profondeur sur d'aussi grandes superficies.

Même sur des atterrages moins alluvionnaires, les projets de l'espèce demandent mûre réflexion; car les avantages qu'ils offrent sont, d'après nous, plus apparents que réels, et ne répondent pas, le plus souvent, au coût considérable des travaux de dragage à faire régulièrement pour leur entretien. Sans doute, ces vastes enceintes où l'on peut aménager des quais directs d'accostage, sont d'une utilité incontestable, surtout au point de vue du service des escales et des communications postales. Mais dans bien des cas, il est plus simple et plus pratique d'établir les quais de marée dans un avant-port intérieur, où ils sont d'une exploitation tout aussi commode, lorsque le chenal qui y conduit offre, par sa profondeur et son orientation, de bonnes conditions de navigabilité.

Rappelons en passant que sur une côte ouverte, une enceinte limitée du côté du large par une digue parallèle au rivage, n'est pas sans offrir des difficultés pour les navires qui attaquent le port par de mauvais temps, à cause des brisants et des remous qui se produisent le long de cet ouvrage, de part et d'autre de l'entrée et jusque devant celle-ci, et que sous ce rapport, un avant-port avec jetées convergentes comme celles d'Ymuiden est meilleur.

Il est certain en tous cas que le long du littoral des Flandres, et notamment à Heyst, les avant-ports de surface relativement restreinte sont seuls à conseiller. C'est le système, nous l'avons vu, qui a été suivi d'ailleurs à La Rochelle, et c'est encore celui que l'on vient d'adopter définitivement à Douvres et au Havre, tandis que les travaux de construction de l'enceinte de Boulogne ont été ajournés.

M. de Maere a du reste proposé lui-même de faire comme à Ymuiden, et de ne maintenir dans l'avant-port projeté de Heyst, qu'une passe centrale de 250 mètres de largeur, située dans l'axe du canal extérieur, qui précède l'écluse d'entrée du canal maritime.

Ce dispositif, soumis successivement à deux Commissions, a fait l'objet de longues discussions⁽¹⁾.

(1) La première Commission a été instituée par le Gouvernement en 1878; le compte-rendu des séances et le rapport en ont été publiés en 1883. Ce rapport n'était pas favorable au projet de M. de Maere, la Commission étant d'avis que les envasements à l'intérieur de l'enceinte abritée par les môles auraient été tellement considérables, que le dragage aurait été impuissant à les combattre d'une manière efficace et pratique.

La seconde Commission, nommée par la ville de Bruges et dont le rapport a paru en 1884, formula au sujet de la question de l'envasement intérieur du port projeté, cette conclusion que l'importance probable des apports n'aurait pas dépassé 0^m,80 d'épaisseur par an. Mais elle s'était basée sur des faits fort hypothétiques concernant la nature et la densité des matières en suspension dans l'eau de la mer devant

Parlons en d'abord au point de vue nautique. L'atterrage de Heyst offre sans doute, comme accessibilité, de sérieux avantages et se prête à la création d'un port de premier ordre. Les navires peuvent approcher de ce point de la côte en prenant la passe du Wielingen, qui est praticable par tous les temps et à toute heure de la marée; ils auraient ensuite à franchir le Zand pour se diriger vers le port. Il n'y a sur ce plateau que 6^m,00 d'eau environ en moyenne, mais il serait facile d'y creuser des passes plus profondes par dragage; non-seulement les fonds du Zand, devant Heyst, ont beaucoup de fixité, mais ils se trouvent en outre à une assez grande profondeur sous le niveau de la mer; or, dans ces conditions, on peut prévoir que les passes dont il s'agit n'exigeraient que des dragages d'entretien fort modérés (¹). Toutefois, comme les fonds existant entre le plateau et le rivage n'ont pas plus de 7^m,00 de profondeur sous le niveau des basses mers, il n'y aurait pas d'avantage à descendre le fond de la passe plus bas. L'amplitude de la marée étant moyennement de 4^m,00 environ, le port serait du reste accessible, à mer basse, aux navires de 5^m,50 à 6^m,00, et pendant 6 à 7 heures environ à chaque marée, à ceux de 7^m,00, en fixant à 1^m,20 la déduction qu'il convient de faire pour tenir compte du creux des lames.

Nous conseillerions de creuser les passes à ouvrir à travers le Zand la première, dans l'O. N. O. $\frac{1}{2}$ N., la seconde dans le N. qN. E. de la tête des jetées du chenal. Nous y reviendrons.

M. de Maere propose avec raison d'orienter l'entrée du port au N. O., soit dans la direction des vents dominants; il en fixe la largeur à 200 mètres. Cette dimension répond aux besoins de la navigation, et il ne conviendrait pas de l'augmenter de crainte d'avoir trop d'agitation dans le port.

Quant au tracé proposé pour les parties extrêmes des jetées, il comprend de chaque côté de l'entrée un tronçon parallèle au rivage; ce dispositif a pour but, d'après l'auteur, de conduire les courants parallèlement à la passe d'entrée et d'éviter les ensablements; mais le danger d'ensablement, nous le verrons tantôt, est peu ou point à craindre à Heyst, tandis que les bouts de jetées paral-

Heyst d'une part, et devant Ymuiden d'autre part, et elle en avait déduit par comparaison la conclusion précitée, inadmissible d'après nous. La Commission n'avait d'ailleurs à sa disposition que des renseignements fort incomplets au sujet de la proportion et de la nature des matières en suspension dans l'eau de la mer devant les atterrages en question; ils résultaient de quelques expériences isolées, n'ayant pas le caractère de précision voulue, surtout au point de vue de la similitude des circonstances dans lesquelles elles avaient été faites. D'un autre côté, la Commission avait invoqué à l'appui de sa manière de voir des faits observés aux bassins de chasse du port de Breskens; or, dans de pareils bassins, les dépôts se produisent dans des conditions toutes différentes de celles qu'il s'agit de considérer.

(¹) Voir chapitre VIII, § I.

lèles à la côte sont de nature à créer devant le port des mers confuses, par suite des lames de réflexion et des ressacs qui se produiraient contre ces ouvrages. C'est ce que M. Michel, Inspecteur général de la Marine, a fait ressortir au sein de la Commission de 1878, et celle-ci partageait sa manière de voir. M. Michel signalait en outre qu'au point de vue de la navigabilité du port, la longueur de l'enceinte, depuis l'entrée jusqu'à l'origine du canal extérieur, était trop faible; il estimait que cette longueur, fixée à 800 mètres, aurait dû être à peu près doublée pour permettre aux navires de se diriger en sécurité vers les écluses du canal maritime.

A notre avis, quand il s'agit de ports à établir sur des plages ouvertes et d'après le système adopté à Ymuiden, il convient non-seulement de proscrire pour l'entrée les tronçons de jetées parallèles et de disposer les extrémités de celles-ci de façon à ce qu'elles reçoivent le moins directement possible les lames du large, mais encore de les construire partiellement à claire-voie. A cet effet, ces parties des jetées pourraient être formées d'un massif de fondation en enrochements ou en maçonnerie de blocs artificiels, terminé par des talus de faible inclinaison et arasé supérieurement au niveau des basses mers moyennes; sur les talus et le couronnement de ce massif, on établirait une construction à claire-voie en bois, dont le plancher se trouverait à 5 mètres environ au-dessus du niveau des hautes mers équinoxiales. Dans ces conditions, les vagues de gros temps occasionneraient à l'entrée du port moins de brisants et de mauvaises mers, point important, car il est indispensable de faciliter par tous les moyens les manœuvres que les navires ont à faire au moment d'attaquer le port.

Ensuite, il n'est pas nécessaire de donner à des avant-ports comme celui d'Ymuiden, qui ne servent en définitive que de chenal d'accès, une forme très évasée. Mieux vaudrait, croyons-nous, diminuer dans une certaine mesure l'écartement des jetées, mais disposer devant la plage, de part et d'autre de l'entrée du canal extérieur, une crique d'épanouissement, en vue d'atténuer la houle qui se propage dans l'avant-port. On devrait en outre se réserver la possibilité d'établir d'autres brise-lames le long de ce canal, pour réduire encore, au besoin, la levée de la lame devant les écluses d'entrée du canal maritime.

Revenons en particulier au port projeté de Heyst.

Moins encore qu'à Ymuiden, il serait à conseiller d'abriter le port par un breakwater parallèle à la côte. Pareille digue ne pourrait être établie convenablement qu'à l'emplacement du Zand et suivant le gisement de ce banc. Or, à part les dangers qui pourraient en résulter pour le maintien des passes voisines,

notamment pour celle du Wielingen, le breakwater ne serait pas de nature à créer une bonne rade artificielle le long de la côte, et d'autre part, son existence constituerait plutôt une gêne au point de vue de l'accessibilité du port; car il est désirable, on le sait, que les navires puissent se diriger vers celui-ci sans déviation et le plus directement possible.

Ajoutons que l'atterrage de Heyst est moins exposé à la violence des lames que celui d'Ymuiden à cause de l'existence du Zand, et aussi parce que les grands fonds, ceux de 10 mètres, y sont moins rapprochés de la côte. Enfin, par des tempêtes exceptionnellement violentes du N.O., quand les navires pourraient redouter de franchir le Zand et d'attaquer le port, ils n'auraient qu'à continuer leur route dans le Wielingen pour se réfugier dans l'Escaut; sous ce rapport, le voisinage immédiat de l'embouchure de ce fleuve constitue un sérieux avantage.

En définitive, les conditions d'accessibilité du port projeté de Heyst, surtout après qu'on aurait creusé des passes à travers le Zand, conformément à ce qui a été dit plus haut, seraient certainement des plus satisfaisantes. Les grands navires s'y rendraient par une route sûre jusque dans le Wielingen, en se tenant au large des bancs des Flandres tant redoutés des marins, et après avoir doublé le Wandelaar, ils se dirigeraient sur le port.

Examinons maintenant les questions techniques que le projet soulève.

Pour ce qui est des ensablements, on se rappelle que la plage de Heyst, peu large d'abord, tend à être corrodée et envahie par la mer; les dépôts de sable dont elle est formée n'y paraissent pas avoir une grande épaisseur; ils reposent sur des couches de tourbe et d'argile, qu'on voit apparaître en plusieurs endroits. Les considérations développées à ce sujet au chapitre VII, § II prouvent d'ailleurs que l'exhaussement de la plage, qui pourrait se produire de part et d'autre des jetées du port projeté, ne serait pas prononcé, et dans tous les cas pas de nature à y créer des embarras. La passe d'entrée du port ne serait sans doute pas entièrement affranchie des atterrissements; les courants de flot et de jusant occasionneraient le long des jetées des affouillements plus ou moins profonds et entraîneraient le sable soulevé vers la tête de ces ouvrages; mais les dépôts seraient peu importants et on les enlèverait facilement à la drague. La grande difficulté dont il y a lieu de se préoccuper pour le port projeté de Heyst, comme pour tous ceux du littoral des Flandres, est relative aux envasements intérieurs.

Nous avons insisté aux chapitres VII et VIII sur l'abondance exceptionnelle avec laquelle les vases sont transportées le long de ce littoral, et sur la rapidité avec laquelle elles se déposent dans les parties abritées des ports,

là où il n'existe pas de chasses naturelles ou artificielles pour les combattre.

M. Michel, en parlant de l'atterrage de Heyst, dans une des séances de la Commission de 1878, disait à ce propos : " il m'est arrivé, en naviguant " dans la passe du Wielingen par une tempête du N. O., d'y trouver l'eau si " chargée qu'elle ressemblait à de la boue; les lames, en déferlant sur le pont " du navire, y avaient déposé tellement de vase qu'arrivé dans l'Escaut, il fallait " procéder à un lavage général. "

Après plusieurs jours de temps calme, on remarque d'ailleurs que les vases se déposent même sur la plage, devant Knocke et Heyst, là où il n'existe pas d'épis de défense et où le jeu de la marée creuse des sillons plus ou moins profonds à travers les sables de l'estran. Au-dessus de ces sillons, les lames en retour, lorsque la mer n'est pas agitée, sont trop faibles pour empêcher le dépôt des vases en suspension, et il n'est pas rare d'y constater l'existence de couches très étendues, ayant 0^m,10 à 0^m,12 d'épaisseur; celles-ci disparaissent à la première tempête, pour reparaitre ensuite à nouveau. Le même fait peut s'observer sur la plage de Blankenberghe, dans les affouillements que le déferlement des eaux produit fréquemment le long du corps des épis de défense de la côte et le long des jetées qui bordent, à Heyst, les chenaux des écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de dérivation de la Lys; près de ces derniers ouvrages, nous avons constaté des dépôts de plus de 0^m,15 d'épaisseur.

Aux yeux des pêcheurs, la présence de couches de vase sur l'estran est un indice qui annonce l'approche de vents violents, prévision qui, en général, se justifie, précisément parce que les temps calmes prolongés sont rares dans nos contrées.

Quelle serait l'importance probable des envasements dans un port établi sur la côte de Heyst et conçu d'après le système adopté à Ymuiden?

Le problème ne comporte évidemment pas de solution précise; mais en se basant sur ce qui se passe, soit à ce dernier port, soit à ceux de la côte des Flandres, et de quelque façon qu'on envisage la question, on en arrive forcément à conclure, avec la Commission de 1878, que les apports seraient considérables.

Rappelons d'abord qu'aux bassins de pêche de Blankenberghe et d'Ostende, lorsqu'ils sont dragués à 1 mètre seulement sous le niveau des basses mers, on constate un envasement d'environ 0^m,80 par an. En tenant compte de ce fait que, d'une manière générale, la précipitation des matières en suspension est d'autant plus active que la nappe d'eau a plus d'épaisseur, on peut déjà se faire une idée de la rapidité avec laquelle les matières vaseuses se déposeraient

dans un avant-port creusé sur la côte de Heyst, à 7 mètres sous le niveau précité. Les observations faites à Ostende et à Nieuport et que nous avons mentionnées au chapitre VII sont catégoriques à cet égard.

A Ostende, le pertuis d'accès de l'écluse de la Marine, où il n'existe aucun courant de vidange de nature à contrarier le dépôt des vases, a été approfondi, il y a quelque temps, à 4^m,00 sous le niveau de basse mer; au bout d'une année, il s'y est produit des dépôts atteignant à peu près cette épaisseur. A Nieuport, le fond du chenal d'accès du nouveau bassin à flot avait été établi à la cote — 2^m,90; trois mois après, il ne se trouvait plus qu'à la cote — 1^m,80; le fond s'était exhaussé de 0^m,37 en moyenne par mois. L'envasement y a continué ensuite d'une manière un peu moins active, la profondeur d'eau étant devenue de plus en plus faible, mais l'épaisseur des dépôts, répartie sur une durée de 7 mois, mesurait encore 0^m,25 en moyenne par mois.

On a objecté à cette opinion que des bassins d'échouage comme ceux de Blankenberghe et d'Ostende, communiquent avec la mer par un chenal d'assez grande longueur, et que l'agitation qui y règne est bien moins prononcée qu'elle ne le serait dans un avant-port construit tout entier en avant de la ligne des dunes; mais cette circonstance, contrairement à ce que l'on pourrait croire à première vue, n'est pas de nature à diminuer beaucoup l'importance des envasements. Les môles pleins, en effet, qui entourent pareils avant-ports, interceptent complètement les courants de marée, de sorte qu'en temps calme, l'enceinte se remplit dans des conditions qui favorisent absolument la précipitation des matières en suspension, et ce jusqu'après l'étalement de haute mer. Vient ensuite la marée baissante, pendant laquelle se produisent les courants de vidange; mais ces courants ne s'accroissent que dans la partie aval et surtout à l'entrée de l'enceinte, et ils n'ont certainement pas assez de force pour exercer dans la partie restante une action bien appréciable sur les vases descendues au fond, par une profondeur de 7 mètres sous marée basse, à moins d'être puissamment alimentés par des eaux d'amont. Par de fortes brises, il existerait sans doute une certaine agitation entre les jetées, mais les eaux de remplissage sont alors aussi plus chargées, et il est à noter d'autre part que l'avant-port doit être disposé de façon que la houle y soit suffisamment atténuée pour ne pas nuire aux exigences de la navigation.

A Ymuiden, où l'agitation est relativement intense et s'étend même dans le canal extérieur, jusqu'aux écluses d'entrée du canal maritime, les envasements sont néanmoins rapides; l'enlèvement des dépôts, on le sait, y exige chaque année un dragage de 500,000 mètres cubes environ, mesurés dans les chalands;

ce déblai correspond à l'entretien d'une surface totale navigable d'environ 35 hectares. Or, si l'on compare les caractères du régime de la côte des Flandres à ceux de l'atterrage d'Ymuiden, on doit conclure que les apports vaseux dans le port projeté de Heyst seraient bien plus abondants qu'à Ymuiden; car devant Heyst, les courants de marée ont une intensité notablement plus grande que devant ce dernier port, circonstance fort importante évidemment au point de vue du degré de saturation des eaux; puis, l'amplitude de la marée, d'où dépend le volume de remplissage du port, y mesure en moyenne 4 mètres, tandis qu'elle n'est que de 1^m,60 à Ymuiden; enfin les fonds vaseux de la côte des Flandres sont situés à des profondeurs moins grandes que celles qui s'étendent en ce point de la côte néerlandaise, de sorte que les couches vaseuses y sont plus facilement remuées par les lames. Aussi les eaux, dans les parages d'Ymuiden, présentent-elles un degré de limpidité qu'on n'observe jamais sur notre littoral, pas même par les temps les plus calmes.

Il n'est pas possible de déterminer l'épaisseur annuelle probable des apports qui seraient entraînés dans le port de Heyst, en se basant sur les quantités de matières que l'eau de la mer y tient en suspension et au sujet desquelles un certain nombre d'observations ont été faites en 1880⁽¹⁾. Il faudrait, à cet effet, pouvoir tenir compte de l'état toujours variable de la nappe marine, ainsi que du degré de calme relatif qui y correspondrait dans l'enceinte; or ce sont là des éléments que l'on ne peut préciser; de plus, les eaux de la mer ne se transportent pas verticalement vers le port; le remplissage se fait inégalement et semble s'opérer davantage par le fond, en même temps qu'il se produit des mouvements d'eau oscillatoires dans la masse liquide, qui remplit graduellement le port.

Disons cependant qu'en négligeant ces diverses circonstances, et en admettant que le tiers seulement de la vase entraînée moyennement par les eaux de remplissage se déposerait dans l'enceinte — et cette supposition n'est pas exagérée, puisque l'on constate qu'en pleine mer, le volume des matières en suspension se réduit souvent de la moitié aux étales — et en classant approximativement, d'après les observations de vent faites pendant quatre années consécutives, le nombre de jours pendant lesquels la mer est respectivement calme et houleuse, tout en laissant de côté l'influence des tempêtes, on trouve pour l'apport annuel une épaisseur dépassant de plus du double celle qui se produit à Ymuiden.

Il est tout au moins certain, en tous cas, qu'on aurait beaucoup de peine à entretenir dans le port projeté une passe centrale profonde, et que les

(¹) Rapport de la Commission de Bruges-port de mer de 1883. Annexe E.

dragages continuels qu'on aurait à faire, y occasionneraient des sujétions et des entraves à la navigation. Car de tous les engins connus, c'est la drague à godets qui convient le mieux et qui est le plus généralement employée dans pareils cas. Or ces engins sont fort encombrants, surtout quand ils ne portent pas eux-mêmes les déblais et que le transport des matières se fait au moyen de chalands remorqués et de porteurs à vapeur ; et lorsque l'enlèvement des apports exige le fonctionnement permanent d'un matériel considérable, dans une passe de largeur relativement restreinte, il en résulte évidemment de sérieux inconvénients et même des dangers pour la circulation des navires.

Déjà à Ymuiden, en dehors des dragues à aspiration destinées à combattre les ensablements à l'entrée, on emploie trois dragues à godets pour entretenir la passe navigable à l'intérieur du port ; deux d'entre elles ont chacune une puissance de rendement de 150 mètres cubes, et la troisième une puissance de 70 mètres cubes par heure de travail. Le matériel servant au transport des matières draguées en mer, à 5,000 mètres de distance du pied de la dune, comprend 2 porteurs à vapeur, six chalands et deux remorqueurs.

Il est à noter que sur une côte ouverte, la question de transport des déblais à une distance plus ou moins grande en mer, peut constituer, sinon une difficulté, du moins une cause de dépense supplémentaire notable, qu'on ne rencontre pas quand il s'agit de l'amélioration ou de l'entretien, par dragage, d'un port abrité, comme ceux situés à l'intérieur d'un fleuve ou d'une baie profonde, où les matières draguées sont ordinairement déversées en des parties abandonnées des eaux navigables, à l'abri des vents du large. A Ymuiden, le nombre de jours pendant lesquels l'état de la mer permet de draguer dans l'avant-port et de transporter le produit des dragages au lieu de déversement est assez restreint, environ 185 jours en moyenne par an, et le prix du mètre cube de déblai n'y est pas inférieur à 0^f,70 environ. A Heyst, la configuration des fonds situés devant la côte crée une situation plus défavorable ; il faudrait y conduire les matières draguées à 11 kilomètres au moins de la tête des jetées, car il n'est pas possible de les transporter en deça du Wielingen, de crainte d'y provoquer des exhaussements de fond nuisibles à l'accès du port, et on peut encore moins les conduire dans le Wielingen même, ni en aucun point situé dans le voisinage de cette belle passe, qui constitue le principal accès de l'Escaut.

La conclusion, à tirer de l'ensemble des considérations qui précèdent, c'est que sur une côte à régime essentiellement vaseux comme la côte des Flandres, la construction d'un avant-port à enceinte conduirait à un insuccès certain, alors

même qu'on se déciderait à n'y creuser, comme à Ymuiden, qu'une passe centrale, mais dans laquelle il s'agirait de maintenir régulièrement la profondeur prescrite de 7 mètres sous marée, basse.

Sans doute, si on voulait se contenter d'une profondeur notablement moindre, ce système serait possible, non sans exiger encore des dragages importants ; mais nous ne voyons pas les avantages de ce dispositif, alors même qu'on y apporterait certaines améliorations dont il est susceptible, car la condition essentielle à remplir pour assurer la bonne navigabilité d'un port de premier ordre consiste évidemment à pouvoir y entretenir sans difficulté de grandes profondeurs.

Nous ne nous arrêtons pas ici à certains projets qui ont été mis en avant pour créer devant Heyst un avant-port en pleine mer au moyen d'un breakwater parallèle à la côte, ou d'un môle isolé rattaché au rivage. Pareil dispositif, le dernier surtout, ne convient pas au régime de cet atterrage, et moins encore aux conditions qu'il importe d'y observer au point de vue nautique. C'est ce que nous avons exposé au § III de ce chapitre.

A notre avis, il n'est pas à conseiller, pour le nouveau port projeté à Heyst, de s'écarter du dispositif ordinaire de nos ports à marée, qui convient mieux que tout autre au régime *particulier* de notre littoral ; et c'est à tort, croyons-nous, qu'on invoque contre ce système les inconvénients que présentent la plupart de ces ports, lesquels, construits depuis longtemps et par parties successives, n'offrent pas, à cause du mauvais agencement de celles-ci et surtout à cause de leurs dimensions restreintes, les qualités nautiques exigées de nos jours.

Au lieu de vouloir absolument suivre un dispositif différent, il nous semble meilleur et bien plus sûr de l'adopter encore, sauf à l'approprier aux besoins actuels de la navigation, et de se préoccuper des conditions à remplir pour qu'il soit possible, pratiquement et sans dépenses excessives, de maintenir dans le nouveau port la profondeur voulue.

Ce dernier point nous paraît surtout à considérer dans le cas actuel ; car sans vouloir discuter l'opportunité qu'il peut y avoir à construire à Heyst un grand port, relié à la ville de Bruges par un canal maritime, ni l'influence que l'exécution de pareil projet exercera sur le développement commercial de notre pays, nous pensons que lorsqu'il s'agit d'un port nouveau à créer, il faut éviter, autant que l'on peut, de devoir consacrer annuellement des sommes considérables à son entretien. Sans cela, il est fort à craindre que dans les premières années qui suivraient sa construction et avant que le commerce ait pu en apprécier les avantages, ce qui dure souvent plus longtemps qu'on n'est généralement porté à croire, la Législature, effrayée par la dépense, ne soit plus disposée à

allouer les crédits nécessaires; or si cette éventualité devait se présenter, le port serait condamné à s'envaser rapidement et à perdre, avec sa réputation à l'étranger, toute chance de réussite dans un avenir plus éloigné.

Les considérations que nous venons de développer nous ont conduit à proposer pour le port de Heyst un avant-projet, dont nous esquisserons les grandes lignes. Elles ont été arrêtées dans l'hypothèse que le port ne servirait pas seulement d'accès au canal maritime à creuser vers Bruges, mais aussi de port d'escale (Pl. XXXVIII).

Le chenal serait dirigé au N. O., ouvert par conséquent aux vents dominants et creusé à 7^m,00 sous le niveau des basses mers de vive eau, que nous adopterons comme repère; il offrirait 150 mètres de largeur et déboucherait directement dans les fonds situés à la cote précitée. Le musoir de la jetée ouest dépasserait de 120 mètres environ celui de la jetée opposée. Une passe serait draguée à travers le Zand dans l'O. N. O. $\frac{1}{2}$ N. de l'entrée du chenal, à la profondeur de — 7^m,00, soit environ celle existant entre le Zand et la côte; elle permettrait aux grands voiliers de se diriger commodément du Wielingen vers le port, par les vents du S. O. au N. E. en passant par le nord. Une seconde passe, creusée dans le N. qN. E., compléterait fort utilement la première en vue des grands navires qui attaqueraient le port sous voiles par les vents du N. E. à l'E. qS. E.. Dès que le vent se rapproche du S. E., il n'y a plus de forte mer devant Heyst, et les bâtiments entreraient facilement en remorque.

La distance séparant la tête des jetées de l'avant-port serait de 1350 mètres; la partie du chenal située en avant des dunes ou chenal extérieur aurait 650 mètres de longueur. L'avant-port, creusé en prolongement du chenal, offrirait 400 mètres de largeur; il comprendrait une dépendance établie à l'ouest de son axe et au fond de laquelle s'ouvrirait l'écluse d'entrée du canal maritime; il communiquerait en outre directement avec une darse de 750 mètres de longueur et 120 mètres de largeur. Cette darse, qui pourrait au besoin être agrandie plus tard, serait bordée de quais en maçonnerie avec fondations profondes et terminée au sud par un talus.

Le chenal extérieur serait bordé de jetées à claire-voie en charpente avec digues basses, construites d'après un système semblable à celui de la nouvelle jetée ouest d'Ostende. La crête des digues basses, dont le talus du côté du chenal serait très faiblement incliné, se trouverait, dans l'étendue de la plage, à un mètre environ au-dessus de celle-ci; à partir de la laisse des basses mers, elle se maintiendrait de niveau à la cote + 1^m,00 environ. Le chenal intérieur et l'avant-port seraient bordés de talus à pente douce, précédés, là où de besoin, d'estacades ou de triangles de garde.

Voyons d'abord si l'ensemble des dispositions qui viennent d'être indiquées pour les parties navigables du port satisfont aux conditions voulues, c'est à dire si elles permettraient aux navires 1° d'attaquer le port dans de bonnes conditions, 2° de parcourir le chenal en sécurité et de s'arrêter ensuite dans l'avant-port, 3° de trouver dans ce dernier et le long des quais de marée des eaux assez calmes pour y stationner commodément ou pour entrer dans l'écluse du canal maritime.

On remarquera en premier lieu que l'orientation du chenal et le tracé des jetées ont été fixés conformément aux règles, dont il a été parlé au chapitre VI et qui répondent le mieux au régime des vents et des courants de la côte des Flandres (').

En donnant au chenal ainsi disposé une largeur de 150 mètres à la flottaison, il serait certainement praticable aux plus grands navires et présenterait même, en ce qui concerne la facilité de l'entrée, de sérieux avantages sur des ports construits comme Ymuiden ou Madras; c'est ce que nous avons déjà eu l'occasion de faire ressortir en parlant des jetées à claire-voie, comparées aux môles pleins.

Dès que les navires ont fait la passe d'entrée, leur parcours dans le chenal n'offre plus guère de sujétions, à condition évidemment d'y avoir partout la profondeur nécessaire. Avec celle admise pour le port de Heyst, 7 mètres sous le niveau des basses mers, soit 11 mètres sous celui des hautes mers moyennes, les grands bâtiments entreraient à peu près couramment dans le port et y conserveraient assez d'eau sous quille pour bien gouverner; et étant donné l'espacement des jetées, 150 mètres, les voiliers ainsi que les steamers de forte longueur pourraient parfaitement se tenir en direction, même par des vents de travers. Cette opinion est confirmée par les faits observés au port d'Ostende; depuis que le chenal y a été élargi et porté à 110 mètres seulement entre les jetées et à 150 mètres entre les musoirs, les grands navires le parcourent commodément.

On peut objecter que l'atterrissage de Heyst est plus exposé que celui d'Ostende, où le Stroombank atténue beaucoup la violence des vagues. L'observation est juste, et la situation des atterrages, très variable d'un point à un autre, est importante à considérer.

Mais il est à noter que le plateau du Zand, qui s'étend devant Heyst depuis le banc de Wenduïne jusqu'au Paardenmarkt, a environ 2,000 mètres de largeur entre les courbes de niveau de 7 mètres, et n'a en crête que 5 à 6 mètres d'eau à marée basse; sans être donc aussi puissant que le Stroombank, dont la partie culminante se trouve à 3 mètres en moyenne sous le niveau des basses mers, il constitue cependant un sérieux abri.

D'autre part, si on compare l'atterrissage de Heyst à celui d'Ymuiden, on

(') Voir page 192.

constate immédiatement que les vagues de gros temps y sont bien moins à redouter qu'à ce dernier port; devant Ymuiden, l'estran se raccorde sans l'interposition d'aucun banc avec les grands fonds du large, et on ne sonde pas moins de 12 mètres d'eau à un kilomètre de distance du rivage. Cependant le port, qui est ouvert aux vents les plus intenses soufflant dans ces parages de l'O.N.O. à l'E.S.E., est praticable par ces vents aux grands voiliers, à moins de tempêtes exceptionnelles, alors que des brisants violents se forment devant la tête des môles et y exposent les navires à de grands dangers⁽¹⁾. On se rappellera que l'ouverture comprise entre les musoirs, qui est de 260 mètres, n'est en réalité que de 220 mètres à cause des blocs en béton coulés autour de ces ouvrages; de plus les apports brusques de sable, qui s'y produisent quelquefois en hiver, sont cause que les grands bâtiments ne peuvent régulièrement compter à Ymuiden sur une passe de plus de 150 mètres de largeur environ.

En construisant devant Heyst un port dont le chenal, bordé de jetées à claire-voie, aurait les dimensions indiquées plus haut, ces inconvénients seraient bien moindres, d'autant plus que les ensablements n'y sont guère à craindre. Les tempêtes violentes ne sont d'ailleurs pas fréquentes, et il n'est pas possible de s'affranchir tout à fait des sujétions que l'entrée d'un port établi sur une côte ouverte doit inévitablement présenter.

Dans notre projet, la distance qui sépare la tête des jetées des écluses d'entrée du canal maritime est d'environ 2,100 mètres; elle mesure 2,300 mètres jusqu'à l'origine des quais de marée destinés aux navires d'escale et des lignes régulières. Nous croyons que ces distances suffiraient pour permettre aux grands navires de perdre leur vitesse, tandis que d'autre part l'avant-port, par ses dimensions relativement spacieuses, faciliterait la manœuvre des bâtiments à l'entrée du pertuis d'accès de l'écluse maritime, comme à celle de la darse.

Reste la question de la houle. Il est certain, tout d'abord, que les lames qui pénétreraient dans le chenal n'y conserveraient pas assez de force pour gêner la marche des navires; avec des jetées à claire-voie, dont on peut d'ailleurs régler les ouvertures de façon à abriter convenablement l'espace qu'elles comprennent contre les paquets de mer, les lames s'épanouissent en partie à mesure qu'elles se propagent vers l'intérieur, et déferlent latéralement sur les talus à pente douce des digues basses entre les fermes des jetées hautes; ensuite, en s'étalant dans la section élargie de l'avant-port, entouré lui-même de talus à faible inclinaison, la houle déjà atténuée perdrait encore de son intensité, et nous croyons pouvoir

(1) C. J. DE JONG. — *Beschrijving der Nederlandsche Zeegaten*. Notice citée.

affirmer qu'elle serait assez affaiblie au fond du pertuis d'accès du canal maritime pour ne pas nuire à la sécurité des navires qui y seraient en stationnement, ni pour empêcher la manœuvre des portes de l'écluse ; dans la darse elle serait moindre encore.

Cependant, si contre toute attente, il n'en était pas ainsi, on pourrait aisément rendre l'agitation de l'avant-port inoffensive en ouvrant des brise-lames en un ou plusieurs endroits des rives du chenal⁽¹⁾.

Occupons-nous maintenant du côté technique du projet.

Pour ce qui est des ensablements à l'entrée du port, on sait que devant Heyst ils seraient de faible importance et que des dragages modérés en auraient raison ; une seule forte drague à aspiration suffirait probablement pour entretenir à la fois l'entrée du chenal et les passes à creuser à travers le Zand.

Les envasements intérieurs au contraire sont plus à redouter, et dans le cas actuel il faut s'en préoccuper tout particulièrement. Déjà, nous avons proposé de ne donner aux différentes parties du port soumises au régime de la marée que les dimensions strictement nécessaires à la grande navigation ; d'autre part, le chenal extérieur serait bordé de jetées à claire-voie, et on sait que ces ouvrages sont de nature à y atténuer la précipitation des matières vaseuses.

Mais dans l'avant-port et le long des quais de marée, les apports se produiraient avec une rapidité excessive ; sur une côte alluvionnaire comme la nôtre, nous l'avons dit et répété, les dragages seuls seraient impuissants à y entretenir couramment la profondeur de 7 mètres sous marée basse ; et tandis que les navires peuvent à la rigueur parcourir le chenal et pénétrer dans l'écluse maritime à la faveur de la marée montante, ils doivent, à marée basse, trouver constamment dans l'avant-port et surtout le long des quais de marée assez d'eau pour rester à flot.

Aussi convient-il, d'après nous, de recourir à l'emploi de chasses et d'utiliser les dragages complémentaires pour maintenir la profondeur aux endroits du port où les chasses ne peuvent agir, et pour seconder au besoin leur action dans les autres.

Ce n'est pas que nous préconisons ce procédé d'une manière générale pour les ports établis sur des atterrages à régime vaseux⁽²⁾. A Ymuiden, par exemple, où les apports sont moins importants qu'ils ne le seraient à Heyst et où les chasses ne pourraient d'ailleurs être installées dans de bonnes conditions, il ne conviendrait guère d'y recourir.

(1) Voir chap. IV § I.

(2) Voir chap. VIII § I.

Mais à Heyst, au contraire, toutes les circonstances s'y prêtent. Non seulement l'amplitude de la marée est assez grande en ce point de la côte pour organiser des chasses artificielles efficaces, mais on peut en outre y profiter des eaux d'évacuation des canaux de Selzaete et de Dérivation de la Lys, dont les débits, pendant les trois quarts environ de l'année, sont fort importants; en dérivant ces eaux à travers le port, on obtiendrait des chasses naturelles d'un secours précieux. Ensuite, devant Heyst, l'estran sous-marin est constamment amaigri par les lames et les courants, qui y sont fort intenses; il en résulte que les vases expulsées du port pendant les chasses, se mélangeraient rapidement à la masse des eaux de la mer, sans occasionner de dépôts appréciables. Enfin le port doit être creusé tout entier à travers des terrains non bâtis, d'une valeur peu élevée, et situés à un niveau fort bas, $+ 4^m,00$ en moyenne au-dessus du niveau des basses mers de vive eau. Le creusement des réservoirs de retenue serait donc peu coûteux, de sorte que la somme qui représenterait annuellement l'intérêt et l'amortissement du capital à consacrer à l'établissement des installations de chasse, y compris les frais à résulter de leur entretien, serait relativement modérée.

D'autre part, en choisissant pour l'écluse destinée aux chasses artificielles un emplacement convenable, les courants, au moment de l'ouverture des portes, ne créeraient aucune entrave sérieuse à la navigation, d'autant plus qu'on pourrait, s'il le fallait, ouvrir successivement les portes l'une après l'autre, pour diminuer l'intensité du grand remou que les chasses produisent au moment de lâcher les eaux du réservoir; c'est la tête du flot correspondant à ce remou, qui seul peut causer un certain inconvénient aux navires. D'ailleurs, les écluses de chasse ne doivent fonctionner, on le sait, qu'aux marées de vive eau, et dans le but auquel nous les destinons, il n'est pas besoin que les courants aient une très grande vitesse.

Pour ce qui est des chasses naturelles qui correspondraient à l'évacuation des eaux des canaux de Selzaete et de Dérivation de la Lys, et qui se produisent en hiver et en temps pluvieux à peu près à toutes les marées, et en moyenne pendant les 3 heures environ qui précèdent et les 2 heures qui suivent l'instant de la basse mer, elles ne créeraient évidemment aucun embarras quelconque à la navigation.

Cela étant dit, voici la disposition que nous proposerions d'adopter pour l'ensemble des installations de curage du port.

Le réservoir principal destiné aux chasses artificielles serait placé dans l'axe du chenal (Pl. XXXVIII); il occuperait une surface d'environ 120 hectares et serait creusé à la cote $+ 2,00$ par rapport au niveau des basses mers de

vive eau ordinaires; dans la partie aval du bassin, l'axe du plafond se raccorderait en pente douce avec le radier de l'écluse de chasse, qui serait placé à la cote — 4 mètres. En construisant le radier à cette profondeur, contrairement à ce qui s'est fait généralement dans les écluses de chasse, on augmente considérablement le travail de frottement des courants sur le fond. Ce fait dont nous avons déjà parlé est important à signaler; il fait l'objet de l'annexe I qui suit notre ouvrage. Les considérations de cette annexe montrent aussi qu'il serait inutile de creuser le bassin de retenue en dessous de la cote $+ 2^m,00$, la tranche d'eau réellement utile pour les chasses n'ayant pas plus de $2^m,50$ d'épaisseur.

L'écluse offrirait 8 pertuis de 5 mètres de largeur, dont 1 ou 2 pertuis pourraient, en cas d'avarie à l'une ou l'autre des portes, rester sans grand inconvénient momentanément hors d'usage. Cet ouvrage serait construit dans des conditions analogues à celles que nous avons indiquées sommairement, en parlant de l'amélioration du port de Nieupoort.

Le canal de Selzaete reçoit les eaux d'une vaste étendue de terres du Nord des Flandres, et s'écoule actuellement à la mer par une écluse comprenant 4 ouvertures de 6 mètres de largeur chacune, avec buses placées à la côte — $0^m,41$. Le canal de Dérivation de la Lys sert à écouler directement à la mer une partie des eaux surabondantes de la Lys, et, aux époques de rouissage, les eaux corrompues de cette rivière; l'écluse d'évacuation de ce canal, placée à côté de celle du canal de Selzaete, se compose de 6 pertuis de 4 mètres d'ouverture chacun et dont les buses sont placées à la côte — $0^m,32$.

