

ZEEBRUGGE

Projet d'amélioration du port et de construction d'un avant-port dans la rade.

R. HAENECOUR,

Inspecteur Général des Ponts et Chaussées.

Introduction.

Les relevés hydrographiques effectués dans la rade de Zeebrugge depuis sa création par la construction du môle, constituent en réalité les résultats d'un gigantesque essai sur modèle grandeur nature et à une échelle des temps égale à l'unité; il semble inutile ou tout au moins inopportun d'évaluer le coût énorme de cette expérience. Il n'est toutefois plus possible de méconnaître les enseignements que celle-ci a fournis sans conduire l'Etat à des dépenses toujours croissantes, qui ne pourront d'ailleurs sauver ni même maintenir dans son état d'avant guerre, l'accès du môle.

Ces résultats, pour quiconque veut examiner froidement la question, prouvent qu'avec la claire-voie ancienne et surtout sans celle-ci, l'accès du môle dans les conditions initialement prévues ne saurait être maintenu, qu'il faudra sacrifier de plus en plus les profondeurs au pied du mur d'accostage, et que finalement la dépense en dragages ne pourra plus se justifier vis-à-vis de l'utilité décroissante des installations maritimes du môle.

La question se pose ainsi, s'il est encore possible de sauver dans une certaine mesure ces installations, et par conséquent le capital énorme qui y a été englouti, soit par la création d'un deuxième môle, soit par la réouverture de la claire-voie dans des conditions meilleures que celles qui avaient été prévues lors de la construction, complétée par des dispositions spéciales à réaliser dans la rade.

Nous croyons avoir trouvé une solution nouvelle à cette question, sortant du cadre des aménagements esquissés ci-dessus; c'est le mobile qui nous a poussés à rédiger le présent mémoire.

Pour justifier ce projet, il est nécessaire d'exposer premièrement le régime de la côte belge, c'est-à-dire les lois qui semblent régir les mou-

vements des eaux de la mer ainsi que les transformations que subit le fond de celle-ci.

CHAPITRE PREMIER.

Régime de la côte belge.

1. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Depuis longtemps, les phénomènes résultant de l'action de la marée dans les fleuves et dans les mers, ont fait l'objet de nombreuses observations directes; la plupart ont été effectuées par des marins et des hydrographes, très experts certainement dans l'art nautique, mais en général peu aptes à donner une interprétation scientifique aux résultats de leurs recherches; leur horizon était par conséquent assez limité, et, pour le surplus, ils n'avaient en vue pour la plupart, que les intérêts de la navigation et négligeaient donc les questions relatives à l'entretien et à l'amélioration des fleuves et des côtes, domaine des ingénieurs hydrauliciens.

Aucune coordination n'existait donc dans le temps, entre les résultats de ces observations directes, nombreuses et très fouillées, et la science hydraulique pure, encore très embryonnaire à la fin du siècle passé en ce qui concerne le mouvement des ondes marée.

Une première tentative dans ce sens fut faite en 1881 à l'occasion du concours pour le prix de 25.000 fr. dû à la générosité éclairée de S. M. le roi Léopold II, qui eut pour objet : « Des moyens d'améliorer les ports établis sur des côtes basses et sablonneuses comme celle de Belgique. »

L'un des concurrents, M. P. De Mey, ingénieur principal des Ponts et Chaussées à Ostende, remporta le prix, et son mémoire fit sensation à l'époque. Une édition amplifiée parut en 1894, et si cette étude semble aujourd'hui passablement vieillie, elle n'en présente pas moins encore de nos jours, un intérêt documentaire de toute première importance. La question du port à établir devant la côte à Heyst y est longuement examinée, et si l'insuccès qu'a prédit ce savant ingénieur s'est réalisé, tout au moins partiellement, il faut avouer cependant que les arguments qu'il a mis en avant ne se sont pas révélés pertinents à la lumière d'une expérience de près de cinquante années.

Un autre ingénieur, M. Van Mierlo, ancien ingénieur du Service Hydrographique de la Marine de l'Etat Belge, quittant le domaine purement géographique de l'hydrographie restreint à l'étude des passes utiles et des bancs dangereux pour la navigation, attaqua le problème par ses petits côtés; il s'efforça notamment d'établir le « mécanisme des alluvions », mais ses nombreux travaux, si intéressants qu'ils soient, ne donnent guère l'impression qu'il a réussi à interpréter convenablement les résultats de ses recherches au point de vue scientifique.

Comme l'a très bien fait remarquer l'un de ses contradicteurs, la recherche des faits particuliers, compliqués et délicats, ne peut jamais précéder dans l'ordre scientifique, celle des faits simples et généraux; ce fut la cause de l'échec des recherches de cet ingénieur.

Dès le commencement de ce siècle, les recherches dans le but de trouver les meilleures formes à donner aux navires et aux constructions hydrauliques, s'orientèrent dans le sens des essais sur modèles réduits; pour les phénomènes où le facteur *temps* n'intervient pas, où dans lesquels les situations d'équilibre s'établissent rapidement, le succès s'avéra complet. Mais quand on voulut étendre la méthode aux phénomènes de la marée, beaucoup d'hydrauliciens manifestèrent ouvertement leur méfiance. C'est ainsi que le crédit de 100.000 francs voté par la législature vers 1900, pour un essai sur modèle relatif à la « Grande Coupure », ne fut jamais utilisé; les plus hautes compétences en la matière avaient d'ailleurs ouvertement manifesté leur manque de confiance dans les résultats d'une telle expérience.

Quand les phénomènes que l'on veut expérimenter sont dus à des causes qu'il n'est pas possible ou difficile de faire agir sur le modèle, comme par exemple les fonds durs dans l'Escaut dont la position n'est que très vaguement connue, la variation lente des circonstances d'amont et d'aval ainsi que celle de la densité et de la nature de l'eau, la turbulence et le mouvement dit secondaire, les sécheresses et les crues, les marées extraordinaires, il tombe sous le sens qu'il serait dangereux de conclure sur des résultats de laboratoire. Pour le surplus, les différentes sections d'un fleuve ou d'une côte réagissent les unes sur les autres, et un essai sur une section seule fait évidemment abstraction de cette réaction.

Enfin, un essai sur une section qui n'est pas dans une situation d'équilibre peut donner des résultats complètement discordants avec la réalité, nous l'avons montré dans nos études antérieures.

Les laboratoires essayent évidemment de se rapprocher autant que possible des conditions qui règnent dans la nature, mais il ne semble pas qu'ils aient trouvé jusqu'ici une méthode dans laquelle on puisse avoir une confiance suffisante.

Les mouvements de la marée notamment sont remplacés par des courants dits stationnaires qui sont choisis tels qu'ils reproduisent sur le modèle à peu près la situation existant dans la nature; il se fait que ces courants alternatifs correspondent à peu près aux instants où se produisent les vitesses maxima de flot et de jusant; mais si ces vitesses sont probablement déterminantes dans le phénomène des érosions pour une situation d'équilibre, il n'en est certes pas de même pour les dépôts. La plus grande prudence s'impose donc dans l'appréciation des résultats obtenus par cette méthode.

Il est pour le surplus évident que le fait de pouvoir reproduire approximativement le relief de la nature sur le modèle d'une section isolée *en situation d'équilibre* par des courants convenablement choisis dans

ce but, ne prouve nullement que les résultats sur modèle d'une modification apportée dans cette section vont se reproduire en nature; dans celle-ci la nouvelle situation d'équilibre de la section considérée sera influencée par l'ensemble du fleuve ou de la côte, influence qui ne peut se faire sentir sur le modèle.

Pour une expérience sur une section de côte, il est pour le surplus impossible de réaliser dans les essais le mouvement giratoire des courants de marée, ce qui n'est guère de nature à augmenter la confiance dans les résultats obtenus.

En conclusion, si pour l'expérimentation des phénomènes généraux, les méthodes de laboratoire ne semblent pas encore au point, on peut toutefois admettre que pour des questions de détails, telles que les formes, les dimensions et les positions à donner à des parties spéciales des ouvrages projetés, elles peuvent donner des indications relatives très utiles, en dehors des résultats quantitatifs qu'elles fournissent, qui restent encore toujours sujets à caution.

Depuis une vingtaine d'années d'autre part, la recherche par la voie des observations directes, des lois générales qui régissent le mouvement de la marée et les transformations qu'il provoque dans le fond des mers côtières et des fleuves, a cependant été poussée très en avant, malgré le discrédit qu'ont voulu jeter sur elle une partie des hydrauliciens, entraînés par leur engouement pour les succès apparents des essais en laboratoire.

Nous avons, dès 1926, fait connaître les conclusions de nos recherches sur l'Escaut Maritime et tenté de donner une interprétation scientifique aux résultats des observations directes effectuées sur ce fleuve (1). Ces recherches furent complétées ensuite et étendues à la côte belge pour sa partie terrestre (2). Nous exposons plus loin comment les lois régissant les transformations du fond du fleuve peuvent être modifiées pour être appliquées à la côte.

En 1936, M. Van Veen, Ingénieur en Chef-Directeur du Waterstaat hollandais, publia une magnifique étude intitulée « Onderzoekingen in de Hoofden » (Recherches dans le Pas-de-Calais), où il tenta avec beaucoup de succès, de donner une interprétation scientifique à ses nombreuses observations de vitesse et de direction des courants de marée, ainsi qu'aux sondages effectués dans le Pas-de-Calais. Il déclare notamment (voir résumé en français de son mémoire, page 215) que : « Toutes les expérimentations dans les laboratoires hydrauliques doivent être basées sur des investigations en nature. Dans l'autre cas elles peuvent être inutiles ou même dangereuses. » Nous avons défendu la même opinion dans notre deuxième mémoire ci-dessus rappelé, alors que nous n'avions pas encore connaissance de l'ouvrage de M. Van Veen.