Les eaux du canal de Selzaete, dont le niveau est sensiblement plus bas que celui des eaux du canal de Schipdonck, seraient mises en communication, par un siphon passant sous ce dernier canal et une dérivation spéciale, avec des aqueducs de chasse à radier profond, à établir dans le talus sud de la darse; une écluse déversoir serait ouverte dans la digue gauche du canal de Schipdonck, à l'origine de cette dérivation, dont une branche se dirigerait vers l'avant-port et y déboucherait également par des aqueducs de chasse.

Le grand réservoir communiquerait en outre, par une écluse à pertuis, avec la dérivation précitée de façon à pouvoir opérer des chasses à l'eau de mer, par les aqueducs en question, lorsque les eaux des canaux d'évacuation n'exigent plus d'écoulement immédiat; il faudrait alors avoir soin de fermer préalablement l'écluse déversoir du canal de Schipdonck, ainsi que le siphon du canal de Selzaete, qui serait muni à cet effet d'un système de vannage. La dérivation de ces canaux, ainsi que les deux embranchements débouchant respectivement dans

la darse et dans le chenal d'accès du canal maritime, seraient utilisés comme complément du réservoir principal.

Les aqueducs de chasse à installer au fond de la darse se composeraient de cinq pertuis de 4^m,50 de largeur chacun, munis d'un double système de vannes. Celles d'amont serviraient de vannes de garde; elles comprendraient en outre des ventelles enchassées dans les cadres et tournant autour d'un axe vertical. Ces ventelles seraient spécialement destinées à effectuer des chasses à l'eau de mer; les vannes d'aval seraient utilisées dans les conditions ordinaires à opérer l'évacuation des eaux douces. Les aqueducs de chasse à établir au fond du chenal d'accès du canal maritime, se composeraient de trois pertuis de 4^m,50 de largeur chacun, construits de la même manière.

Les eaux surabondantes des terres situées de part et d'autre de la voie maritime s'écouleraient par des canaux établis latéralement et de chaque côté de celle-ci; l'un d'eux déboucherait dans le port par une écluse placée à gauche de la grande écluse de navigation; l'autre se déverserait par une seconde écluse dans la dérivation des eaux des canaux de Selzaete et de la Lys.

Au moyen des installations que nous venons de décrire, on disposerait, pendant les marées de vive eau, de plus de 3,000,000 de mètres cubes d'eau, que l'on pourrait lancer dans le port à marée basse, soit par l'écluse principale, soit par les pertuis de chasse établis au fond de la darse et du chenal d'accès du canal maritime; à ces chasses artificielles s'ajouteraient celles résultant de l'évacuation des eaux des canaux de Selzaete et de Schipdonck, lesquelles agiraient plus spécialement le long des quais de marée.

Les écluses actuelles de Heyst, qui seraient maintenues, fonctionneraient autant que nécessaire, concurremment avec les aqueducs à construire au fond du port projeté, ce qui constituerait une amélioration notable pour le régime de ces canaux.

Comme le plan l'indique, les quais de la darse seraient pourvus de hangars, de voies charretières, ainsi que de lignes ferrées en communication avec des voies de garage et de triage, et reliées au chemin de fer de Bruges à Blankenberghe. Cette ligne de chemin de fer serait détournée tout autour de l'emplacement des nouvelles installations maritimes, de même que la route de Heyst à Lisseweghe.

En cas d'accroissement du trafic, on pourrait étendre ces installations en construisant une seconde darse à côté de la première, et si on le jugeait convenable, un bassin à flot à l'ouest de ces darses. Au cas où cette éventualité se présenterait, il y aurait évidemment avantage à relier les quais de Heyst directement à Bruges par une nouvelle ligne ferrée.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur le projet dont nous venons d'indiquer les lignes principales ; ainsi qu'il a été dit, ce projet ne doit être considéré que comme une simple étude, ayant pour but de faire voir dans quelles conditions on pourrait tirer le meilleur parti de la situation hydrographique de la côte de Heyst, pour y établir un nouveau port donnant accès à la ville de Bruges, et offrant en même temps des quais d'escale à Heyst.

Si le port à créer devait servir exclusivement à donner accès au canal maritime à creuser entre Heyst et Bruges, le dispositif serait analogue, en principe, à celui que nous venons de décrire, mais il deviendrait naturellement plus simple⁽¹⁾.

(1) Un comité spécial, sous la présidence de M. Lamal, Directeur général des Ponts et Chaussées, a été chargé en 1889 d'examiner les questions qui se rattachent au tracé du canal maritime destiné à relier le port de Bruges à la côte. Ce comité a donné la préférence au système de port que nous avons préconisé, sur le système de port avec enceinte et môles pleins. (Annales des Travaux publics de Belgique. Tome XLVIII, année 1890).

ANNEXE I.

DE L'INFLUENCE EXERCÉE SUR L'EFFET UTILE DES CHASSES PAR L'ABAISSEMENT DU RADIER DE L'ÉCLUSE.

Le radier de la plupart des écluses de chasse se trouve à quelques centimètres au moins au-dessus du niveau des basses mers de vive eau, ce qui permet de visiter facilement cette partie de l'ouvrage et d'y apporter, en cas d'avarie, les réparations nécessaires.

Mais au point de vue de l'effet utile à produire par les chasses, il y a évidemment avantage à placer le radier de l'écluse le plus près possible de la cote à laquelle il s'agit de maintenir le chenal. Pour pouvoir visiter le radier, il suffit d'établir à l'amont et à l'aval des culées et des piles une double rainure pour poutrelles, permettant la construction de batardeaux et la mise à sec des pertuis. Avec les procédés de fondation en usage de nos jours, on peut d'ailleurs établir ces écluses de façon à y prévenir des dégradations importantes.

L'écoulement des eaux, pendant une chasse, constitue un exemple de mouvement varié fort compliqué. On peut cependant, avec une certaine approximation, supposer la durée totale de l'écoulement divisée en intervalles assez courts pour attribuer au mouvement des eaux, dans la limite de chacun de ces intervalles, les propriétés d'un courant permanent.

C'est ce que nous avons fait pour examiner dans quelles proportions l'effet utile des chasses varie avec la profondeur du radier; nous avons supposé la capacité du bassin divisée en tranches de 0^m,25 d'épaisseur chacune.

Dans ces conditions, la méthode qui nous semblait indiquée pour résoudre le problème consistait à tracer les axes hydrauliques, et à chercher, pour diverses profondeurs de radier données, la somme des travaux de frottement du courant correspondant à l'écoulement des tranches successives du bassin. Mais ce procédé conduisait à des

calculs extrêmement longs, d'autant plus que les tables insérées dans l'ouvrage de M. Boudin^(*), ne pouvaient être utilisées en ce cas, par suite de l'absence de pente dans le fond du chenal.

Nous avons préféré suivre la méthode simplifiée suivante, qui nous a été indiquée par M. Haerens, ingénieur des ponts et chaussées, détaché à l'École spéciale du Génie civil de Gand.

L'équation différentielle de l'axe hydraulique d'un courant dans le mouvement permanent est :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \frac{\chi}{\omega} b_1 \left(\frac{q}{\omega}\right)^2}{\sqrt{1 - i^2} - \frac{1}{g} \left(\frac{q}{\omega}\right)^2 \frac{l}{\omega}}$$

Nous admettons :

1° une pente de fond nulle, d'où $i = 0$, $\sqrt{1 - i^2} = 1$.

2° des sections transversales de forme rectangulaire et ayant la même surface que les sections réelles, ce qui est permis à raison de la grande largeur du chenal comparativement à sa profondeur.

3° $\chi = nl$; $n > 1$, étant supposé constant et déterminé par la section mouillée du chenal à marée basse.

Nous négligerons en outre le terme :

$$\frac{1}{g} \left(\frac{q}{\omega}\right)^2 \frac{l}{\omega}$$

à côté de l'unité; pour une vitesse du courant ne dépassant pas dans le chenal 1^m,60 par seconde, ce terme est inférieur à 1/27. Cela revient en définitive à supposer que toute la pente de surface est utilisée à vaincre les résistances au mouvement.

Il est à noter d'ailleurs qu'il ne s'agit que de calculs comparatifs, et que ces hypothèses peuvent parfaitement être admises sans nuire sensiblement à l'exactitude des résultats à obtenir.

La formule du mouvement permanent se réduit donc à :

$$\frac{dh}{ds} = - \frac{nl}{\omega} b_1 \frac{q^2}{\omega^3},$$

ou, comme $\omega = lh$, l étant la largeur moyenne du chenal à marée basse :

$$\frac{dh}{ds} = - \frac{nb_1 q^2}{l^2 h^3};$$

et en intégrant, pour une longueur de chenal à partir de l'écluse égale à s :

$$h^4 - h_0^4 = - \frac{4nb_1 q^2}{l^2} s.$$

(*) De l'axe hydraulique des cours d'eau contenus dans un lit prismatique.

et pour le temps T que dure la chasse :

$$\tau = \pi \int_0^T q (\bar{h}_0 - \bar{h}_1) dt.$$

Pour obtenir la valeur totale du travail produit par une chasse, il faudra calculer pour chaque tranche d'eau du bassin de retenue, le produit $q (\bar{h}_0 - \bar{h}_1) dt$, faire la somme des résultats obtenus, et les multiplier par π .

Application. Appliquons les formules qui précèdent au cas d'une écluse et d'un bassin de chasse, ayant les dimensions indiquées à l'avant-projet proposé pour le nouveau port de Heyst, page 440. Nous supposerons successivement que le radier de l'écluse soit placé au niveau moyen des basses mers de vive eau, pris comme repère, à la cote $-2^m,00$ et à la cote $-4^m,00$.

Le chenal aurait en section la forme d'un trapèze, de 150 mètres de largeur à la flottaison, avec des talus inclinés à raison de 3 pour 1.

La formule (I) suppose une section rectangulaire; nous prendrons pour celle-ci un rectangle de même surface que la section réelle et dont la largeur moyenne devrait être de 129 mètres, disons 130 mètres. En posant le périmètre mouillé $\Sigma = nl$, n étant supposé constant, et en déduisant n de la valeur du périmètre mouillé à marée basse,

$$n \times 130 = 130 + 2 \times 7,$$

on obtient $n = 1,11$.

L'erreur commise en considérant n constant pour toute la durée de l'écoulement est très faible, comme on le verra par le tableau qui suit; la plus grande valeur de \bar{h}_0 , près de l'écluse de chasse, soit $7^m,28$, ne donnerait pour n que la valeur 1,112.

L , longueur du chenal, $= 1,850$ mètres; h , profondeur du chenal à marée basse $= 7^m,00$.

Les pertuis de l'écluse de chasse, au nombre de 8, auraient chacun 5 mètres de largeur, soit $4^m,50$ de largeur utile, en déduisant l'épaisseur de la porte; soit :

$$\lambda = 8 \times 4^m,50 = 36^m,00.$$

La surface du bassin mesurerait 120 hectares; le fond serait creusé à la cote $+2^m,00$ et raccordé en talus à pente douce avec le radier de l'écluse. Le niveau de l'eau dans le bassin, au commencement de la chasse, est fixé à $+4^m,50$.

Posons $b_1 = 0,0004$ et θ , coefficient de contraction, $= 2/3$. Ces valeurs sont suffisamment exactes pour les calculs comparatifs que nous avons en vue.

En donnant, dans les formules I et II, aux lettres $n, b_1, L, l, \theta, \lambda$, et h_1 , les valeurs déterminées ci-dessus, ces formules deviennent :

$$h_0^2 = 2401 + 0,0001944q^2,$$

$$q = 7.5 \sqrt{2g(H - h_0)} [2H + h_0 - 3h''].$$

La lettre h'' prendra successivement, pour chaque hypothèse relative à la profon-

deur du radier, les valeurs 7^m,00, 5^m,00 et 3^m,00. En faisant diminuer successivement H depuis 7^m,00 + 4^m,50 = 11^m,50, par tranches de 0^m,25, jusqu'à la valeur H = 7^m,00 + 2^m,00 = 9^m,00, on obtient le tableau suivant :

NIVEAU DU RADIER DE L'ÉCLUSE.	NIVEAU DE L'EAU DANS LE BASSIN DE CHASSE.	H	h_0	DÉBIT q PAR SECONDE.	VOLUMES A ÉCOULER	DURÉE DE L'ÉCOULEMENT.	TRAVAIL DU FROT- TEMENT $\pi \times q (h_0 - h_1) \Delta t$
m. 0,00	m. + 4,50	m. 11,50	m. 7,055	m ³ 634	m ³ 300,000	473''	$\pi \times 16494$
	4,25	11,25	7,048	583	300,000	515	14412
	4,00	11,00	7,041	531	300,000	565	12301
	3,75	10,75	7,034	483	300,000	621	10198
	3,50	10,50	7,027	435	300,000	690	8104
	3,25	10,25	7,022	390	300,000	769	6598
	3,00	10,00	7,017	345	300,000	870	5103
	2,75	9,75	7,013	304	300,000	987	4029
	2,50	9,50	7,010	263	300,000	1141	3001
	2,25	9,25	7,008	225	300,000	1333	2399
	2,00	9,00				7964'' = 132' 44''	$\pi \times 82639 = \tau_1$
m. - 2,00	m. 4,50	m. 11,50	m. 7,152	m ³ 1052	300,000	285''	45573
	4,25	11,25	7,136	989	300,000	303	40755
	4,00	11,00	7,119	926	300,000	324	35674
	3,75	10,75	7,105	865	300,000	347	31516
	3,50	10,50	7,090	804	300,000	373	26990
	3,25	10,25	7,078	746	300,000	402	23392
	3,00	10,00	7,066	688	300,000	436	19798
	2,75	9,75	7,055	632	300,000	475	16511
	2,50	9,50	7,046	575	300,000	522	13807
	2,25	9,25	7,038	523	300,000	574	11408
	2,00	9,00				4044'' = 67' 24''	$\pi \times 265424 = \tau_2$
m. - 4,00	m. 4,50	m. 11,50	m. 7,281	m ³ 1452	300,000	207''	84458
	4,25	11,25	7,256	1378	300,000	218	76903
	4,00	11,00	7,231	1305	300,000	230	69335
	3,75	10,75	7,208	1231	300,000	244	62476
	3,50	10,50	7,185	1160	300,000	259	55581
	3,25	10,25	7,163	1088	300,000	276	48947
	3,00	10,00	7,142	1019	300, 00	294	42541
	2,75	9,75	7,124	948	300,000	316	37146
	2,50	9,50	7,108	879	300,000	341	32372
	2,25	9,25	7,093	810	300,000	370	27872
	2,00	9,00				2755'' = 45' 55''	$\pi \times 537631 = \tau_3$

En admettant pour π , poids spécifique de l'eau contenue dans le bassin, la valeur $\pi = 1000$ kilogrammes, le travail de frottement sur le fond et sur les parois du chenal sera de :

$\tau_1 = 82639$	tonnes mètres,	le radier de l'écluse étant placé à la cote	0 ^m ,00		
$\tau_2 = 265424$	id.	id.	id.	id.	— 2 ^m ,00
$\tau_3 = 537631$	id.	id.	id.	id.	— 4 ^m ,00

C'est-à-dire que :

$$\tau_2 = 3,21\tau_1 \text{ et } \tau_3 = 6,51\tau_1.$$

Si on représente par 1, le travail utile de frottement produit pendant une chasse, le radier de l'écluse étant établi à la cote 0^m,00, celui produit dans les mêmes conditions, mais avec une écluse dont le radier serait placé à la cote — 2^m,00, serait représenté par 3,21; il serait représenté par 6,51 avec une écluse dont le radier se trouverait à la cote — 4^m,00.

Quant aux vitesses du courant dans le chenal, on obtient les valeurs inscrites au tableau ci-dessous, dans lequel les vitesses moyennes sont calculées d'après la formule $v = \frac{V}{\omega T}$, V représentant le volume d'eau écoulé pendant le temps T, et ω la section moyenne du chenal.

NIVEAU DU RADIER :	0 ^m ,00	— 2 ^m ,00	— 4 ^m ,00
Vitesse maximum	0 ^m ,69	1 ^m ,13	1 ^m ,53
Vitesse moyenne	0 ^m ,41	0 ^m ,80	1 ^m ,17
Vitesse minimum	0 ^m ,25	0 ^m ,57	0 ^m ,88

ANNEXE II.

CONSTRUCTION DES MOLES EN EAU PROFONDE.

Les môles ou breakwaters, formés en principe d'un massif de pierres dépassant le niveau de la mer, sont construits d'après des dispositions variables d'un cas à un autre, dictées surtout par les circonstances locales qui caractérisent l'emplacement du port où ils sont établis.

D'une manière générale, les talus extérieurs des jetées en enrochements ont une inclinaison très douce, à partir de leur crête jusqu'à une profondeur de 5 à 8 mètres sous le niveau de la nappe marine; cette profondeur dépend de la force des lames que les gros temps soulèvent devant le port et du volume des matériaux dont le talus est composé. Plus bas, celui-ci devient beaucoup plus raide. Dans les mers à marée, le talus à pente douce doit se prolonger, jusqu'à la profondeur précitée, sous le niveau des basses mers de vive eau. Du côté intérieur, les talus des môles présentent d'ordinaire une inclinaison régulière, variant de 1 à 1 $\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur.

Parlons d'abord des môles en eau profonde établis dans des mers sans marée.

Primitivement, ils étaient construits entièrement en enrochements naturels, de grosseur modérée, mais variable; les moellons les plus volumineux étaient disposés sur le talus extérieur. Ce système s'appliquait bien là, où les carrières peuvent fournir les pierres en abondance et à de bas prix, quand les môles devaient en outre être établis par des profondeurs relativement modérées et en des endroits où l'agitation n'est pas considérable. Il a été suivi à la construction de jetées de divers ports en Italie, notamment à Oneglia et à Port Maurice, comme aussi à Palerme, Ancône, Savone, etc., mais dans ces derniers ports, le couronnement du massif au-dessus de la surface de l'eau, a été formé de blocs artificiels en béton ou en maçonnerie, généralement confectionnés « in situ ». (Pl. XXXIX, fig. 1).

Pareilles jetées, quand elles s'avancent dans les grands fonds, sur des côtes où les gros temps soulèvent des vagues puissantes, ne sont pas seulement coûteuses

d'établissement, mais elles demandent aussi beaucoup d'entretien. Les pierres du talus extérieur, malgré sa faible inclinaison, y sont continuellement remuées par les lames, et souvent avariées et déplacées pendant les tempêtes.

C'est en présence de ces inconvénients qu'est venue l'idée de former les jetées d'un noyau en enrochements, recouverts sur les talus les plus exposés de matériaux de fortes dimensions, en choisissant de préférence les plus denses; car tandis que l'action des lames est proportionnelle à la surface frappée, la résistance des blocs croît comme le cube de ses dimensions, et elle augmente beaucoup aussi avec la densité des matériaux employés. Afin d'augmenter encore la stabilité du massif, au lieu de jeter les pierres d'enrochements du noyau pêle-mêle, telles que la carrière les fournit, on les a classées par catégories, les plus petites étant placées au centre et à la base et recouvertes par des couches de matériaux de plus en plus volumineux. Ce dispositif, dans lequel les matériaux de faibles dimensions ne sont pas mélangés aux gros, offre cet autre avantage de conserver dans le corps de la jetée beaucoup d'interstices, lesquels, sans nuire à la stabilité de l'ouvrage, donnent une diminution notable pour le volume réel des enrochements mis en œuvre dans la constitution d'une jetée de profil déterminé.

La grande jetée de Marseille a été construite d'après les principes qui précèdent, et elle est généralement citée comme un type excellent. Cette jetée est établie dans des profondeurs d'eau mesurant 11 mètres au moins et qui atteignent 20 mètres à son extrémité. Elle est formée d'un massif en enrochements naturels provenant des carrières ouvertes dans les îles de Frioul, situées à 5 kilomètres du port. Ces enrochements sont classés, d'après leurs poids, en quatre catégories; ceux employés dans le noyau intérieur, depuis le fond jusqu'à 10 mètres sous le niveau de la mer, ne pèsent que 3 à 100 kilogrammes; ils sont entourés par d'autres pierres pesant de 100 à 1,300 et de 1,300 à 3,900 kilogrammes, couvertes elles-mêmes par des blocs de 3,900 kilogrammes, et au delà (Pl. XXXIX, fig. 2). Le massif ainsi formé a 5 mètres de largeur en couronne, à 2 mètres au-dessus des basses mers. Il est défendu, du côté du large, par un revêtement en blocs artificiels de 10 mètres d'épaisseur, qui commence à 3 mètres au-dessus du niveau des basses mers et se prolonge jusqu'à 6 mètres en-dessous de ce niveau. Ces blocs artificiels ont 3^m,40 sur 2^m,00 et 1^m,50, et mesurent par conséquent 10 mètres cubes, volume suffisant pour l'agitation qui règne dans la rade de Marseille. Le revêtement extérieur est complété par un massif en maçonnerie, construit sur place, qui repose sur le massif en enrochements et forme mur d'abri avec risberme. Le couronnement de ce mur sert de promenoir; il s'élève à 8^m,40 au-dessus du niveau de la mer et offre 2^m,50 de largeur. Du côté intérieur, la jetée de Marseille est terminée par un quai accostable aux grands navires. Les fondations en sont construites également en blocs artificiels, placés par assises régulières et descendant à 6 mètres sous le niveau des eaux.

L'expérience a montré qu'à Marseille, les enrochements se tiennent sous les eaux à l'inclinaison de 2 de base pour 1 $\frac{1}{2}$ de hauteur. Le talus extérieur des blocs artificiels

est incliné à raison de 45° , mais à partir du niveau des basses mers jusqu'à 3 mètres au-dessus de ce niveau, son inclinaison est beaucoup plus faible, $8^m,30$ de base pour 3 de hauteur.

L'épaisseur du revêtement en gros blocs artificiels doit être telle que l'action de la mer, qui s'y propage à travers les interstices, soit atténuée au point d'éviter le déplacement par les lames des enrochements du massif; l'épaisseur des couches des diverses catégories est réglée d'après des conditions analogues.

Au lieu d'employer pour la protection du talus extérieur des blocs artificiels, on peut évidemment se servir aussi de très gros blocs naturels; si l'on dispose de cette ressource, comme c'était le cas aux travaux de la jetée de Trieste, il y a avantage à le faire, quand la pierre est dure et de bonne qualité. Car les blocs naturels sont plus denses que la maçonnerie, et ils sont moins sujets à la destruction par le choc des lames et par les actions chimiques.

A Marseille, le mouvement des lames se fait sentir à travers les enrochements de la jetée, même à des profondeurs de plus de 4 mètres; c'est pour ce motif que le terre-plein du quai a été formé entièrement en enrochements et qu'il faut proscrire dans la construction de ces jetées, non seulement les remblais ordinaires, mais aussi des matériaux susceptibles de se déliter ou de se détériorer au contact de l'eau. Le sable du pavage des quais du môle de Marseille est maintenu au moyen d'une chape en béton de $0^m,20$ d'épaisseur, formant le fond du coffre du pavage et qui s'étend du parement du quai jusqu'à la bordure du trottoir établi le long du mur d'abri. Pour donner échappement à l'air refoulé et comprimé entre les interstices des enrochements par l'eau qui y pénètre pendant que les lames viennent se briser sur la jetée, on a ménagé sous le trottoir précité et dans le mur de quai intérieur, sous la couverture, une série de ventouses, disposées à peu près comme des bouches d'égouts sous trottoir.

Avant d'établir le quai en blocs artificiels sur le massif d'enrochements, on a eu soin de provoquer les tassements qui doivent se produire par suite de l'enchevêtrement insuffisant des enrochements, en surchargeant les blocs artificiels du quai au moyen de deux files de blocs analogues; on enlevait ces blocs quand le tassement était devenu insensible, ce qui avait lieu d'ordinaire après un délai de trois mois; il ne dépassait pas en général $0^m,35$ (¹).

Le môle Galliera, fondé par des profondeurs de 15 à 29 mètres sur fonds de sable compacte, est construit dans des conditions analogues à celui de Marseille; mais les blocs de défense du talus extérieur, depuis le couronnement de l'ouvrage jusqu'à 6 mètres sous le niveau de la mer sont arrimés, c'est à dire posés à sec, en assises régulières, de $1^m,75$ de largeur et en retraite l'une par rapport à l'autre de $1^m,90$, correspondant approximativement à une pente de 1 de base pour 1 de hauteur. Le

(¹) M. GUÉRARD. — *Note sur la construction des jetées à la mer.*

noyau du môle est formé de pierres d'enrochement pesant 5 à 100 kilog.; il est protégé, à partir d'une profondeur de 6 mètres sous le niveau de la mer jusqu'à la base, par des blocs pesant 5 à 50 tonnes et plus. La partie supérieure du massif, jusqu'à la limite de l'action des lames, est formée de pierres pesant de 500 à 2500 kilog. (Pl. XXXIX, fig. 3). D'après les constatations faites, le vide entre les blocs est le quart environ du volume total.

A Gênes, les lames soulevées par les fortes brises du sud-sud-ouest, s'élèvent à plus de 6 mètres de hauteur et étendent leurs effets jusqu'à 6 mètres de profondeur sous le niveau de la mer. Cependant la disposition adoptée pour le môle Galliera y a donné d'excellents résultats; la stabilité de l'ouvrage, comparée à la quantité de matériaux mis en œuvre, est très grande. Aussi ce système a-t-il été adopté pour plusieurs autres jetées en eau profonde, notamment à Naples et à Cette.

Au lieu de se borner à défendre le massif de la jetée par un revêtement de blocs arrimés, dans l'étendue seulement des talus extérieurs spécialement exposés à l'action des lames, on a, pour d'autres môles, prolongé pareil revêtement jusqu'au fond de la mer, afin de diminuer le volume du massif en enrochements et de pouvoir le constituer en outre de matériaux de moindres dimensions. Ce mode de construction a été suivi avec succès à divers ports italiens, Civita-Vecchia, Barletta, Salerne, etc.. La Pl. XXXIX, fig. 4 et 5, représente le profil des môles de Civita-Vecchia et Barletta; le premier est fondé sur terrain rocheux recouvert de sable, et le second sur du sable dur. Lorsque le fond sur lequel repose la jetée n'est pas suffisamment compact et résistant, on le protège du côté extérieur, à partir du pied du talus, par une couche d'enrochements.

Les jetées construites avec des blocs arrimés sont très résistantes et demandent peu d'entretien; les joints existant entre ces blocs étant serrés, l'eau projetée par les lames ne pénètre qu'en faible quantité, de sorte qu'il ne s'y produit point de sous-pression verticale intense; les blocs n'ont à supporter que la pression horizontale des vagues, et on les place de façon à ce qu'ils reçoivent celles-ci dans le sens de leur longueur.

Les lames de gros temps qui battent le môle Galliera à Gênes, y lancent des jets d'eau s'élevant jusqu'à 21^m,00 de hauteur au-dessus du niveau de la mer, et exercent, d'après M. Cornaglia, sur les blocs arrimés du talus extérieur, une pression de près de 33,000 kilogrammes par mètre carré. Cependant ces blocs, appuyés d'un côté contre le massif en enrochements, et supportant de l'autre le poids de la partie supérieure de la construction, résistent bien; ils ne subissent qu'un léger déplacement vers l'intérieur, ordinairement au début de l'exécution du travail⁽¹⁾. Les blocs n'y sont dérangés qu'à la suite d'un affaissement ou d'un mouvement dans les enrochements de la base; mais il est en général facile d'enlever et de remplacer les blocs dérangés, sans qu'un dégât local ne s'étende aux parties voisines, ni ne compromette la solidité de l'ouvrage.

(¹) A. LUIGGI. — *Breakwaters et travaux de défense à la mer en Italie.*

Aujourd'hui, la pose des blocs par assises régulières, sous le niveau de la mer, s'effectue d'ailleurs sans difficulté avec les engins perfectionnés en usage. Il importe évidemment de fixer avec soin l'assise de blocs inférieure, et quelquefois on a trouvé nécessaire de protéger cette assise à l'aide d'une couche supplémentaire d'enrochements, surtout parce qu'on craignait que les lames, en descendant du talus relativement régulier des blocs arrimés, n'auraient pas été suffisamment brisées et auraient pu provoquer des affouillements dangereux au pied des talus.

Les breakwaters défendus au moyen de gros blocs, jetés pêle-mêle, brisent mieux les lames que ceux revêtus de blocs établis par assises régulières, car l'eau, en se précipitant dans les interstices de ces blocs, y perd par chocs et frottements sa force vive. Mais cette considération n'est pas de très grande importance; il suffit que le môle soit disposé de façon que les lames arrêtées ou déviées dans leur marche, puissent se mouvoir sur la surface de ces ouvrages et y perdre leur puissance d'une manière inoffensive, soit en s'élevant en jets d'eau à une hauteur plus ou moins grande, soit en se projetant partiellement, mais sans occasionner des effets nuisibles, au-dessus du môle, dans la rade. Quand la jetée doit servir du côté intérieur de quai d'accostage, le terre-plein de ce quai est protégé, du côté de la mer, par un mur d'abri, dont l'épaisseur et la hauteur varient suivant l'intensité des lames qui règnent en gros temps devant le port. Ce mur est généralement défendu au pied par une risberme en gros blocs, destinée à y prévenir les effets du ressac.

Jetées en eau profonde dans les mers à marée. — Dans les mers à marée, de même que dans les mers sans marée, les plus anciennes jetées ont été construites entièrement en enrochements naturels. Tel est le cas pour le môle de Plymouth, formé de pierres calcaires provenant des carrières d'Oreston, sur la côte est du Catwater. Les blocs pèsent de 1,500 à 2,000 kilogrammes et plus; le talus extérieur est placé sous une inclinaison qui descend jusqu'à 10 pour 1. Afin de donner au massif plus de stabilité, on l'a recouvert de pierres ayant 1^m,20 de longueur, 1 mètre de largeur et 0^m,80 d'épaisseur, dont les joints sont garnis de ciment Parker, et on a défendu le talus extérieur au moyen des blocs les plus volumineux (Pl. XXXIX, fig. 6).

A Portland, le môle est formé encore de matériaux de toute grosseur, tels que les carrières les fournissent, et qui sont établis sous le talus que la mer leur a naturellement imprimé; l'inclinaison du talus extérieur est de 8 pour 1, depuis le sommet jusqu'à la laisse des basses mers. La proportion entre les vides et le volume total du massif est d'environ 0,29. Celui-ci dépasse le niveau des hautes mers de vive eau et protège, sur une certaine hauteur, le mur d'abri dont il est surmonté, (Pl. XXXIX, fig. 7).

Le massif sous-marin de la digue de Cherbourg est formé de blocs et de moellons d'assez faibles dimensions. Ils proviennent des montagnes des environs et sont défendus,

du côté du large, au moyen de gros blocs. Afin de diminuer le plus possible le profil transversal de la digue, on a arasé la face supérieure des enrochements au niveau des basses mers de morte eau et on l'a surmontée, à partir de ce niveau, d'une muraille de couronnement. (Pl. XXXIX, fig. 8.)

Le revêtement de défense est formé en grande partie de blocs naturels, mais de volume trop faible pour ne pas être remués par les lames, de sorte qu'ils se détériorent peu à peu et ont besoin d'être rechargés de temps en temps. Au musoir de la digue et au pied des batteries, c'est à dire aux endroits les plus exposés aux lames, on a eu recours à de gros blocs artificiels, construits sur la partie du talus qui émerge à mer basse.

La grande digue de Boulogne est formée en enrochements naturels provenant des carrières ouvertes dans les falaises de la plaine du Portel et d'Outreau, à proximité du port, ainsi que dans l'intérieur des terres, à la Vallée-Heureuse, située à 18 kilomètres de celui-ci. La pierre du Portel est un silico-calcaire dont la densité varie de 2,810 à 2,840 kilogrammes; elle est dure et non gélive et a fourni des blocs pesant jusqu'à 15 tonnes. La pierre de la Vallée-Heureuse est un calcaire du terrain carbonifère, d'une densité de 2,600 kilogrammes⁽¹⁾.

Ces enrochements ont été disposés par catégories, suivant leur poids, et défendus par des blocs en maçonnerie de moellons au mortier de ciment de Portland, de 4^m,00 de longueur, 2^m,00 de largeur et 1^m,75 de hauteur, d'un poids de 33 tonnes, correspondant à un volume de 14 mètres cubes, à raison de 2,400 kilogrammes le mètre cube. (Pl. XXXIX, fig. 9).

La superstructure de la digue consiste en une muraille en maçonnerie avec parapet, dont nous avons déjà indiqué les dimensions en parlant du port de Boulogne. Les moellons employés provenaient à peu près exclusivement des carrières de Portel. Le sable mis en œuvre dans la confection des mortiers provenait des plages aux environs de Boulogne; il est à gros grains, plus ou moins mélangé de sable fin et de quelques débris de coquillages. Les dosages de ciment pour les blocs artificiels étaient de 312 kilogrammes par mètre cube de sable; pour les autres maçonneries, il variait de 330 à 450 kilogrammes.

Le talus prévu dans le projet de la digue de Boulogne pour le revêtement intérieur en blocs de 33 tonnes, était de 45°. Mais sous l'action des tempêtes, ils se sont placés sous une inclinaison plus faible, leur poids n'étant pas assez grand, et ils se tiennent en moyenne à 0,61 au lieu de 1. Pour rendre le revêtement en gros blocs plus résistant, on les relie par de la maçonnerie exécutée à la marée.

D'après les constatations de M. l'ingénieur Monmerqué, les vides du massif d'enrochements de la digue de Boulogne atteindraient 46 p. % de son volume total, proportion notablement supérieure à celle observée aux môles dont la base sous-marine

(¹) M. MONMERQUÉ. *Annales des Ponts et chaussées de France*. Année 1893.

est construite en enrochements jetés pêle-mêle, comme à Cherbourg, Portland et Holyhead. A Cherbourg le rapport serait de 1/10 seulement, d'après certains documents et de 1/4 d'après d'autres; à Holyhead et Portland, il a été évalué de 0,29 à 0,30. M. l'ingénieur Pontzen signalait au congrès de travaux maritimes de 1889, qu'à la digue du port de Trieste, la proportion entre les vides du massif d'enrochement paraissait mesurer 40 p. % du plein; les moellons du noyau y pèsent 5 à 100 kilog.; les pierres du restant du massif sont classées par couches successives pesant respectivement, celles de la première 1,000 kilogrammes, celles de la seconde 1,300 à 3,900 et celles de la troisième 3,900 à 5,000 kilogr.. M. Pontzen recommandait le triage des matériaux par catégories, suivant leurs dimensions, non seulement par économie, mais aussi au point de vue de la stabilité de l'ouvrage; d'après cet ingénieur, les pierres de faibles dimensions, lorsqu'elles sont mélangées avec les gros blocs, fonctionnent comme rouleaux et facilitent le déplacement de ces derniers. Il estime, qu'en général, on pourrait donner plus de largeur à la couche en menus matériaux du fond, puisque par de grandes profondeurs l'action des lames n'est pas à craindre; on utiliserait ainsi les pierrailles, si abondantes dans les carrières. Quand le sol de fondation est vaseux, les massifs en menus matériaux qui sont plus serrés évidemment que les blocs ordinaires, empêchent en outre les matières molles de refluer à travers les interstices.

On ne doit pas s'exagérer les avantages à résulter du classement des matériaux par catégories; dans les mers à marée et devant les côtes très exposées, la mise en œuvre dans le soubassement des jetées de pierres de toutes dimensions, donne un massif plus compacte, et par là même plus résistant, ce qui peut, dans certains cas, compenser l'augmentation de dépense à résulter de l'emploi d'une plus grande quantité d'enrochements.

A St-Jean de Luz, où l'on ne disposait pas de matériaux naturels de dimensions suffisantes, le massif sous-marin de la digue qui couvre la rade a été formé de blocs artificiels de 20 mètres cubes, placés irrégulièrement les uns sur les autres et dont les vides ont été remplis en enrochements naturels.

A Port-Saïd, on décida de construire les jetées entièrement en gros blocs artificiels, à cause des difficultés d'amener des pierres naturelles des carrières les plus proches, celles de Gebel-Geneffé. (Pl. XXXIX, fig. 10.) Ce mode de construction, dans d'autres conditions, ne serait pas à conseiller; car les gros blocs peuvent être brisés et ensuite déplacés ce qui expose le môle à de graves avaries par les gros temps.

Pour diminuer le plus possible la quantité de matériaux à mettre en œuvre dans le massif des môles, il en est qui sont construits en forme de muraille, au moyen de blocs naturels ou artificiels maçonnés. Citons comme un des plus anciens ouvrages de ce type, la jetée de l'Amirauté à Douvres.

La Commission, chargée en 1846 de l'étude du port de Douvres, proposait ce système, parce que les carrières les moins éloignées de cette partie du littoral anglais se trouvent à plus de 500 kilomètres de distance, et aussi à cause des avaries conti-

nuelles auxquelles sont exposés les môles en pierres perdues, tels qu'ils avaient été construits avant cette époque.

La jetée de l'Amirauté se compose d'assises horizontales de blocs, depuis le fond de la mer jusqu'au niveau des marées hautes de morte eau; elles sont posées à sec au-dessous de la basse mer de vive eau, et au mortier de ciment de Portland au-dessus de ce plan. Les blocs extérieurs sont en pierres dures naturelles; les blocs intérieurs sont artificiels; le remplissage central, au-dessus de la haute mer de morte eau, est en béton (Pl. XXXIX, fig. 11). Les parements sont inclinés à $1/4$. Le terre-plein des môles a 8^m,50 de largeur et se trouve à 3^m,05 au-dessus du niveau des hautes mers de vive eau; il est surmonté, du côté du large, d'un mur d'abri de 3^m,12 de hauteur.

L'épaisseur des assises en pierres naturelles est de 0^m,53 au sommet; elle augmente à mesure qu'on descend, et elle est de 1^m,14 à la base; les blocs de l'assise inférieure posés en carreaux, ont 2^m,13 de longueur sur 1^m,35 de queue; ceux posés en boutisses ont 1^m,22 sur 2^m,00; leur volume est en moyenne de 3 mètres cubes. Au-dessous de la basse mer de vive eau, tous les blocs ont été arrimés et mis en place à l'aide de cloches à plongeur.

La pose des blocs, dans les conditions où elle a été exécutée, a offert beaucoup de difficultés; les passerelles de service installées pour le transport des pierres étaient souvent enlevées, et les blocs non cramponnés encore les uns aux autres, déplacés et entraînés par la mer. La construction de la jetée n'a avancé que de 30 à 35 mètres par an et a coûté 30,000 fr. environ le mètre courant.

Lorsque des jetées du type en question doivent être assises, non sur un fond rocheux, qu'il suffit de niveler préalablement, mais sur du terrain alluvionnaire, il faut couvrir celui-ci d'une couche de pierres d'enrochements présentant, du côté de la mer, un large empâtement destiné à y prévenir les affouillements du sol; ceux-ci sont surtout à craindre le long des jetées à parois à peu près verticales, où la lame produit des ressacs violents. Pour fonder sur du sable meuble, on a avantage à asseoir la couche d'enrochements sur le sol par l'intermédiaire de plates-formes en fascines; celles-ci se moulent bien sur le fond, et servent à y fixer le sable.

C'est ainsi qu'on a procédé au port de Libau (Pl. XXXIX, fig. 12). Les blocs, formant la muraille, étaient amenés par voies ferrées sur le couronnement de la partie déjà construite du môle et mis en place au moyen de grues mobiles pivotantes très puissantes. Ces engins, appelés Titans, sont spécialement appropriés à la pose de gros blocs et facilitent beaucoup, de nos jours, l'exécution des travaux de l'espèce.

Au port d'Ymuiden, les jetées consistent également en des murailles, formées de gros blocs artificiels au ciment de Portland, et dont les parements présentent $1/7$ de fruit. (Pl. XXXIX, fig. 13).

Elles reposent sur une large couche d'enrochements en basalte, de 1 mètre au

moins d'épaisseur. Les blocs de l'assise inférieure sont entourés, sur toute la hauteur de celle-ci, par ces enrochements, qui se raccordent avec le fond de la mer sous des talus ayant une inclinaison minimum de 2 pour 1.

Avant de commencer la maçonnerie du corps des jetées, on a eu soin de laisser la couche en basalte exposée pendant un an à l'action des courants et des vagues, de manière que les pierres en fussent tassées les unes contre les autres, et que les interstices eussent eu le temps de se remplir de sable et de coquillages.

Le couronnement des jetées avait été établi d'abord à 2^m,80 au-dessus de AP, soit à 2^m,00 environ au-dessus des hautes mers; il était surmonté d'un parapet en maçonnerie, dont le sommet se trouvait à + 4^m,10 par rapport à AP. Mais ce parapet n'offrait pas un abri suffisant et ne résistait pas aux efforts des lames de tempête. Finalement on a exhaussé les jetées jusqu'à la cote + 4^m,10 au moyen de béton, placé suivant une masse uniforme et compacte, et dont la face supérieure est légèrement inclinée du large vers l'avant-port; aux musoirs, ce monolithe de béton présente une surélévation de 1 mètre.

La largeur du terre-plein des môles va en augmentant de 6^m,10 à 8^m,20, à partir de leur origine jusqu'aux têtes.

Les blocs en béton employés cubent jusqu'à 5 mètres et pèsent 10 tonnes chacun; ils ont, en moyenne, 1^m,22 de largeur, 1^m,32 de hauteur et 3^m,10 de longueur. Cette dernière dimension varie avec l'épaisseur des jetées, et elle est déterminée de façon à donner une bonne disposition aux joints. Pour les blocs mis en œuvre dans les parements, le béton se compose de 1 partie de ciment de Portland, de 3 parties de gros sable de rivière et de 5 parties de gravier; pour ceux formant le noyau et qui pouvaient avoir moins de poids, le gravier a été remplacé par de la brique concassée. Les blocs placés au-dessus du niveau des basses mers ont des dimensions plus fortes, et sont maçonnés au mortier de ciment de Portland, composé de 1 partie de ciment et de 2 parties de sable de rivière.

Au début des travaux, les blocs étaient moins pesants et la proportion de ciment plus faible; afin d'augmenter encore leur résistance, on les a reliés par des crampons et des tirants. On a reconnu aussi, à Ymuiden, que l'emploi de sable des dunes ne convient pas pour la composition du béton, qui doit supporter l'action des vagues et de grandes pressions. Ce sable est trop fin pour qu'il soit possible de le mélanger intimement avec le ciment, condition indispensable pour avoir des massifs assez résistants.

Les blocs ont été descendus sous l'eau à l'aide de grandes grues à vapeur, dont le bras s'étendait jusqu'à 12 mètres au delà de l'extrémité des parties des jetées déjà construites; ils étaient mis en place par des ouvriers, qui, pour les parties situées au-dessous du niveau des basses mers, étaient revêtus de scaphandres.

Nonobstant toutes les précautions qu'on ait pu prendre, les jetées d'Ymuiden,

celle du nord surtout, ont subi de fortes dégradations. Sur plusieurs points, les blocs ont été dérangés; sur d'autres, il s'est produit des tassements et des crevasses qui menaçaient la stabilité de l'ouvrage. Pour remédier à cet inconvénient, on a dû défendre les murailles, du côté de la mer, au moyen de fortes bermes en blocs artificiels. Ceux qui forment talus pèsent 10,000 ou 20,000 kilogrammes, suivant qu'ils sont placés au-dessous ou au-dessus de AP, et ils entourent des blocs de dimensions moindres constituant le noyau. Pour empêcher que ces blocs ne soient déplacés par les vagues, on a introduit des sacs de béton dans les vides qu'ils comprennent, de façon à former de leur ensemble une masse plus ou moins solidaire. Les bermes présentent un talus de 1 pour 1, et ont une largeur d'environ 4^m,40 à la partie supérieure, laquelle se trouve à 2^m,50 + AP. Elles sont établies le long de la jetée nord, à partir de 650 mètres du pied de la dune, et le long de la jetée sud à partir de 750 mètres de la même ligne.

Depuis l'achèvement des bermes, il n'est plus survenu de dégâts importants aux jetées; mais ce travail de consolidation a coûté fort cher.

Les jetées du port de Tynemouth sont formées de rangées extérieures de blocs en béton revêtus de pierres dures naturelles; entre ces rangées, le massif est formé à sa partie inférieure de blocs en béton pesant jusqu'à 60 tonnes, et à la partie supérieure, de béton coulé en masse (Pl. XXXIX, fig. 14).

Un autre système consiste à poser les blocs par assises inclinées de 60 à 70 degrés, ce qui se fait plus facilement que la pose par assises horizontales, le nombre de blocs superposés étant moindre, et chaque bloc étant mis en place en glissant sur la surface inclinée de la rangée qui précède. Les blocs en pente sont en outre moins sujets à être déplacés et détériorés pendant l'exécution de l'ouvrage, et ils se prêtent mieux aux tassements du soubassement que les blocs disposés par assises horizontales. Ce mode de construction a été adopté à Colombo et à Kurrachee, ainsi qu'à la Réunion, où les blocs ne pesaient pas moins de 100 tonnes.

Le môle de Colombo comprend une superstructure de blocs en béton, pesant 40 tonnes chacun et posés sous un angle de 68°. La muraille ainsi formée est à parois verticales et mesure 10 mètres de hauteur et 10^m,20 de largeur. Le massif d'appui est en enrochements et arrasé à — 6 mètres environ par rapport au niveau des basses mers. La muraille en blocs s'élève à 3 mètres au-dessus du niveau des hautes mers de vive eau et est recouverte d'une couche de béton de 1^m,20 d'épaisseur. (Pl. XXXIX, fig. 15)(¹).

Plusieurs jetées en Angleterre ont été construites entièrement en béton. Une des premières applications de l'emploi de béton, coulé sous eau sur une large échelle, a été faite par M. l'Ingénieur Dyce-Cay, pour les fondations des jetées d'Aberdeen, en Ecosse.

A la jetée sud, l'assiette de fondation du môle a été formée avec du béton, coulé

(¹) *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. LXXXVII.

en sacs, dont le volume mesurait environ 20 tonnes. On a employé à cet effet des pontons, portant en leur milieu une caisse rectangulaire, fermée inférieurement à l'aide d'un clapet et dans laquelle on place le sac à couler, rempli de béton fraîchement confectionné. Les sacs étaient en très grosse toile et empêchaient que l'eau ne délave le ciment. Lorsqu'un ponton est conduit à l'emplacement voulu, on ouvre le clapet et le sac tombe sur ceux déjà immergés, en se moulant plus ou moins bien sur la surface qui lui sert d'assiette. Cette fondation donne appui à une muraille formée de blocs en béton de 1 à 20 tonnes sur une hauteur de 8 mètres, recouverts d'un massif de béton déposé « in situ » au-dessus du niveau des basses mers et sur 3^m,50 de hauteur, au moyen d'un coffrage en charpente garni de toile au fond et sur les côtés. La muraille a 13 mètres de largeur moyenne et un fruit de 1/8.

A la jetée nord d'Aberdeen, le soubassement a été fait en sacs de béton, depuis le fond jusqu'au-dessus de la laisse des basses mers et achevée avec du béton en masse (Pl. XXXIX, fig. 16).

L'emploi de béton en sacs est économique et facile; ils prennent bien leur assiette sur le fond de la mer, même quand celui-ci est irrégulier et formé de roches, à condition que le remplissage du sac soit réglé de façon à permettre au béton un certain mouvement; après leur pose, le ciment qui filtre plus ou moins par la toile, provoque une espèce de cimentation entre les divers blocs. La confection du béton demande cependant beaucoup de précautions; il importe notamment de le mettre fraîchement et très rapidement en œuvre pour éviter qu'il ne fasse partiellement prise avant d'être coulé, car alors les blocs se fendent. Quand les opérations sont bien conduites, le béton n'est guère délavé pour les sacs déposés dans les profondeurs, et fort peu pour ceux près du niveau des basses mers où la lame se fait le plus sentir.

Le breakwater du port de La Guaira, Venezuela, est également construit en sacs de béton⁽¹⁾. Ceux des rangées inférieures dont l'assiette se trouve à 14 mètres et la face supérieure à 5^m,50 sous le niveau de la mer, pesaient 160 tonnes et étaient coulés au moyen d'un ponton à trémie de 1^m,82 de tirant d'eau; ils mesuraient dans le ponton 14^m,60 de longueur et s'étendaient, après dépôt, sur 16^m,50. Le massif ainsi formé était élevé ensuite jusqu'à 2^m,50 sous le niveau de la mer au moyen de sacs de béton de 130 tonnes, mis en place par des pontons semblables aux précédents, mais d'un tirant d'eau de 1^m,50 seulement. Sur cette seconde rangée de sacs de béton, dont la longueur mesurait 12^m,20 dans le ponton et 14 mètres après leur mise en place, il en fut établi d'autres de 70 tonnes, amenés au moyen d'un grand porteur culbuteur, se mouvant sur rails; ils avaient 9,75 de longueur et s'étendaient sur 10^m,70 après le dépôt. Le couronnement de l'ouvrage enfin consiste en du béton coulé en masse, jusqu'à 3^m,70 au-dessus du niveau de la mer et sur une largeur de 9^m,50 (Pl. XXXIX, fig. 17).

A La Guaira, l'amplitude de la marée n'est pas assez grande pour pouvoir déposer

(1) A. E. CAREY. *The la Guaira Harbour Works*.

les sacs avec des pontons jusqu'au niveau des basses mers ; sans cela, il y aurait évidemment eu avantage à le faire et à établir ensuite la superstructure avec du béton en masse.

Certaines jetées, reposant sur un fond résistant, ont été construites entièrement en béton coulé « in situ » sous eau, au moyen de coffrages faits en charpente et toiles à voile ; elles ne forment ainsi qu'un seul monolithe. Ce système a été suivi au port de Wicklow. (Pl. XXXIX, fig. 18). Il convient pour des jetées de dimensions relativement faibles et dont l'établissement ne comporte pas l'acquisition d'un matériel coûteux.

Le dépôt du béton « in situ » demande beaucoup de précaution ; il doit être dosé et mélangé avec soin, et descendu, à l'aide de caisses à clapets ou autres appareils de l'espèce, de façon à en prévenir le délavage ; sans cela le massif n'offrirait pas le degré d'homogénéité voulu. On emploie du reste à cet effet du béton plastique, c'est à dire du béton au ciment de Portland, qui n'est immergé qu'à un certain intervalle après sa manipulation et qui est alors beaucoup moins sujet à être délavé, que s'il était fraîchement confectionné ; de plus on augmente généralement la proportion de ciment pour la formation des revêtements extérieurs de la jetée et pour les parties supérieures, où les lames ont le plus d'intensité.

Au prolongement du breakwater d'Hermitage à St-Helier's, Jersey, M. l'ingénieur Kinipple a fait usage sur une large échelle de coulis au ciment de Portland, de manière à obtenir un massif constituant également un monolithe.

Cet ouvrage devait être fondé par des profondeurs de 18 mètres sur un fond de roche, mais qui était couvert sur une certaine longueur d'une couche de sable et d'argile. On commençait par enlever cette couche par dragage, et à mesure que la surface de fondation était draguée, on remplissait la tranchée ainsi formée de moëllons et de cailloux, en procédant par sections successives de 3^m,50 ; puis on faisait niveler la surface de ces enrochements par des plongeurs. A l'extrémité de la section remplie, on établissait chaque fois une espèce de mur en sacs de béton, dont les interstices étaient bouchés par des scaphandriers à l'aide de toile à voile, de manière à former, avec l'extrémité de la partie achevée de l'ouvrage et avec les côtés latéraux de la tranchée creusée, un coffre à parois pleines. Aux endroits où le fond rocheux n'était pas couvert de dépôts de sable, les enrochements étaient versés dans une enceinte formée de trois côtés de sacs de béton, les joints en étant bouchés comme il vient d'être dit, et du quatrième côté, par l'extrémité de la partie de la jetée déjà établie.

Ces enrochements furent ensuite transformés en une masse solidaire au moyen de coulis de ciment de Portland, versé par un tuyau suspendu à hauteur fixe au-dessus du niveau de haute mer. Aussitôt l'opération de coulage commencée, on remplissait constamment ce tuyau assez vite pour produire un coulis continu, jusqu'à ce que les interstices de la section entamée étaient convenablement remplis. L'expérience a montré que les coulis réussissaient d'autant mieux que le ciment était plus fin. En le mettant

en œuvre frais, celui-ci prenait beaucoup plus vite aussi, que lorsqu'il était fabriqué depuis un ou deux mois ; dans le premier cas, au bout de deux jours, il avait acquis la dureté voulue pour recevoir les blocs en béton, dont on formait ensuite le soubassement de la jetée. Ces blocs, qui pèsent 9 à 12 tonnes, avaient respectivement 2^m,75 et 3^m,65 de longueur sur 1^m,22 de largeur et de hauteur ; ils sont disposés en assises inclinées à 68°. On établissait à la fois 2 assises en hauteur et 3 en longueur. On bouchait alors les joints des faces latérales et la face extrême ; sous eau, on employait à cet effet de la toile à voile, mise en place par des plongeurs, et au-dessus de l'eau, du ciment de Medina à prise rapide. On effectuait finalement le remplissage des joints au moyen de coulis de ciment de Portland, pour procéder ensuite et successivement de la même manière pour toutes les sections de l'ouvrage.

M. Kinipple a employé des procédés analogues au coulis de ciment pour restaurer une partie du breakwater en question, qui avait été construit en blocs de béton reposant sur le roc par l'intermédiaire d'une couche en sacs de béton. Pour fermer les joints des parties avariées, il faisait usage, suivant leur importance, de toile à voile, de ciment en pâte enveloppée de toile et formant des espèces de rouleaux, de petits sacs remplis de ciment à l'état plastique, etc.

Le système au coulis de ciment sous eau, employé par M. Kinipple, a l'avantage de ne pas exiger grand matériel, et sous ce rapport, il est surtout applicable quand il s'agit de construire des jetées de dimensions restreintes, sur un fond résistant et imperméable.

On voit par ce qui précède que le béton est employé de différentes manières, pour la construction des jetées en eau profonde. Bien des ingénieurs pensent que lorsqu'il est déposé en masse sous eau, ou même descendu en sacs, il n'offre pas toute la garantie de durée voulue, d'abord parce qu'il est difficile, le plus souvent, de le couler avec toutes les précautions désirables et d'en assurer la prise régulière, et aussi parce que dans certaines circonstances, le ciment est sujet à être décomposé par l'eau de mer. Pour ces motifs, ils préfèrent les blocs en maçonnerie, tout au moins pour les revêtements extérieurs des massifs.

Cependant certains breakwaters, établis depuis bien des années déjà avec du béton coulé sous eau, ont parfaitement résisté et ne semblent pas justifier les craintes au sujet de la durabilité de ce mode de construction, tout au moins quand on emploie du ciment de Portland de bonne qualité et que le béton est bien dosé et manipulé. Il est possible d'ailleurs que l'action de l'eau de mer sur le ciment varie avec les circonstances locales inhérentes au régime des courants et des vagues qui caractérisent les divers atterrages, et que la décomposition qu'elle produit sur le béton peut n'être appréciable qu'en des cas spéciaux.

On exclut en général des travaux de l'espèce l'emploi de ciments à prise rapide, lesquels, moins résistants d'abord, paraissent ne pas être de longue durée dans l'eau de mer. On ne les emploie d'habitude que dans les parements, à l'extérieur, pour préserver les mortiers à prise lente employés dans des parties intérieures de l'ouvrage.

Le prix des jetées en eau profonde varie naturellement beaucoup suivant le mode de construction adopté, la profondeur de la mer où elles sont établies, la nature des matériaux employés, les conditions de transport de ceux-ci, etc.

A la digue de Cherbourg, le massif de fondation, en enrochements non triés, a 90 mètres de largeur à la base, avec talus extérieur de 2 pour 1 au-dessous du niveau des basses mers, et de 5 pour 1, à la partie supérieure; la muraille en maçonnerie a 11 mètres d'épaisseur moyenne et 8 mètres de hauteur. Cette digue a coûté 18,000 francs environ le mètre courant, mais avec l'expérience acquise aujourd'hui, elle pourrait être construite à un prix notablement moindre.

La digue de Plymouth, dont le massif en enrochements à pierres perdues a 100 mètres de largeur à la base et 50 mètres en couronne, a coûté 25,000 fr. le mètre courant.

Les digues de Marseille et de Gênes fondées respectivement par des profondeurs de 11 à 29 mètres, et de 15 à 28 mètres ont coûté, la première 9,500 fr. et la seconde 12,000 fr. le mètre courant.

Parmi les digues en blocs arrimés, celle d'Ymuiden, construite par assises horizontales a donné lieu à une dépense de 8,800 fr. le mètre courant.

La jetée d'Aberdeen, avec fondation en sacs de béton, donnant appui à un massif en blocs de béton, surmonté d'une superstructure faite avec du béton en masse, revient à 5,890 fr. le mètre courant. Le prix du mètre cube du béton, coulé en masse aux jetées d'Aberdeen, le matériel employé à sa mise en œuvre et tout compris, était de 48 francs.

ANNEXE III.

DES INSTALLATIONS ET DE L'OUTILLAGE DU PORT D'ANVERS.

L'Escaut constitue devant Anvers une belle rade, où les plus grands navires peuvent mouiller en toute sécurité. Avant 1878, le fleuve était bordé de 2,170 mètres de murs de quai, interrompus par quatre anciennes criques qui débouchaient dans le fleuve. Mais ces quais, construits par parties successives et suivant des alignements irréguliers, ne se prêtaient pas à desservir un trafic important; il n'était pas possible de les munir de voies ferrées, à l'exception du quai du Rhin, et les navires ne pouvaient en accoster le pied, sans échouer à marée basse; de plus, la largeur du terre-plein était beaucoup trop faible pour y opérer la manutention des marchandises dans de bonnes conditions.

Nouveaux quais de l'Escaut. Ces anciens ouvrages sont remplacés aujourd'hui par les magnifiques quais, que l'Etat a fait construire, il y a quelques années, sur une longueur totale d'environ 3,500 mètres. Ils sont établis suivant une courbe régulière, concave vers le fleuve, et formée de plusieurs arcs de cercle raccordés tangentiellement; ces arcs ont des rayons variant progressivement, de manière à donner à l'ensemble du mur une forme telle, que les courants portés vers lui, à cause de sa concavité, le suivent dans toute son étendue. (Pl. XL.). Dans ces conditions les courants de marée, en circulant le long de ces quais, y creusent et y entretiennent des mouilles profondes, où les plus forts bâtiments peuvent se placer à tout état de la marée.

Pour mieux assurer le maintien des profondeurs dans la partie du fleuve située devant Anvers, la largeur régulière en a été fixée, dans l'étendue des quais, à 350 mètres, soit une largeur un peu moindre que celle existant immédiatement en amont et aval et qui est de 400 mètres.

Le massif des murs est entièrement construit en briques de Boom de l'espèce dite *Klampsteen*; les parements, jusqu'à 1 mètre en contre-bas du niveau moyen des basses mers à Anvers, sont en pierre de taille de Soignies; ils sont surmontés d'une tablette de couronnement, dont la face supérieure se trouve à 6^m,65 au-dessus du même niveau.

Le mur a 14^m,35 de hauteur, 2 mètres de largeur à la partie supérieure et 7 mètres de largeur à la base; il présente, du côté de l'Escaut, un fruit de 1/20 depuis le couronnement jusqu'au niveau de basse mer, et de 1/10 depuis ce dernier niveau jusqu'à la fondation dont la face supérieure se trouve partout à 8 mètres en contre-bas du plan de marée basse. Le massif de fondation a une largeur uniforme de 9 mètres; sa hauteur dépend de la profondeur du lit du fleuve et de la nature du sol. Cette hauteur reste comprise entre 2^m,50 et 8^m,00 de sorte que la cote à laquelle se trouve la face inférieure de la fondation varie de 10^m,50 à 16 mètres sous le niveau des basses mers. (Pl. XLI, fig. 1.)

La construction de ces quais était sans doute difficile, car une grande partie des murs a dû être établie dans le fleuve à 100 mètres environ de la rive⁽¹⁾, dans des profondeurs d'eau mesurant en certains endroits 12 mètres à marée basse; de plus, l'agitation des eaux, devant Anvers, est parfois très grande et la vitesse du courant de flot y atteint jusqu'à 1^m,90 par seconde.

Les travaux ont été adjugés à MM. Couvreur et Hersent, entrepreneurs à Paris. La direction en fut confiée à M. Lamal, Inspecteur général des ponts et chaussées, M. de Mathys, Ingénieur en chef-directeur et M. Prisse, Ingénieur principal.

Esquissons en peu de mots le procédé qui a été suivi pour la construction des nouveaux quais.

MM. Couvreur et Hersent ont divisé la longueur totale des quais en tronçons de 25 mètres de longueur, à établir bout à bout sur le terrain résistant, sans aucun massif intermédiaire pour asseoir la fondation. Chaque tronçon ou élément de mur a été exécuté à l'aide d'un système, de leur invention, comprenant essentiellement : 1° un caisson métallique à air comprimé, destiné à déblayer le sol et à fonder la base du mur. Ce caisson est rempli de béton; il fait partie intégrante de la fondation et reste enfoui; 2° un batardeau mobile en tôle, ayant la même forme que le caisson et directement boulonné sur celui-ci.

A l'aide de ce batardeau, on peut construire à sec et à l'air libre, même à marée haute, la partie du mur de quai comprise entre l'arête supérieure de la fondation et le niveau de basse mer. Lorsque la maçonnerie est exécutée jusqu'à ce niveau, on déboulonne le batardeau par-dessous, on le soulève au moyen de chaînes de suspension fixées à un échafaudage flottant, et on le transporte au-dessus d'un nouveau caisson.

L'échafaudage flottant sert aussi à mettre les caissons en place et à en opérer le fonçage.

Chaque caisson a 25 mètres de longueur, 9 mètres de largeur et une hauteur variant de 2^m,50 à 8^m,00 suivant la profondeur à laquelle doit être établie la fondation. Il est divisé en deux parties par une paroi horizontale, rivée sur une série de poutres transversales en treillis; la partie située au-dessous de cette paroi a 1^m,90 de

(1) Voir Pl. XL, où la ligne pointillée jaune représente le tracé de l'ancienne rive.

hauteur; elle sert de *chambre de travail* où l'on exécute le déblai à faire au fond du fleuve. Une cornière, rivée sur tout le pourtour de l'arête supérieure du caisson, reçoit les boulons pour l'assemblage de ce dernier avec le batardeau mobile. Le plafond du caisson présente 5 ouvertures, donnant passage à une cheminée d'accès avec double sas à air, et à 4 cheminées pour béton.

Le batardeau mobile a une hauteur de 12 mètres; il présente à sa partie inférieure un couloir fermé en tôle, de 1^m,50 de hauteur et 0^m,50 de largeur, permettant de boulonner ou de déboulonner sous l'eau, au moyen de l'air comprimé, le joint entre le batardeau et le caisson. On pénètre dans ce couloir à l'aide de 4 cheminées avec sas à air. Les parois du batardeau sont consolidées, à l'extérieur, par des armatures de poutrelles en fer et de croisillons, et, à l'intérieur, par un entretoisement de fortes poutres fixées à la partie supérieure.

Un batardeau mobile complet pèse environ 200 tonnes. Le poids d'un caisson, variable évidemment selon sa hauteur, est en moyenne de 90 tonnes.

L'intervalle qui reste entre deux tronçons successifs, par suite de la place occupée par les parois du batardeau, est rempli avec du béton, coulé dans l'eau, entre deux panneaux en bois, jusqu'à la hauteur du niveau de marée basse, et relié à la maçonnerie des tronçons à l'aide d'échancrures verticales. Au-dessus de ce niveau, le mur est tout à fait continu.

L'échafaudage flottant est composé de deux bateaux en fer de 26 mètres de longueur et de 5 mètres de largeur, espacés l'un de l'autre de 10 mètres. Ils sont surmontés de 6 fermes en fer de 12 mètres de hauteur, contreventées entre elles et réunies par la tête ainsi que par les deux bouts. Le batardeau mobile est suspendu dans l'espace compris entre les deux bateaux; on le fait monter ou descendre à l'aide d'un appareil de levage composé de 12 treuils à noix, avec palans attachés supérieurement aux deux bouts de chacune des fermes, et mis en mouvement par une même machine à vapeur. La transmission de mouvement d'un bateau à l'autre se fait au moyen de deux chaînes-Galle; afin de compenser les petites inégalités des chaînes de levage, celles-ci sont réglées au moyen de ressorts à cinq disques en caoutchouc, qui régularisent la répartition de la charge. Chaque palan supporte un effort maximum de 20 tonnes, et le batardeau peut être levé de 10 à 12 mètres en une heure.

Les bateaux contiennent, dans la cale, les machines à vapeur employées à la manœuvre du batardeau mobile, les machines à comprimer l'air et les pompes d'épuisement; sur le pont se trouvent les machines à fabriquer le mortier et les engins de manutention des matériaux.

Les nouveaux murs de quai, construits sur une étendue totale de 3,500 mètres, ont coûté, en moyenne, 10,000 fr. le mètre courant.

Les criques qui débouchaient dans l'Escaut devant Anvers, avant la démolition des anciens quais, et où venaient se réfugier les bateaux d'intérieur, ont été comblées;

l'Etat a construit, en leur remplacement, de vastes bassins de batelage, creusés parallèlement à l'Escaut. Ces bassins, au nombre de trois, sont reliés par des chenaux de 10 mètres d'ouverture; ils présentent 4 hectares de superficie et 1800 mètres de murs de quai, ayant un terre-plein de 30 mètres de largeur; leur profondeur est de 2 mètres sous le niveau des basses mers, et leur flottaison de 3^m,60 environ au-dessus du même niveau. L'écluse par laquelle les bassins de batelage communiquent avec le fleuve, a 13 mètres de largeur à chacune des têtes, et comprend un sas intermédiaire de 75 mètres de longueur sur 25 mètres de largeur. La tête amont est munie d'une paire de portes d'ebbe; la tête aval d'une paire de portes d'ebbe et d'une paire de portes de flot (Pl. XL).

Les nouveaux quais ont un terre-plein de 100 mètres de largeur; ils sont desservis, sur toute leur longueur, par deux voies ferrées principales destinées à la circulation des trains et desquelles se détachent trois voies parallèles; l'une pour les wagons arrivant chargés, la seconde pour les wagons arrivant à vide, la troisième, qui est couverte par des hangars, pour les opérations de chargement et de déchargement. Le long de la tablette du mur règne une sixième voie au-dessus de laquelle roulent les grues hydrauliques; cette dernière voie est destinée aux transbordements directs de navire à wagon.

Entre la quatrième voie et le quai sont construits des hangars, constitués par une simple couverture reposant sur des colonnes.

Chacun d'eux comprend un nombre variable de travées de 12 mètres de largeur, et couvrant, perpendiculairement au quai, une zone de 30 à 50 mètres. Entre deux hangars consécutifs, il existe un espace égal à une ou deux fois la largeur d'une travée, ce qui permet de modifier au besoin facilement la longueur de l'un ou de l'autre hangar. La surface totale couverte par les constructions, le long de l'Escaut, est actuellement d'environ 98,300 mètres carrés.

Les voies de circulation des quais sont reliées à celles conduisant aux gares de chemin de fer par des raccordements aiguillés; ceux-ci permettent, on le sait, d'effectuer toutes les manœuvres des wagons à la machine ou par des chevaux, et de faire passer rapidement des trains entiers d'une voie sur une autre. Mais un raccordement à aiguilles occupe une assez grande longueur de voie et de quai, laquelle est perdue pour le stationnement des wagons; d'autre part, on a fréquemment besoin de faire passer un wagon d'une voie sur une voie parallèle, et comme le long des quais, on doit chercher d'ordinaire à utiliser aussi complètement que possible la surface des terre-pleins, il est avantageux d'avoir recours à cet effet à des plaques tournantes. C'est ce qui a été fait à Anvers, où il existe, dans l'espace séparant deux groupes consécutifs de hangars, une ou deux voies ferrées communiquant de cette manière avec les voies de chargement et de déchargement du quai, ainsi qu'avec celle longeant la tablette du mur. La manutention des wagons se fait à bras d'hommes ou au moyen de petits cabestans hydrauliques, servant aussi à opérer le mouvement de translation des grues, dont il

sera parlé plus loin. On a établi en outre de distance en distance des transbordeurs, également mis en mouvement par des cabestans hydrauliques et pouvant porter des wagons de 20 tonnes.

Au sud du bassin de batelage s'étend une vaste gare à voyageurs et à marchandises, appelée gare d'Anvers-Sud; elle est destinée, de même que le quartier nouvellement créé qui s'étend devant elle, à être reliée plus tard à la rive gauche de l'Escaut par un pont présentant une voie charretière et un passage pour une ou deux voies ferrées.

Bassins du port d'Anvers. Le port d'Anvers proprement dit se trouve à l'extrémité nord de la ville. Il comprend 8 bassins à flot d'une superficie totale d'environ 70 hectares, entourés de 7,700 mètres de murs de quai et d'estacades servant aux opérations commerciales, et de 2,900 mètres de talus accostables pour les navires. Les terre-pleins affectés à la manutention des marchandises occupent une surface totale de 68 hectares, avec 115,730 mètres carrés de hangars.

Deux bassins, celui du Kattendyk et le Petit bassin, débouchent directement dans l'Escaut; le premier, par une écluse de 23^m,74 de largeur, avec buses placés à — 3^m,23 par rapport au niveau des basses mers, et dont le sas a 110 mètres de longueur sur 70 mètres de largeur; le second, au moyen d'une écluse simple de 14^m,40 de largeur avec buses placés à la cote — 2^m,69.

Dans les circonstances normales, l'écluse du Kattendyk et l'écluse ancienne permettent respectivement le passage de navires de 6^m,50 et de 6^m,00 de tirant d'eau. La hauteur de flottaison dans les bassins est fixée à la cote + 3^m,60; le fond de ceux-ci se trouve respectivement à — 2^m,23 pour le Grand bassin, le Petit bassin et le bassin de Jonction, à — 3^m,58 pour celui du Kattendyk et à — 4^m,78 pour ceux d'Asia et de la Campine et pour le bassin aux Bois. Deux écluses intérieures servent à la communication des bassins entre eux; la première de 18 mètres de largeur se trouve entre les deux anciens bassins; la seconde, de même largeur, entre le bassin de Jonction et celui du Kattendyk.

A l'écluse des anciens bassins et à celle du Kattendyk, il existe un éclairage électrique qui permet l'entrée et la sortie des navires pendant la nuit.

Le bassin d'Africa, appelé aujourd'hui bassin Lefebvre, et celui d'America ont été livrés au commerce en 1886; on est occupé en ce moment à leur donner un accès direct à l'Escaut au moyen d'une écluse à sas de 195 mètres de longueur, 19^m,60 de largeur et une profondeur de radier de 5^m,30 sous le niveau des basses mers de vive eau, correspondant en moyenne, à marée haute, à 9 mètres d'eau. Le fond du bassin se trouve à — 5^m,50; la hauteur de flottaison y est maintenue à + 5^m,60.

Le bassin America sert exclusivement à l'importation du pétrole, naphte, etc. Les quais sont pourvus de trois hangars destinés aux dépôts du pétrole en barrils, et de réservoirs en tôle ou « tanks », aménagés avec beaucoup de sécurité et de pré-

cautions au point de vue des dangers d'incendie. Les installations sont éclairées à la lumière électrique, et toutes les constructions sont exclusivement en pierre et en fer. Les réservoirs sont munis de soupapes de sûreté. Autour de chaque groupe de tanks, il est établi une muraille basse, dont la crête dépasse le niveau de la route, de façon à séparer les réservoirs des voies ferrées attenantes. Comme les espaces ainsi enclos ne sont pas assez grands pour contenir l'huile des tanks au cas où celle-ci s'échapperait, ils sont mis en communication avec des conduites maçonnées, débouchant dans un bas-fond situé entre l'endiguement du quai et les fortifications; en pénétrant dans ces conduites, le pétrole enflammé s'éteindrait avant d'arriver dans le bas-fond.

Il se pourrait, en cas d'accident, que du pétrole en feu s'écoulât dans le bassin; en prévision de cette éventualité, le pertuis de communication de celui-ci avec le bassin Africa est pourvu d'un isolateur. Il consiste en une plaque en fer de 18 mètres de longueur et 1^m,20 de hauteur, dont la moitié se trouve au-dessous et la moitié au-dessus de l'eau, quand il est baissé. Cette pièce est reliée à la partie inférieure du pont existant sur le pertuis, au moyen de charnières en T fixées à l'un des longerons principaux; contre l'autre longeron est attaché un arbre horizontal, portant cinq tambours, sur lesquels s'enroulent les chaînes attachées à l'isolateur. En tournant l'arbre, les chaînes se raidissent et font pivoter la plaque, qui se place dans une position horizontale, de manière à permettre la manœuvre du pont. Quand celui-ci est fermé, l'arbre peut être instantanément dégagé et tourné, et l'isolateur être amené dans sa position verticale. Les joints entre les extrémités de la plaque et les culées sont fermés au moyen de toiles à voile, attachées à l'appareil.

L'huile importée est refoulée du navire dans les réservoirs au moyen de pompes installées sur le navire même, mais la vapeur est fournie aux machines par des générateurs placés à terre en dehors des dépôts⁽¹⁾.

En dehors des bassins mentionnés, il a été creusé à l'endroit du Looibroek un bassin de batelage de 450 mètres de longueur, sur 40 mètres de largeur, destiné à la navigation du canal de la Campine.

Formes de radoub. Au quai ouest du bassin du Kattendyk, il existe trois formes de radoub, présentant les dimensions principales suivantes: la première, 110 mètres de longueur avec écluse d'entrée de 23^m,74 de largeur et 6^m,83 de profondeur d'eau sous la flottaison; la seconde, 65 mètres de longueur avec écluse d'entrée de 12 mètres de largeur et 4^m,14 de profondeur d'eau; la troisième, 44 mètres de longueur avec écluse d'entrée de 10 mètres de largeur et 2^m,76 de profondeur d'eau. Ces formes sont fermées au moyen de portes busquées en bois.

Le bassin du Kattendyk a été prolongé, il y a quelques années, de 350 mètres au nord, et on y a construit 3 nouvelles cales sèches de 133 mètres de longueur à la pierre de quille et de 15 mètres de largeur à l'entrée. Ces formes, destinées aux bâti-

(1) A. ROYERS. *Des bassins d'Anvers.*

ments légers, présentent 5^m,24 de tirant d'eau sur les buscs, sous la flottaison; elles sont fermées également par des portes busquées en bois.

L'eau des six formes existant au port d'Anvers est épuisée par une seule machine de 250 chevaux actionnant 8 pompes, dont le débit total est de 12,000 mètres cubes à l'heure. En outre de la machine principale, il y a une petite machine qui sert à maintenir les formes à sec, sans le secours des grandes pompes, en enlevant les eaux d'infiltration des cales, et celles qui suintent par les portes.

La ville construira prochainement une nouvelle cale sèche qui s'ouvrira directement sur l'Escaut près de la gare du Sud. Elle aura 200 mètres de longueur, 23^m,50 de largeur à la partie inférieure et 3^m,60 de profondeur sous le niveau des basses mers; la fermeture s'opérera au moyen d'un bateau-porte. M. l'Ingénieur en chef Royers, en vue de pouvoir facilement allonger plus tard cet ouvrage, donnera aux fondations un excès de longueur au-delà du mur du fond.

Gares maritimes. Les quais des bassins, comme ceux de l'Escaut, sont desservis par un réseau très complet de lignes ferrées, reliées à de vastes gares maritimes, dont la surface mesure environ 85 hectares et est sillonnée par 86,000 mètres de voies.

Ces gares comprennent deux groupes, l'un situé à proximité des établissements maritimes du Nord, et le second au Sud des bassins de batelage. Les quais de l'Escaut sont reliés à chacun de ces deux groupes. (Pl. XL).

La gare d'Anvers-Bassins-Stuyvenberg sert à la composition et à la décomposition des trains et forme tête de ligne; elle est réservée en outre pour le trafic local de la ville d'Anvers et pour les transports à petite vitesse, échangés avec la Hollande.

Un hangar de 110 mètres de longueur et 38 mètres de largeur y sert aux opérations du service de grande vitesse, tant au départ qu'à l'arrivée. Il est traversé, suivant son axe, par une voie charretière de 11 mètres de largeur et pourvu de deux quais de débarquement de 8^m,00 de largeur, bordés extérieurement d'une voie ferrée. Il est question de doubler prochainement la superficie de cet hangar.

A la gare de Stuyvenberg, on a ajouté celle de Zurenberg, destinée spécialement à la formation des trains à expédier par les lignes du Midi, du Luxembourg et de l'Est. Plus loin se trouve la gare de Bergerhout, qui sert à la formation des trains du Grand Central. Une nouvelle gare dite « des 1000 wagons, » est projetée entre la gare de Zurenberg et l'Avenue des Hollandais; on négocie en ce moment l'acquisition de 13 1/2 hectares de terrains à entreprendre à cet effet.

La gare principale d'Anvers-Bassins, qui est directement reliée à celle du Stuyvenberg, sert au classement et au dépôt temporaire des wagons à l'arrivée; elle groupe tous les wagons pleins ou vides, qui sont dirigés sur les bassins et les entrepôts ou qui en reviennent; elle effectue aussi le chargement sur wagon des marchandises débarquées sur les quais non pourvus de rails, ou provenant de magasins particuliers; ces marchandises sont amenées par chariots. Le chargement s'opère en partie, sous

une halle de 200 mètres de longueur et de 70 mètres de largeur, contenant deux voies charretières de 12 mètres et quatre quais d'embarquement de 8 mètres, au delà desquels se trouvent parallèlement les voies ferrées.

Les gares d'Anvers-Bassins sont reliées avec la gare d'Anvers-Est, par un embranchement de 3 1/2 kilomètres de longueur, qui contourne la ville en longeant la nouvelle enceinte. Cette dernière gare est réservée spécialement au service des voyageurs et des bagages, et à celui des marchandises expédiées par express ou à grande vitesse. Elle sera transformée prochainement, et ce de façon à permettre la suppression des passages à niveau existant dans l'enceinte d'Anvers. La gare de Zurenberg a déjà été surélevée en vue de cette transformation.