Cet auteur fait notamment observer, à la page 24 de son mémoire, avec une précision et une concision remarquable : « De afname en de toename der snelheden van het water nabij den bodem bepalen de grootte der aanzanding of der uitschu-

(1) « Etude sur la Formation de l'Escaut Maritime et des rivières à marée de Belgique. » *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 2^e, 3^e et 4^e fascicules de 1927.

(2) « Formation de la côte et des fleuves à marée de Belgique », mémoire datant de 1942 et qui a paru dans les fascicules 4, 5 et 6 (août, octobre et décembre) de 1944 des *Annales* susdites.

ring, niet de snelheden zelve », c'est-à-dire que la diminution et l'augmentation des vitesses de l'eau près du fond, déterminent la grandeur de l'ensablement ou de l'érosion, et non les vitesses mêmes. On ne pourrait mieux définir les causes des transformations que subissent les fonds; il est donc dangereux de baser une argumentation uniquement sur la valeur absolue des vitesses.

2. — SITUATION D'ÉQUILIBRE DE LA MER DU NORD.

La Mer du Nord, auparavant simple golfe, prit naissance sous la forme actuelle par la rupture de l'isthme du Pas-de-Calais, événement qui s'accomplit progressivement et dont les géologues reportent en général la fin aux temps glaciaires, c'est-à-dire à la période quaternaire: cent siècles au minimum se sont donc écoulés depuis que l'onde marée venant de la Manche a franchi le Pas-de-Calais et est venue influencer la marée préexistante dans la Mer du Nord. Cette dernière fut surtout influencée dans sa partie méridionale et le long de la côte du continent, où l'amplitude fut vraisemblablement diminuée; le long du continent le sens de la propagation de la marée fut en outre renversé et il se forma ainsi un régime de marée très compliqué qui est représenté par la carte de la fig. 1 de notre deuxième mémoire déjà cité; cette carte des marées a été élaborée par le *Tidal Institut* de Liverpool.

Cette invasion de la marée par le Pas-de-Calais n'a sans doute provoqué que de faibles modifications dans les fonds de grande profondeur, mais dans les régions côtières de l'Angleterre méridionale et du continent, les transformations durent être sensibles. La question se pose donc si ces dernières se sont déjà entièrement effectuées, en d'autres termes, si un état d'équilibre stable est déjà atteint dans les régions côtières, abstraction faite des affaissements du sol, très notables dans la partie méridionale de la Mer du Nord et des modifications qu'ils entraînent dans les amplitudes de marée. Comme l'Escaut Maritime Occidental a mis environ cinq siècles pour acquérir approximativement une situation d'équilibre, on pourrait en effet se demander si cent siècles sont bien suffisants pour permettre à un événement aussi grandiose que la rupture de l'isthme du Pas-de-Calais de faire sentir complètement ses effets.

Il semble bien qu'il faille répondre affirmativement à cette question, et ce sont surtout les recherches de M. Van Veen qui nous fortifient dans cette opinion.

Cet auteur nous montre en effet la stabilité de l'ensemble des côtes du Pas-de-Calais, malgré les affaissements locaux des falaises dus à des causes atmosphériques, celle des bancs de sable du Varne et du Colbart, qui ne font qu'osciller sur place, et l'inexistence d'un transport général de matières sur le fond de ce détroit, composé de terrains durs et même rocheux.

Les bancs des Flandres et ceux de la côte belge sont d'ailleurs également d'une

stabilité remarquable, abstraction faite de leurs mouvements oscillatoires, excepté toutefois ceux avoisinant l'estuaire de l'Escaut.

M. Van Veen a toutefois établi avec une grande approximation que le débit moyen du flot dans le Pas-de-Calais était de 19146 millions de m³ par marée, et celui du jusant de 16907 millions, ce qui donne un gain de flot de 2239 millions de m³.

Cet excédent produit dans la direction du flot un déplacement général des sables le long des côtes du continent, phénomène qui se conjugue avec l'effet des vents dominants agissant sur les plages; ce gain de flot se constate en effet également le long de notre côte et il doit se prolonger le long du continent jusqu'à la sortie septentrionale de la Mer du Nord. Si l'on observe en effet qu'une branche dérivée du Gulfstream contourne l'Ecosse et s'avance le long de la côte d'Angleterre jusqu'à hauteur du Doggerbank pour rebrousser ensuite vers le nord, on peut en conclure que ce gain de flot s'amplifie en cours de route de tout le débit d'amont des fleuves d'une grande partie de l'Europe Occidentale et du débit de cette branche du Gulfstream, pour s'écouler finalement dans l'océan par l'étroit goulet, profond de plus de 200 m, qui longe la pointe de la Norvège. La zone qui avoisine la ligne des points amphydromiques délimite approximativement vers l'ouest les eaux venant du Pas-de-Calais et du continent; en effet, le long de cette ligne les courants et les amplitudes de marées sont peu sensibles; il n'est pas impossible d'ailleurs que le gain de flot du Pas-de-Calais constitue en réalité une faible dérivation du Gulfstream. Il est remarquable également que ces points amphydromiques où les courants et les amplitudes sont théoriquement nuls, se trouvent : le plus méridional près du Bruine Bank à l'extrémité de la fosse dénommée « Canal Profond », le central au droit du Modderkanaal situé à l'est du Doggerbank, et le septentrional au bord de l'étroit goulet signalé ci-dessus.