De la gare principale d'Anvers-Bassins partent les voies ferrées desservant les divers quais. Deux petites gares-annexes ont été établies, l'une au nord du bassin aux Bois et l'autre au quai du Rhin; la première sert principalement au chargement des bois; la seconde est destinée à la réception et à l'expédition des marchandises transportées par les navires, chargeant et déchargeant au dit quai. Le long du quai est du bassin Asia, il existe une série de voies destinées à la manœuvre et au chargement des wagons venant prendre les minerais. Les voies ferrées des bassins Lefebvre et America, auxquelles sont reliées les voies du quai ouest du bassin du Kattendyk et de la gare aux bois, ont un embranchement direct avec les voies principales de la ligne de la Hollande; on évite ainsi au trafic de ces bassins le passage sur les ponts tournants des autres bassins.

La gare d'Anvers-Sud est établie, nous l'avons déjà dit, à l'extrémité sud des quais de l'Escaut et est principalement destinée à desservir les voies ferrées de ces quais. Elle comprend une halle pour le chargement et le déchargement des marchandises, semblable à celle de la gare principale d'Anvers-Bassins et ayant à peu près les mêmes dimensions. Cette gare va recevoir sous peu de nouvelles extensions.

Outillage hydraulique. Au port d'Anvers, les quais des bassins comme ceux de l'Escaut, sont munis d'un outillage hydraulique fort complet.

On sait que l'application de la force hydraulique aux divers engins en usage pour l'exploitation des docks, a pour principe d'emmagasiner et de distribuer à volonté la force motrice d'une machine à vapeur, en se servant de l'eau comme intermédiaire. L'emploi de ces engins tend à se généraliser de plus en plus, non seulement pour le chargement et le déchargement des marchandises, mais aussi pour l'ouverture et la fermeture des portes d'écluses, la manœuvre des ponts mobiles, des cabestans, des plaques tournantes, etc.

Les premières grues hydrauliques, construites par M. Armstrong, fonctionnèrent en 1846 à New-Castle, à l'aide de l'eau des conduites de la ville; elles furent installées bientôt dans les mêmes conditions à Liverpool.

En 1849, M. Rendel, ingénieur du port de Great-Grimsby, ne disposant pas de cette

ressource, construisit un réservoir placé sur une tour de 60 mètres de hauteur et alimenté par une machine à vapeur. Mais par ce système, on ne peut obtenir l'eau que sous de faibles pressions, car il n'est guère pratique d'établir les réservoirs à une très grande hauteur au-dessus du sol.

M. Armstrong imagina alors l'emploi d'un réservoir à air comprimé; mais il reconnut bientôt que de pareils réservoirs ne se prêtent qu'à un emmagasinage restreint, qu'ils donnent une pression trop variable et entraînent à bien des difficultés résultant de l'absorption de l'air par l'eau. Il songea finalement, en 1850, à employer des réservoirs de dimensions relativement restreintes, dans lesquels la pression est obtenue par une charge agissant sur le niveau de l'eau. Ces appareils reçurent le nom d'*accumulateurs*.

Un accumulateur se compose d'un cylindre vertical en fonte, où l'on refoule l'eau au moyen d'une machine à vapeur, et à l'intérieur duquel se meut un piston plongeur chargé d'un grand poids. Ce poids, augmenté de celui du piston, produit une pression déterminée et constante sur l'eau qui se trouve en dessous et qui communique avec celle de la canalisation, conduisant la force motrice vers les appareils à actionner. En désignant par p la pression à obtenir par unité de surface et S la section du piston, la valeur de la charge P sera pS , et en appelant h la course du piston, le corps du cylindre contiendra un volume d'eau utile Sh à la pression p ; sous le rapport du travail mécanique que ce volume d'eau peut produire, c'est comme si on l'avait élevé à une hauteur équivalente à la pression p .

Avec les accumulateurs, la pression de l'eau motrice qui n'avait pas dépassé jusqu'alors 6 à 7 kilogrammes par centimètre carré, fut portée à $42^k,180$ par cm^2 ou 41 atmosphères, et dans certains cas elle a encore été beaucoup augmentée par la suite. C'est là un très grand avantage du système, car il permet de réduire notablement les organes des machines qu'il s'agit de mettre en mouvement et dont nous parlerons plus loin.

La pression produite dans un accumulateur est constante, quel que soit le travail à produire. Mais il existe divers dispositifs permettant de modifier sa puissance. Il suffit par exemple de surmonter le piston plongeur S d'une tige de section s . Suivant que l'eau en charge est introduite sous la face inférieure ou des deux côtés, l'effort exercé est pS ou ps , et la dépense d'eau aura évidemment lieu dans la même proportion.

Le plus souvent l'eau sous pression est transmise aux récepteurs par des appareils, qui sont eux-mêmes à effets multiples.

Il est à remarquer que le rendement définitif des machines à eau sous pression, ne dépasse pas 30 o/o environ du travail développé sur le piston de la machine à vapeur qui alimente les accumulateurs, en admettant qu'elles fonctionnent à pleine charge; en réalité il est moindre encore, car la quantité d'eau motrice dépensée est la même, quelle que soit la résistance. Cependant, l'eau sous pression permet de produire plus facilement et plus économiquement que par la vapeur, des actions inter-

mittantes devant s'exercer à de grandes distances et n'exigeant séparément qu'un travail peu considérable, comme c'est le cas pour l'exploitation des docks; l'expérience montre en effet que les appareils placés sur une conduite ne fonctionnent jamais ensemble et qu'il n'est aucunement besoin, par conséquent, de proportionner les conduites et la puissance des accumulateurs, de manière à faire travailler tous les engins à la fois⁽¹⁾.

L'outillage hydraulique offre d'ailleurs d'autres avantages encore sur l'outillage à vapeur. Les machines qui fournissent l'eau motrice nécessaire aux divers engins se trouvent dans un bâtiment fermé, où elles fonctionnent économiquement et dans les meilleures conditions au point de vue de leur conservation; les grues à vapeur au contraire, exposées à l'air et aux intempéries du climat, s'usent vite. Puis, chacune de celles-ci a besoin d'un mécanicien, tandis que les engins hydrauliques fonctionnent avec précision par le jeu de quelques soupapes, dont la manœuvre peut être confiée à un ouvrier ordinaire, tellement elle est simple et facile. Les appareils à vapeur exigent en outre des allumages fréquents et consomment beaucoup de combustible, à cause des interruptions de travail auxquelles ils sont nécessairement sujets. Ajoutons enfin que l'emploi de l'eau sous pression diminue les dangers d'incendie, et aussi ceux que l'on doit craindre en cas d'explosion; car l'eau n'étant pas compressible, ne possède pas la propriété de se détendre et de donner lieu à des projections dangereuses. Les engins sont d'ailleurs munis d'ordinaire d'un appareil de sûreté; lorsque la résistance par une cause anormale quelconque augmente d'une certaine quantité au de là de la puissance de l'engin, la surcharge va se perdre à un moment donné dans l'ensemble de la distribution.

Toutefois, ce n'est que dans les ports où la manutention des marchandises est active, qu'il convient de donner la préférence à l'outillage hydraulique; car il ne faut pas perdre de vue que l'installation en est coûteuse et demande en outre des frais d'exploitation constants et assez élevés. Or, dans les ports secondaires, surtout dans ceux où le trafic n'est pas régulier, ces dépenses ne se justifient généralement pas, et il est d'ordinaire plus pratique d'y recourir à des grues à bras et à quelques grues à vapeur, dont il est facile, dans chaque cas, d'approprier le nombre et la puissance aux besoins du commerce. Dans les ports d'une certaine importance, l'outillage hydraulique est au contraire d'une supériorité incontestable, et les frais d'établissement qu'il exige sont alors amortis au bout d'un temps assez court, d'autant plus que les appareils à eau sous pression, grâce à leur mode de construction et de fonctionnement, sont d'une grande durabilité.

Là où le climat en hiver est fort rigoureux, ces appareils peuvent être mis en chômage par la gelée, ce qui est évidemment un grave inconvénient. C'est le motif pour lequel à Hambourg l'emploi en est relativement restreint. Il existe une installation hydraulique pour l'exploitation des magasins, qui se trouvent à l'extrémité de la traverse comprise entre le Sandthorhafen et le Grasbrookhafen, et une seconde

(1) PLOCQ et LAROCHE. *Exploitation des ports*.

installation aux entrepôts du port franc, qui bordent le Kerwieder et le Brooks flethe; la plupart des engins y sont d'ailleurs plus ou moins abrités par les bâtiments. Mais presque toutes les grues existant le long des nombreux quais de Hambourg fonctionnent à la main ou à la vapeur. Nous nous y arrêterons un instant.

Le type des grues roulantes à vapeur le plus employé à Hambourg, d'une puissance de 1,500 kilogrammes, comprend un cylindre C, dont le piston fait tourner la grue sur son pivot; celle-ci est guidée par trois roues, roulant sur un collier fixé à la plaque de support. La grue est équilibrée par la chaudière D, de façon que lorsqu'elle tourne à vide, les deux roues de guide d'arrière sont en contact avec le collier, tandis que chargée, c'est la roue d'avant qui touche ce dernier. (Pl. XLI, fig. 7)⁽¹⁾.

La plate-forme roulante porte deux cylindres verticaux à vapeur A, de 400 mm. de diamètre et 1,830 mm. de course de piston. Les tiges des deux pistons sont accouplées par une tête croisée portant trois poulies mobiles; sur ces trois poulies et sur trois autres poulies fixes, placées entre les cylindres, passe la chaîne de levage. Le piston, quand la vapeur agit sur sa face intérieure, imprime par conséquent à la charge une vitesse six fois plus grande que celle dont il est animé.

La grue est munie d'un frein consistant en un cylindre hydraulique B, dont la tige du piston est reliée à la tête croisée réunissant les pistons qui produisent le mouvement de levage. Quand ces derniers montent, l'eau au-dessus du piston est refoulée dans un récipient, de manière à passer par une soupape automatique dès qu'elle arrive avec une vitesse dépassant une certaine limite. Il en résulte que lorsque les pistons de levage, par bris de la chaîne ou autre cause, acquièrent une marche accélérée, ils tendent à entraîner avec eux le piston du cylindre hydraulique; mais comme la soupape de sûreté est fermée, celui-ci ne suit que lentement et préserve la grue de chocs violents et d'avaries. Lorsque les pistons descendent pour déposer la charge, l'eau du cylindre hydraulique sous le piston est expulsée par une autre conduite dans le réservoir, mais elle traverse ainsi une soupape, dont l'ouverture peut être réglée par un levier, de manière à modérer ou à accélérer le mouvement de descente à volonté. La manœuvre des grues de ce type se fait par un seul homme.

La grue est déplacée sur des rails, à la main, mais pour l'arrêter à sa position exacte, on agit par l'intermédiaire d'un système d'engrenages. La volée est de forme courbe, ce qui la rend plus flexible et de nature à mieux résister aux secousses auxquelles est exposée la chaîne qui porte la charge.

Dans d'autres grues, le cylindre hydraulique est remplacé par un frein à friction, agencé de façon à fonctionner automatiquement quand la vitesse de la chaîne de soulèvement dépasse une certaine limite.

Il existe à Hambourg, en dehors des grues à bras, nombre de grues à vapeur mobiles d'une puissance de 2,500 kilogrammes, et plusieurs d'une puissance plus

⁽¹⁾ CH. NEHLS. — *Des grues installées sur les quais du port de Hambourg.*

élevée, notamment de 3,000 et de 5,000 kilogrammes. A l'entrée du Segelschiffhafen, se trouve une grue à vapeur à triple puissance, pouvant lever à volonté des charges de 30,000, 60,000 et 150,000 kilogr. avec des vitesses de soulèvement de 1^m,50, de 0^m,80 ou de 0^m,40 par minute. Elle tourne sur un pivot et se meut par l'intermédiaire de 32 rouleaux en acier en contact avec une voie en acier. Le sommet de la flèche se trouve à 31 mètres au-dessus des quais; il s'étend à 17^m,30 du centre du pivot et à 10 mètres en dehors du parement du quai. Cette grande hauteur de la flèche permet de dresser, au besoin, des mâts de voiliers. Le contre-poids consiste en une caisse remplie de sable, d'un poids total de 25 tonnes. La chaudière et la machine sont placées dans une chambre en fer, séparée de la grue. La machine est à double cylindre et à arbre coudé, chaque cylindre ayant un diamètre de 314 mm. et une course de piston de 550 mm.; elle est munie d'un appareil Meyer à soupape d'expansion. Le moufle de suspension de la charge est formé d'une chaîne Galle à 4 brins, passant sur une double poulie à chape.

Au quais Petersen et Asia sont installées respectivement 32 et 27 grues à vapeur mobiles, n'ayant point de chaudière séparée; pour chaque groupe, la vapeur est fournie par une station de chaudières centrale, au moyen de tuyaux qu'on peut mettre en communication avec les grues. Celles-ci offrent une disposition particulière en ce qui concerne les bâtis mobiles qui les portent. Ces bâtis sont formés par une charpente disposée en équerre, dont la jambe verticale s'appuie sur le quai, tandis que la traverse horizontale repose, à son extrémité, sur le mur extérieur du hangar existant le long du bassin. Cette traverse, de 10 à 11 mètres de longueur, se trouve à 5 mètres de hauteur au-dessus du quai et porte la grue. Le support a deux roues de chaque côté et se meut sur des rails placés respectivement le long du quai et sur le mur du hangar, à une différence de niveau de 5^m,30. Cette disposition est évidemment fort avantageuse au point de vue de l'utilisation la plus complète possible du terre-plein du quai.

Les grues avec station à vapeur centrale sont d'un emploi plus économique que des grues à vapeur ordinaires, mais elles sont d'une installation assez coûteuse. La condensation dans les tuyaux de distribution donne d'ailleurs une grande perte de pression, et l'échappement de la vapeur produit chaque fois dans ceux-ci de fortes secousses, de sorte qu'on doit user de prudence en faisant fonctionner ces engins.

En 1891, il a été installé à Hambourg deux grues électriques, d'une puissance de 2,500 kilogrammes.

On sait que la transmission électrique de la force à distance est basée sur la réversibilité des machines électriques. Rappelons-en le principe; une dynamo engendre de l'énergie électrique, lorsqu'on dépense du travail mécanique pour imprimer à l'armature un mouvement de rotation. Réciproquement, lorsqu'on lance un courant dans une dynamo, l'armature se met à tourner et on peut à l'aide d'un organe

quelconque de transmission, recueillir l'énergie mécanique disponible sur l'arbre de rotation. Les deux grues électriques d'essai, construites d'après ce principe, comportent toutes deux une dynamo réceptrice, faisant tourner le tambour d'enroulement du câble; seuls, les organes de transmission entre la dynamo et le tambour diffèrent dans les deux engins.

Le courant est engendré dans la station centrale d'éclairage électrique établie au quai Petersen.

Dans l'une des grues, une vis sans fin est accouplée directement à un moteur électrique de la force de 40 chevaux, faisant 500 révolutions par minute au moyen d'un accouplement à brosses d'acier. Elle commande une roue dentée fixée sur l'axe du tambour d'enroulement du câble de levage. Le tout est porté sur de solides supports en fonte et placé le plus possible à l'arrière de la plate-forme, afin de faire équilibre à la volée et à la charge à lever.

La vis sans fin, le tambour et la charge peuvent être immédiatement arrêtés au moyen d'un frein agissant sur l'arbre de la vis, tandis que l'armature continue à tourner encore pendant quelque temps à cause de l'élasticité de l'accouplement à brosses, ce qui a pour effet d'éviter la fatigue et l'avarie des organes.

Lors de la descente de la charge, la vis sans fin peut tourner en arrière et mettre en mouvement la dynamo, qui devient alors un générateur d'électricité. Le courant ainsi engendré est utilisé en partie pour actionner un frein de vitesse; l'excédant est lancé le long des fils conducteurs. A part ce frein électrique, il y a un frein de sûreté spécial pour le cas où le courant viendrait à cesser. Il consiste en une roue fixée sur l'arbre du tambour, près de la roue dentée, et en un levier, dont le bras le plus court porte les blocs du frein, et l'autre un contrepoids permettant de presser les blocs contre la roue de frottement. Ce dernier bras est en outre muni d'un électro-aimant, activé par les fils mêmes du circuit général. Tant que le courant passe, l'aimant attire le levier et le frein est sans action; au contraire, dès qu'il est interrompu, l'aimant perdant sa force d'attraction, lâche le levier du frein et les blocs tombent dans la rainure de la roue de frottement.

La plate-forme de la grue est creuse et repose sur trois galets circulant sur un cercle en fer; elle est guidée en outre par un pivot creux en acier, contenant les fils électriques. A l'intérieur de la plate-forme sont placés les engins destinés à produire la rotation de la grue. Ils consistent en un électro-moteur spécial de la force de 6 chevaux, agissant par l'intermédiaire d'une vis sans fin sur une crémaillère fixée sur le côté de la plate-forme. Ce moteur est muni d'un rhéostat régulateur, afin que l'on puisse le faire tourner plus ou moins vite.

Deux leviers analogues aux leviers de changement de marche des locomotives commandent, l'un, les appareils de levage, et l'autre, les appareils de rotation. Ils sont actionnés par le même homme, qui peut les manœuvrer simultanément.

La prise de courant se fait au moyen d'un contact glissant en cuivre, sur deux conducteurs fixés sur les piliers des hangars du quai; de cette manière la grue, qui se trouve sur un support mobile semblable à celui des grues à vapeur du quai Petersen, peut être amenée en un point quelconque de ceux-ci.

Dans la seconde grue électrique installée à Hambourg, la transmission entre la dynamo et le tambour est obtenue par deux roues dentées.

Le mouvement de rotation de la plate-forme de la grue se fait à l'aide d'une vis sans fin, fixée sur l'arbre de la dynamo et en relation avec un système d'engrenages. Le fonctionnement de la grue se fait à l'aide de trois leviers: un pour le soulèvement de la charge, un second pour la descente et pour le frein, et un troisième pour la rotation de la grue. La disposition est analogue à celle des grues à vapeur. La prise de courant se fait sur le câble principal; à cet effet, il existe à la distance de 9^m,00 l'une de l'autre, des boîtes spéciales de connexion, dans lesquelles on peut introduire les extrémités libres des câbles de la grue. Les appareils que nous venons de mentionner ont fonctionné avec succès; leur supériorité sur les grues à vapeur, et à fortiori sur les grues hydrauliques, a été surtout appréciée pendant les grands froids. Comme nous l'avons déjà dit, c'est à cause des inconvénients que les fortes gelées peuvent occasionner aux engins hydrauliques, qu'à Hambourg, où le climat est fort rigoureux, on continuera à donner la préférence aux grues à vapeur, du genre de celle que nous avons décrite brièvement, ainsi qu'aux grues électriques⁽¹⁾.

Revenons à l'outillage hydraulique du port d'Anvers. Il comprend les installations servant respectivement à desservir les divers bassins à flot et les quais de l'Escaut, ainsi que celles établies dans les gares maritimes.

Outillage hydraulique des bassins. L'outillage hydraulique des bassins a été établi en 1877 par la maison W. G. Armstrong et C^{ie} de New-Castle, sous la direction de M. l'ingénieur A. Royers. Il se composait au début d'une machine d'alimentation de 150 chevaux de force, à deux cylindres horizontaux, à détente et à condensation. Les tiges des pistons actionnent un seul arbre, portant le volant et sur lequel est calée une manivelle, qui donne le mouvement à une pompe élévatoire, destinée à envoyer l'eau dans un réservoir placé en contre-haut des pompes de pression. Celles-ci se trouvent à l'arrière des cylindres à vapeur, et leurs pistons, qui sont mus directement par les tiges prolongées des pistons à vapeur, refoulent l'eau des réservoirs dans l'accumulateur.

Pour que l'alimentation dans l'accumulateur soit continue, le piston des pompes de pression présente une disposition spéciale: la tige a une section exactement égale à la moitié de la section du piston. (Pl. XLI, fig. 3). Quand ce dernier refoule l'eau par sa section annulaire, il en lance une certaine quantité dans l'accumulateur, en même temps que le cylindre se remplit du côté de l'autre section du piston.

(1) CH. NEHLS. — *Mémoire cité.*

Quand le refoulement a lieu par cette dernière section, une moitié de l'eau contenue dans le cylindre remplit l'espace annulaire, pendant que l'autre se dirige vers l'accumulateur. La quantité d'eau refoulée dans celui-ci est donc la même, quel que soit le sens de la marche du piston.

Le piston de l'accumulateur a 20 pouces (0^m,508) de diamètre et une course de 23 pieds 6 pouces (7^m,16). Le poids dont il est chargé donne à l'eau une pression de 47,62 atmosphères.

Les chaudières à vapeur étaient au nombre de quatre, et marchaient deux à deux en service courant.

Il y a quelques années, on a installé dans le bâtiment, qui avait été établi à cet effet sur les dimensions voulues, deux nouvelles machines du système compound, de 150 chevaux de force, trois nouvelles chaudières, et un second accumulateur. Chacune des machines peut refouler sous les accumulateurs 1820 litres d'eau par minute.

La distribution des conduites s'étend à peu près à tous les quais; les tuyaux ont actuellement une longueur totale de plus de 7,000 mètres avec des diamètres variant de 2 à 6 pouces (0^m,05 à 0^m,15). Il n'existe pas de canalisation pour le retour de l'eau à la machine.

Au droit des joints, les tuyaux présentent des collets ovales, à deux boulons seulement, disposition qui permet de serrer les écrous, dans une tranchée, plus facilement que si les tuyaux avaient des collets circulaires; elle présente encore cet avantage de se prêter à un peu de flexion dans le sens horizontal.

Les tuyaux se terminent, à l'une des extrémités, par un bout mâle, et à l'autre par un bout femelle; le joint se fait en mettant dans le creux du bout femelle un anneau en gutta-percha, et en serrant le plus possible les deux boulons, (Pl. XLI, fig. 4).

Des prises d'eau sont ménagées sur la canalisation générale, aux endroits où les engins mécaniques doivent être placés; il existe en outre des bouches de 50 en 50 mètres, destinées à recevoir des tuyaux avec lance pour incendie. Lorsqu'un incendie se déclare, la pression de l'eau envoyée dans les conduites ne dépasse pas 12 atmosphères. Cette pression moindre s'obtient en interceptant la communication entre la canalisation et l'accumulateur, et en remplaçant ce dernier par un réservoir à air, qui assure la continuité du jet. Lorsque la pression de 12 atmosphères est atteinte, un appareil spécial arrête automatiquement la machine; cet appareil se compose d'un petit accumulateur, c'est-à-dire d'un cylindre vertical avec piston plongeur chargé de poids, en communication par un tuyau avec la boule d'air. Dès que la pression augmente dans celle-ci, le piston monte et il interrompt, par une transmission au moyen de chaînes, l'arrivée de vapeur à la machine.

Les engins hydrauliques installés actuellement aux bassins d'Anvers comprennent

les appareils pour la manœuvre des portes d'écluse et des ponts tournants, et un appareil pour la manœuvre d'un grand pont roulant; un cabestan calculé pour un effort de 11 tonnes et 13 autres de 5 tonnes, destinés au halage des navires; 10 cabestans de 1 tonne servant à haler les wagons, à tirer les poutres hors de l'eau et à opérer le déplacement des grues roulantes; 22 grues mobiles pouvant lever chacune jusqu'à 700 et 1,500 kilos avec des dépenses d'eau proportionnelles à ces charges; 5 grues mobiles de 2 tonnes; une grue fixe de 10 tonnes et une autre de 40 tonnes; enfin une bigue construite d'après le système Clarke et capable de lever une charge de 120 tonnes.

Ces engins, comme ceux de la maison Armstrong en général, sont de construction variée, mais tous sont disposés de manière à être, avant tout, d'une manœuvre simple et facile. Ils peuvent se rattacher à deux types principaux : les machines destinées à imprimer à la résistance à vaincre un mouvement de translation horizontal ou vertical (élévation du fardeau dans le cas de grues), et les machines destinées à produire un mouvement de rotation.

Dans les premières, la transmission de la force motrice se fait à l'aide d'un seul cylindre à piston; une chaîne passant sur des mouffles a pour effet de multiplier la course du piston par un facteur, qui dépend de la combinaison adoptée pour les poulies fixes et pour les poulies mobiles. Les appareils les plus simples sont ceux qui ne servent que pour une charge maximum déterminée; ils dépensent à chaque manœuvre un volume d'eau constant, soit qu'ils fonctionnent à cette charge, soit qu'ils fonctionnent à une charge moindre ou même à vide. Afin de réduire la perte de travail qui en résulte, on a construit des machines offrant deux degrés de puissance, ce qui peut se faire avec un cylindre unique. Il existe à cet effet deux dispositifs différents. Dans l'un d'eux, l'eau peut être introduite de chaque côté du piston, de façon à ne la faire agir que sur une section égale à celle de la tige de ce dernier, ou bien d'un côté, pour exercer sa pression sur la surface libre du piston; dans l'autre dispositif, le piston est composé de deux parties concentriques qui marchent ensemble, quand on veut produire l'effort maximum, et dont la partie extérieure est rendue fixe à l'aide d'un verrou, quand on veut exercer le plus petit effort. (Pl. XLI, fig. 5 et 6).

Pour les grues à triple puissance, on emploie souvent la combinaison suivante: le piston du cylindre hydraulique est creux et traversé par un autre piston fixe par rapport au premier et d'une section égale à une fraction déterminée de la section totale de celui-ci, un tiers par exemple. Si l'eau motrice est amenée par un premier tuyau à l'intérieur du piston fixe seul, elle produit une pression P ; quand on la met en communication, par un second tuyau, avec la surface annulaire de l'autre piston, la pression exercée est $2P$. Enfin, lorsque l'eau motrice est admise par les deux tuyaux, on obtient une pression $3P$.

Les appareils qui provoquent le mouvement de rotation consistent, en principe,

en machines à colonnes d'eau, qui sont analogues, comme on sait, à des machines à vapeur travaillant sous une pression déterminée, sans détente ni condensation, et où le volume de vapeur dépensé serait remplacé par un égal volume d'eau en charge sous la même pression.

Lorsque la transmission de la force motrice s'effectue par l'intermédiaire d'un mouvement de rotation, on fait souvent usage de machines à trois cylindres conjugués, à simple effet, actionnant un arbre coudé de transmission. Ce dispositif convient surtout pour les engins très puissants exigeant une grande régularité; il ne présente, en effet, pas de point mort pour l'ensemble, puisqu'il y a toujours l'un des trois pistons qui est en charge à une certaine distance de son propre point mort. Mais dans la plupart des cas, les machines de rotation ont deux cylindres oscillants, ce qui permet de leur donner une forme plus ramassée.

Exceptionnellement, on a recours à des appareils plus compliqués, afin de réaliser trois degrés de puissance, sans faire usage d'engrenages. Citons par exemple les machines à trois cylindres à piston demi-plongeur, où la pression de l'eau peut être admise, soit sur les grandes faces des pistons, soit sur les grandes faces et sur les surfaces annulaires, soit sur les surfaces annulaires seulement.

Les appareils, destinés à la manœuvre des portes d'écluse des anciens bassins d'Anvers et de la jonction des bassins, sont à deux cylindres oscillants à pistons différentiels, la surface inférieure du piston étant double de la surface annulaire opposée; celle-ci est constamment en communication avec l'eau de la conduite, qui pénètre dans les cylindres par les tourillons; la surface circulaire communique alternativement avec l'eau en pression et avec l'air libre, de manière que la machine travaille par différence de pression dans un sens, et par pression totale dans l'autre. Dans ces appareils, la distribution se fait par le tourillon même. Ils sont munis d'une soupape d'équilibre permettant d'établir la communication entre la surface postérieure du piston et la pression de la conduite, et d'éviter ainsi les chocs au passage par le point mort de la manivelle. Pour manœuvrer les portes, on embraye dans un sens ou dans l'autre, l'engrenage conique calé sur l'arbre de la machine avec celui qui commande la barre à crémaillère fixée au pôteau busqué de la porte.

A l'écluse du Kattendijk, les portes sont manœuvrées au moyen de chaînes fixées aux poteaux busqués en dessous de la flottaison; elles passent par un écubier à travers le bajoyer et s'enroulent sur un tambour installé dans un encuvement derrière le mur. Les chaînes de ces portes sont actionnées par des machines hydrauliques à cylindres convergents, installées sur les bajoyers.

Les machines des ponts sont également à deux cylindres oscillants à pistons différentiels; elles transmettent le mouvement de rotation par un simple arbre à pignon conique, qui engrène avec un secteur denté horizontal, fixé contre les longerons; la distribution se fait à l'aide de tiroirs à glissières, permettant la marche

en avant et en arrière. Le calage des ponts est obtenu au moyen de quatre sabots en forme de coins, qui reçoivent leur mouvement de va et vient de pistons hydrauliques spéciaux, attachés au tablier, et où l'eau sous pression arrive par des tuyaux articulés.

Le pont roulant, établi sur l'écluse du bassin de Kattendyk, au-dessus d'un passage de 27^m,50 de largeur, a une longueur de 48^m,36 et ne pèse pas moins de 375,000 kilogrammes. Pour rendre le passage libre, le pont est soulevé de 1^m,00 au moyen de deux cylindres à piston plongeur de 0^m,80 de diamètre, et il est tiré ensuite par des chaînes actionnées par des pistons plongeurs de 0^m,61 de diamètre⁽¹⁾.

Les cabestans établis aux bassins d'Anvers appartiennent à trois types différents.

Celui calculé pour un effort de 11 tonnes et placé au musoir nord de l'écluse maritime des anciens bassins, est mû par une machine hydraulique à triple force, ayant trois cylindres à piston différentiel ; la distribution se fait par des tiroirs plans. Ce cabestan comprend un système de pignons et d'engrenages pouvant à volonté être embrayés ou débrayés, ce qui permet, avec les pistons différentiels, de varier sa puissance et sa vitesse selon l'effort à produire.

Les cabestans de 5 tonnes sont établis aux divers ponts et servent à accélérer le passage des navires à travers les chenaux ; ils sont actionnés par des machines à simple force, comprenant trois cylindres oscillants à piston plongeur, avec distribution par le tourillon.

Ceux de 1 tonne sont à deux cylindres oscillants, à pistons différentiels, avec distribution d'eau par les tourillons. Ils sont remarquables par leur forme ramassée ; le mécanisme est attaché au-dessous de la plaque d'assise qui porte la cloche du cabestan (Pl. XLI, fig. 11) ; cette plaque peut basculer autour d'un axe horizontal, ce qui permet de visiter le mécanisme à tout instant. L'appareil entier est contenu dans une boîte en fonte, rendue solidaire avec une pierre de fondation ou un massif en maçonnerie.

Un autre type de cabestan à 1 tonne diffère du précédent par le moteur, qui a trois cylindres convergents à pistons plongeurs actionnant directement l'axe vertical de l'engin. L'eau motrice arrive sous chaque plongeur, pendant un tiers de tour, par un distributeur plan circulaire, actionné par une petite manivelle calée sur l'axe ; elle est conduite au distributeur par les tourillons, autour desquels bascule la plaque d'assise, et par des orifices venus de fonte avec cette pièce. Chaque cylindre oscille lui-même autour d'un tourillon de manière à donner le déplacement angulaire voulu, qui permet de se passer de bielle d'accouplement entre la tige du plongeur et l'axe vertical du cabestan.

(1) Voir l'ouvrage de M. A. ROYERS « *Anvers port de mer* », où l'on trouvera une description détaillée des engins hydrauliques employés au port d'Anvers.

Les grues roulantes, établies sur les quais Godefroy et de l'Entrepôt, sont composées essentiellement d'un cylindre vertical à piston plongeur, dont la course est de 2^m,67. La chaîne de levage est fixée au bâti par l'une de ses extrémités; elle passe sur trois poulies mobiles, qui se meuvent avec le piston, puis sur trois poulies fixes placées près du fond du cylindre, et va s'enrouler sur le réa de la flèche, pour se terminer par le crochet qui reçoit le fardeau et dont la course est de 16 mètres. Le piston est à parties concentriques et peut développer à volonté une puissance de 750 et de 1,500 kilogrammes.

Ces engins ont une portée de 9^m,50; ils sont orientés à l'aide de deux cylindres hydrauliques horizontaux actionnant une chaîne, dont les extrémités sont fixes et qui s'enroule autour du pivot. Celui-ci est creux, pour permettre l'arrivée de l'eau au cylindre élévatoire.

Les tuyaux de distribution sont placés sous le sol, entre les rails, sur lesquels se meuvent les chariots portant les grues, et présentent des prises d'eau distantes de 11^m,50. A ces prises d'eau est adapté un tuyau courbé en arc de cercle, qui se prolonge horizontalement par une conduite en cuivre placée dans une rigole, parallèlement à la voie ferrée (Pl. XLI, fig. 8).

Cette conduite, nommée *tuyau télescopique*, pénètre, à frottement doux et par un joint étanche, dans le tuyau fixé à la partie inférieure du chariot de la grue, et par lequel celle-ci reçoit l'eau sous pression nécessaire à son fonctionnement.

La grue de 2 tonnes du quai Napoléon est construite exactement sur le même modèle, et ne diffère des précédentes que par une légère augmentation de la dimension des cylindres élévatoires.

Les grues des bassins Lefevre, Asia et de la Campine sont encore du même système, sauf que le bâti est à portique comme pour celles des quais de l'Escaut, dont nous parlons plus loin. Treize nouvelles grues, d'une puissance de 2,000 kilogrammes, sont en construction.

La grue de 40 tonnes du quai est du Kattendyk était exclusivement manœuvrée auparavant à bras; elle est munie maintenant d'une machine hydraulique à trois cylindres à pistons plongeurs, placée au sommet du bâti de la grue et donnant le mouvement à un arbre, sur lequel est calé un pignon qui engrène avec la chaîne de levage (chaîne-Galle). Le mouvement d'orientation est obtenu par deux cylindres, couchés sur la flèche et dont les pistons agissent par poulies mouflées sur une chaîne entourant le pied de la grue, laquelle peut décrire une demi-circonférence. En changeant l'attache du tuyau de prise d'eau et le point fixe de la chaîne d'orientation, on peut faire fonctionner la grue dans un secteur ou dans un secteur opposé.

La prise d'arrivée d'eau étant excentrique au pivot de la grue, on a employé au début un tuyau flexible en caoutchouc, muni d'une série d'anneaux en fer assez rapprochés pour que l'enveloppe puisse résister entre deux anneaux consécutifs, tout

en permettant la flexion du tuyau; mais celui-ci, fort coûteux et d'un entretien difficile, a été remplacé par un autre en fer à articulations.

La seconde grue de 40 tonnes, installée au quai est du bassin du Kattendyk, est semblable aux grues roulantes que nous avons mentionnées, à part ses dimensions; le mouvement de levage se fait par piston plongeur vertical et chaînes mouflées; la double puissance est obtenue par pistons concentriques, et le mouvement d'orientation se fait par deux cylindres horizontaux, actionnant une chaîne enroulée autour du pivot de la grue.

Indiquons encore les principales dispositions de la bigue de 120 tonnes, établie au quai est du bassin du Kattendyk. (Pl. XLII, fig. 3 et 4).

Cet engin a été construit, en 1878, par la société John Cockerill de Seraing; il est formé de deux jambes en tôle avec cornières, pivotant dans deux supports en fonte, solidement fixés sur la tablette du mur de quai; ces pièces sont reliées supérieurement par un pivot en acier Bessemer, à une bielle construite également en tôle et cornières en fer. La bielle porte à sa partie inférieure une traverse, munie de deux écrous en bronze; ceux-ci correspondent à deux vis, qui reçoivent un mouvement de rotation et font glisser la traverse, et par conséquent la bielle à laquelle elle est attachée, le long de deux pièces inclinées en fer, faisant corps avec le bâti de la machine. Ce mouvement de glissement peut faire avancer le sommet de la bigue, lequel se trouve à 27 mètres au-dessus du niveau du quai, de 9 mètres au de là de l'alignement du mur, et le faire reculer de 4 mètres en arrière du même alignement. Le levage de la charge s'opère à l'aide de deux palans à quatre poulies, la chaîne s'enroulant sur un tambour à rainures.

La machine est à trois cylindres avec pistons différentiels, dont les tiges actionnent, au moyen de bielles, un arbre coudé; le mouvement de rotation peut au moyen d'un embrayage, se transmettre à une vis horizontale, engrenant avec une roue dentée, calée sur le tambour à rainure, et produire ainsi le levage; un second embrayage permet de faire tourner les deux vis inclinées et d'obtenir le mouvement d'avancement ou de recul du sommet de la bigue. L'appareil est à triple puissance pour des variations de 25, 75 et 120 tonnes. Au moyen d'appareils funiculaires ajoutés plus tard, il peut du reste être employé couramment pour la manutention de charges diverses, depuis le poids de 5 tonnes.

Pour faire l'essai de la bigue, on se sert d'un bloc en pierre mesurant 3^m,25 de diamètre sur 5^m,15 de hauteur, et pesant 120,000 kilogrammes. Ce bloc se trouve dans un puits sous le crochet de la bigue et sert à faire l'épreuve de celle-ci avant d'embarquer des pièces dont le poids se rapproche de la charge limite (1).

(1) Une bigue de 120 tonnes semblable à celle du port d'Anvers est installée à Marseille; mais les mouvements, tant d'oscillation que de montée et de descente de la charge, se font directement par deux grands cylindres hydrauliques. Le premier, qui est à simple effet, est suspendu au sommet de la bigue; le piston soulève les pièces à embarquer ou à débarquer. Le second est à double effet et agit sur le pied de

A la nouvelle écluse du bassin Lefebvre, en voie de construction, il sera établi des appareils hydrauliques destinés à manœuvrer les portes, ainsi que les ponts roulants qui seront placés sur les têtes de cette écluse.

Au quai Ouest du bassin précité, on construit en ce moment des magasins, qui comprendront des élévateurs et des transporteurs pour les opérations de manutention des grains.

Entrepôt. — A part les nombreux magasins et entrepôts particuliers situés à une distance plus ou moins grande des bassins, il existe à Anvers près de l'ancien Grand bassin, l'Entrepôt Royal, d'une superficie de 31,650 mètres carrés, dont 10,485 mètres carrés sont occupés par les bâtiments. Ceux-ci comprennent un rez-de-chaussée, quatre étages et un grenier, et en quelques endroits des caves. Dans les cours des bâtiments, on a élevé plusieurs hangars.