3.* — DESCRIPTION HYDROGRAPHIQUE DE LA CÔTE.

Nous avons montré, dans notre première étude sur l'Escaut Maritime, comment les chenaux de ce fleuve étaient composés d'une suite de mouilles délimitées par la courbe de niveau (— 8.00), c'est-à-dire 8 en hydrographie, insérées dans les rives concaves, se suivant dans la partie amont du cours d'eau, pour chevaucher de plus en plus les unes sur les autres au fur et à mesure que l'on s'avance vers l'aval. Les extrémités amont de ces mouilles ont été désignées sous le nom de *schaar*; elles sont d'une fixité transversale remarquable et sont le produit de l'érosion du flot; c'est pour ce motif qu'on les nomme aussi quelquefois *schaar* de flot; le courant de flot s'y maintient généralement pendant un certain temps alors que le jusant est déjà établi dans la passe voisine. Les extrémités aval au contraire sont divaguantes et forment des seuils à leur rencontre avec la mouille suivante; elles sont en effet le produit de l'érosion du jusant qui provoque ensuite la formation des seuils; cette mobilité est le résultat des perturbations de longue durée que subit le débit d'amont.

Le long de la côte belge au contraire, où l'influence des modifications du débit de l'Escaut est naturellement peu ou pas sensible, les transformations du fond se réduisent à des transports locaux de matériaux,

de sorte que les bancs ne font qu'osciller sur place, abstraction faite du déplacement général du sable vers le nord-est le long de la côte, et des modifications anormales qui se produisent devant les embouchures. Les mouilles à proximité de la côte ont la direction O-E, donc faiblement inclinées sur celle-ci, et deviennent des rades, stables dans leur ensemble, dont les extrémités Est peuvent encore être désignées sous le nom de *schaars* de flot et dont les pointes opposées deviennent dans ce cas des *schaars* de jusant; en effet à l'inverse de ce qui se passe dans le fleuve, celles-ci semblent en général plus stables que les *schaars* de flot, qui n'ont aucune fixité dans le sens longitudinal.

Il est à remarquer que si dans le fleuve les évolutions d'une passe et des bancs environnants s'effectuent suivant un cycle d'une durée de quelques années, en mer au contraire, les évolutions sont beaucoup plus lentes, et peut-être séculaires.

Les premières sont en effet commandées par les circonstances atmosphériques régissant le débit d'amont, les autres suivent probablement l'action des causes astronomiques agissant sur les marées.

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, la direction des mouilles se relève pour devenir plus ou moins parallèle à l'axe de la Mer du Nord; ces mouilles se perdent plus loin dans les profondeurs de la mer, où les courants n'ont plus de pouvoir érosif.

Pour la compréhension de cette description hydrographique, nous ne pouvons que renvoyer le lecteur à la carte générale de la côte des Flandres formant la planche IV de l'atlas joint au mémoire de M. De Mey (2^e édition 1894), qui donne la situation d'après les reconnaissances hydrographiques les plus récentes à cette époque.

Il est à noter que si dans le fleuve, pour étudier les modifications du fond, la courbe 8 s'est imposée pour délimiter les mouilles, en mer, il faut successivement prendre dans ce but des courbes de niveau de plus en plus basses, à mesure que les profondeurs s'accroissent; c'est ainsi que pour la grande rade d'Ostende, la courbe 8 est encore d'application, et que plus loin vers l'ouest et plus en mer il faut prendre la courbe 10, et enfin, pour les *schaars* de jusant se perdant dans les profondeurs, la courbe 20.

Les rades longeant la côte et les *schaars* de flot qui les terminent vers l'est, sont limités par des bancs de sable qui se rattachent à la terre ferme, tels le *Traepegeer* pour la rade de Dunkerque, le *Stroombank* pour la petite rade d'Ostende, prolongement de la rade de Nieuport, et le *Binnen-Paardenmarkt* pour l'*Appelzak*, pointe avancée de la grande rade d'Ostende; le *Traepegeer* a toujours fait corps avec la côte, le *Stroombank* s'est soudé à celle-ci dans le courant du siècle dernier provoquant l'envasement progressif de la petite rade, et le *Binnen-Paardenmarkt* s'en sépare nettement depuis 1878 sous l'influence croissante

de l'Escaut sur le régime de la côte avoisinante; ce phénomène prouve que le jusant s'introduit de plus en plus dans l'Appelzak.