Cet entrepôt est pourvu d'une installation hydraulique semblable à celle de la gare d'Anvers-Bassins. La machine qui actionne les deux pompes de pression est horizontale et a 50 chevaux de force. Le plongeur de l'accumulateur a 0^m,428 de diamètre et une longueur de course de 4^m,65. L'eau sous pression est envoyée dans une canalisation de 76 millimètres de diamètre ; elle revient au réservoir après avoir été utilisée dans les appareils de manutention, et est employée à nouveau. Ceux-ci consistent en des grues-appliques et ascenseurs, et en deux treuils hydrauliques roulants ou « jiggers. »

Les grues-appliques, d'une puissance de 900 kilogrammes, sont installées à l'extérieur, à la hauteur du quatrième étage des bâtiments, et desservent les cours. Construites en forme de potence, elles sont à action directe, la course du piston élévatoire étant de 2^m,10, et produisant, par l'intermédiaire de la chaîne avec poulies mouffées, une course de 16^m,80 pour le crochet. Le mouvement d'orientation, d'un demi-tour d'amplitude, est produit par deux cylindres, dont les pistons font mouvoir une chaîne passant sur une poulie horizontale fixée sur l'axe vertical de la grue.

Les ascenseurs peuvent élever des charges de 1,400 kilogrammes à une hauteur de 22^m,50. Ils consistent en des plateaux suspendus à une chaîne, qui s'enroule sur des poulies fixes et mobiles formant mouffle et appartenant à un cylindre vertical, dont le piston a une course de 2^m,83. La commande de ces appareils peut se faire à toute hauteur par la tension d'une corde équilibrée, passant sur une poulie supérieure et agissant sur la prise d'eau.

Le jigger est un appareil très commode, quand il s'agit de desservir un grand nombre de fenêtres et de magasins ; pour l'utiliser en ces divers points, il n'y a qu'à fixer au mur, à proximité de chaque fenêtre de l'étage supérieur, une poulie et à raccorder le jigger à la canalisation générale par l'intermédiaire d'un tuyau télescopique

la bigue. Ce système donne un plus grand rendement du travail produit par l'eau motrice. L'engin fonctionne à 75 tonnes avec de l'eau à la pression de 52 atmosphères. Pour varier la puissance à 25 ou 120 tonnes, on augmente ou l'on diminue cette pression, au moyen d'un appareil spécial.

ou flexible. Ce treuil roulant se compose d'un cylindre hydraulique monté sur chariot (Pl. XLII). Le plongeur est muni de chaînes et poulies mouflées à 4 brins comme les grues, mais le brin libre de la chaîne, au lieu de lever directement la charge, est attelé à un tambour portant à l'une de ses extrémités une roue, sur laquelle s'enroule un câble en acier; ce câble passe sur la poulie attachée à l'endroit du bâtiment où il s'agit de monter les colis. La traction du brin de chaîne libre de l'appareil moteur imprime au tambour le mouvement de rotation, qui produit la course du crochet de levage.

Outillage hydraulique des quais de l'Escaut. — L'eau sous pression nécessaire au fonctionnement des engins hydrauliques des quais de l'Escaut est fournie par deux machines du système compound de 200 chevaux chacune, et par deux accumulateurs, installés dans un bâtiment spécial construit près des bassins de batelage du Sud. La conduite de l'eau motrice le long des quais de l'Escaut est faite en tuyaux de fonte comme pour les bassins; ces tuyaux sont logés dans un canal latéral au mur, où l'on peut effectuer aisément la visite et la réparation des joints. La longueur totale de la canalisation est de 8000 mètres environ.

Les grues des quais de l'Escaut sont au nombre de 60. Chacune d'elles est montée sur un chariot, circulant sur une voie de 4 mètres de largeur installée à bord du quai; ce chariot laisse en dessous un passage libre occupé par une voie ferrée. Ces grues sont à double puissance de 750 et de 1,500 kilogrammes; la hauteur de la poulie de la flèche au-dessus du quai est de 14 mètres, la portée depuis le centre du pivot de 11^m,30, et en dehors du mur du quai, de 9^m,15; l'amplitude de l'orientation est de 360° (Pl. XLI, fig. 9). Avec le système de grues laissant passage sous le bâti qui les porte, on obtient une meilleure utilisation des voies ferrées du quai, et la volée acquiert plus de portée, sans devoir trop en allonger la flèche.

Il existe encore le long des quais de l'Escaut 37 cabestans hydrauliques, servant à déplacer les grues et à manœuvrer les wagons; ils sont calculés pour un effort de 1 tonne et sont mus par une machine à trois cylindres convergents.

Outillage hydraulique des gares maritimes. — L'outillage hydraulique de la gare principale d'Anvers-Bassins est encore construit par la firme Armstrong de Newcastle. Il comprend un accumulateur, dans lequel l'eau est refoulée par deux pompes à piston plongeur, capables de la comprimer à 50 atmosphères et de fournir, à cette pression, 708 litres par minute. Ces pompes sont actionnées par deux machines horizontales à haute pression et à détente, d'une force totale de 75 chevaux effectifs, pouvant travailler ensemble ou séparément. Les chaudières, au nombre de deux, sont de forme cylindrique, tubulaires, à foyer extérieur avec retour de flamme. L'eau nécessaire à l'alimentation des chaudières et des pompes foulantes est élevée par une pompe à double action dans un réservoir en tôle d'une capacité de 25,490 litres, placé dans le bâtiment des machines.

La canalisation générale comprend, outre les conduites de distribution de l'eau sous pression, une série de tuyaux ramenant l'eau utilisée vers le puits de la pompe élévatoire; elle dessert 21 grues, calculées pour élever une charge de 1,000 kilogrammes à une hauteur de 4 mètres, la volée étant de 4^m,65 et l'amplitude de la rotation de $\frac{3}{4}$ de tour; 17 grues semblables, calculées pour une charge de 1,500 kilogrammes, 3 de 2,000, 4 de 5,000, et 1 de 10,000 kilogrammes.

Pour les grues de 1,000, de 1,500 et de 2,000 kilogrammes (Pl. XLII, fig. 1) le levage s'opère à l'aide d'un cylindre dans lequel se meut un piston plongeur, armé de poulies formant mouffles; la chaîne est fixe à l'une de ses extrémités, et elle passe sur une série de poulies placées sur la volée. En ouvrant la soupape d'admission de l'eau sous pression, la chaîne monte, et comme le cylindre est incliné, le piston, aidé d'un faible contre-poids, descend dès qu'on ouvre la soupape d'échappement.

Dans les grues de 5,000 et de 10,000 kilogrammes, le cylindre est horizontal, et il existe en prolongement du plongeur un petit piston à pression constante, qui produit le retour de ce dernier, dès qu'on ouvre la soupape d'échappement.

Le mouvement d'orientation de tous ces appareils s'obtient au moyen de machines à deux cylindres, dont les pistons plongeurs portent à leur extrémité une poulie verticale à moufle; la chaîne de cette poulie est fixée à chacune des extrémités, et embrasse une poulie horizontale calée sur le pivot de la grue.

Outre les engins que nous venons de mentionner, on compte à la gare d'Anvers-Bassins, 25 cabestans à un seul arbre, calculés pour exercer, suivant le câble, un effort de traction de 408 kilogr., à la vitesse de 61 mètres par minute. Ces appareils sont actionnés par des machines hydrauliques à deux cylindres oscillants. (Pl. XLI, fig. 10).

Le hangar aux marchandises de la gare de Stuyvenberg a été relié à l'installation hydraulique de la gare principale d'Anvers-Bassins, et on a établi à chacun des passets de ce hangar une grue d'une puissance de 1500 kilogrammes, ainsi que cinq cabestans destinés à la manœuvre des wagons et qui sont complétés par trois galets de renvoi.

Projets d'extension de la rade, des quais et des bassins. — Les vastes quais et bassins, créés à Anvers par les efforts communs du Gouvernement et de la Ville, constituent sans doute un ensemble des mieux aménagé. Les quais d'accostage directs de l'Escaut, situés le long de la rive concave du fleuve et où la circulation du flot et du jusant maintient de grandes profondeurs, sont particulièrement appréciés du commerce; ils répondent dans d'excellentes conditions aux exigences de la navigation des lignes régulières, pour lesquelles la célérité et la précision, tant à l'arrivée qu'au départ, sont indispensables. Les bassins à flot sont affectés au chargement et au déchargement des cargaisons ordinaires; parmi ces bassins, il en est qui sont spécialement destinés aux pétroles, d'autres aux bois.

La plus profonde des écluses existantes offre sur le radier 3^m,38 d'eau aux marées basses ordinaires, soit 7^m,60 environ à marée haute. Ces dimensions étant devenues insuffisantes, la ville d'Anvers construit en ce moment, nous l'avons déjà dit, une nouvelle écluse, donnant directement accès aux bassins Lefebvre et America et dont le radier se trouvera à la côte — 5^m,50, tandis que le Gouvernement prolongera les quais de l'Escaut jusqu'à l'entrée de cette écluse. L'emplacement de celle-ci, à une faible distance de l'écluse du Kattendyk, en un endroit du fleuve où la courbure du thalweg est prononcée et la largeur relativement faible, n'est pas des meilleurs. Mais la Ville, en l'adoptant, a voulu éviter tout retard dans la construction de cet ouvrage; le choix d'un emplacement situé plus en aval, aurait exigé au préalable des modifications aux fronts extérieurs de la Citadelle du Nord.

Le projet d'ensemble de la Ville, dressé par M. l'ingénieur en chef Royers et dont l'écluse en construction fait partie, comprend d'ailleurs la création, à mesure des besoins, d'une série de nouveaux bassins en communication avec les bassins Lefebvre et America, ainsi que l'établissement d'une écluse d'accès à ce groupe de bassins; celle-ci serait placée à 1,250 mètres environ en aval de la première. D'autre part, les quais de l'Escaut seraient prolongés le long de la rive actuelle d'Austruweel.

Depuis quelques années déjà, l'extension future des installations du port d'Anvers et l'amélioration des passes d'accès de la rade font l'objet de bien des préoccupations, qui ont fait naître divers avant-projets, en dehors de celui élaboré par la Ville.

Le projet de M. Verstraeten consiste à creuser, à partir des bassins Lefebvre et America, un bassin-canal, débouchant par des écluses à sas de grandes dimensions sur la rive concave de l'Escaut, à 500 mètres environ en aval du feu du Kruisschans; le creusement de ce bassin-canal affranchirait les grands navires du parcours des coudes de St-Marie et d'Austruweel, où les sèches sont assez accentuées.

D'autres projets, notamment celui mis en avant, il y a un certain nombre d'années, par M. Stessels, et actuellement repris et défendu par M. le représentant Van den Broeck, ont pour but de modifier le lit du fleuve dans l'étendue comprise entre les coudes d'Austruweel et du Kruisschans, de façon à y obtenir des mouilles mieux disposées et permettant de développer sur de grandes étendues les quais de l'Escaut.

Ce vaste projet a sans doute beaucoup de valeur, mais son exécution, à part le coût excessif des travaux, offrirait de sérieux inconvénients. Il faudrait démolir le bassin Africa, à peine achevé et dont la suppression créerait momentanément de grands embarras au commerce, puisque les installations du port ne sont déjà plus suffisantes; de plus, le tracé proposé enlèverait toute valeur aux importants ouvrages militaires construits le long du lit actuel du fleuve.

Dans un ordre d'idées plus modeste, M. l'ingénieur en chef Troost, chargé du service spécial de l'Escaut et de ses affluents, s'est occupé de l'étude d'un projet

d'ensemble, comprenant l'extension de la rade et des quais qui la bordent devant Anvers, ainsi que l'amélioration du régime du fleuve en aval de cette ville.

Il consiste, en principe, à supprimer le coude aplati et les deux points d'inflexion existant devant Austruweel et à y substituer un tracé nouveau, d'après lequel le coude de St-Marie se prolongerait sur la rive gauche du fleuve et se raccorderait directement avec celui qui forme la rade devant Anvers. Ce tracé répond en cette partie du fleuve, autant que la situation topographique le permet pratiquement, à la loi désignée sous le nom de « loi sinusoïdale. » L'application de cette loi, on se le rappelle, a pour but de provoquer, par l'action naturelle des courants de marée, le maintien de mouilles profondes dans la partie concave des coudes, et d'éviter le plus possible, par une disposition convenable de ceux-ci et par une largeur bien proportionnée du lit aux points d'inflexion, là où le thalweg se jette d'une rive vers la rive opposée, la formation de seuils prononcés (Pl. XLI, fig. 2).

Par l'exécution de ce projet, on créerait une seconde rade entre le coude de St-Marie et l'ancien fort de la Pipe de Tabac; les quais de l'Escaut pourraient être prolongés des deux côtés de la ville, et complétés au besoin plus tard par d'autres quais à établir sur la rive gauche du fleuve, dans la nouvelle rade. Ce tracé s'adapte d'ailleurs parfaitement à la situation existante et permet d'établir, dans l'avenir, de nouveaux groupes de bassins, en communication directe avec le fleuve au moyen d'écluses à sas.

M. l'ingénieur en chef Troost a bien voulu nous donner quelques indications sur le mode d'exécution de son projet, tel qu'il l'a conçu et qui se distingue par son esprit pratique et perspicace.

Les travaux de redressement sont divisés en deux sections; la première s'étend de l'écluse du Kattendyk à la « Pipe de Tabac » et comprend la modification du coude d'Austruweel; le rayon extérieur minimum de la passe y sera porté de 600 à 1,025 mètres, en déplaçant de 140 mètres la rive droite, et de 175 mètres la limite de la mouille profonde attenante à celle-ci.

On construira en même temps sur la rive gauche un tronçon de bord artificiel relié, à son extrémité aval, à la rive existante et dirigée vers l'amont; il servira à conduire le courant vers la nouvelle passe d'Austruweel. Au droit de ce tronçon de rive, qui sera défendu à son extrémité par des plates-formes en fascines lestées, afin d'y éviter les affouillements, le corps de la nouvelle rive sera constitué en partie par remblais au moyen des excédents de déblais de la rive opposée, et en partie par le colmatage qu'y provoqueront les apports solides du fleuve.

La seconde section du projet se rapporte à la modification à apporter au lit de l'Escaut entre la « Pipe de Tabac » et le fort « La Perle; » elle est indépendante de la première et pourra n'être exécutée que plus tard.

Les travaux y seront exécutés dans les conditions analogues à celles indiquées

pour la première section, c'est à dire que la rive gauche de l'Escaut sera reculée progressivement, pendant que la rive opposée sera avancée graduellement au moyen des terres enlevées de la première. Dans ces conditions, le déplacement du lit s'opèrera peu à peu sans entraves pour la navigation, et de manière à ne point provoquer des perturbations momentanées par la présence simultanée, en cette partie du fleuve, de deux lits, ce qui serait inévitable, à un moment donné, si on procédait par voie de coupure ordinaire. De plus, les remblais se feront ainsi très économiquement, en même temps qu'on profitera dans les meilleures conditions des effets de colmatage pour la formation et la mise en valeur de la nouvelle rive.

MOUVEMENT DU PORT D'ANVERS.

Tableau comparatif sommaire des arrivages de navires de mer au port d'Anvers depuis 1874.

ANNÉES.	NAVIRES A VOILES.		BATEAUX A VAPEUR.		TOTAUX.		Tonnage par navire.
	Nombre	Tonnage	Nombre	Tonnage	Nombre	Tonnage	
1874	1929	614,433	2618	1,519,729	4547	2,134,162	469
1875	1634	532,682	2717	1,652,734	4351	2,185,416	502
1876	1534	546,978	3016	1,980,719	4550	2,527,697	556
1877	1532	558,261	2925	1,941,221	4457	2,499,482	561
1878	1533	610,582	3045	2,169,374	4583	2,779,956	607
1879	1356	620,290	2892	2,287,721	4248	2,908,011	685
1880	1468	612,991	3158	2,504,763	4626	3,117,754	674
1881	1147	515,287	2963	2,423,194	4110	2,938,481	715
1882	1149	507,772	3292	2,945,522	4441	3,453,294	778
1883	989	417,860	3700	3,440,074	4689	3,857,934	823
1884	935	477,481	3874	3,034,559	4809	3,512,040	730
1885	975	425,441	3885	3,067,493	4860	3,492,934	719
1886	861	423,284	3865	3,097,945	4726	3,521,229	745
1887	814	400,978	4208	3,400,974	5022	3,801,952	755
1888	776	359,989	4047	3,614,331	4823	3,974,320	824
1889	748	296,712	3608	3,753,837	4356	4,050,549	930
1890	653	260,365	3879	4,957,333	4532	4,517,698	999
1891	688	292,541	3773	4,400,697	4461	4,693,238	1052
1892	565	247,074	3756	4,253,017	4321	4,500,091	1042
1893	546	238,282	3872	4,453,929	4418	4,692,211	1062

Nombre et tonnage des navires de mer arrivés au port d'Anvers pendant l'année 1893.

MOIS.	NAVIRES A VOILES.		BATEAUX A VAPEUR.		TOTAUX.	
	Nombre	Tonneaux	Nombre	Tonneaux	Nombre	Tonneaux
Janvier	25	10,847	297	346,158	322	357,005
Février	26	14,343	255	291,946	281	306,289
Mars	29	15,944	320	356,116	349	372,060
Avril	49	22,629	295	338,796	344	361,425
Mai	50	20,321	351	400,955	401	421,276
Juin	62	28,408	366	425,645	428	454,053
Juillet	70	29,930	372	435,598	442	465,528
Août	75	36,060	333	373,426	408	409,486
Septembre	54	18,038	310	357,986	364	376,024
Octobre	53	18,417	313	372,717	366	391,134
Novembre	26	11,249	313	350,552	339	361,801
Décembre	27	12,096	347	404,034	374	416,130
Totaux	546	238,282	3872	4,453,929	4418	4,692,211

Tonnage moyen { des navires à voiles : 436.
des bateaux à vapeur : 1150.
du total : 1062.

CLASSIFICATION DES NAVIRES DE MER ARRIVÉS A ANVERS PENDANT L'ANNÉE 1893.

490

TONNAGE.	NAVIRES A VOILES.	BATEAUX A VAPEUR.	TOTAUX.	TONNAGE.	NAVIRES A VOILES.	BATEAUX A VAPEUR.	TOTAUX.
De 50 tonneaux et au-dessus. . .	9	"	9	Report. .	540	3389	3929
51 à 100 tonneaux . .	90	"	90	De 2101 " 2200 tonneaux . .	1	123	124
101 " 150 " . .	106	1	107	2201 " 2300 " . .	1	90	97
151 " 200 " . .	76	18	94	2301 " 2400 " . .	"	35	35
201 " 250 " . .	19	30	49	2401 " 2500 " . .	2	31	33
251 " 300 " . .	28	37	65	2501 " 2600 " . .	1	32	33
301 " 400 " . .	45	203	248	2601 " 2700 " . .	1	30	31
401 " 500 " . .	29	357	386	2701 " 2800 " . .	"	19	19
501 " 600 " . .	17	325	342	2801 " 2900 " . .	"	12	12
601 " 700 " . .	11	351	362	2901 " 3000 " . .	"	4	4
701 " 800 " . .	11	528	539	3001 " 3100 " . .	"	8	8
801 " 900 " . .	14	266	280	3101 " 3200 " . .	"	6	6
901 " 1000 " . .	12	128	140	3201 " 3300 " . .	"	6	6
1001 " 1100 " . .	9	139	148	3301 " 3400 " . .	"	5	5
1101 " 1200 " . .	15	96	111	3401 " 3500 " . .	"	4	4
1201 " 1300 " . .	7	110	117	3501 " 3600 " . .	"	7	7
1301 " 1400 " . .	11	127	138	3601 " 3700 " . .	"	"	"
1401 " 1500 " . .	6	52	58	3701 " 3800 " . .	"	19	19
1501 " 1600 " . .	8	85	93	3801 " 3900 " . .	"	4	4
1601 " 1700 " . .	6	106	112	3901 " 4000 " . .	"	19	19
1701 " 1800 " . .	7	119	126	4001 " 4100 " . .	"	10	10
1801 " 1900 " . .	"	112	112	4301 " 4400 " . .	"	8	8
1901 " 2000 " . .	2	108	110	5001 " 5100 " . .	"	9	9
2001 " 2100 " . .	2	92	94	5501 " 5600 " . .	"	1	1
A REPORTER. . .	540	3389	3929	TOTAUX. .	546	3872	4418

ANNEXE III.

PORT D'ANVERS. — ANNÉE 1893.

Tableau des arrivages par catégorie de tirant d'eau.

Tirant d'eau en décimètres.	Nombre de		Tirant d'eau en décimètres.	Nombre de		Tirant d'eau en décimètres.	Nombre de		
	steamers	voiliers		steamers	voiliers		steamers	voiliers	
			REPORT.	817	323		REPORT.	3621	529
15 et moins	"	8	41	134	8	67	46	6	
16	"	3	42	116	6	68	31	1	
17	"	3	43	187	9	69	36	3	
18	"	5	44	230	6	70	23	3	
19	"	2	45	174	4	71	30	1	
20	"	7	46	198	5	72	22	"	
21	1	12	47	144	11	73	11	"	
22	"	17	48	130	5	74	15	"	
23	1	16	49	147	3	75	8	"	
24	3	12	50	130	8	76	11	1	
25	2	5	51	74	4	77	5	"	
26	4	4	52	97	7	78	7	"	
27	4	4	53	78	11	79	4	"	
28	19	2	54	72	6	80	1	"	
29	34	"	55	80	8	TOTAUX.	3871	544	
30	47	8	56	76	5				
31	49	6	57	72	4				
32	31	10	58	69	11				
33	24	8	59	65	20				
34	81	22	60	57	6				
35	54	22	61	74	14				
36	45	17	62	84	11				
37	105	35	63	87	10				
38	112	53	64	85	9				
39	63	23	65	74	9				
40	138	19	66	70	6				
A REPORTER.	817	323	A REPORTER.	3621	529				

TABLEAU DE LA FLOTTE DE LA « RED STAR LINE ».

NOMS DES BATIMENTS.	Longueur totale.	Longueur entre perpendiculaires.	Largeur.	Creux.	Tonnage brut.	Tonnage net.	Tirant d'eau en charge.	Système de machine.	Puissance indiquée.	Diamètre du cylindre à haute pression.	Diamètre du cylindre à basse pression.	Course commune.	Pression.	Diamètre de l'hélice.	Pas.	Nombre de tours.	Vitesse aux essais.	Nombre de passagers de première classe.	Nombre de passagers de seconde classe.	Nombre d'émigrants.	Puissance nominale.		
	Pieds.	Pieds.	Pieds.	Pieds.			<div>Pieds. Avant Arrière</div>		Ch.	Pouces.	Pouces.	Pouces.	Livres.	Pieds.	Pieds.	Nœuds.							
Friesland . .	467'	437".0"	51'.2"	35'.0"	7116	4560	26'.6"	26'.8"	Triple Expansion.	5100	35" ¹ / ₂	56"	89"	54"	160	20'	21'.6"	82	15'.04	181	142	1146	800
Westernland	452'	440'.0"	47'.2"	35'.3"	5736	3691	26'.8"	26'.8"	Compound.	4200	52"	93"	66"	90	20'	25'	69	14.13	112	92	1431	700	
Noordland . .	412'	400'.0"	47'.0"	35'.4"	5212	3346	26'.4"	26'.4"	d°	3700	48"	85"	60"	80	18'	25'	67	13.55	116	84	1299	500	
Waesland . .	460'	435'.1"	41'.9"	29'.9"	4752	3054	25'.2"	26'.8"	Triple Expansion.	3500	32"	48"	86"	54"	160	18'.6"	24'	67	14.19	60	48	1189	500
Rhijnland . .	412'	402'.8"	40'.2"	30'.6"	3689	2366	24'.3"	24'.6"	Compound.	2800	52"	90"	54"	80	18'	24'	60	13.25	69	106	986	600	
Belgenland .	412'	402'.9"	40'.2"	30'.6"	3692	2364	24'.7"	24'10"	d°	2800	52"	90"	54"	80	18'	23'	60	13.25	69	106	986	600	
Pennland . .	371'	361'.2"	41'.1"	26'.0"	3760	2511	25'.7"	26'.7"	d°	2400	48"	84"	54"	80	18'	24'	57	12.8	78	132	933	500	
Switzerland	337'	329'.4"	38'.6"	30'.5"	2816	2104	22'.9"	24'.3"	d°	1500	40"	80"	42"	80	16.3"	20'	64	11.8	0	48	624	290	
Nederland . .	337'	329'.2"	38'.6"	30'.5"	2839	1819	22'.6"	24'.6"	d°	1500	40"	80"	42"	75	18'	19'	64	11.7	0	0	624	290	

ANNEXE IV.

CONCOURS INTERNATIONAL

POUR LE

MEILLEUR OUVRAGE SUR LES MOYENS D'AMÉLIORER LES PORTS ÉTABLIS SUR LES COTES
BASSES ET SABLONNEUSES COMME CELLES DE LA BELGIQUE.

Prix de 25,000 francs

institué par S. M. le Roi des Belges.

RAPPORT DU JURY.

(Extrait du *Moniteur belge* du 21 avril 1887, n° 111.)

L'arrêté royal du 14 décembre 1874, instituant un prix annuel de 25,000 francs porte à l'article 6 que, pour le concours auquel les étrangers seront admis à participer, le jury se composera de trois membres belges et de quatre membres étrangers de nationalités différentes.

Conformément à cette disposition, un arrêté royal du 9 juillet 1881 a nommé membres du jury chargé d'examiner les ouvrages présentés au concours international de 1881 :

MM. d'Elhoulgne, ministre d'Etat, membre de la Chambre des représentants,
président;

Michel, inspecteur général de la marine;

Symon, ingénieur en chef, directeur des ponts et chaussées;

Abernethy, président de la Société des ingénieurs civils de Londres;

Dirks, ingénieur en chef du Waterstaat à Amsterdam;

Lyster, ingénieur en chef des docks à Liverpool;

Plocq, ingénieur en chef des ponts et chaussées à Boulogne-sur-Mer.

Par arrêté royal du 10 juillet 1885, M. Rolin-Jaequemyns, membre de la Chambre des représentants, ancien ministre de l'intérieur, et M. Piens, ingénieur en chef directeur des ponts et chaussées, à Bruges, ont été nommés membres du jury en remplacement de M. d'Elhoungne, dont la démission avait été acceptée, et de M. Symon, décédé. Le même arrêté désignait M. Rolin-Jaequemyns comme président du jury.

Par arrêté royal du 19 octobre 1885, M. Guillain, ingénieur en chef des ponts et chaussées de France, a été nommé membre du jury, en remplacement de M. Plocq, décédé.

La période du concours, qui devait être close le 31 décembre 1880, avait été prorogée jusqu'au 31 mars 1881, par arrêté royal du 22 novembre 1880.

Dans la séance du 15 février 1886, le jury a nommé M. Guillain rapporteur.

RAPPORT

ADRESSÉ A

M. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DE L'INDUSTRIE ET DES TRAVAUX PUBLICS.

Bruxelles, le 14 février 1887.

MONSIEUR LE MINISTRE,

Le jury, chargé de juger le concours ouvert par le Roi « sur les moyens d'améliorer les ports établis sur les côtes basses et sablonneuses, comme celles de la Belgique, » a l'honneur de vous faire connaître le résultat de l'étude qu'il a faite, des mémoires présentés à son examen.

Les concurrents, au nombre de 53, ont produit 59 mémoires dont 28 en anglais, 14 en français, 8 en allemand, 4 en italien, 3 en néerlandais, 1 en danois et 1 en suédois.

Parmi les 53 concurrents, 8 appartiennent à la Belgique, 16 aux Etats-Unis d'Amérique, 11 à l'Angleterre, 5 à l'Allemagne, 3 aux Pays-Bas, 2 à l'Italie, 1 à la France, 1 au Danemark, 1 à la Suède, 1 au Portugal, 4 enfin n'ont pas indiqué leur nationalité, mais semblent appartenir, 2 à l'Angleterre, 1 à la France et 1 à l'Allemagne.

Nous annexons au présent rapport la liste des ouvrages présentés au concours.

Le jury a dû écarter *à priori* le mémoire n° 35 comme n'ayant pas été présenté dans le délai assigné aux concurrents. Le mémoire n° 15 a été repris spontanément par son auteur.

Il restait ainsi 57 mémoires.

L'examen approfondi, qui en a été fait par le jury, a conduit à les classer en trois catégories.

La première comprend 39 mémoires qui, en raison de leur insuffisance absolue ou parce qu'ils s'écartent de la question posée au concours, ne sont même pas susceptibles d'être pris en considération. Ce sont ceux qui portent les n° 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 25, 27, 29, 30, 31, 34, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 58 et 59.

La deuxième catégorie comprend les mémoires au nombre de 13 qui, bien que ne présentant pas des mérites suffisants pour être discutés au point de vue de l'attribution du prix, se recommandent cependant, à des degrés divers, par les études auxquelles se sont livrés leurs auteurs, au nombre de 8. Ce sont les mémoires n° 12 (M. de Koning), 17 (M. Keller), 18, 19 et 20 (tous trois de M. Cialdi), 21, 22, 23 et 24 (tous quatre de M. Cornaglia), 28 (M. Redman), 33 (M. Scott Russell), 40 (M. Douglas) et 55 (M. Baldaque).

La troisième catégorie comprend 5 mémoires que le jury a classés comme supérieurs à tous ceux précédemment cités, et parmi lesquels, à l'unanimité moins une voix, il a désigné le lauréat du concours, M. De Mey. Ces 5 mémoires sont ceux de MM. Verstraete (n° 4), De Mey (n° 5), de Maere Limnander (n° 6) Griffith (n° 25) et Vernon Harcourt (n° 32).

Faisant abstraction des 39 mémoires écartés, nous allons rendre compte ci-après de nos appréciations sur chacun des 18 mémoires des deux autres catégories.

Les côtes basses et sablonneuses offrent, à raison de la nature du sol et de son peu de relief, de très grandes facilités pour l'établissement des ouvrages intérieurs des ports, ainsi que des canaux et des chemins de fer qui les relient au réseau des voies de communication du pays. Mais, en revanche, les ports établis sur ces côtes présentent presque toujours de sérieuses difficultés pour la création et l'entretien des profondeurs du chenal d'entrée.

C'était donc sur l'étude des moyens d'améliorer l'entrée de ces ports et l'accès aux bassins et ouvrages d'exploitation, que devait se porter et que s'est, en effet, porté tout l'effort des concurrents.

Le régime des profondeurs dans le chenal d'accès d'un port est la résultante d'un ensemble de conditions et de forces, tant naturelles qu'artificielles, qui sont extrêmement multiples et complexes.

Les plus importantes parmi les conditions et forces naturelles sont les suivantes :

La configuration de la côte; la nature des terrains constituant le rivage, falaises

rocheuses ou argileuses, dunes de sable ou polders endigués; et les modifications que subit cette configuration sous l'action des agents naturels;

L'orographie des fonds sous-marins; les modifications lentes ou brusques qu'éprouvent leurs formes par suite de l'action des courants et des lames; la nature du sol de ces fonds, roches, galets, argile, vase, sable plus ou moins fin, plus ou moins vaseux;

Les rivières débouchant dans le port et y amenant des eaux douces, plus ou moins abondantes, plus ou moins pures;

L'étendue et la configuration des surfaces soumises au flux et au reflux de la marée en amont de l'entrée du port, soit dans les rivières qui y débouchent, soit dans des lagunes, lacs, réservoirs, bassins, avant-port, etc.;

Le régime de la marée;

Le régime des courants marins aux abords du port; la nature et l'importance des matériaux solides qu'ils charrient;

Le régime des vents; leur action directe sur les dunes et les plages, et leur action indirecte sur les plages et les fonds sous-marins par l'intermédiaire des lames.

De ces conditions et forces naturelles, les unes favorisent, les autres, tendent à diminuer l'accumulation de matériaux solides dans les chenaux d'accès des ports. Les ouvrages fixes ou les travaux exécutés ont pour objet de faire disparaître ou au moins d'atténuer l'effet des premières, ou de favoriser l'effet des secondes; mais il est clair que ces ouvrages et travaux, pour être efficaces, doivent correspondre exactement aux conditions et actions naturelles qui sont spéciales au port considéré. Les procédés qui conviennent à un cas, seraient inefficaces ou insuffisants pour un autre. Les effets produits par certains ouvrages dans un cas donné, lui sont spéciaux et pourraient être très différents dans un autre cas.

Une analyse profonde du régime naturel spécial à toute la région qui entoure sur une grande étendue le port à améliorer, doit donc précéder toute conception technique d'un travail d'amélioration de l'entrée de ce port et constitue la seule base solide d'une telle conception.

Les éléments de cette analyse une fois réunis, coordonnés, fondus dans une vue synthétique des conditions du problème à résoudre, il reste à apprécier quelle action pourrait exercer, sur les effets produits par les agents naturels, tel ou tel ouvrage fixe, tel ou tel travail continu ou discontinu. Dans la plupart des cas, l'ingénieur ne peut être guidé dans cette appréciation que par l'expérience, par l'examen des effets obtenus de l'exécution d'un ouvrage similaire dans des circonstances semblables à celles du cas qu'il étudie.

Là encore une analyse pénétrante est avant tout nécessaire, d'une part, pour déterminer sûrement les conditions naturelles de chacun des ports pris pour terme de comparaison, leurs ressemblances et leurs dissemblances avec les conditions du port à améliorer; d'autre part, pour discerner l'influence particulière qu'a pu exercer sur

l'amélioration de l'entrée de chacun des premiers ports, eu égard à ses diverses conditions naturelles, chacun des ouvrages qu'on y a établis ou des travaux continus qu'on y exécute ; et, pour déduire enfin de l'ensemble des considérations ainsi formulées pour un nombre aussi grand que possible de ports plus ou moins similaires les ouvrages et travaux les plus propres à produire, moyennant le minimum possible de frais de construction et d'entretien, l'amélioration d'un port déterminé, dans les limites correspondant au rôle qui est assigné à ce port dans la vie commerciale du pays.

La solution de la question, soumise au concours par l'initiative éclairée du Roi, comporte donc des études très complexes :

Etude générale des causes d'ensablement et d'envasement des ports établis sur les côtes basses et sablonneuses, des moyens qu'on peut employer pour en détruire ou en atténuer les effets, et des relations qui existent entre les causes d'obstruction, les procédés de désobstruction et les résultats obtenus dans telles ou telles conditions naturelles déterminées ;

Etude particulière des conditions naturelles, spéciales aux côtes de la Belgique et à chacun des ports de ces côtes ;

Application à ces cas particuliers des principes déduits de l'étude générale.

C'est en se proposant un tel programme que le jury a apprécié les mémoires présentés à son examen.

Les 39 mémoires qu'il a écartés *à priori* et dont l'énumération a été donnée plus haut ne répondaient pas aux questions qu'il aurait ainsi fallu traiter.

Des huit auteurs placés dans la deuxième catégorie, les uns ont tenté, avec peu de succès d'ailleurs, une étude d'ensemble suivant un programme plus ou moins semblable à celui que nous venons d'esquisser ; d'autres n'ont traité qu'une partie très restreinte de ce programme. Le jury a décidé de faire la mention suivante de leurs mémoires ; l'ordre suivi dans ce compte-rendu est celui des numéros d'inscription des mémoires ; il est en effet impossible de classer par ordre de mérite des œuvres aussi dissemblables.

Mémoire n° 12. — J. de Koning, ingénieur hollandais, manuscrit de 227 pages sans atlas ni dessins.

La première partie de ce mémoire traite, en général, des causes de l'état défectueux des ports établis sur des côtes sablonneuses, et la deuxième partie, des moyens propres à combattre ces causes. A part quelques propositions erronées, l'auteur a convenablement exposé dans son mémoire un grand nombre de faits et a produit des appréciations généralement justes, mais qui paraissent plutôt avoir été puisées par lui dans les ouvrages classiques sur la matière que provenir de ses observations et réflexions personnelles ; en définitive, il n'aboutit qu'à des conclusions pratiques beaucoup trop

vagues. M. de Koning ne fournit d'ailleurs aucune indication précise sur le régime des côtes belges et ne suggère aucune disposition spéciale pour l'amélioration des ports de cette côte.

Mémoire n° 17. — H. Keller. — Studien über die Gestaltung der Sandküsten und die Anlage von Seehäfen im Sandgebiet. — Brochure grand in 4°, 40 pages. Texte allemand.

L'auteur présente dans un premier chapitre des considérations générales, malheureusement trop vagues, sur l'érosion des côtes, l'origine et la marche des alluvions, la formation des bancs ; il n'apporte aucun renseignement nouveau sur le régime des côtes sablonneuses, ni en particulier sur celui de la côte belge.

Les études auxquelles se livre ensuite l'auteur, sur les moyens en usage, mis à l'essai ou proposés, pour augmenter et maintenir la profondeur des ports, indiquent de consciencieuses recherches ; mais il y manque, dans une certaine mesure, l'esprit critique que peut seule donner l'observation personnelle des faits.

Pour M. Keller, l'amélioration de l'entrée des ports à sable doit être cherchée dans une direction convenable des jetées extérieures et dans l'organisation d'un système particulier de puissantes chasses, disposées de manière à faire agir le courant des chasses le plus près possible de l'entrée et, en outre, à utiliser le bassin des chasses comme crique d'épanouissement pendant la durée du flot pour procurer du calme aux navires dans le port. A cet effet, supposant une côte orientée comme celle de la Belgique, il projette, dans une direction sensiblement normale à la côte, deux jetées légèrement courbes, de même longueur, circonscrivant le port suivant une forme ovoïde. La jetée Est est pleine ; l'autre est à claire voie dans le haut, mais les piles qui la constituent sont reliées dans le pied par un radier général, susceptible de rester étanche et de fonctionner comme un radier d'écluse sous une pression d'eau de plusieurs mètres. Attenant à cette dernière jetée, serait ménagé un grand bassin, qui servirait à la fois de bassin de chasse et de crique d'épanouissement ; limité à l'Est par la jetée à claire voie, il le serait à l'Ouest par une digue pleine fortement arquée, également enracinée au rivage, et venant se terminer non loin du musoir de la jetée à claire voie.

Les eaux du port constitueraient pendant le jusant un léger courant de chasse, qu'on pourrait éventuellement fortifier au moyen de petits bassins de retenue à construire latéralement au port, pour le cas où on ne préférerait pas nettoyer ce dernier par le dragage.

La digue de l'Ouest serait tracée de façon à se terminer parallèlement à la direction des courants de marée. M. Keller espère obtenir ainsi que le sable qui doit inévitablement se déposer devant le port, quelle qu'en soit la forme, ne se déposerait que dans les environs immédiats de l'entrée là précisément où agiraient des courants de chasse.

L'écluse de chasse serait placée entre l'extrémité de la digue pleine d'Ouest et le musoir de la jetée à claire voie. Les vides de cette jetée seraient fermés au moyen de vannes ou clapets mus par la force hydraulique. Ces clapets resteraient ouverts pendant la période de navigation, comme l'appelle l'auteur, soit pendant le flot et jusqu'à une heure après pleine mer, et pendant ce temps le bassin fonctionnerait comme crique d'épanouissement; puis les clapets seraient fermés en même temps que les pertuis de l'écluse de chasse, de façon à recueillir dans le bassin de chasse un grand volume d'eau à un niveau peu différent de la haute mer.

Dès que la marée serait au plus bas devant le port, on ouvrirait peu à peu l'écluse de chasse; l'auteur réglerait cette manœuvre au moyen de vannes de façon à ce que les ouvertures soient à peu près inversement proportionnelles aux racines carrées de la pression, et il déterminerait les dimensions des pertuis de manière à réaliser des courants de chasse de quatre mètres de vitesse par seconde au début de la première heure et de trois mètres environ à la fin de cette période de temps.

Finalement M. Keller pense que des chasses ainsi organisées concurremment avec l'action des courants de marée, des vents et des lames, auraient pour résultat d'enlever immédiatement les sables qui se seraient déposés pendant les dernières heures de la basse mer, et qu'ainsi il ne se formerait pas de barre devant le port.

Le jury fait remarquer que ces dispositions compliquées entraîneraient d'énormes dépenses de construction et de fonctionnement, sans qu'on puisse en attendre de réels avantages. Il est au moins douteux que les chasses ainsi organisées puissent réussir, étant donné le régime particulier des ports de la côte belge, à procurer à l'entrée de ces ports la profondeur dont ils ont besoin. Et il est certain, au contraire, que les résultats désirés peuvent être obtenus, avec des frais incomparablement moindres, au moyen de la disposition ordinaire des ports, soit par les anciennes chasses quand il s'agit de réaliser des profondeurs modérées, soit par des dragages dans tous les cas.

Quoi qu'il en soit, le jury estime qu'il y a lieu de mentionner M. Keller, à raison de ses vues ingénieuses et de ses consciencieuses recherches.

Mémoires nos 18, 19, 20. — M. Alexandre Cialdi, officier de la marine italienne, à Rome :

Mémoire n° 18. — Les ports Chenaux et port Saïd. — Ouvrage imprimé in-8°. Rome 1870.

Mémoire n° 19. — Considérations scientifiques et expérimentales sur les ports établis dans les rivages bas et sablonneux, et sur le moyen de les améliorer. — Ouvrage manuscrit.

Mémoire n° 20. — Sul moto ondoso del mare su le correnti di esso specialmente su quelle littorali. — Volume in-8°. Rome 1866.

M. Cialdi est décédé depuis l'ouverture du concours.

Le mémoire n° 19, qu'il a présenté, est le développement de celui qu'il avait

publié en 1870 sous le titre « Les ports Chenaux et port Saïd », (n° 18), et qui a donné lieu, dès cette époque, à d'assez vives controverses entre les ingénieurs maritimes.

M. Cialdi cherche à établir que ni par les chasses, ni par les dragages, on ne pourra réussir à détruire la barre des ports à sable.

La solution qu'il propose consiste à disposer les jetées de manière à utiliser la force même des vagues pour déblayer les entrées. A cet effet, la jetée placée du côté du vent dominant présente deux parties séparées par une lacune, et le tracé de ces deux parties, l'une rattachée au rivage, l'autre isolée, est combiné de manière à recueillir les vagues formées sous l'influence des vents les plus violents et à les conduire transversalement devant l'entrée du chenal suivi par les navires, de façon à y produire, d'après l'auteur, des érosions.

Le jury, sans avoir à examiner si les prévisions de M. Cialdi sur l'effet d'érosion des vagues ainsi dirigées, pourraient se réaliser dans certaines circonstances, fait remarquer qu'en tous cas ce système ne saurait être considéré comme applicable aux ports des côtes belges ni de côtes semblables, à cause de la configuration du fond, parsemé, jusqu'à une grande distance de la terre, de bancs de sable qui amortissent la lame du large. Les vents y sont en outre trop variables pour qu'on puisse admettre que la captation, par un ouvrage fixe, des lames engendrées dans une seule région de l'horizon, puisse produire l'effet espéré par M. Cialdi. D'ailleurs, en admettant même l'effet d'érosion que M. Cialdi attend des lames, l'entrée d'un port organisé suivant son système serait le siège d'une agitation éminemment dangereuse pour la navigation.

Mémoires n° 21, 22, 23 et 24. — P. Cornaglia, ingénieur en chef du génie civil d'Italie, ancien élève de l'école nationale des ponts et chaussées de Paris, domicilié à Reggio-Calabre.

Mémoire n° 21. — Della propagazione verticale delle onde nei liquidi. Texte italien et traduction française;

Mémoire n° 22. — Del flotto-fondo nei liquidi in stato di ondulazione. Texte italien et traduction française;

Mémoire n° 23. — Della regolazione dei porti su spiagge sottili. Texte italien;

Mémoire n° 24. — Quelques observations sur le procédé tenu pour la détermination des mouvements qui se produisent dans une masse liquide en état d'ondulation.

Les deux premiers mémoires constituent des recherches intéressantes d'hydrodynamique rationnelle; l'auteur étudie dans le premier, par l'analyse mathématique, les caractères particuliers du mode de transmission de l'agitation de l'eau dans le sens de la profondeur; le second traite des phénomènes physiques qui accompagnent la transmission du mouvement des ondes dans le sens horizontal et, notamment des effets produits par ce mouvement, soit à raison de l'inclinaison du fond, soit à raison de l'étendue de l'espace horizontal sur lequel les ondes se propagent.

Dans le troisième mémoire, l'auteur, partant des théories exposées dans les deux premiers, cherche à déterminer théoriquement le mode d'action et les effets des ondes de la mer sur les plages et les fonds sous-marins dans les différentes conditions que peut présenter la pratique. Il en déduit les moyens de défendre les plages contre les corrosions. Puis il discute les dispositions théoriques à donner aux ouvrages d'un port, tant au point de vue de la sécurité qu'à celui de la défense contre les ensablements.

Le jury se plaît à reconnaître l'érudition de M. Cornaglia, le mérite de ses savantes recherches mathématiques, et la pénétration dont il a fait preuve dans l'analyse de certains faits naturels. Mais il est obligé de constater que l'œuvre de M. Cornaglia ne se rattache que très indirectement à la question posée au concours. C'est pourquoi il se borne à une simple mention du mémoire de cet auteur.

Mémoire n° 28. — J.-B. Redman, membre de l'institut des ingénieurs civils de Londres.

Harbours and marine Alluvion. — 1880. — Manuscrit grand in-folio avec plan. Texte anglais.

Le mémoire de M. Redman contient quelques indications générales, malheureusement peu précises, sur les courants de marée, leur action, l'action du vent sur les plages et les dispositions à donner aux jetées. A côté de cette partie peu remarquable, se trouve une description historique succincte, très intéressante, d'un grand nombre de ports, situés pour la plupart sur les côtes des Îles Britanniques. L'atlas contient, à l'appui de cette description, les plans de quantité de ports, baies ou rades. Les faits sont d'ailleurs mentionnés en général sans discussion et l'auteur n'en déduit pas de conclusions bien établies.

M. Redman donne, sous forme de conseil, deux solutions qu'il recommande pour l'amélioration des ports. La première consiste dans un avant-port formé de deux jetées convergentes; l'idée n'en paraît pas neuve. La seconde a les préférences de l'auteur; elle consiste dans un port de même forme trapézoïdale, isolé en mer, avec un môle de fond parallèle à la côte; ce port insulaire serait établi en eau profonde, en dehors des courants littoraux et des sables qu'ils transportent; il serait relié à la terre ferme au moyen d'un ou de plusieurs viaducs, formés de travées à grandes portées.

Cette dernière idée se retrouve dans d'autres mémoires produits au concours; il est à peine besoin de démontrer combien elle est peu pratique. Tout au plus peut-on l'admettre pour un simple débarcadère de voyageurs ou de marchandises spéciales n'exigeant aucune vérification ni aucun conditionnement, dans des cas tout à fait exceptionnels où il serait matériellement impossible ou très difficile, à cause de l'abondance des alluvions en mouvement le long du littoral, de songer à établir sur la côte un port avec jetées d'un des systèmes ordinaires. Mais un port à marchandises générales, un port de commerce proprement dit exige, pour son fonctionnement, de vastes terre-pleins qu'on ne pourrait constituer, dans le système en question, qu'aux prix d'énormes dépenses;

ces dépenses seraient d'autant moins justifiées que l'expérience a démontré, depuis l'ouverture du concours, la possibilité de créer et d'entretenir à peu de frais, au moins sur la côte belge, une bonne profondeur à l'entrée des ports à sable, sans recourir à des solutions aussi extraordinaires.

Le système recommandé par M. Redman ne paraît donc pas, au jury, pouvoir être pris en considération.

Le jury a décidé néanmoins que le mémoire de cet auteur serait mentionné, à raison des intéressants renseignements historiques qu'il contient sur un grand nombre de ports.

Mémoire n° 33. — John Scott Russell, membre des sociétés royales de Londres et d'Edimbourg.

On a mode of improving harbours on low and sandy coasts like those of Belgium.
Manuscrit de 8 pages et 1 plan, en anglais.

M. Scott Russell déclare n'être partisan ni des chasses ni de dragages. Il propose, comme la seule solution tout à fait sûre, un port-île, isolé dans les grandes profondeurs et relié à la côte par un viaduc.

Le jury vient de se prononcer plus haut sur cette solution. Aussi ne mentionne-t-il le mémoire de M. Scott Russell qu'à cause de l'ingéniosité que cet auteur a montrée dans l'étude des détails d'exécution de son système.

Mémoire n° 41. — Douglas William, de Galveston, Texas, Etats-Unis d'Amérique.
Manuscrit en anglais et 10 plans.

M. Douglas n'a pas étudié la question générale des ports à sable. Il se borne à présenter un projet de port qui, suivant lui, conviendrait aux côtes basses et sablonneuses.

Ce port comprend essentiellement un chenal, compris entre deux jetées, ayant 1,000 pieds de largeur à l'entrée et se rétrécissant vers la côte à partir des fonds de 10 pieds; ce chenal serait protégé par un breakwater de 6,550 pieds de longueur, parallèle à la côte et établi à 1,800 pieds de distance de l'entrée. Deux réservoirs, placés respectivement de chaque côté du chenal et limités extérieurement par des jetées circulaires, recevraient l'eau de la mer au moyen de vannages pratiqués dans les jetées, et fonctionneraient comme des bassins de chasse à marée descendante au moyen d'écluses ménagées sur les rives du chenal.

Le breakwater serait formé d'un matelas de fondation en fascinage, servant d'assiette à un massif d'enrochement à pierres perdues, surmonté de caissons remplis de béton et d'une superstructure en pierres de taille.

Le projet indique ce même système de fondation (fascines et pierres perdues) pour les jetées et les môles d'enceinte du réservoir, bien que l'auteur ait compté, pour son système de chasses, sur des ouvrages assez étanches pour supporter une forte pression d'eau. Ce détail suffirait pour montrer, à défaut de tout examen,

même superficiel, des lignes d'ensemble du projet, que l'auteur n'a pas pris le temps d'étudier la question d'une manière approfondie.

Une variante, proposée par l'auteur, consiste à établir un chenal entre deux môles pleins s'avancant jusque dans les fonds de 24 pieds sous la marée basse, et terminés par des tronçons de jetées à claire-voie plongeant dans les fonds de 30 pieds. Ce chenal déboucherait, du côté des terres, à partir des fonds de 18 pieds, dans un vaste bassin, limité de chaque côté par des môles circulaires.

Le jury n'aperçoit pas les motifs qui ont pu obliger l'auteur du projet à se résoudre à ces solutions coûteuses, dont l'efficacité serait plus que problématique, et qui donnent lieu d'ailleurs, en ce qui concerne la position du breakwater du large, à de sérieuses objections au point de vue de la sécurité de l'entrée des navires.

Mémoire n° 21. — A. Baldaque, lieutenant de vaisseau de la marine portugaise, attaché au service hydrographique.

Manuscrit de 100 pages in-4° relié. Texte français et 10 planches intercalées dans le texte.

Dans la première partie de son mémoire, l'auteur a présenté avec méthode des considérations intéressantes sur les conditions auxquelles doivent satisfaire les constructions à la mer pour répondre efficacement à leur but; mais il ne répand aucune lumière nouvelle sur la marche des alluvions ni sur le régime des côtes semblables à celles visées par le concours.

Dans la deuxième partie, il examine les divers moyens employés pour combattre les ensablements. Quelques propositions sont manifestement erronées, et l'auteur indique certains procédés de construction qui paraissent peu pratiques; sauf ces quelques critiques, le jury n'a pas d'observation à présenter sur ce chapitre qui ne contient d'ailleurs aucune suggestion spéciale susceptible d'être utilisée.

Dans la troisième partie, M. Baldaque propose, pour améliorer le port de Nieuport, des travaux qui certainement ne rempliraient pas ce but et qui sont d'ailleurs trop vaguement indiqués. Puis il propose, entre Ostende et l'Escaut, la construction d'un port de refuge, isolé en pleine mer, dont on n'aperçoit ni l'utilité, ni l'efficacité, et dont les dispositions ne seraient certainement pas à conseiller.

Nonobstant ces critiques, le jury a décidé de mentionner M. Baldaque, à raison de la valeur relative de l'exposé qui constitue la première partie de son mémoire.

Des cinq mémoires dont il reste à faire l'examen après l'élimination des mémoires des deux premières catégories, celui de M. Griffith, a été jugé digne du prix du Roi par l'un des membres du jury, contrairement à l'avis des six autres.

Dans l'opinion de la majorité du jury, deux mémoires, ceux de M. Verstraete et de M. de Maere ont mérité une mention très honorable.

Le quatrième, dû à M. Vernon-Harcourt, une mention particulièrement honorable.

Le cinquième, enfin, est l'ouvrage couronné, de M. De Mey.

Voici les appréciations auxquelles chacun de ces mémoires a donné lieu de la part du jury.

Mémoire n° 26. — John Purser Griffith.

The best means of improving ports established on low lying sandy coasts, similar to those of Belgium.

Brochure de 21 pages in-8°, Dublin 1880, accompagnée de trois autres brochures et de deux plans.

M. Griffith, considérant qu'il n'est pas possible de donner des règles fixes pour l'amélioration des ports et qu'il n'existe guère de côtes basses et sablonneuses dont le régime soit comparable à celui des côtes de Flandre, a limité son étude à la seule côte belge. Il donne une description sommaire de cette côte, de ses bancs, du régime de la marée et des courants, mais l'examen qu'il en fait est très superficiel : s'il avait mieux connu la côte belge, M. Griffith n'aurait certainement pas conçu le projet qu'il présente pour l'amélioration du port d'Ostende.

M. Griffith estime que la Belgique a besoin d'un port de premier ordre, accessible à toute heure, pouvant servir de station navale militaire, et aussi de refuge pour les navires, actuellement obligés, en cas de tempête, de tenir le large ou de se réfugier dans l'Escaut. C'est à Ostende, suivant l'auteur, que ce port doit être créé, à cause des nombreuses installations qui s'y trouvent déjà; c'est sur ce point que doivent se concentrer tous les efforts de la Belgique.

Le nouveau port, ou plutôt la rade fermée à créer, serait constitué par une vaste enceinte de digues, de forme rectangulaire. Cette enceinte comprendrait : 1° un môle Est, partant du fort Napoléon perpendiculairement à la côte, puis se retournant à angle droit parallèlement à la côte un peu au delà du Stroombank ; 2° un môle Ouest, partant du pavillon du Roi, perpendiculairement à la côte, puis se retournant à angle droit pour prendre le même alignement que la branche du large du môle Est. Entre les musoirs des deux môles se trouverait, au milieu du côté nord de l'enceinte, une passe d'entrée d'environ 300 mètres de largeur. On pourrait, dit l'auteur, ménager une seconde entrée vers le milieu de la face Ouest de l'enceinte dans l'intérêt de la petite navigation ; mais comme il serait possible que cette entrée latérale favorisât l'entrée des vases dans le port, M. Griffith ne l'indique qu'à titre d'essai en se réservant de la supprimer au besoin plus tard, s'il en résultait des inconvénients.

L'entrée nord serait placée au delà du Stroombank, dans les fonds de 7^m50. M. Griffith estime que la grande saillie de l'enceinte augmenterait l'action des courants de marée dans ces parages et que les profondeurs se maintiendraient, s'accroîtraient même peut-être le long de la digue du large et dans l'entrée Nord. On draguerait la partie du Stroombank emprisonnée dans l'enceinte, après l'achèvement des digues : l'auteur considère que le dragage en serait impossible sans l'abri complet des digues.

Les travaux sont évalués à 60 millions de francs, dragages compris.

L'auteur n'examine que très superficiellement les questions relatives à l'entretien des profondeurs de son port. Il ne craint pas l'envasement intérieur ni l'apport du sable dans l'enceinte, et croit que l'on pourrait facilement se rendre maître des dépôts, au moyen de dragages peu importants, exécutés à de longs intervalles. Quant à l'ensablement dans les angles extérieurs des môles, l'auteur estime que l'avancement de la plage sera lent à cause de la direction des môles, et que, d'ailleurs, l'action des vagues repoussera les sables accumulés.

L'un des membres du jury a jugé le mémoire de M. Griffith digne du prix du Roi. Au contraire tous les autres membres ont été d'accord pour l'écarter, d'après les considérations suivantes :

Le projet de M. Griffith est absolument incompatible avec le régime de la côte d'Ostende. L'énorme saillie que ferait sur la côte l'enceinte de digues projetées causerait une profonde perturbation dans les courants côtiers, et aurait des conséquences désastreuses pour les passes navigables, aussi bien du côté de Nieuport que du côté de l'Escaut. Ce motif est suffisant pour condamner le projet.

D'autre part, l'envasement que les eaux limoneuses des parages d'Ostende produiraient dans l'enceinte des digues, serait énorme, et la dépense à prévoir pour dragages d'entretien atteindrait un chiffre très élevé, hors de proportion avec l'utilité de l'entreprise.

Enfin, il est parfaitement établi que les sables du Stroombank ont un mouvement de transport de l'Ouest vers l'Est ; il paraît, par suite, bien certain qu'ils viendraient s'étendre peu à peu contre le môle Ouest et qu'ils envahiraient finalement le port lui-même. On aurait ainsi à subvenir à des dragages de désensablement, en plus des dragages de dévasement.

Le projet de M. Griffith n'est donc susceptible, à aucun point de vue, d'être pris en considération. Or, ce projet constitue tout le mémoire de cet auteur.

Mémoire n° 4. — Emilien Verstraete, capitaine de l'armée belge.

Amélioration des ports de mer de la Belgique. — Ouvrage manuscrit in-folio de 204 pages, avec un atlas de 19 planches.

L'auteur interprète la question soumise au concours de la manière suivante :

« Que faut-il faire, sur chaque point spécial, pour améliorer nos ports proprement dits, ou pour en créer au besoin sur les points où il n'en existe pas encore de convenables. »

Dans la première partie de son mémoire, l'auteur développe des considérations générales sur les causes et les effets des courants de marée, des vents et des vagues et, en particulier, sur le régime de la mer du Nord, sur la formation et le régime des bancs de sable qui s'y trouvent, sur les courants secondaires auxquels donnerait lieu le déversement des fleuves qui s'y jettent.

Parmi les propositions qu'il énonce, un certain nombre sont contestables, et quelques-unes même sont manifestement erronées. Par exemple, la proposition consistant

à dire que le jusant a sur les côtes de Flandre un rôle prépondérant, de concert avec ce que l'auteur appelle la « reptation » ou marche des eaux de fond en sens inverse de la direction des courants de surface, est contraire à tout ce que l'observation a établi au sujet du régime des courants du Pas-de-Calais et de la mer du Nord. On ne saurait admettre, comme le prétend l'auteur, que le jusant et la « reptation qui suit la marée basse » seraient les grands agents d'érosion dans nos parages maritimes. Il semblerait en outre au moins téméraire d'affirmer avec lui que, devant le littoral belge, la vague de plus grande tempête crée et entretient les bancs, tandis que la marée maintient les chenaux et les grands fonds.

Dans la seconde partie de son mémoire, M. Verstraete, après avoir constaté quelles sont les dimensions actuelles des navires, en déduit la profondeur qui, d'après lui, est nécessaire aux ports de refuge (7^m,50 sous marée basse de vive eau), aux ports de premier ordre (7^m,50 à 8^m,00 à mi-marée moyenne), et aux ports secondaires (6^m,50 à mi-marée moyenne). Puis il examine les procédés qu'on a employés ou qu'on peut employer pour obtenir et conserver la profondeur nécessaire dans les mouillages et dans les passes d'entrée : ni les chasses artificielles, ni les dragages, ni la combinaison de ces deux moyens, ne lui paraissent pouvoir donner des résultats suffisants. La solution doit être cherchée, d'après lui, dans l'asservissement des courants de marée au moyen de ce qu'il appelle « les môles *virants*. » Il faut, dit-il, « employer les courants maritimes, sans les arrêter ni les renverser, mais en les déviant légèrement, et en augmentant leur puissance érosive au lieu de la diminuer, à la création d'un grand port et à sa conservation, tout en lui assurant le couvert nécessaire à un bon service de marine moderne. » Les digues directrices destinées à faire remplir ce rôle aux courants de marée, reçoivent de M. Verstraete, le nom de « môles *virants* » : c'est la digue « *virante* » de Nieuwediep qui constitue le type du genre, et ce sont les résultats remarquables obtenus à Nieuwediep qui paraissent avoir inspiré à M. Verstraete toute sa théorie. L'auteur ne paraît pas avoir suffisamment analysé les conditions naturelles, toutes spéciales et exceptionnelles, du port de Nieuwediep ; nous montrerons tout à l'heure, en examinant le projet par lui présenté pour l'amélioration de la rade et de l'entrée d'Ostende, combien sont erronées les conclusions auxquelles l'a conduit une généralisation injustifiée.

En ce qui concerne les dispositions des ouvrages intérieurs des ports, — avant-ports, écluses, bassins, arrière-ports, — l'auteur s'est livré à une étude critique, très approfondie et très sérieuse, de ce qui a été fait dans un grand nombre de ports et de ce qu'il conviendrait de faire dans les ports belges à améliorer. C'est cette partie de son mémoire que le jury apprécie le plus, tout en constatant qu'elle ne se rapporte pas à la question essentielle du concours.

Dans la troisième partie de son mémoire, M. Verstraete présente et cherche à justifier un projet de transformation d'Ostende et un projet de création d'un port à Knocke.

A Ostende, les travaux consistent principalement dans la construction de deux séries de digues :

Les unes, dites continentales, enracinées aux plages et aboutissant aux musoirs du chenal d'entrée du port, destinées à concentrer vers ces musoirs l'action de la partie Sud des eaux en mouvement sous l'action des courants de marée; les autres, placées en pleine mer sur le Stroombank, suivant un tracé brisé, s'évasant, sous la forme d'un double entonnoir, d'une part vers l'Ouest, d'autre part vers l'Est.

M. Verstraete espère ainsi réaliser le programme suivant :

Couvrir la petite rade; ouvrir par l'action des courants une large passe à travers le Stroombank (banc à peu près parallèle à la côte qui sépare la petite rade de la grande rade); entretenir cette passe par l'effet des courants; utiliser ces mêmes courants pour supprimer la barre à l'entrée du port et pour y maintenir une bonne profondeur, à la faveur du rétrécissement produit par la convergence des directions des digues du large et des digues « continentales »; conserver les courants dans la rade couverte et y maintenir ainsi une bonne profondeur, sans aucune crainte d'envasement.

Ce projet donne lieu aux principales critiques suivantes :

1° Au point de vue nautique : la zone comprise entre les digues du large et la terre ne serait probablement pas tenable, par mauvais temps, surtout dans la partie rétrécie au droit de l'entrée du port, où les lames, de l'Ouest au Nord-Ouest, s'engouffrant par l'entonnoir de l'Ouest, acquerraient une violence dangereuse; la petite rade non seulement ne serait pas couverte, mais elle se trouverait probablement dans une situation encore plus défavorable qu'aujourd'hui au point de vue de la sécurité du mouillage;

2° Au point de vue hydrographique, le projet n'est pas plus recommandable.

L'auteur croit à tort, d'après l'exemple de Nieuwediep, qu'il suffit de construire des digues disposées d'une certaine façon par rapport aux courants actuels de marée, pour obliger ces courants déviés à produire des approfondissements en des points déterminés.

Il n'y a aucune similitude entre la situation de Nieuwediep et celle d'Ostende. Aux abords de Nieuwediep passent les eaux de vidange de l'immense réservoir constitué par le Zuiderzée. Les travaux de digues exécutés à Nieuwediep ont eu pour effet de faire passer au jusant une plus grande masse des eaux du Zuiderzée à travers le chenal du port, établi le long de la côte, à la pointe du Helder; c'est ainsi qu'ont pu s'établir et que peuvent naturellement s'entretenir des profondeurs de 20^m,00 au-dessous de la basse mer, à 150^m,00 du rivage.

A Ostende, rien de pareil.

Les courants alternatifs produits par la propagation de l'onde de marée n'auraient certainement pas la puissance nécessaire pour produire les effets d'érosion qu'en espère M. Verstraete, même s'ils obéissaient à l'action de direction et de concentration à laquelle il prétend les asservir. D'ailleurs il est impossible de prévoir *à priori* avec certitude quels seraient les effets des « môles virants » du projet, en ce qui concerne la masse

des eaux maintenue en mouvement entre ces môles et la terre, et l'on peut craindre que les perturbations apportées par les ouvrages du large et par les ouvrages à terre, au régime naturel des courants, n'aient pour effet immédiat de priver la petite rade d'une partie de la masse d'eau de flot qui la balaie actuellement. Aussi le jury considère-t-il comme très probable, pour ne pas dire certain, que l'immense môle angulaire qui réduirait dans une notable proportion la largeur de la petite rade, bien loin d'en favoriser l'approfondissement, en produirait au contraire l'envasement en peu de temps.

M. Verstraete compte surtout, pour maintenir les profondeurs de la petite rade, sur les eaux de jusan, dont le volume continuerait à être à peu près le même qu'aujourd'hui. Il s'appuie à cet effet sur le principe suivant : « Le grand agent d'érosion du fond est le jusan et non le flot, bien que celui-ci ait une vitesse un peu plus grande à la surface, parce que le jusan a son maximum de vitesse au moment du minimum de hauteur, tandis que la plus grande vitesse du flot se présente au moment du plein. » Cette assertion est absolument contraire à tous les faits observés.

En somme, le jury estime que l'exécution du projet de M. Verstraete ne produirait pas les résultats utiles espérés et amènerait au contraire dans les atterrages d'Ostende des perturbations irrémédiables qui pourraient même s'étendre jusqu'à la rade de Nieuport.

Le projet présenté par l'auteur pour la création d'un port de refuge devant Knocke est conçu dans le même ordre d'idées et donne lieu aux mêmes observations.

Nonobstant ces critiques, le mémoire considérable, produit par M. Verstraete, a été jugé digne d'une mention très honorable à cause du soin et de l'ordre qu'y a mis l'auteur et des idées judicieuses qu'il y a exprimées sur les dispositions intérieures des ports.

Mémoire n° 6. — A. de Maere-Limnander.

Manuscrit in-folio de 488 pages (en français), accompagné d'un volume in-8° relié, contenant plusieurs brochures du même auteur, se rattachant à la même question.

Le mémoire remarquable que M. de Maere-Limnander a présenté au concours est divisé en quatre parties.

Dans la première, l'auteur expose une étude complète des côtes de Flandre au point de vue de la configuration et du régime des fonds sous-marins et des plages, puis du régime de la marée, des courants côtiers, du vent et de l'effet des lames.

Dans la deuxième partie, M. de Maere décrit les ports de ces côtes — Calais, Dunkerque, Nieuport et Ostende, — examine les ouvrages exécutés ou projetés pour l'amélioration de leur entrée et donne son appréciation tant sur les conditions déterminantes de l'insuccès relatif des anciens ouvrages, que sur les probabilités de succès et d'insuccès des ouvrages projetés ou en cours d'exécution.

Dans la troisième partie, l'auteur décrit un grand nombre de ports en eau profonde et traite de leur emplacement, du tracé de leurs jetées, de leur mode de construction et du maintien des profondeurs tant à l'intérieur qu'à l'entrée de ces ports.

Dans la quatrième partie, il conclut à l'inefficacité des moyens employés jusqu'à ce jour (1880) pour l'amélioration de l'entrée des ports existants sur la côte belge et à la nécessité de construire à Heyst un nouveau port, du type des ports en eau profonde qui, à son avis, pourrait seul rendre à la Belgique les services auxquels les ports actuels lui paraissent décidément impropres. M. de Maere expose et défend le projet qu'il a établi dans ce but.

On voit, à ce sommaire, avec quelle ampleur et aussi avec quelle méthode M. de Maere a traité la question soumise au concours. Le programme qu'il s'est tracé a peut-être été trop strictement combiné en vue de la conclusion que l'auteur semble s'être exclusivement proposée *a priori*; mais toutes les parties en ont été traitées avec un soin scrupuleux, et quelques-unes avec une sûreté d'information auxquelles le jury se plaît à rendre hommage.

Le jury doit cependant présenter, sur un certain nombre de points importants, des observations critiques.

La première partie du mémoire, relative à l'étude du régime des côtes de Flandre, manque à certains égards de justesse et de précision. L'auteur n'établit pas assez nettement dans ses descriptions les différences profondes qui existent en réalité entre les conditions naturelles caractéristiques des diverses parties de la côte. Par suite, les conclusions auxquelles il arrive sont quelquefois inexactes, parce qu'elles sont trop générales.

Ainsi, il n'est pas tout à fait exact de dire, comme il le fait, que *tous les fonds* de la zone des bancs de Flandre ont une stabilité relativement très grande. « Si les bancs du territoire belge, ajoute M. de Maere, se déplaçaient ou s'accroissaient, cette mobilité stériliserait tous les efforts de l'homme au point de vue spécial qui nous occupe. » Le jury fait observer qu'il se produit, exceptionnellement il est vrai, des mouvements de sable très importants sur certains points, notamment sur le Stroombank situé devant Ostende, et que ces déplacements ne doivent cependant pas être considérés comme susceptibles de stériliser d'une manière irrémédiable les efforts des ingénieurs.

Se basant sur diverses citations, la plupart historiques, au sujet du régime des plages, l'auteur conclut que « *partout en Belgique comme en Hollande*, l'érosion et les irrutions violentes, dont la science et l'histoire ont fourni les preuves irrécusables, continueraient à se produire, si la main de l'homme ne s'opposait aux ravages des flots » Le jury remarque qu'il y a, le long des côtes de Flandre, des points où les plages et les dunes tendent naturellement à s'accroître, d'autres qui sont en équilibre stable depuis une très longue période d'années, d'autres enfin qui sont rongées et envahies par la mer. Chaque partie de la côte a son régime propre, déterminé par des circonstances locales très complexes, dont l'ingénieur doit se rendre compte par une observation attentive, en se gardant des généralisations téméraires.

M. de Maere aurait sans doute présenté un tableau plus complètement exact du régime de la côte si, au lieu de se contenter de faire la synthèse des études antérieures des principaux hydrographes français et belges, il nous avait donné les résultats d'une étude absolument personnelle de cette question capitale.

Dans la seconde partie du mémoire de M. de Maere-Limnander, le jury a le regret de relever quelques erreurs d'appréciation, qui ont une certaine gravité au point de vue des conclusions pratiques qu'il en tire.

Ainsi, après avoir décrit les ouvrages des ports de Calais, Dunkerque, Nieuport et Ostende, il conclut, d'une longue discussion, que l'extension, si grande qu'on la suppose dans les limites pratiques, des moyens de chasse et des moyens de dragage, ne pourrait en aucun cas procurer à l'entrée de ces ports une profondeur de plus de 2^m50 à 3 mètres sous marée basse. L'expérience a prouvé depuis 1880 qu'une telle appréciation est absolument erronée. On a aujourd'hui, grâce aux dragages exécutés par les bateaux aspirateurs et porteurs, en usage à Dunkerque depuis 1875, à Ostende depuis 1880 et à Calais depuis 1881, une profondeur de plus de 4 mètres sous marée basse à l'entrée de Dunkerque et à celle de Calais, et de plus de 6 mètres à l'entrée d'Ostende; et cette situation excellente peut être maintenue dorénavant moyennant une dépense annuelle en dragages d'entretien très peu élevée à Ostende, assez modérée à Calais et tout à fait admissible, bien que plus considérable, à Dunkerque.

Le jury constate une autre erreur d'appréciation en ce qui concerne les effets des prolongements des jetées. Après avoir exposé qu'à Dunkerque le prolongement des jetées a eu pour effet, au bout d'un certain temps, d'élever le niveau de la barre et des fonds sous-marins contigus et de faire avancer la plage vers le large, M. de Maere constate que les mêmes effets ont été produits à Boulogne et à Calais. Examinant ensuite le cas d'Ostende où les jetées ont conservé la même longueur depuis 1837, il estime que, en raison de la grande analogie des plages d'Ostende et de Dunkerque, on pourrait être assuré de voir l'allongement des jetées produire les mêmes résultats à Ostende, c'est-à-dire « le recul et l'exhaussement de la plage, et l'amoindrissement des qualités nautiques actuelles du port ». Le jury doit faire remarquer que, contrairement à l'opinion de M. de Maere, il n'y a aucune analogie entre les plages d'Ostende et de Dunkerque; le régime en est tout différent; c'est ainsi qu'à Dunkerque un dragage annuel de plus de 300,000 mètres cubes n'entretient qu'une profondeur de 4 mètres à peine sous le niveau de basse mer, tandis qu'il suffira, à Ostende, d'un dragage n'atteignant pas le quart de cette importance pour maintenir dorénavant dans la passe extérieure des profondeurs de 6 mètres. Il est exact que la plage s'avance à Dunkerque quand on allonge les jetées. Mais pour Ostende, la comparaison des cartes actuelles avec les cartes anciennes des ponts et chaussées et avec celles de Beautemps-Beaupré, montre que les prolongements de 1837 n'ont amené aucune extension de la plage; celle-ci semble, au contraire, s'être plutôt amaigrie; on n'a donc pas de motif de croire qu'un

allongement des jetées serait funeste à Ostende, et le contraire paraît même plausible, ainsi que M. De Mey l'a établi dans son mémoire.

Le jury est encore obligé de se séparer de M. de Maere lorsqu'il recommande comme susceptible de désobstruer les barres sableuses, le système Bergeron, qu'il assimile d'ailleurs à tort au système de jets d'eau employé à Liverpool par M. Lyster. Le système préconisé par M. Bergeron consistait, on se le rappelle, à immerger sur la barre des tuyaux percés de petits trous et reliés à une canalisation d'eau sous pression venant de terre; M. Bergeron espérait que les jets d'eau sortant de ses tuyaux suffiraient pour désagréger le sable de la barre et pour le mettre en suspension dans le courant de marée qui l'entraînerait au loin. Ce système a été expérimenté par son auteur, et à ses frais, sur la plage de Boulogne, en 1878; comme on devait s'y attendre, l'échec a été complet : le sable mis en suspension et soulevé à quelques centimètres de hauteur allait retomber à quelques centimètres de distance, et le seul effet qu'on ait obtenu a consisté dans l'ensouillement des tuyaux et dans leur obstruction après un temps très court de fonctionnement.

Tout autre a été l'idée de M. Lyster. Il s'agissait à Liverpool de maintenir la profondeur d'un avant-port très peu étendu, en aval des grandes écluses d'entrée des bassins du Nord; l'énorme circulation des navires dans l'étroit espace de l'avant-port empêchait de songer à y tenir une drague en permanence pour enlever les abondants dépôts de vase qui tendent à s'y former : dans ces conditions difficiles et toutes spéciales, M. Lyster a eu l'idée très ingénieuse et très pratique de disposer sur le fond bétonné de l'avant-port une tuyauterie noyée dans le béton, en communication avec la retenue des bassins à flot, tuyauterie qui, à marée basse, lance sur toute la surface horizontale de l'avant-port des jets d'eau multiples assez intenses pour soulever et mettre en suspension la vase molle récemment déposée; en même temps un puissant courant de chasse sortant des écluses, balaie tout l'avant-port et emporte dans la Mersey les eaux limoneuses.

Enfin, le jury ne saurait partager l'opinion de M. de Maere au sujet des heureux résultats qu'Ostende pourrait attendre de l'établissement d'une digue parallèle à la côte sur le Stroombank. Tout d'abord on doit remarquer que la petite rade d'Ostende, située entre le Stroombank et la côte, ne possède, au point de vue nautique, aucune des qualités nécessaires pour être transformée en un bon mouillage couvert : la profondeur en est insuffisante et les passes ne sont pas praticables à toute heure de marée. D'autre part, comme l'a remarqué M. De Mey en discutant cette question, le gisement du Stroombank s'écarte très peu de la direction qu'ont les courants de marée au moment de leur plus grande vitesse, et la construction d'une digue longitudinale dans cette direction n'aurait évidemment pas pour résultat d'augmenter le volume ou la vitesse des eaux qui circulent à chaque marée sur les fonds de la petite rade; on ne saurait donc en espérer aucune érosion de ces fonds; au contraire, il y aurait lieu de

craindre une augmentation de l'envasement qui déjà s'y produit en l'état actuel : en effet, le courant de flot étale vers le Nord avant de revenir en jasant vers l'Ouest, et l'on peut supposer que les eaux de la rade, contrariées dans leur mouvement par une digue, déposeraient à l'étale encore plus de limon qu'elles ne le font maintenant.

Dans la troisième partie du mémoire, celle qui est relative aux ports en eau profonde, l'auteur a fait preuve de beaucoup d'érudition. On sent qu'il est là sur son terrain de prédilection. Le jury a lu avec un vif intérêt les renseignements si complets et si instructifs que M. de Maere a réunis sur tous les grands ports de ce type, et les discussions auxquelles donne lieu de sa part l'examen des diverses questions y relatives.

Le jury est, à son grand regret, obligé de ne plus partager complètement les idées de l'auteur, lorsqu'il arrive à l'exposé des motifs, qui établissent à ses yeux la nécessité d'un nouveau port à Heyst, et à la description du projet de ce port.

Sans avoir à examiner si une telle conception est justifiée au point de vue économique et commercial, le jury ne saurait admettre, au point de vue technique, les prévisions de l'auteur, à savoir que les ports du système actuel sont irrémédiablement condamnés à n'avoir pas plus de 3 mètres de profondeur au-dessous de marée basse, quelle que soit la puissance qu'on prétende donner aux chasses et aux dragages. « Il serait inutile, ajoute M. de Maere, de vouloir améliorer les ports de marée dans leurs détails, de vouloir forcer leurs qualités nautiques, en un mot de leur demander ce qu'ils ne peuvent donner... Il faut donc créer un port en eau profonde. » Déjà le jury a rappelé plus haut que les faits ont répondu depuis 1880 à M. de Maere : il est inutile d'insister.

Le jury n'en a pas moins examiné avec le plus vif intérêt l'étude présentée par M. de Maere de son nouveau port de Heyst.

Un seul des membres du jury adhère sans réserve aux idées de M. de Maere. Tous les autres sont unanimes pour considérer le projet comme au moins imprudent.

Tout d'abord, le port projeté ne saurait être, comme l'auteur le suppose, un véritable port de refuge ou un port en eau profonde ; il ne serait, en effet, accessible à marée basse que par une passe où l'on ne trouve en eau calme qu'un brassiage de 6^m,20 et qui, par une mer un peu grosse, serait dangereuse à marée basse pour les navires de plus de 5 mètres de tirant d'eau.