Nous attribuons d'ailleurs la soudure du Stroombank à la côte, non au déplacement général des sables vers l'est, phénomène dû au gain de flot qui constitue un effet et non une cause, mais à un affaiblissement du courant de flot dans la petite rade d'Ostende, par suite du renforcement du courant de jusant dans la passe des Wielingen. A l'embouchure de l'Escaut, il n'y a en effet plus de gain de flot depuis la fermeture du Sloe et de l'Escaut Oriental en 1867, mais au contraire gain de jusant, courant qui est croissant depuis au moins deux siècles, comme nous l'avons montré dans notre deuxième mémoire rappelé ci-dessus.

D'après M. De Mey, les bancs de sable sont séparés par des couches de vase ou de sable vasard; le sable se déplacerait avec lenteur tandis que les fonds vaseux se modifieraient rapidement; de plus, les fonds argileux sont généralement recouverts de vase.

En ce qui concerne maintenant les atterrissements à proximité de l'embouchure de l'Escaut, leur régime est beaucoup moins stable que celui des autres bancs. L'hydrographe Petit, dans son mémoire sur la reconnaissance hydrographique de la rade de Heyst en septembre 1879, émet les conclusions suivantes :

- a) Les environs de Nieuport n'ont pas varié.
- b) Les profondeurs le long de la terre de Westende à la frontière néerlandaise ont diminué.
- c) Les bancs de Nieuport, le Stroombank et ceux d'Ostende et de Wenduyne se sont approfondis.
- d) Les bancs de l'embouchure de l'Escaut se sont ensablés.
- e) La passe de Wielingen s'est améliorée par la disparition des bancs du Paardemarkt, de l'Ecluse et de Cadzand.
- f) La passe du Deurloo s'est ensablée.
- g) La passe de l'Oostgat est devenue fort difficile par suite du développement du Nolleplaet.
- h) Le régime des bancs à l'est du méridien de Blankenberge est instable.

Ces conclusions, qui constituent uniquement des constatations de faits observés, ne sauraient être contestées, mais quand M. Petit, admettant l'existence du Binnen-Paardemarkt liée à celle de l'ancien estuaire du Zwijn, prédit la disparition de ce banc ou son rattachement à la côte, il se trompe singulièrement, car dès 1878 une carte hydrographique néerlandaise montre le commencement de la séparation de ce banc avec la terre ferme, phénomène qui s'accroît lentement et perdure encore de nos jours. L'ignorance des lois générales régissant la nature amène des fausses interprétations des observations directes, et les prédictions faites dans ces conditions sont toujours sujettes à caution.

M. P. De Mey déclare d'autre part dans son mémoire déjà cité, à la

page 154 : « 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 ». Il signale également que l'Escaut ne charrie pas de matériaux denses jusqu'à son embouchure et que le Nolleplaal n'existait pas encore en 1811.

En réalité, puisque l'Escaut Maritime n'a pas encore atteint entièrement sa situation d'équilibre, certaines sections comme celle de Bath en sont encore même assez éloignées, il est évident que la région d'embouchure ne peut guère être stable, un certain transport de matériaux denses devant encore se faire dans le fleuve, tout au moins lors de certaines circonstances ; de plus, la situation d'équilibre du fleuve se modifie lentement en correspondance avec l'augmentation du débit d'amont, et la loi du déplacement des embouchures vers l'ouest semble également applicable aux passes d'entrée du fleuve. Celles-ci, au nombre de quatre, l'Oostgat, le Deurloo, le Spleet et les Wielingen, augmentent en puissance dans la même direction, et une cinquième passe semble vouloir se former, dans les siècles à venir ; celle-ci passerait par l'Appelzak et détrônerait les Wielingen au bénéfice de la grande rade d'Ostende ; cette modification pourrait évidemment, à certains moments, jeter le trouble dans ces deux passes et inquiéter les générations futures.

Il convient de mentionner à ce sujet que la formation d'une passe nécessite le concours des courants de flot et de jusant, et que ce phénomène n'est en tout cas qu'à son début dans la pointe Est de l'Appelzak.

L'Oostgat est une passe qui a une tendance à se transformer en schaar de flot, le Deurloo et le Spleet peuvent être considérés comme des schaaers de jusant, et les Wielingen constituent une passe où flot et jusant maintiennent les profondeurs ; il est remarquable que le Binnen-Paardemarkt a commencé à se séparer de la côte vers 1878, peu d'années après que le gain de flot de l'Escaut se soit mué en gain de jusant par la fermeture de l'Escaut Oriental en 1867.

4. — VITESSES ET DIRECTIONS DES COURANTS DE MARÉE.

Le flot étant par définition le courant dirigé dans le sens de la propagation de l'onde, et le jusant le courant en sens contraire, les étales correspondent aux renversements de courant ; ceci n'est applicable qu'aux courants directement alternatifs, qui règnent en plein océan, dans certaines zones centrales des mers, et dans les fleuves à marée ; le long de beaucoup de côtes en effet les courants sont giratoires et la notion des étales se modifie ; au lieu de constituer les moments où les courants se renversent en s'annulant, les étales correspondent à des

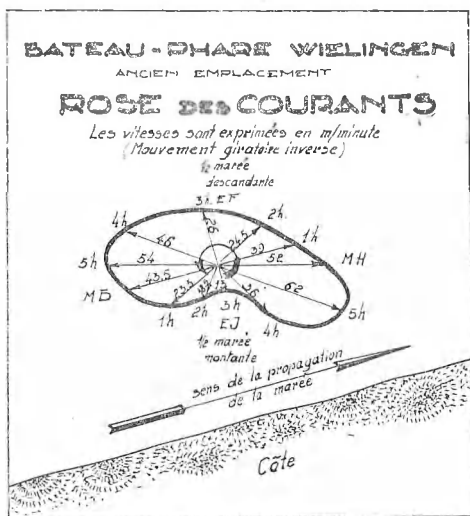
minima de vitesse, qui se produisent, pour le jusant vers la mi-marée montante et pour le flot vers la mi-marée descendante.

Dans l'étendue de la Manche et de la Mer du Nord comprise entre le cap de Barfleur en France et la localité de Brielle en Hollande, les courants le long de la côte du continent sont giratoires inverses (en sens opposé du mouvement des aiguilles d'une montre); au large de la côte belge, à partir d'une distance moyenne d'environ 15 Km. les courants sont directement alternatifs et sur la côte opposée de l'Angleterre, ils sont giratoires directs.

En nous basant sur le mémoire déjà cité de M. Petit, nous avons dressé la rose des courants figurant ci-contre à l'ancien emplacement du bateau-phare Wielingen, où cet hydrographe a fait ses observations. Les vitesses furent mesurées au moulinet de Woltmann à 2 m de profondeur et sont exprimées en mètres par minute, et les directions des

courants établies d'après le cap moyen que prenait le bateau autour de son ancre, correspondant donc à la direction moyenne des courants de la zone superficielle de l'eau.

Ces vitesses et ces directions résultent d'une moyenne établie pour un grand nombre d'observations; si les premières sont assez approximatives, en supposant le moulinet convenablement taré, les secondes au contraire peuvent s'écarter notablement de la réalité à certains moments, le mouvement giratoire étant excessive-



ment irrégulier. La figure ne représente donc les phénomènes que dans leur ensemble et d'une façon approximative.

On remarque immédiatement l'enfoncement de la partie de la courbe faisant face à la côte, ce qui dénote la tendance à la formation d'un véritable étale de jusant avec vitesse nulle; la vitesse maximum du flot est légèrement inclinée vers terre, dans la direction de la passe des Wielingen, tandis que le maximum pour le jusant pointe vers l'ouest, par suite des résistances qu'offrent les bancs de la côte à proximité de marée basse.

Les observations ont été faites d'heure en heure, et bien que les indications de direction données par M. Petit ne sont pas bien précises, il semble cependant résulter de ce graphique que la direction du courant

varie plus rapidement pendant l'arrière-flot et l'avant-jusant que pendant les autres intervalles; l'angle formé par la direction lors de M. H. et celle lors de M. B. est par conséquent plus grand que 180 degrés.

5. — FORMATION DES ALLUVIONS ARGILEUSES ET VASEUSES.

Nous avons montré dans nos études antérieures, comment les sédiments argileux se déposaient dans la partie amont de l'Escaut Maritime sous forme d'argile fluviatile, alors que dans la partie aval, sous l'effet des sels contenus dans l'eau de mer et de l'action colloïdale, les sédiments comportaient soit de l'argile des polders, quand ils étaient formés à l'abri des courants, dans une zone inondée par exemple, soit de la terre de schorre, quand ils s'élevaient contre les digues du côté extérieur; ces deux dépôts sont d'ailleurs de nature plus ou moins sableuse.

En mer et dans les estuaires, les dépôts vaseux sont dus à d'autres causes.

On constate notamment quand on s'avance le long de la côte belge dans la direction de la propagation de la marée, qu'une zone vaseuse commence à proximité de l'estuaire de l'Escaut, là où affleurent des couches d'argile, et que les fonds argileux de la Mer du Nord sont généralement couverts de vase noire. Il est certain donc que la décomposition de l'argile par voie chimique ou par l'intermédiaire de certains animaux ou organismes marins produit de la vase.