Il paraît probable que les abords de l'entrée conserveraient une bonne profondeur, sans crainte d'ensablement, vu le régime, très favorable à cet égard, de la côte de Heyst. Mais le jury est loin d'être aussi rassuré au sujet du maintien des profondeurs intérieures, à raison de la nature très limoneuse des eaux de la mer dans ces parages.

Il est à prévoir qu'on serait obligé à des frais de dragage énormes pour entretenir une profondeur de 7 mètres sous basse mer dans toute l'étendue de l'avant-port, de 60 hectares, projeté ; on ne saurait admettre d'ailleurs la convenance de constituer une

enceinte assez étendue, dans l'hypothèse où l'on devrait se résoudre à n'entretenir dans l'avant-port qu'un simple chenal d'accès : les espaces latéraux seraient dans ce cas plutôt nuisibles qu'utiles, puisque les vases qui s'y accumuleraient tendraient toujours à envahir la passe centrale.

Quoiqu'il en soit de ces critiques, le jury décerne néanmoins à l'unanimité à M. de Maere, une mention très honorable, à raison du mérite incontestable des études auxquelles il s'est livré.

Mémoire n° 32. — Vernon Harcourt.

On the means of improving harbours established on low and sandy coasts like those of Belgium.

Ouvrage manuscrit de 153 pages, petit in-folio, avec cartes et dessins.

Le mémoire que M. Vernon Harcourt a présenté au concours est une œuvre magistrale, très bien conçue, pleine de renseignements précis, méthodiquement coordonnés et d'appréciations qui sont généralement d'une justesse remarquable. N'eût été le mérite tout à fait supérieur du mémoire de M. De Mey, M. Vernon Harcourt aurait certainement pu prétendre à une récompense plus élevée que la « mention particulièrement honorable » dont le jury a été unanime à le juger digne. On peut seulement lui reprocher quelques erreurs de détail et trop peu de précision dans les conclusions pratiques auxquelles il aboutit.

M. Vernon Harcourt commence son mémoire par une étude générale des ports dans lesquels on a à lutter contre des alluvions.

Il divise les ports en trois classes :

- 1° Les ports établis directement sur la côte ;
- 2° Les ports situés à l'embouchure de petites rivières ou de criques, auxquelles ils doivent leur origine ;
- 3° Les ports situés sur des rivières à marée, à une distance plus ou moins grande de l'embouchure.

Comme ports de la première catégorie, l'auteur décrit successivement les ports d'Ostia (Italie), de Ramsgate, de Kingstown, de Howth (Irlande), de Madras (Hindoustan), d'Ymuiden et de Port-Saïd. Il met en lumière, avec beaucoup de perspicacité, les particularités du régime naturel de chacun de ces ports et les conditions déterminantes du succès ou de l'insuccès relatif des ouvrages qu'on y a établis. Passant ensuite aux ports de la deuxième catégorie, il étudie d'abord les ports de la côte Sud de la mer du Nord, Calais, Gravelines, Dunkerque, Nieuport et Ostende. Après avoir exposé sommairement le régime des courants de marée sur la côte Sud de la mer du Nord et la formation des bancs qui en encombrement les parages, M. Vernon Harcourt donne, sur chacun des ports précités, un aperçu historique succinct, dans lequel il fait ressortir la similitude des procédés suivis pour les établir et les entretenir. A l'origine, la profondeur de l'entrée de ces ports était entretenue naturellement par les courants que produisaient à chaque marée le remplissage et le vidage des grandes criques ou des immenses lagunes à l'embou-

chure desquelles ils étaient placés. A mesure que l'agriculture, par des endiguements successifs, a réduit l'étendue des terrains périodiquement couverts par la mer dans ces criques et lagunes, il y a eu une tendance progressive à l'obstruction de l'entrée.

On a entrepris d'abord d'améliorer le chenal en le protégeant par des jetées contre l'envahissement du sable des plages ; plus tard on a prolongé ces jetées pour aller chercher les profondeurs. La situation de l'entrée devint de plus en plus défectueuse, lorsque, dans l'intérêt de l'agriculture en même temps que de la salubrité publique, on eut fini par empêcher complètement l'entrée de la mer dans les marais, désormais desséchés, en construisant au fond de chaque port des écluses, munies de portes de flot pour soutenir la charge de la marée haute, et de portes d'ébe ou de vannages pour régulariser l'évacuation, à marée baissante, des eaux douces du pays. Ces écluses n'ont pas tardé à être organisées en écluses de chasse, pour faire servir à l'approfondissement du chenal, en les lâchant violemment à marée basse, les eaux douces accumulées dans les canaux de dessèchement d'amont. Plus tard, on a encore augmenté la puissance de ces chasses, en endiguant une étendue plus ou moins grande des canaux de dessèchement jusqu'à une écluse de garde placée à quelque distance en amont, et en laissant s'introduire la marée haute dans le réservoir ainsi constitué ; les chasses d'eau salée, ainsi substituées aux chasses d'eau douce, de façon à procurer une beaucoup plus grande hauteur de chute, ont produit un effet d'approfondissement très sensible. On a alors développé le système des chasses en ne se contentant plus des réservoirs constitués par le bief extrême des canaux de dessèchement : on a créé d'énormes réservoirs de chasse spéciaux, desservis par des écluses spécialement organisées pour déverser brusquement dans le chenal à marée basse toute l'eau accumulée à marée haute dans les réservoirs. Finalement, ces procédés de chasse étant devenus insuffisants en raison des besoins de la navigation qui exige des profondeurs de plus en plus grandes, on a eu recours aux dragages.

M. Vernon Harcourt indique avec beaucoup de justesse combien les difficultés pour le maintien de la profondeur à l'entrée varient, dans ces divers ports, avec l'importance du mouvement de transport des sables le long de la côte.

A la suite de cette étude des ports des côtes de Flandre, l'auteur passe en revue successivement Yarmouth, Lowestoft, Sunderland, Aberdeen, Dublin, Wexford, sur les côtes des Iles Britanniques, Kurrachee situé sur une vaste crique qui débouche dans la mer Arabe, enfin Nieuwediep, sur la côte de Hollande. Pour chacun de ces ports, il établit, comme il l'avait fait pour les précédents, les particularités essentielles du régime naturel, les résultats produits par les ouvrages en saillie sur le chemin des alluvions et l'influence exercée par les divers moyens employés pour combattre l'obstruction du chenal.

Abordant enfin l'examen des ports de la 3^e catégorie (ports sur rivières à marée) il expose les principes qui doivent guider les ingénieurs dans l'amélioration de ces

rivières. Puis il décrit successivement l'Escaut et son estuaire, la Meuse maritime et les travaux de Hoek van Holland, les parties maritimes de la Seine, de l'Adour, de la Clyde, de la Tyne, etc., en faisant une appréciation critique généralement très juste des ouvrages entrepris et des résultats obtenus ou espérés.

Cette première partie du mémoire de M. Vernon Harcourt constitue, on le voit, une étude générale très bien faite, des conditions naturelles des ports dont l'accès est menacé par une accumulation de matériaux d'alluvion, ainsi que des résultats qu'ont donnés les divers moyens employés pour s'opposer à l'obstruction de ces ports.

Dans une seconde partie, l'auteur passe en revue les ouvrages employés pour la construction des ports établis sur des côtes basses et sablonneuses en général.

Il examine tout d'abord le système qui consiste à aller chercher les grandes profondeurs au moyen de jetées pleines insubmersibles convergentes, enfermant un vaste avant-port, comme à Port-Saïd, Boulogne, Ymuiden. Il estime que le succès de ces ports dépend surtout de l'emplacement adopté, et qu'ils peuvent réussir, même sur des côtes basses et sablonneuses le long desquelles il y aurait des déplacements de sable, pourvu qu'ils s'étendent jusqu'aux grands fonds (d'au moins 7^m50 de brassiage sous marée basse), pourvu aussi qu'il n'y ait pas de bancs de sable près de la côte, et enfin que l'entrée soit rasée par des courants côtiers énergiques. Le jury croit qu'un correctif est tout au moins nécessaire et qu'il faut aussi tenir compte, dans nos parages, de l'envasement intérieur, qui est susceptible de rendre l'entretien, sinon impossible, du moins très difficile et très coûteux.

M. Vernon Harcourt passe ensuite à l'étude des chenaux bordés de jetées parallèles ou à peu près parallèles. Il est d'avis que les seuls moyens d'en augmenter les profondeurs sont les chasses et les dragages.

Il donne des détails très complets et très intéressants sur ces deux modes d'amélioration, puis sur la constitution et la construction des divers ouvrages employés pour protéger ou pour approfondir l'entrée des ports.

Dans la troisième partie de son mémoire, M. Vernon Harcourt examine successivement chacun des ports belges pour en étudier l'amélioration, en commençant par l'Escaut entre la mer et Anvers, puis continuant par Ostende et Nieuport, et terminant par le projet de port que M. de Maere-Limnander préconise pour Heyst.

En ce qui concerne Ostende, il constate l'obstacle qu'oppose le Stroombank à une amélioration complète; il reconnaît avec raison qu'il n'y a pas lieu de songer à s'avancer jusqu'au delà de ce banc par des ouvrages fixes rattachés à la terre, à cause des perturbations qui en résulteraient dans le régime de toute la côte belge. Il met également en lumière les inconvénients graves que pourrait avoir la construction d'une digue longitudinale sur le Stroombank. Finalement, il ne voit que les chasses et les dragages qui puissent améliorer l'entrée d'Ostende, mais il ne croit pas que l'on puisse obtenir ainsi de grandes profondeurs.

En émettant cette dernière opinion, M. Vernon Harcourt a malheureusement manqué de perspicacité. S'il avait mieux connu le régime tout spécial de la côte d'Ostende, il aurait pu deviner, dès 1880, époque où il écrivait son mémoire, le résultat remarquable qu'allaient bientôt après donner les dragages. Son concurrent, M. De Mey, ne s'y est pas trompé; il a affirmé, dès 1880, sa confiance dans les dragages, et l'expérience n'a pas tardé à lui donner raison, puisque, dès 1884, la profondeur à l'entrée d'Ostende était portée à plus de 6 mètres sous marée basse.

Pour Nieuport, M. Vernon Harcourt recommande l'emploi des mêmes moyens que pour Ostende.

Enfin, il s'occupe du projet de port de Heyst. Il n'approuve pas, au point de vue de la navigation, la disposition des jetées avec têtes parallèles à la côte; il préfère la disposition des jetées d'Ymuiden qui permet à un navire de se relever quand il a manqué l'entrée; cette dernière disposition lui paraît d'autant plus justifiée qu'il ne craint pas à Heyst l'ensablement devant l'entrée à cause de la plus grande vitesse et de la plus grande amplitude de la marée. Il est d'avis d'ailleurs qu'on ne doit pas redouter que la saillie des jetées provoque un avancement de la côte. Il pense que l'on a plus de chances à Heyst qu'à Ymuiden de voir l'enceinte envahie par du sable apporté du dehors; mais il ne tient pas compte de l'envasement que doit faire craindre la nature limoneuse des eaux de la mer dans ces parages. Ses conclusions, pour Heyst comme pour les deux autres ports, ne sont pas nettement définies et l'on serait embarrassé pour en tirer *de plano* une solution pratique.

Quoi qu'il en soit, le jury apprécie la haute valeur scientifique du travail de M. Vernon Harcourt, et il est heureux de rendre hommage à l'étendue des connaissances de cet ingénieur éminent, à la pénétration de ses analyses, à la sûreté de son jugement.

Mémoire n° 5. — P. De Mey, ingénieur des ponts et chaussées à Bruges.

Etude sur le régime de la côte et sur les ports maritimes de la Belgique.

Manuscrit. Texte français, de 329 pages, accompagné d'un atlas renfermant 24 planches, de cartes et dessins.

Le mémoire de M. De Mey est divisé en huit chapitres. Dans les chapitres I^{er} à IV, l'auteur fait une étude complète du régime de la mer et des côtes dans les parages belges. Dans la seconde partie du mémoire (chapitres V à VIII) l'auteur, après avoir décrit un grand nombre de ports et analysé tous les moyens expérimentés pour en entretenir la profondeur, étudie successivement les divers ports de la côte de Flandre; puis, prenant l'un après l'autre chacun des ports belges, il expose et justifie les procédés et ouvrages auxquels il y aurait lieu de recourir pour les améliorer. Il termine par une étude générale des ports en eau profonde, et par l'exposé d'un projet de port à Heyst, conçu suivant un système différent de celui de M. de Maere.

L'étude générale que présente M. De Mey (chapitres I^{er}, II, III et IV) des

mouvements de la mer, de la marche des alluvions dans la Manche, le Pas-de-Calais et la mer du Nord, et enfin du régime des plages et des bancs de Flandre est certainement la meilleure et la plus complète qui ait été écrite jusqu'à ce jour. L'auteur ne s'est pas contenté de s'assimiler les résultats des recherches des meilleurs ingénieurs hydrographes; il y a ajouté le fruit de son expérience personnelle, de ses observations propres, de ses longues méditations. On sent que l'auteur a vu par lui-même les choses dont il parle. Et en effet, M. De Mey est attaché, comme ingénieur du gouvernement belge, au service de la côte de Flandre depuis 1869; il a été chargé jadis de dresser le plan détaillé de cette côte; il en a recherché toutes les modifications; il a pu en comparer les allures à celles des côtes françaises qu'il a été étudier dans de nombreux voyages. Depuis plus de dix ans, il avait fait de l'étude de la côte belge et de ses ports, l'objet de ses constantes préoccupations, lorsqu'il s'est proposé de répondre à la question soumise au concours. Tout son mémoire, d'ailleurs, dénote un esprit judicieux et prudent, sachant analyser les phénomènes avec une grande perspicacité, et démêler dans leur complexité les lois essentielles qui les régissent. Avec de si précieuses qualités d'esprit, M. De Mey était en mesure de profiter largement des moyens tout spéciaux d'étude que lui procuraient ses fonctions. Aussi, l'œuvre qu'il a produite est d'une haute valeur et constitue une base solide pour les conceptions techniques que l'auteur a ensuite formulées, relativement à l'amélioration de chacun des ports de la côte.

En raison de l'intérêt que présentent les résultats de l'étude de M. De Mey, le jury croit devoir résumer ici en quelques mots ceux qui concernent le régime des fonds sous-marins et des plages belges. Ces résultats ont été obtenus au moyen de la comparaison, faite avec beaucoup de perspicacité et de justesse de vues, de toutes les cartes hydrographiques de la côte entre l'Escaut et Gris-Nez, dressées au cours de la période comprise depuis 1776 jusqu'à nos jours.

Fonds sous-marins. — 1° La rade de Nieuport a conservé sensiblement le même gisement et les mêmes profondeurs depuis le commencement du siècle; les passes ont conservé la même position et une profondeur au moins égale; la passe du nord s'est notablement améliorée;

2° La grande rade d'Ostende tend à s'approfondir.

Le Stroombank, qui la sépare de la petite rade, a subi des changements importants depuis 1801. La ligne de niveau de 8 mètres qui termine le talus nord du banc, a été refoulée de près de 300 mètres vers la côte par les fonds de la grande rade; les fonds de 6 mètres et de 4 mètres se sont déplacés dans le même sens; le talus sud est resté fort raide. Les sables qui constituent le Stroombank s'avancent en même temps vers l'est. A l'extrémité est du banc, la courbe de niveau de 4 mètres sous marée basse se trouvait, en 1801, à 1,500 mètres seulement du prolongement du chenal du port d'Ostende, et l'on y mesurait près de 1,000 mètres de largeur entre cette courbe et

les fonds de 4 mètres du talus du rivage. En 1866, cette largeur était réduite de plus de moitié, et le banc se trouvait allongé d'environ 4,000 mètres vers l'est, de manière à ne plus laisser qu'une passe de 550 mètres de largeur et de 5^m,30 de profondeur maximum entre son extrémité et les fonds de 4 mètres du talus du rivage. Ce mouvement du Stroombank a continué de 1866 à 1880;

3° La petite rade d'Ostende n'a presque pas changé de position ni d'étendue depuis le commencement du siècle; mais elle a subi un exhaussement très appréciable dans toute la partie située à l'Est du méridien de Mariakerke. On y sondait en 1801, de 6 à 8 mètres d'eau sous marée basse; dès 1867, on n'y trouvait plus que 5^m,60 à 7 mètres. Cet exhaussement a continué à se produire d'une manière très sensible de 1866 à 1880. Mais en revanche, on constate un approfondissement de la partie occidentale du Stroombank.

Ces changements, dans la situation des fonds sous-marins des atterrages d'Ostende, ont compromis sérieusement l'accès du port du côté de l'Est et ils menacent de diminuer encore la profondeur de la petite rade; mais l'amélioration de profondeur constatée sur l'extrémité Ouest du Stroombank atténue les craintes qu'on peut concevoir, puisque l'accès de l'Ouest, c'est-à-dire dans la direction la plus fréquentée, tend à devenir plus facile;

4° Rade de Blankenberghe. Les fonds situés entre le banc de Wenduyne et la côte depuis le Spanjaardduin jusqu'à Blankenberghe et qui comprennent la rade de ce port, n'ont pas changé depuis le commencement du siècle;

5° Estuaire de l'Escaut. L'estuaire de l'Escaut, considéré dans son ensemble n'a subi depuis 1825 que des perturbations peu profondes.

La principale passe navigable, le Wielingen, par laquelle l'Escaut occidental communique avec la mer du Nord, tend à s'approfondir: les bancs du Paardemarkt et de Cadzand, qui étaient situés au milieu de cette passe en 1825, ont disparu aujourd'hui après avoir subi des déplacements successifs vers l'Est et le Nord-Est.

Les bancs qui limitent cette passe au Nord, savoir: le Ribzand (comprenant les bancs de Heyst et de Knocke) et le Hompel, ont subi des modifications assez compliquées, caractérisées cependant par la prédominance d'un transport vers l'Est.

Les fonds qui s'étendent au Sud du Wielingen, devant Wenduyne et Blankenberghe jusqu'à Heyst, ainsi que le plateau « Het Zand » situé entre le banc de Wenduyne et celui du Binnen Paardemarkt, sont restés sensiblement dans le même état depuis 1825;

6° La partie Ouest du Binnen Paardemarkt s'est alternativement allongée et raccourcie, et sa pointe extrême en 1878 se trouvait finalement à peu près au même point qu'en 1825; ce banc présentait en 1825 une branche secondaire qui faisait saillie dans le Wielingen; cette branche s'est inclinée peu à peu vers la branche principale et se trouvait confondue avec elle en 1865.

A partir de 1865, la partie Est du banc du Binnen Paardemarkt s'est exhaussée;

il résulte néanmoins de l'ensemble des constatations et des calculs de M. De Mey, que ce banc ne s'accroît pas d'une manière continue par des additions successives d'alluvions, mais que sa masse oscille, depuis 1825, entre certaines limites, tout en étant sujette à des déplacements dans le sens de la plus grande force des courants de flot et de jusant. En tout cas, il semble qu'on n'ait pas à craindre de voir s'exhausser la passe, de 6^m,20 sous basse mer, qui sépare le Binnen Paardemarkt du banc de Wenduyne et qui constitue l'accès vers le Nord de la fosse de Heyst;

7° La fosse de Heyst paraît suivre à l'Ouest les oscillations du Binnen Paardemarkt, et l'on n'y constate aucune tendance continue à l'exhaussement. Du côté de l'Est, cette fosse tend au contraire à se développer jusqu'au delà du Sluissche Gat et à séparer le banc de Binnen Paardemarkt de la côte de Cadzand.

Comme conséquences pratiques de cette étude, l'auteur signale avec une grande perspicacité les points suivants :

La rade de Nieuport est de beaucoup la meilleure du littoral belge. Sans être aussi bien couverte par les bancs que la rade de Dunkerque, elle peut lui être comparée pour la bonne tenue de l'ancrage et la sécurité relative contre les lames; celles-ci n'y arrivent que considérablement atténuées par leur passage sur les deux ou trois lignes de bancs élevés qui la séparent des fonds du large. M. De Mey rappelle que, jusqu'en 1864, la rade de Dunkerque était pour ainsi dire inconnue des navigateurs; c'est seulement après que les passes en eurent été balisées et éclairées de 1864 à 1868, que les navires s'habituerent à la fréquenter, et les marins la tiennent aujourd'hui pour au moins aussi bonne que la rade des Dunes. Un bon système d'éclairage et de balisage pourrait de même faire rendre par la rade de Nieuport de très précieux services à la grande navigation.

Les deux rades qui s'étendent devant Ostende sont loin d'offrir les mêmes qualités de tenue et d'abri. Il faut les considérer surtout au point de vue de l'accès du port d'Ostende. Or, les grands navires ne peuvent actuellement arriver à Ostende qu'en passant par dessus la pointe Ouest du Stroombank. La tendance à approfondissement que M. De Mey a constatée de ce côté est éminemment favorable au port d'Ostende. La tendance à l'envasement de la partie Est de la petite rade constitue un danger qui, à raison de la lenteur relative de l'exhaussement, ne deviendra pas menaçant avant longtemps. En tous cas, la situation des fonds avoisinants limite à 5^m,50 ou 6 mètres sous marée basse la profondeur qu'il y a lieu de se proposer comme limite maximum dans un projet d'amélioration du port d'Ostende.

La rade de Blankenberghe est trop peu couverte pour qu'on puisse songer à l'utiliser.

Il n'en est pas de même de la fosse de Heyst, qui offre 8 à 10 mètres de profondeur sur 450 mètres de largeur moyenne, qui communique avec le large par une passe de 6^m,20 et qui est couverte, dans une certaine mesure, par le Binnen Paardemarkt. Ces conditions naturelles sont insuffisantes à en faire une rade proprement dite ou même le chenal d'accès d'un port de grande profondeur; mais, vu la fixité des fonds, vu le régime particulièrement

favorable des courants de marée, on pourrait songer, sans être taxé d'utopie, à utiliser cette fosse comme chenal d'accès d'un port de 6 mètres à 6^m,50 de profondeur sous basse mer.

Plages. — L'étude que M. De Mey a faite du régime des plages n'est pas moins remarquable ni moins féconde que celle des fonds sous-marins. Elle met notamment en lumière les différences profondes qui existent entre le régime de la côte de la Flandre française et celui de la Flandre belge.

Le long de la côte française jusqu'à Dunkerque l'estran est généralement très développé. Il présente à la pointe de Walde (entre Calais et Gravelines), de même que dans le voisinage ouest des ports et des anciens chenaux, une zone inférieure de 350 à 500 mètres de largeur, s'arrêtant au niveau des hautes mers de morte eau, et une zone supérieure, en pente beaucoup plus douce, de 800 à 1000 mètres de largeur, terminée par la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires.

La plage est beaucoup moins large entre Dunkerque et Nieuport. Elle mesure de 350 à 450 mètres et n'atteint qu'exceptionnellement 500 mètres; l'inclinaison en est à peu près uniforme jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires qui se tient à une trentaine de mètres en moyenne du pied des dunes.

A l'Est de Nieuport, la largeur de la plage, d'abord de 350 mètres, diminue à mesure qu'on approche d'Ostende, pour augmenter de nouveau légèrement au delà de ce port. Mais à partir de la pointe de Wenduyn jusqu'au village de Heyst, l'estran n'offre plus que 230 mètres de largeur moyenne, et la laisse des hautes mers de vive eau ordinaire y longe le pied des dunes: aussi celles-ci ont-elles dû être protégées en divers endroits par des travaux de main d'homme. Enfin, au delà de l'embouchure de l'ancien Zwyn, la plage atteint 600 mètres de largeur environ et offre beaucoup d'analogie avec les plages françaises à l'Ouest de Dunkerque et de Gravelines.

Ces plages françaises entre Dunkerque et la pointe de Walde, ont une tendance à s'engraisser, d'une part à cause du régime des écoulements d'eau douce des ports de Dunkerque et de Gravelines et du régime des courants de marée, d'autre part à cause de l'abri constitué par les bancs contre les grosses lames de tempête. Les eaux limoneuses, provenant du dessèchement du pays wattringé, ne peuvent s'écouler, en raison du niveau auquel elles se trouvent dans l'intérieur du pays, qu'à partir de mi-marée baissante; le courant de jusant les entraîne dans l'Ouest du port; au moment de l'étale de jusant, le courant de marée, portant à la côte, y pousse les eaux limoneuses qui se trouvent alors dans la partie Ouest de la rade de Dunkerque ou à l'Ouest de Gravelines; les plages à l'Ouest de ces ports sont donc constituées par du sable plus ou moins mélangé de vase, par suite ayant plus de compacité et moins de mobilité sous l'eau. C'est ainsi que ces plages s'engraissent peu à peu en opposant une résistance relative à l'érosion des courants de marée longitudinaux, surtout aux environs des jetées qui éloignent ces courants de la côte; et elles s'engraissent d'autant plus que les lames ordinaires y ont relativement peu de force à cause de l'abri de cinq lignes de bancs de sable élevés

qui s'étendent parallèlement à la côte au large de Dunkerque. Dans de telles conditions, on conçoit que tout allongement des jetées doive avoir pour conséquence nécessaire un allongement correspondant de la plage Ouest, ainsi que l'expérience l'a fait constater aussi bien à Dunkerque qu'à Gravelines.

Tout autres sont les conditions des plages belges. M. De Mey constate, par la comparaison des cartes de 1801 et des cartes actuelles, qu'entre Dunkerque et Ostende, la plage n'a pas subi de modifications sérieuses depuis le commencement du siècle. Dans l'Est de Nieuport jusqu'à l'embouchure de l'Escaut, la mer tend plutôt à envahir la côte. Ainsi l'on observe un recul sensible du pied de la dune aux environs de Middelkerke, fait coïncidant avec un approfondissement des fonds sous-marins attenant au rivage de cette partie du littoral.

À Nieuport, les crues de l'Yser constituent une chasse naturelle très efficace. Les eaux écoulées trouvent, à la sortie du port, la rade de Nieuport beaucoup plus large que celle de Dunkerque, et les courants de marée les emportent dans une direction oblique à la côte vers le large : il n'y a aucune tendance à l'envasement des plages voisines, qui sont soumises d'ailleurs pendant les tempêtes à des actions beaucoup plus violentes que celles de Dunkerque à cause du moindre abri des bancs. Aussi, l'étendue des atterrissements existant devant le chenal de Nieuport est beaucoup moindre qu'à Dunkerque ; les fonds de 3 à 4 mètres ne s'y trouvent nulle part à plus de 400 mètres de la tête des jetées, tandis qu'à Dunkerque, avant les dragages considérables exécutés depuis 1875, ils s'éloignaient jusqu'à une distance de 800 mètres de la tête des jetées, dans la direction de ces ouvrages. M. De Mey n'hésite pas à affirmer qu'à Nieuport, vu ces conditions naturelles, on pourrait prolonger notablement les jetées sans avoir à redouter, comme à Dunkerque, un avancement correspondant de la plage.

Il est confirmé dans cette opinion par l'expérience d'Ostende.

L'estran, à l'Est de la digue de mer d'Ostende, présente une largeur d'environ 300 mètres. De l'autre côté du port, au delà du perré attenant au chenal, l'estran mesure 375 mètres de largeur environ. Mais devant la digue de mer, qui se trouve de 160 mètres en saillie sur la ligne générale des dunes et dont le talus est baigné à chaque marée montante, la laisse des basses mers conserve jusqu'au chenal du port la même direction générale que dans les parties Ouest et Est, de sorte que la largeur de l'estran s'y trouve réduite à 180 mètres. Or, il est à noter que cette digue est indiquée sur les plans de la ville, dès 1740, dans une situation peu différente de celle d'aujourd'hui par rapport aux dunes et plages avoisinantes. Ainsi, conclut M. De Mey, se trouve infirmé à Ostende, le principe généralement admis et en vertu duquel tout ouvrage avancé, construit sur une plage de sable, doit nécessairement avoir pour effet de faire avancer, au bout d'un certain temps, la laisse des basses mers d'une quantité au moins égale à la saillie de cet ouvrage sur l'alignement des dunes.

Un autre fait, non moins remarquable, est signalé par M. De Mey, et M. Piens

a fait remarquer à ce propos à ses collègues du jury qu'il avait constaté, de son côté, cette particularité à l'aide d'autres documents que ceux invoqués par l'auteur; c'est qu'il résulte de la comparaison des plans de la petite rade d'Ostende, levés respectivement en 1804 et en 1867, que les prolongements successifs des jetées du port d'Ostende n'ont provoqué aucune extension de la plage. Les jetées qui existaient en 1804 ont été modifiées à différentes reprises; le dernier prolongement a été exécuté en 1843, et a porté l'extrémité des jetées à 75 mètres au delà de la position qu'occupait en 1804 le musoir de la jetée la plus longue; or, la plage paraît plutôt avoir reculé qu'avancé depuis 1804, et la ligne des basses mers de vive eau ordinaires se tenait en 1880 (avant les dragages) à plus de 50 mètres en arrière des musoirs des jetées.

Le régime de la plage d'Ostende est donc absolument différent de celui de la plage de Dunkerque. Les tempêtes ne trouvent pas, à côté du chenal d'Ostende comme à côté de celui de Dunkerque, d'immenses étendues de sable à piocher et à entraîner dans l'entrée du port; aussi, bien que les lames soient plus violentes à Ostende qu'à Dunkerque, leur action est moins funeste au point de vue de l'ensablement du port. La quantité de sable qui passe devant celui-ci, par suite de l'érosion exercée par les courants de marée sur les réserves de sable avoisinantes, est aussi beaucoup moins considérable à Ostende qu'à Dunkerque et même qu'à Nieuport. Pour tous ces motifs, l'amélioration de l'entrée d'Ostende ne paraissait pas dès 1880, à M. De Mey, devoir offrir de sérieuses difficultés si l'on se décidait à y entreprendre des dragages. S'appuyant, en effet, sur les premiers résultats que donnaient, dès 1878, les dragages entrepris à l'entrée de Dunkerque depuis 1875, sur la proposition et sous la direction de MM. Plocq et Guillain, au moyen de bateaux aspirateurs et porteurs, M. De Mey estimait que l'application de ces procédés à Ostende devait certainement faire atteindre le but.

L'expérience a montré, depuis lors, combien cette vue était juste. Pendant que M. De Mey exprimait ainsi sa confiance dans le résultat qu'on devait obtenir des dragages au large des jetées d'Ostende, l'administration des ponts et chaussées belge se décidait à en faire l'essai (juin 1880). Cet essai ayant montré que les appareils aspirateurs pouvaient convenablement fonctionner dans le sable d'Ostende, les dragages furent définitivement entrepris en 1881. La profondeur sur la barre n'était auparavant que de 2 mètres sous basse mer. Dès le mois de juin 1884, on avait ouvert un chenal présentant des profondeurs de plus de 6 mètres sur une surface largement évasée tant à l'Ouest qu'à l'Est; le volume total dragué pour réaliser cette énorme amélioration était de 615,000^{m³}, et on peut affirmer, d'après les résultats constatés, qu'il suffira dorénavant de draguer 70,000^{m³} environ par an pour conserver les profondeurs obtenues.

L'étude des fonds sous-marins et des plages à laquelle M. De Mey s'est livré n'a donc pas seulement un intérêt scientifique, elle présente un intérêt pratique considérable. C'est en s'appuyant sur les faits constatés par cette étude que M. De Mey a pu donner

une base solide et indiscutable aux projets d'amélioration qu'il a conçus pour chacun des ports de la côte.

Avant d'exposer ces projets, M. De Mey, fidèle à la méthode rationnelle qui caractérise ses travaux, examine, dans le chapitre V de son mémoire, les principales dispositions des ports à marée existants, et les moyens employés ou essayés pour en approfondir l'entrée. C'est ainsi qu'il fait une analyse approfondie de l'établissement et du prolongement des jetées et des effets qu'on en a obtenus dans les différents ports, puis des ouvrages, bassins de retenue et écluses, relatifs aux chasses artificielles, et enfin des divers engins de dragage successivement essayés.

Il expose avec clarté les circonstances en vertu desquelles les prolongements de jetée, nuisibles dans les ports de la côte française, lui paraissent au contraire devoir être efficaces dans les ports de la côte belge pour donner plus de profondeur à l'entrée sans présenter d'inconvénients, du moins tant que ces prolongements ne dépasseront pas certaines limites au delà desquelles ils apporteraient une perturbation sensible au régime des courants littoraux.

Puis il examine les avantages et les inconvénients des chasses, seul procédé qu'on ait eu pendant longtemps à sa disposition, avant la création des nouveaux types, récemment mis en service, de dragues marines susceptibles de travailler sans danger ni gêne dans une mer houleuse. Il établit que les chasses sont surtout utiles pour entretenir la profondeur à l'intérieur du chenal, en le préservant des dépôts de vase et de vase sableuse apportés par la mer, et aussi à l'entretien de l'entrée des ports de nos côtes, tant que les besoins du commerce maritime n'exigeaient pas plus de 2 ou 3 mètres de profondeur au-dessous de la basse mer. Pour les profondeurs supérieures, il est nécessaire, suivant lui, d'adjoindre à l'effet des chasses existantes, celui des dragages ; et l'expérience qui en a été faite depuis 1880 a prouvé, comme nous l'avons montré plus haut, qu'il avait parfaitement raison.

Au sujet des dragages, il passe en revue les divers systèmes de dragues employés jusqu'à ce jour. Il décrit les dragues à godets, qui, dans les estuaires ou fleuves maritimes soustraits à l'action de la houle, comme la Clyde, ou dans des avant-ports couverts par des digues comme à l'embouchure de la Tyne, ont donné et donnent encore des résultats remarquables, mais qui sont absolument impuissantes à travailler dans plus de 0^m30 de houle, et dont, par suite, l'emploi pour les dragages en mer ouverte n'est plus pratique lorsque le travail doit être presque continu, en toute saison, et lorsque les volumes à draguer dans ces conditions sont considérables. Après avoir montré que pour ces dragages en mer ouverte, ni les dragues à godets, ni les dragues à cuillers ou à machoires ne sont pratiques, au moins dans nos parages, il aborde l'étude des dragues dites hydrauliques ou aspiratrices. Dans ces dragues, l'organe essentiel est une pompe centrifuge qui, par l'intermédiaire d'un tuyau élastique posant sur le fond par un suçoir, aspire un mélange d'eau et de sable et le verse dans des

puits à clapets ; le sable s'y décante, tandis que l'eau, plus ou moins purgée de sable, retombe à la mer par dessus le bord.

Les premiers essais des appareils de ce genre sont restés imparfaits, tant qu'on a conservé séparés le bateau portant la pompe et le bateau à clapets recevant les déblais : une houle d'une trentaine de centimètres suffit en effet pour rendre dangereux les chocs des deux bateaux accostés. Le problème du dragage en mer ouverte à l'entrée des ports n'a été résolu que le jour où l'on a construit un bateau à la fois aspirateur, porteur et automoteur, contenant dans la même coque la pompe à sable et les puits à clapets destinés à recevoir les déblais et se déplaçant lui-même par son hélice pour aller à la décharge. Alors on a pu draguer aisément dans une houle de 0^m,60 à 0^m,80, travailler par suite pendant presque toute l'année à l'entrée des ports de nos côtes sans y gêner la navigation, et produire, moyennant une dépense relativement modérée, un volume de déblais considérable, supérieur à celui que tendaient à rejeter sur le lieu du travail les courants de marée, les tempêtes et l'éboulement des plages et des fonds sous-marins voisins. C'est ce type d'engin de dragage qui, mis en service d'abord à Dunkerque à partir de la fin de 1875, et presque simultanément à Hoek van Holland (à l'entrée de la nouvelle Meuse), a produit, depuis l'époque où M. De Mey en prévoyait, dans son mémoire, les futurs succès, une véritable transformation des conditions d'accès de Dunkerque, Calais, Boulogne et Ostende.

Après avoir passé en revue (chapitre VI) les résultats obtenus dans les ports de Calais, Gravelines, Dunkerque, Nieuport, Ostende et Blankenberghe, au moyen des jetées et chasses, et avoir cité les premiers résultats que commençaient à donner en 1880 les dragages de Dunkerque, M. De Mey passe à l'exposé des projets qu'il a conçus pour l'amélioration des ports belges de Nieuport, Ostende et Blankenberghe (chapitre VII).

Nieuport. — Nieuport présente, à ses yeux, des avantages naturels remarquables : d'abord, une rade relativement bonne, avec des passes profondes qu'il suffirait d'éclairer et de baliser pour les rendre commodés pour la grande navigation ; puis, l'abondance des eaux de l'Yser, qui, en temps de crue, donnent de puissantes chasses naturelles ; en troisième lieu, de très grandes facilités de construction pour l'établissement de grands bassins dans les terrains bas qui s'étendent de chaque côté du chenal de l'Yser ; enfin, l'existence de canaux constituant des communications très bien établies avec le réseau des voies navigables de la Belgique et du nord de la France.

Le projet d'amélioration de M. De Mey comprend deux parties :

1° Des ouvrages d'exploitation, constitués par un ensemble de bassins à flot, susceptible d'être réalisé par portions successives au fur et à mesure des développements du commerce ; ces ouvrages sont tracés avec un sentiment très juste des convenances de l'exploitation, aussi bien pour ce qui concerne les manœuvres des navires que pour ce qui est relatif au service des chemins de fer et à celui des bateaux de la navigation intérieure ;

2° Les ouvrages relatifs au chenal d'accès et à l'entretien de ses profondeurs.

M. De Mey proposerait de remplacer les jetées actuelles de Nieuport par deux jetées nouvelles, s'avancant jusqu'aux fonds de 4 mètres environ; ces jetées, plus longues d'environ 500 mètres que les jetées actuelles, seraient tracées parallèlement, suivant l'orientation actuelle, et laisseraient entre elles un intervalle de 120 mètres. Pour diminuer les chances d'ensablement de l'entrée, on restreindrait l'étendue des plages actuelles au moyen de digues établies à environ 200 mètres en avant des dunes. M. De Mey estime qu'en raison du régime spécial des atterrages de Nieuport, et par comparaison avec Ostende, le prolongement des jetées, complété par la diminution de largeur de l'estran, n'aurait pas pour effet corrélatif un reculement sensible de la laisse de basse mer vers le large. Sans vouloir se prononcer absolument sur cette question délicate, le jury n'hésite cependant pas à trouver plausibles les déductions de M. De Mey.

L'avant-port, placé à l'entrée des bassins à flot, s'ouvrirait à l'Ouest et au fond du chenal. En amont de l'entrée de cet avant-port, se trouveraient, en prolongement du chenal, un canal d'évacuation des eaux supérieures et deux bassins de retenue avec écluse de chasse, placés l'un à l'Est, l'autre à l'Ouest de ce canal d'évacuation. L'auteur indique aussi certaines dispositions complémentaires qui permettraient de faire servir, à l'époque des sécheresses, le canal d'évacuation comme troisième bassin de retenue, tandis qu'à l'époque des grandes crues, les deux bassins latéraux seraient utilisés comme réservoirs d'emménagement pour les eaux de l'Yser pendant que la marée les empêche de s'écouler à la mer. Les chasses projetées auraient une puissance assez grande pour être capables, à elles seules, de combattre les envasements à l'intérieur du chenal, creusé à 4 mètres sous mer basse. Si elles ne suffisaient pas pour entretenir cette même profondeur à l'entrée, on suppléerait à leur insuffisance par des dragages.