D'un autre côté, les colloïdes amenés par les fleuves et qui n'ont pas été consommés à l'intérieur de ceux-ci, produisent leur action en mer; une partie des précipitations ainsi formées, les plus volumineuses, se déposent immédiatement dans les bas-fonds, d'où elles peuvent être rapidement entraînées d'ailleurs, l'autre, composée des particules les plus fines, reste en suspension dans l'eau, où elle sert d'aliment à d'innombrables organismes marins.

Le côté biologique de la question a été admirablement mis en lumière par M. le professeur Damas, de l'Université de Liège, dans une note insérée dans le *Bulletin de la Société Géologique de Belgique* (1934-35). Ses expériences ont précisément été faites dans la rade de Zeebrugge, et voici comment ce professeur résume ses constatations :

A. — La rade de Zeebrugge constitue un milieu très favorable pour l'étude du rôle géologique des organismes : formation de sable à *cardium*, creusement de la tourbe par les *mollusques*, rôle des *arénicoles*, formation de la vase par les organismes détritophages.

B. — La couche à *diatomées* de l'estran joue un rôle protecteur de la vase. Sa présence indique que le rivage se trouve dans une période de repos ou d'accroissement.

C. — De nombreux organismes (les *cardium* en fournissent un exemple typique) contribuent par leurs excréments à la formation de la vase. Ils retiennent non

seulement les détritits apportés par l'eau du rivage, mais également les produits colloïdaux, et ainsi jouent un rôle géologique considérable.

La quantité de vase noire produite par les excréments des cardiums est estimée à 0 m. 15 d'épaisseur par an dans la partie de la rade où ces animaux peuvent se développer, c'est-à-dire sur une surface énorme; cette vase est en partie enlevée par les tempêtes, le restant, étant très lourd, glisse le long des pentes et coule vers les fosses. (Dans les moulières de Zélande, on estime le dépôt à 0 m. 30 par an.)

Le travail des cardium s'opère non seulement sur les particules fines en suspension, mais également sur les matières colloïdales en suspension permanente dans l'eau de mer. Il en est de même pour de nombreux autres organismes qui tous fixent la vase.

Il faut donc distinguer la « vase des ports » produite par l'intermédiaire d'organismes vivants, lourde et très dangereuse par conséquent, et le sédiment résultant de l'action des ions de l'eau de mer sur les colloïdes amenés par les fleuves, qui est la vase des estuaires et de la côte.

Nous pouvons conclure de cet exposé, que les plages abritées de la côte et de l'estuaire sont productrices de vase lourde qui reste sur place ou glisse vers les chenaux profonds environnants, et que par conséquent l'ingénieur qui à la charge de l'entretien ou de l'amélioration de ces voies d'eau doit chercher à les réduire au minimum.

CHAPITRE II.

Projet d'amélioration du port de Zeebrugge, et de construction d'un avant-port dans la rade.

1. — PRINCIPES A APPLIQUER.

Les principes sur lesquels nous nous sommes basés pour dresser ce projet sont les suivants :

A. — Soustraire autant que possible l'étendue des plages s'élevant au-dessus de la cote (0.00) à l'action des organismes vivants.

B. — Entretenir l'agitation et les courants dans la surface restante de la rade, de façon à limiter la reproduction de ces animaux et d'assurer l'évacuation de leurs déchets.

C. — Modifier aussi peu que possible le régime existant à la côte avant la construction du môle.

L'application de ces principes conduit ainsi à la réouverture de la claire-voie, au rejet d'un deuxième môle ou de toute construction jouant le même rôle tel que le maintien artificiel de l'Oostbank; enfin à l'endigement du Middenbank. Les dispositions à prendre doivent évidemment viser à la disparition naturelle ou même artificielle aussi rapide que possible de l'Oostbank.