Ce projet paraît bien conçu en général, et si un jour le mouvement commercial de Nieuport tendait à se développer et pouvait justifier d'importantes installations maritimes, l'étude de M. De Mey serait un point de départ très utile pour les projets d'amélioration du port.

Ostende. — Le régime de la plage d'Ostende rassure complètement M. De Mey au sujet des conséquences d'un prolongement des jetées. L'expérience du passé paraît devoir lui donner raison. Il conseille de conduire les jetées jusqu'aux fonds de 4 mètres — ce qui les allongerait d'environ 250 mètres — et de creuser tout le chenal à cette côte. Les nouvelles jetées, tracées parallèlement suivant l'orientation actuelle, laisseraient entre elles un chenal de 120 mètres de largeur. M. De Mey trouve à leur allongement deux avantages : une meilleure protection assurée à l'entrée contre l'envahissement brusque du sable soulevé sur la plage par les tempêtes, et plus de facilités données aux navires pour amortir leur aire avant d'arriver à l'entrée de l'avant-port. L'auteur donne en outre un excès de longueur, suivant une direction Nord-Ouest, à la jetée au vent. Il estime, au moins en ce qui concerne les ports de la côte belge, que cette disposition est avantageuse tant pour l'entrée que pour la sortie des bâtiments.

Les apports de sable et de vase dans l'avant-port et le chenal seraient combattus au moyen des trois étages de chasses dont on dispose actuellement, renforcés par un quatrième étage au moyen d'aqueducs à ménager dans les bajoyers d'une nouvelle écluse d'entrée des bassins, projetée par M. l'ingénieur Symon.

M. De Mey constate que si l'action de ces chasses n'était pas assez intense pour empêcher un exhaussement du fond au delà de la tête des jetées, on pourrait augmenter la puissance de l'étage aval des chasses en agrandissant le bassin de retenue de l'écluse Léopold. Mais il est d'avis que, si les chasses sont assez puissantes pour entretenir le chenal intérieur et sont seulement insuffisantes pour conserver la profondeur de l'entrée, il y a en général économie à recourir aux dragages.

Le jury reconnaît que, en énonçant ces opinions en 1880, M. De Mey montrait une prudence louable. On n'avait pas encore pu se rendre compte, à cette époque, du prix de revient du fonctionnement continu des dragues aspiratrices. Ce prix de revient a tellement diminué aujourd'hui qu'on peut se demander si le coût du dragage n'est pas inférieur aux frais d'amortissement, d'intérêt, d'entretien et de fonctionnement des ouvrages supplémentaires de chasse, non seulement quand il s'agit de la passe extérieure, mais encore quand on a en vue simplement un approfondissement du chenal compris entre les jetées, ou tout au moins de la partie de ce chenal que n'atteignent pas les alluvions vaseuses du port intérieur. Quoi qu'il en soit, l'expérience n'avait pas encore donné en 1880 les résultats qu'on a pu constater depuis cette époque. Aussi, le jury n'entend nullement faire un reproche à M. De Mey d'avoir limité à la passe d'entrée le domaine des dragages; il lui sait gré seulement d'avoir eu longtemps à l'avance une vue très nette des améliorations que ce procédé devait apporter à l'entrée d'Ostende, alors qu'aucun des éminents ingénieurs dont les mémoires sont en compétition avec le sien dans le présent concours, n'a eu la même perspicacité.

Avant de quitter Ostende, M. De Mey examine et critique les projets qui ont été agités pour l'établissement sur le Stroombank d'une digue qui couvrirait la petite rade. Le jury a déjà exposé, à l'occasion du mémoire de M. de Maere qui préconisait cette idée, les critiques très justes de M. De Mey et les motifs très bien fondés qui lui font rejeter un tel projet comme inefficace, inutile même au point de vue nautique et comme susceptible d'accélérer l'envasement de la petite rade.

Blankenberghe. — Le petit port de pêche de Blankenberghe est le seul qui se trouve sur la côte belge entre Ostende et l'Escaut. M. De Mey indique les extensions que pourrait recevoir à peu de frais son système de chasses pour en rendre l'entrée plus profonde et pour refouler hors du bassin d'échouage les vases qui s'y accumulent abondamment aujourd'hui, en l'absence de tout mode de curage. Le port permettrait alors l'entrée, à toutes les hautes mers, aux petits navires ayant jusqu'à 4 mètres de tirant d'eau.

Heyst. — Enfin, l'auteur, après avoir décrit (chapitre VIII) les principaux ports en eau profonde, Boulogne, Nieuwediep, Ymuiden, Douvres, Kingstown, après avoir

fait une étude approfondie des circonstances naturelles qui caractérisent le régime de chacun de ces ports et avoir analysé avec une grande perspicacité les conditions déterminantes du succès ou de l'insuccès des ouvrages exécutés, aborde l'examen du projet d'un nouveau port qu'on pourrait créer à Heyst.

La côte de Heyst présente ce caractère particulier d'avoir un estran fort amaigri dont l'inclinaison est plus prononcée qu'en aucun autre point du littoral des Flandres. Devant cette côte, s'étend une fosse présentant des fonds de 7 mètres à 7^m,50, que le banc du Binnen Paardemarkt, situé à 2 kilomètres environ de distance du rivage, sépare des bas-fonds du Wielingen. Cette fosse communique avec le Wielingen et par suite avec le large par une dépression, présentant au maximum des profondeurs de 6^m,20, située entre l'extrémité ouest du Binnen Paardemarkt et le banc de Wenduïne. Vu ces conditions d'accès, M. De Mey fait remarquer avec raison que le port qu'on pourrait établir à Heyst ne serait pas à proprement parler un port en eau profonde, puisqu'il ne serait accessible à marée basse qu'à des navires d'au plus 5 mètres à 5^m,75 de tirant d'eau. Les navires calant 7 mètres ne pourraient se diriger vers l'entrée du port que pendant 4 heures environ en moyenne par marée.

Nonobstant cette observation, M. De Mey estime que les conditions d'accessibilité de la fosse de Heyst, sans être excellentes, ne sont pas de nature à exclure la création d'un port de premier ordre sur cette côte, et il examine le projet qui a été présenté à ce sujet par M. de Maere. Le jury s'est déjà occupé plus haut de ce projet, consistant essentiellement dans la création d'un vaste avant-port de 60 hectares compris dans une enceinte de jetées pleines, qui s'avanceraient jusque dans les fonds de 7^m,50 à 800 mètres du rivage; l'enceinte aurait en plan une forme trapézoïdale, la grande base appuyée au rivage ayant 1,000 mètres environ de largeur, et la passe comprise entre les musoirs des jetées ayant une largeur de 300 mètres.

M. De Mey reconnaît qu'en raison du régime de la plage et des fonds sous-marins de Heyst, les ensablements ne seront jamais très considérables, mais il estime qu'à cause de la grande quantité de limon que charrient les eaux de la mer, il y a lieu de redouter un ensablement rapide de l'enceinte abritée par les digues. Il base cette opinion sur les faits constatés dans les ports de la côte de Belgique et aussi à Ymuiden, ainsi que sur les conditions locales qui caractérisent l'atterrage de Heyst; il arrive à évaluer l'épaisseur probable de l'ensablement à 1^m,25 par an. Pour éviter le danger de l'ensablement, M. De Mey propose une solution toute différente de celle de M. de Maere.

D'après son projet, le chenal du port serait compris entre deux jetées parallèles, distantes de 180 mètres, orientées au N. O. 1/4 N. comme celles des autres ports de la côte, et s'avancant jusqu'aux fonds de 6^m,50 qui, sur ce point, se trouvent à 650 mètres environ du pied de la dune. De chaque côté du chenal s'ouvrirait un grand brise-lames destiné à favoriser l'épanouissement des lames. La profondeur de 6^m,50 est parfaitement suffisante; il est inutile de songer à donner à l'entrée des jetées une profondeur

de 7^m,50, alors que les navires, avant d'arriver à cette entrée, sont obligés de passer, entre le Binnen Paardemarkt et le banc de Wenduïne sur des fonds de 6^m,20 où la levée de la houle est toujours notablement plus forte que dans la fosse de Heyst, abritée par le Binnen Paardemarkt.

Les navires de 7 mètres de tirant d'eau pourraient entrer dans le chenal ainsi organisé pendant 4 ou 5 heures par marée, même avec une mer houleuse.

Les deux jetées seraient constituées : 1^o par une jetée basse pleine, arasée parallèlement au niveau de la plage et à 1 mètre environ au-dessus de ce niveau; 2^o par une jetée à claire voie en charpente, surmontant la jetée pleine.

A l'intérieur des jetées, le chenal serait creusé à une profondeur d'environ 6 mètres.

Afin de donner aux navires un espace suffisant pour amortir leur aïre, le chenal et l'avant-port auraient une longueur totale de 1800 mètres depuis les musoirs d'entrée jusqu'aux écluses à sas donnant accès à un canal maritime à créer entre Heyst et Bruges; c'est sur les rives et à l'extrémité de ce canal maritime que seraient établis les ouvrages d'exploitation. Les écluses à sas, et l'avant-port qui les précéderait, seraient orientés à peu près au N. N. E., faisant ainsi avec le chenal un angle obtus, favorable à l'arrêt des navires. L'avant-port aurait 450 mètres de longueur et 220 mètres de largeur.

Au fond et en prolongement de l'axe du chenal, s'ouvrirait une grande écluse de chasse, formant sortie d'un bassin de chasse de 90 hectares.

On voit que M. De Mey a réduit au minimum compatible avec les commodités de la navigation, la superficie et la largeur du port à marée, susceptible de s'envaser. Les jetées à claire voie, tout en protégeant suffisamment le port contre la houle, laisseraient cependant pénétrer un clapotis propre à atténuer le dépôt du limon. M. De Mey compte sur les dragages pour assurer l'enlèvement des ensablements qui se formeraient à l'entrée du port. Mais il réserve aux chasses seules le soin d'entretenir la profondeur à l'intérieur du chenal. L'auteur considère comme préférable l'emploi de ce moyen parce que sous l'action des chasses puissantes et fonctionnant régulièrement, les vases et les sables vaseux seraient sans peine rejetés hors du chenal et que celui-ci ne devrait pas être encombré par des dragues. Il ajoute enfin que les ouvrages de chasse une fois établis, les frais de fonctionnement en sont peu importants, condition qu'il considère comme avantageuse pour un port tout entier à créer et dont le commerce peut tarder à apprécier les avantages.

Le jury, sans vouloir prendre parti dans la question de savoir si l'envasement probable du port proposé pour Heyst serait aussi considérable que l'admet M. De Mey, estime cependant qu'à ce point de vue la solution avec chenal d'accès préconisée par cet auteur est plus rationnelle et mérite d'être préférée à celle avec enceinte abritée par des môles.

Conclusions. — Résumant son opinion sur le mémoire de M. De Mey, le jury

constate que l'auteur a fait preuve, non seulement d'une science très étendue et d'une grande profondeur de vue dans l'étude du régime des côtes, mais encore d'un esprit très pratique et d'une prudence très louable dans les solutions qu'il préconise pour l'amélioration des ports. Si ce mémoire ne contient pas beaucoup de suggestions absolument nouvelles, le jury ne croit pas devoir lui en faire un reproche; il vaut mieux, à ses yeux, dans une question aussi difficile et aussi complexe que celle soumise au concours, s'en tenir aux données positives qui résultent de la science et des faits acquis, que de s'aventurer dans des conceptions téméraires. Il y a lieu de remarquer d'ailleurs que quelques-unes des solutions recommandées par l'auteur étaient nouvelles en 1880, quand il les présentait, et se sont trouvées justifiées depuis lors par la pratique.

Aucun des mémoires présentés au concours ne réunit un tel ensemble de qualités; aucun d'eux ne présente ni au point de vue scientifique ni au point de vue pratique une valeur égale.

En conséquence, le jury a attribué le prix du Roi à M. De Mey. Cette décision a été adoptée à l'unanimité moins une voix.

G. ROLIN-JAEQUEMYS, J. ABERNETHY, GEORGES LYSTER,
A. MICHEL, E. PIENS, GUILLAIN, rapporteur⁽¹⁾.

(¹) M. Dirks, membre du jury, est malheureusement décédé en décembre 1886, avant que le présent rapport ait pu être soumis à l'approbation et à la signature de notre éminent et regretté collègue.

TABLE DES MATIÈRES.

PRÉFACE	Pages. V
-------------------	-------------

PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE I.

Des mouvements de la mer.

I. — <i>Courants généraux de l'océan</i>	1
Causes des courants généraux de l'océan. — Le Gulfstream. — Courant de Rennell.	
§ II. — <i>De la marée et des courants de marée</i>	3
Phénomène de la marée. — Propagation des ondes marées. — Théorie de Whewell. — Naissance d'une intumescence-mère dans chaque bassin océanique. — Ondes dérivées. — Marées des mers intérieures. — Caractères propres aux ondes marées; transmission de leur mouvement vers le fond de la mer; vitesse de propagation. — Courbes cotidales. — Etablissement d'un port. — Amplitude des marées; unité de hauteur; coefficients de la marée. — Courbes de marée. — Niveaux moyens des mers. — Courants de marée; caractères distinctifs de ces courants. — Courants de flot et de jusant; étales. — Vitesse des courants de marée; son rapport avec la vitesse de propagation des ondes; influence de la profondeur de la mer. — Considérations sur la cause déterminante des courants de marée.	
§ III. — <i>Du régime des courants de marée dans la Manche, le Pas de Calais et la mer du Nord</i>	20
Interférence des deux ondes déterminant le régime des marées dans les mers précitées. — Opinion de M. Keller: deux ondes opposées et inégales. — Opinion émise avant M. Keller par M. Monnier: propagation d'une seule onde. — Phénomènes distinctifs de l'interférence de deux ondes opposées égales. — Régime intermédiaire entre le régime propre à l'interférence de deux ondes opposées égales et celui propre à la propagation d'une seule onde. — Importance relative de l'onde de l'ouest et de l'onde du nord. — Lois locales énoncées par M. Keller; courants alternatifs du large; courants giratoires du large; courants giratoires des zones littorales. — Causes déterminantes des courants giratoires. — Etablissement du port et hauteur moyenne des marées de syzygies en divers points des côtes de la Manche et de la mer du Nord.	
§ IV. — <i>Des courants de marée observés dans les parages compris entre le détroit du Pas de Calais et les bancs des Flandres et de la Tamise</i>	28
Retard des étales des courants sur les hautes et basses mers au rivage; direction, vitesse et durée relative des courants. — Observations devant Calais, Boulogne et Dunkerque.	
§ V. — <i>Des courants de marée observés le long de la côte de Belgique</i>	30
Caractères principaux des courants à l'intérieur des bancs des Flandres. — Observations de M. Stessels et de M. Petit. — Données relatives aux courants de flot et de jusant devant Nieuport, Ostende, Heyst et Knocke.	

	Pages.
§ VI. — <i>Du mouvement de la marée le long de la côte des Flandres</i>	34
Courbes de marées moyennes observées à Ostende. — Marégraphe. — Niveau moyen de la mer à Ostende. — Médimarémètre; concordance des déterminations obtenues avec cet instrument et avec le marégraphe. — Niveau moyen de la mer à Ostende comparé à celui observé à Marseille, à l'Amsterdamsche Peil et au Normal-Null. — Courbes de marée et progression de la haute mer le long de la côte des Flandres. — Influence des vents. — Plus hautes mers connues.	
§ VII. — <i>Des courants de marée à l'embouchure de l'Escaut. — Propagation de la marée à l'intérieur du fleuve</i>	37
Régime des courants de marée dans les passes de l'embouchure. — Des ondes marées fluviales; caractères et mode de propagation de ces ondes; courants auxquels elles donnent lieu. — Mascaret. — Propagation de l'onde marée dans l'Escaut et ses affluents. — Données relatives à la marée en divers points du fleuve; courbes de marée.	
§ VIII. — <i>Des courants de marée dans l'Escaut</i>	46
Principaux caractères des courants de flot et de jusant. — Vitesse des courants à la surface; observations de M. Stessels. — Distribution des vitesses des courants à différentes profondeurs; expériences sur quelques grands fleuves; expériences de M. Petit sur les courants de l'Escaut. — Vitesses moyennes du flot et du jusant. — Vitesse du flot par rapport à la vitesse de propagation de l'onde. — Limite de la partie maritime du fleuve. — Volumes des eaux de marée de l'Escaut. — Débit des eaux d'amont; conditions d'écoulement de ces eaux à la mer.	
§ IX. — <i>Des vagues</i>	54
Caractères principaux du mouvement des vagues. — La houle. — Forme de la surface libre et dimensions des vagues. — Propagation de la houle. — Durée d'oscillation des grandes vagues. — Transports de masse des vagues; opinions de M. Cialdi, de M. de Tesson et de M. Brighanti. — Constitution des vagues, théorie du siphonnement; théorie du mouvement orbitaire. — Clapotis. — Profondeur de l'agitation. — Théorie de M. Cornaglia sur les flots de fond; opinion du Colonel Emy. — Vagues de gros temps devant la côte des Flandres; effets produits sur les matières du fond. — Propagation des vagues au-dessus des plages; leur action sur celles-ci. — Force des vagues; expériences de M. Stewenson. — Ressacs; lames de réflexion.	

CHAPITRE II.

Des côtes et du fond de la Manche, du Pas de Calais et de la mer du Nord.
— Marche des alluvions.

§ I. — <i>Caractères généraux des côtes de la Manche, du Pas de Calais et de la mer du Nord</i>	67
Côtes rocheuses et côtes basses. — Description des côtes de la Manche et de la mer du Nord. — Conformité existant entre le littoral de Douvres et celui de Calais.	
§ II. — <i>Caractères généraux du fond de la Manche, du Pas de Calais et de la mer du Nord</i>	70
Profondeurs. — Origine et composition des dépôts marins. — Bancs et passes.	
§ III. — <i>Considérations générales sur la marche des alluvions</i>	74
Action des courants et des vagues. — Erosions des côtes. — Cordons littoraux. — Galets. — Rivages sablonneux. — Ensablement et envasement des baies et des lagunes. — Fjords. — Formation et fixation des dunes. — Apports alluvionnaires des fleuves; conditions dans lesquelles ils sont transportés vers la mer. — Vitesses nécessaires pour corroder le fond des cours d'eau. — Deltas et estuaires. — Répartition des dépôts actuels de la mer.	
§ IV. — <i>Erosions des côtes de la Manche. — Marche des alluvions dans la Manche, le Pas de Calais et la partie méridionale de la mer du Nord</i>	82
Côtes de la Bretagne et du Cornouailles. — Cotentin. — Baie St-Michel. — Calvados et Seine Inférieure. — Côte sud d'Angleterre. — Evaluation de l'épaisseur des érosions des falaises. — Opinions de M. Bouniceau, de M. Lamblardie et de M. Lennier. — Mouvement du galet. — Pointe du Hourdel; Chesilbank; pointe de Dungeness. — Production et durée du galet. — Gravières et sables. — Transports des sables et des vases sous l'action des courants de marée; différence essentielle à établir. — Influence des vents. — Gain de flot. — Transports opérés	

par les courants giratoires. — Dépôts de vase et de sable vasard le long de la côte des Flandres. — Importance relative des apports fluviaux. — Mouvement du sable des plages provoqué par les courants et les lames; effets des vagues de tempête. — Action directe du vent. — Dépôts de vase.

CHAPITRE III.

Situation hydrographique de la côte des Flandres depuis Calais jusqu'à la frontière Néerlandaise. — Estuaire de l'Escaut et partie maritime de ce fleuve jusqu'à Anvers.

§ I. — Régime des plages	94
Aspect général de la côte. — Situation primitive. — Description des dunes et des digues.	
§ II. — Des bancs et des passes de la côte des Flandres, depuis Calais jusqu'à Blankenberghe. — Conditions d'accessibilité des ports de ce littoral.	102
Atterrages de Calais et de Gravelines; bancs. — Rade de Dunkerque; qualités nautiques. — Bancs situés dans le nord de Nieuport et d'Ostende. — Rade de Nieuport. — Rades d'Ostende; conditions d'accès du port d'Ostende. — Atterrage de Blankenberghe.	
§ III. — L'Escaut et son estuaire	114
Description du fleuve. — Changements que le fleuve a subis depuis l'époque de la domination Romaine; ravages occasionnés par les grandes inondations mentionnées dans l'histoire. — Situation actuelle des bancs et des passes de l'embouchure; conditions de navigabilité.	
§ IV. — Escaut Occidental	121
Aperçu hydrographique. — Passes navigables du fleuve depuis Flessingue jusqu'à Anvers.	

CHAPITRE IV.

Régime des fonds sous-marins, situés devant la côte des Flandres.

<i>Diverses reconnaissances hydrographiques relatives à la côte des Flandres</i>		129
§ I. — Région comprise entre Calais et la frontière de Belgique.		131
Reconnaissance hydrographique de la côte nord de France de 1861; rapport de M. de la Roche-Poncié. — Reconnaissance de l'atterrage de Dunkerque de 1879. — Résumé.		
§ II. — Rade de Nieuport et fonds environnants		133
Carte de 1776 et reconnaissances hydrographiques depuis 1801; changements constatés. — Résumé.		
§ III. — Rade d'Ostende et fonds environnants		139
Reconnaissances hydrographiques depuis 1801. — Stroombank et petite rade; mouvement des sables du Stroombank; envasement de la petite rade. — Causes déterminantes de ces modifications. — Conclusions générales concernant le régime des bancs et des passes de la côte des Flandres.		
§ IV. — Estuaire de l'Escaut et côte de Heyst		144
Reconnaissances hydrographiques depuis 1799. — Modifications survenues dans les passes de l'Oostgat, du Deurloo, du Spleet et du Wielingen, ainsi que dans les bancs limitant ces passes. — Binnen Paardemarkt, Het Zand et fosse de Heyst. — Régime de l'atterrage de Heyst. — Résumé. — Conclusions concernant le régime de l'estuaire de l'Escaut et la formation des alluvions à l'embouchure des fleuves en général.		
§ V. — Plages et dunes de la côte des Flandres		158
Caractères particuliers des plages et des dunes. — Situation primitive. — Action envahissante de la mer le long de la côte de Blankenberghe. — Digue du Comte Jean. — Erosions des dunes entre Ostende et Wenduine et devant Knocke. — Conditions de sécurité actuelles du littoral.		

CHAPITRE V.

L'Escaut maritime.

	Pages.
§ I. — <i>Régime du lit du fleuve.</i>	165
Reconnaitances hydrographiques du fleuve, de Flessingue à Anvers, faites depuis 1800. — Changements survenus dans les passes et les bancs.	
§ II. — <i>De l'origine et de la marche des alluvions</i>	170
Causes principales des transports d'alluvions dans les fleuves à marée. — Débit solide d'amont de l'Escaut. — Régime des marées de l'Escaut, envisagé au point de vue de son influence sur les mouvements d'alluvions. — Transport des matières vaseuses. — Débit solide d'aval. — Débit solide local correspondant à la corrosion et à l'affouillement des rives. — Loi dite « sinusoidale ». — Conditions dans lesquelles se sont produits les changements survenus dans les passes et les fausses passes de l'Escaut. — Barrages de l'Escaut Occidental et du Sloe. — Débâcles des glaces. — Conclusions générales; meilleure voie à suivre pour assurer le bon maintien des passes navigables de l'Escaut.	

SECONDE PARTIE.

CHAPITRE VI.

Amélioration des ports à marée établis en plage de sable. — Considérations générales.

§ I. — <i>Disposition du chenal d'entrée.</i>	183
Chenal des ports à marée. — Jetées à claire-voie en bois; digues basses; encoffrements. — Nouvelle jetée ouest d'Ostende. — Emploi du bois de greenheart. — Conditions créées pour le chenal par des jetées à claire-voie. — Nouvelle jetée Est de Dunkerque. — Jetées à claire-voie en maçonnerie. — Jetées à claire-voie métalliques; exemples de Dieppe et de Bayonne. — Orientation, longueur et disposition des jetées. — Brise-lames ou criques d'épanouissement. — Dispositions et dimensions du chenal.	
§ II. — <i>Des moyens en usage pour l'entretien des profondeurs dans les ports à marée.</i>	194
Ensablements; actions auxquelles ils sont dus. — Projets de ports avec entrée débouchant en dehors des zones littorales; cas particulier de la côte des Flandres. — Projets d'amélioration des rades de Nieuport et d'Ostende. — Dispositifs particuliers proposés en vue de prévenir l'ensablement des ports: projet de M. A. Caland pour un port à Scheveningue, digue préconisée par M. Knapp, système de M. Cialdi. — Procédés employés pour combattre les ensablements. — Prolongement des jetées. — Chasses: origine des chasses; chasses naturelles; port de lagune à marée de Venise; chasses artificielles. — Impuissance des chasses à vaincre les ensablements. — Des chasses naturelles ou artificielles, utilisées dans le but de prévenir l'envasement de l'avant-port et du chenal intérieur. — Essais divers pour augmenter l'effet des chasses à l'entrée du chenal: guideaux mobiles de Dunkerque, appareils de hersage, appareils à jets d'eau; expériences faites à Nieuport. — Bateaux-herseurs employés au Mississipi. — Chasses fonctionnant aux Canada-Docks et au débarcadère flottant à Liverpool. — Effet produit à l'entrée de certains fleuves par les chasses correspondant au reflux des eaux de marée; exemple de la Tees. — Dispositions à donner aux installations de chasse. — Bassin du port de Honfleur.	
§ III. — <i>Des dragages et de leur application à l'entretien et à l'approfondissement des ports.</i>	216
Principes généralement admis pour l'amélioration des fleuves à marée; endiguements, dragages. — Travaux d'amélioration de la Tyne et de son embouchure. — Travaux d'amélioration de la Clyde. — Travaux d'amélioration de la Meuse jusqu'à Rotterdam; nouveau chenal à la	

mer à travers le Hoek van Holland. — Travaux d'amélioration du Weser. — *Dragues à godets*. — Drague employée aux ports d'Ostende et de Nieuport; transport en mer des déblais par chalands remorqués. — Porteurs à vapeur. — Dragues à godets avec propulseur à hélice, et dragues à godets porteuses; dragues employées au port de Tandjok Priok, à la Clyde, au port d'Auckland et au canal de Manchester. — Considérations sur l'emploi des dragues à godets porteuses. — Prix de revient des déblais exécutés au moyen de dragues à godets; exemples de dragages faits à Ostende, Dunkerque, la Clyde, Belfast, etc. — Dragues à godets avec couloir ou avec tuyaux de refoulement; dispositifs employés au canal maritime de La Loire, au nouveau canal d'Amsterdam et à celui de Terneuzen. — Elévateurs flottants ou fixes; dispositifs employés au canal de Terneuzen et au Weser, drague avec transporteur du canal de Manchester. — Conclusions générales sur la construction et l'emploi des dragues à godets. — *Dragues à cuiller*. — Drague Osgood. — Conditions dans lesquelles ces engins sont d'un emploi avantageux. — *Dragues à mâchoires ou clam shells*. — Drague Morris et Cumings. — Dispositions diverses des caisses à mâchoires; mode de fonctionnement. — Prix de revient des matières draguées. — Drague Priestmans. — *Dragues à aspiration*. — Bateaux-pompes employés à St-Nazaire. — Dragues américaines de Henry Burden et de Newton. — Drague en usage en 1878 au port de Dunkerque. — Drague porteuse « l'Aurore II », du port d'Ostende. — Dragues du même type, à élinde centrale. — Dragues employées au creusement de la barre de la Mersey; nouvelle grande drague mise en usage à ces travaux. — Considérations sur la disposition des pompes et de l'élinde des dragues à aspiration. — Prix de l'unité des matières extraites et transportées; exemples d'Ostende, Nieuport, Dunkerque, Calais, Boulogne, la Mersey. — Avantages des dragues à aspiration employées pour le creusement de passes en plage de sable.

CHAPITRE VII.

Des ports de la côte des Flandres.

- § I. — *Calais, Gravelines, Dunkerque*. 270
Port de Calais. — Description du port. — Passe d'entrée. — Effet des chasses. — Dragages exécutés dans la passe d'entrée; résultats obtenus. — Nouveaux travaux exécutés. — *Port de Gravelines*. — Description du port; situation de la passe d'entrée du chenal. — *Port de Dunkerque*. — Le port de Dunkerque avant 1875. — Passe d'entrée et plages avoisinantes. — Effets des chasses. — Dragages exécutés dans la passe d'entrée depuis 1877; résultats obtenus. — Nouveaux travaux exécutés — Elargissement du chenal.
- § II. — *Nieuport, Ostende, Blankenberghe* 286
Port de Nieuport. — Description du port. — Ecluses du fond du port; évacuation des eaux du bassin de l'Yser. — Passe d'entrée; effets produits par l'évacuation des eaux à travers le chenal. — Dragages exécutés dans la passe d'entrée; résultats obtenus. — Envasements intérieurs. — *Port d'Ostende*. — Description du port. — Passe d'entrée; digue en saillie devant Ostende; caractères particuliers du régime de la plage. — Effet des chasses et des évacuations d'eau. — Dragages exécutés dans la passe d'entrée depuis 1880; résultats obtenus. — Envasements intérieurs. — *Port de Blankenberghe*. — Description du port. — Régime de la plage devant Blankenberghe et Heyst.

CHAPITRE VIII.

Amélioration des ports de la côte de Belgique.

- § I. — *Considérations générales*. 308
Conditions d'accessibilité. — Amélioration des passes d'accès des ports, création de passes nouvelles par dragages. — *Ensalements*. — Moyen de les combattre — Efficacité des dragages. — Endiguement des zones supérieures des plages près du chenal; influence de cet endiguement sur l'efficacité des dragages. — *Envasements intérieurs*. — Atterrages à régime essentiellement vaseux. — Importance des transports de vase le long de la côte des Flandres. — Composition des vases. — Circonstances qui influent sur le degré de rapidité des envasements. — Dispositions à donner au chenal et à l'avant-port. — Chasses artificielles et naturelles. — Dragages.

	Pages
§ II. — <i>Port d'Ostende</i>	317
Situation hydrographique de l'atterrage d'Ostende; Stroombank. — Projets d'endiguement de la petite rade; projet de débarcadère en pleine mer; objections. — Amélioration de l'atterrage d'Ostende; creusement de deux passes à travers le Stroombank. — Passe de l'ouest; travaux de dragages exécutés; résultats obtenus; éclairage de la passe. — Passe d'accès directe. — Passe de l'Est. — Amélioration du port proprement dit: travaux exécutés récemment; projet des nouvelles installations.	
§ III. — <i>Port de Nieuport</i>	334
Situation hydrographique de l'atterrage de Nieuport. — Lignes générales d'un avant-projet d'amélioration de ce port; prolongement des jetées, élargissement du chenal, création de bassins, etc. — Mode d'entretien des profondeurs.	

CHAPITRE IX.

Des rades et des ports en eau profonde.

§ I. — <i>De la navigation moderne</i>	342
Premiers steamers à vapeur. — Paquebots des lignes transatlantiques; dimensions, vitesse, force des machines. — Steamers des lignes de navigation secondaire. — Cargo-boats. — Voiliers; grands voiliers modernes. — Tableaux concernant le nombre et le tonnage des navires de commerce de toute la terre; tonnage moyen des steamers et des voiliers. — Emploi de l'acier dans la construction des navires. — Proportions de longueur, largeur et tirant d'eau des steamers. — Paquebots à roues destinés aux lignes reliant les ports à marée. — Du tirant d'eau des grands transatlantiques et des navires de commerce en général.	
§ II. — <i>De la profondeur des principaux ports de commerce existants</i>	352
<i>New-York</i> . — Situation du port et de ses passes avant 1884. — Approfondissement par dragage des passes de Gedney et du Main. — Enlèvement des rochers dangereux de l'entrée nord-est. — <i>Liverpool</i> . — La Mersey et son estuaire; régime des bancs et des passes; formation de la barre. — Dragages exécutés depuis 1890 pour le creusement de la barre de la Mersey; résultats obtenus. — Conditions d'accès des ports de <i>Londres</i> , du <i>Havre</i> , d' <i>Anvers</i> , d' <i>Ymuiden</i> et de <i>Rotterdam</i> . — <i>Hambourg</i> . — Description de l'Elbe et du port de Hambourg; profondeurs des bassins; dragages d'entretien. — Tirant d'eau des grands navires qui fréquentent les ports de Hambourg, de Rotterdam et d'Anvers; tirant d'eau des navires du Royaume Uni.	
§ III. — <i>Des rades abritées</i>	363
Avantages résultant pour les ports du voisinage d'une rade abritée; rades de Dunkerque et de La Pallice. — Ports et rades situées à l'intérieur et près de l'embouchure d'un fleuve; description des ports de Southampton et de Queenstown. — Rades artificielles; rades de Cherbourg, de Plymouth et de Portland. — Des projets d'établissement de rades sur une côte ouverte au moyen de breakwaters parallèles à la côte ou reliés au rivage. — Môles d'accostage en pleine mer. — Conclusions concernant la construction de breakwaters devant des côtes basses et ouvertes.	
§ IV. — <i>Des ports en eau profonde</i>	372
Ports en eau profonde de la Méditerranée; description du port de Barcelone, travaux en exécution ou projetés; port de Gênes, travaux exécutés récemment. — Ports en eau profonde dans des mers à marée et sur des côtes alluvionnaires. — Considérations générales. — <i>Port de Kingstown</i> . — Situation hydrographique. — Conditions de navigabilité. — Causes du bon maintien du port. — <i>Port de Howth</i> . — Disposition de l'enceinte. — Ensablements et envasements. — <i>Port de Douvres</i> . — Situation hydrographique; rade des Dunes. — Divers projets proposés pour établir devant Douvres un grand port de refuge; prévisions concernant la marche du galet et l'envasement intérieur. — Jetée de l'Amirauté; influence exercée par cet ouvrage sur les mouvements d'alluvions. — Expériences sur les quantités de vase en suspension dans la baie de Douvres. — Avant-port en exécution. — <i>Port de Boulogne</i> . — Situation hydrographique. — Nouvel avant-port de Boulogne. — Questions relatives à l'ensablement et l'envasement du port; opinion de MM. Stœklin et Laroche. Expériences de M. Ploix au sujet des quantités de matières en suspension dans les eaux. — Construction de la digue sud-ouest de l'avant-port. — Utilité de cette digue dans l'état actuel des travaux. — <i>Port de Madras</i> . — Situation hydrographique. — Régime des vents. — Nouvel avant-port. — Mouvement des sables. — <i>Le Havre</i> . — Régime de la baie de la Seine. — Mouvement d'alluvions	

de la baie; opinion de M. Lavoine et de M. Vauthier. Projets d'endiguement de la Seine. — Grande rade et petite rade du Havre; régime des courants. — Etat actuel du port du Havre. — Endiguement de la petite rade; projets de M. Dubosc, de M. Hersent et de M. Maitrot de Varenne; objections. — Avant-projet d'amélioration du port de 1887. — Projet actuel. — <i>Port de La Rochelle</i> . — Situation hydrographique. — Projet d'amélioration du port de La Rochelle existant. — Nouvel avant-port établi en dehors de la baie, en face de la rade de La Pallice. — <i>Port de Nieuw-Diep</i> . — Situation hydrographique. — Description du port. — Maintien des profondeurs. — <i>Port d'Ymuiden</i> . — Situation hydrographique. — Description du port. — Ensablements. — Dispositifs d'enceinte proposés par M. Dirks et par M. Waldorp. — Envasements intérieurs. — Dragages d'entretien. — Conditions de navigabilité du port. — Projet de breakwater devant le port; brise-lames flottants. — Nouveau canal d'Amsterdam.	
V. — <i>Projet d'établissement d'un port à Heyst</i>	423
Atterrage de Heyst. — Projet d'avant-port à enceinte, proposé par M. de Maere. — Conditions d'accessibilité du port projeté; possibilité de les améliorer par le creusement de passes à travers le Zand. — Considérations relatives au système d'avant-port à enceinte avec môles pleins, examiné au point de vue nautique. — Ensablements. — Envasements intérieurs. — Rapports de la Commission de 1878 et de celle de 1883. — Importance probable des envasements. — Transport des déblais en mer. — Inconvénients d'un avant-port à enceinte pour l'atterrage de Heyst. — Système de port qui convient le mieux au régime particulier de l'atterrage de Heyst. — Esquisse d'un avant-projet: chenal, avant-port, quais d'escale. — Examen du dispositif proposé au point de vue nautique. — Entretien des profondeurs.	

ANNEXE I.

<i>De l'influence exercée sur l'effet utile des chasses par l'abaissement du radier de l'écluse</i>	Pages.
Calcul du travail de frottement ou effet utile. — Application.	443

ANNEXE II.

<i>Construction des môles en eau profonde</i>	449
<i>Môles en eau profonde dans des mers sans marée</i> . — Môles en enrochements; Palerme, Oneglia, Ancone, etc. — Môles en enrochements classés par catégories avec revêtement en gros blocs naturels ou artificiels; Marseille, Gênes, Cette, Trieste, etc. — Môles en enrochements, avec talus extérieur en blocs arrimés prolongé jusqu'au fond de la mer; Civita Vecchia, Barletta, Salerne, etc. — <i>Môles en eau profonde dans les mers à marée</i> . — Môles en enrochements; Plymouth, Portland. — Môle avec massif sous-marin en enrochements et muraille en maçonnerie; Cherbourg, Boulogne. — Considérations sur la construction des massifs en enrochements; rapport entre les vides et le volume total des massifs. — Môles en blocs artificiels; St-Jean-de-Luz, Port Saïd. — Môles en blocs naturels ou artificiels maçonnés; Douvres, Libau, Ymuiden, Tynemouth. — Môles en blocs maçonnés à assises inclinées; Colombo, Kurrachée. — Môles construits au moyen de sacs de béton et de béton en masse; Aberdeen, La Guaira. — Môles entièrement en béton coulé en masse; Wicklow. — Môles en blocs de béton et coulis au ciment; St-Heliers, Jersey. — Considérations générales sur l'emploi de blocs artificiels et de sacs de béton et sur le mode de construction des môles en béton. — Prix du mètre courant de quelques môles.	

ANNEXE III.

<i>Des installations et de l'outillage du port d'Anvers</i>	463
Quais de l'Escaut, profil et mode de construction. — Terre-pleins de ces quais, voies ferrées, hangars. — Bassins de batelage. — Bassins à flot et leurs dépendances, écluses, quais, etc.	

— Formes de radoub. — Gares maritimes. — *Outillage hydraulique*. — Considérations générales sur l'emploi des appareils hydrauliques. — Comparaison avec les engins à vapeur. — Grues à vapeur du port de Hambourg. — Grues électriques de Hambourg. — *Outillage hydraulique* des bassins d'Anvers, de l'Entrepôt, des quais de l'Escaut, des gares maritimes. — Projets d'extension de la rade et des bassins du port d'Anvers. — Tableaux concernant le mouvement des navires fréquentant le port d'Anvers.

ANNEXE IV.

Concours international pour le meilleur ouvrage sur les moyens d'améliorer les ports établis sur les côtes basses et sablonneuses comme celles de la Belgique. 493
 Prix de 25,000 francs institué par S. M. le Roi des Belges. — Rapport du Jury, 1887.