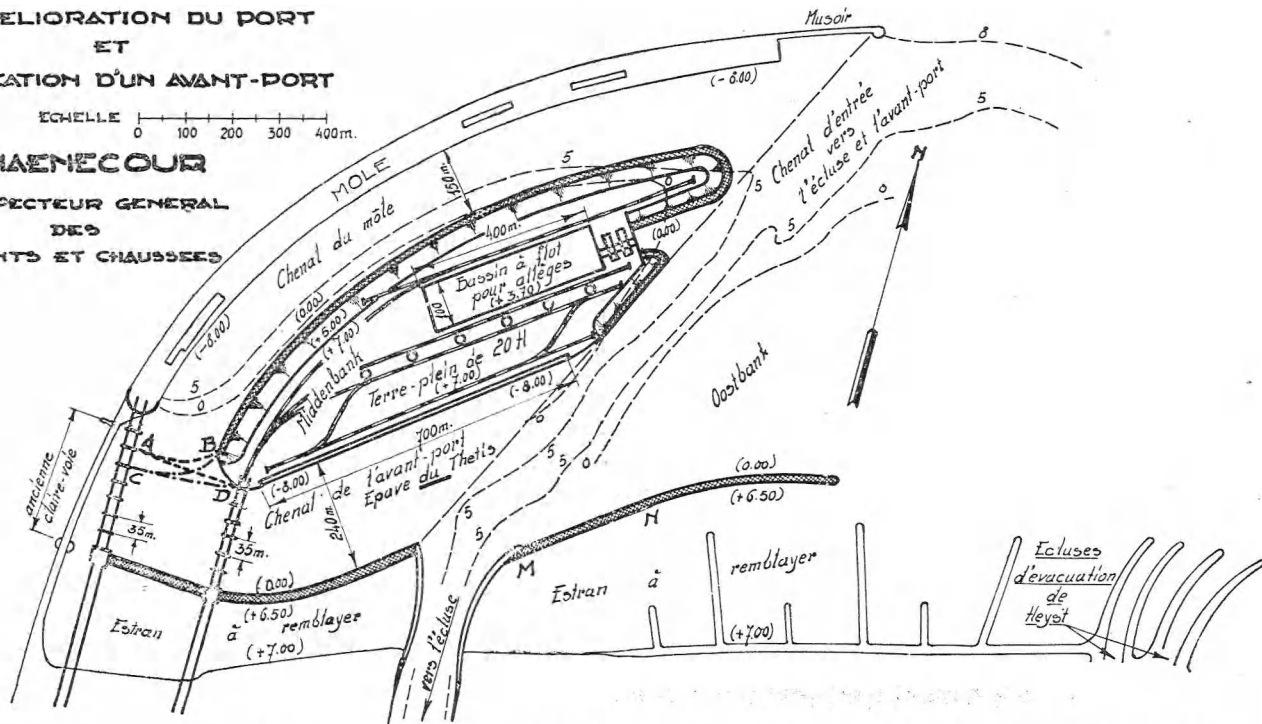
ZEEBRUGGE

AMELIORATION DU PORT
ET
CREATION D'UN AVANT-PORT

ECHELLE 0 100 200 300 400m.

R. HAENECCOUR

INSPECTEUR GENERAL
DES
PONTS ET CHAUSSEES



2. — DESCRIPTION DU PROJET.

Sur la figure ci-jointe est figurée en trait ordinaire la situation existante en 1939 au môle et dans la rade de Zeebrugge; les courbes de niveau 8,5 et 0 y sont indiquées. Les constructions nouvelles proposées sont figurées en traits forts. Le plan est schématique et ne constitue d'ailleurs qu'un avant projet sommaire.

a) La nouvelle claire-voie du môle est projetée à une certaine distance de l'ancienne, pour faciliter la démolition de celle-ci et ne pas interrompre le trafic; elle est légèrement inclinée sur l'ancienne pour pouvoir raccorder aisément les voies ferrées existantes sur le môle à celles à établir sur le nouveau viaduc. Nous concevons celui-ci avec des travées aussi longues que possible; nous les avons dessinées avec des portées de 35 m, couvrant huit ouvertures de 33 m entre piles de 5 m de largeur.

Les travées seraient en béton armé, seul matériau à conseiller en l'occurrence.

b) Le nouvel avant-port est établi à l'emplacement de l'actuel Middenbank, remblayé à la cote (+ 7.00) avec des produits de dragage.

La rive sud-est de l'îlot ainsi formé est en alignement droit à une distance de 240 m de l'extrémité de la jetée ouest du chenal d'accès au canal maritime vers Bruges; cette rive est garnie de 700 m de murs de quai, avec 8,00 m de profondeur sous M. B. à leur pied; cette rive est orientée de façon à protéger le plus possible les navires à quai, tout en ne donnant pas lieu à un coude trop brusque au raccordement avec la rive nord-est; les raccordements avec les rives voisines sont réalisés par des murs de soutènement.

La rive faisant face à l'Oostbank est arrêtée à la droite joignant l'extrémité du môle à celle de la jetée ouest dont question ci-dessus; elle est formée d'une digue en blocs de béton de remploi de la cote (0.00) à (+ 5.00), surmontée d'un talus plat protégé par un enrochement, jusqu'au niveau du terre-plein.

Enfin la rive faisant face au môle est établie de façon à laisser 150 m de largeur à M. B. au chenal qu'elle délimite; elle est constituée également de la façon indiquée ci-dessus.

Le terre-plein ainsi constitué a environ 20 Hect. de superficie et suffit largement aux installations diverses à prévoir pour un port de vitesse à marchandises spéciales; pour fixer les idées, nous y avons figuré un bassin à flot pour allèges à la cote (+ 3.70), long de 400 m sur 100 m de largeur avec plafond à la cote (0.00), quelques tanks de 25 m de diamètre et un réseau de voies ferrées y sont dessinés.

c) L'avant-port est relié à la terre ferme par un viaduc analogue à celui du môle, de 210 m de longueur et comportant six ouvertures.

d) Entre l'extrémité ouest du terre-plein de l'avant-port et la deuxième ou troisième pile du viaduc du môle, en AB ou CB donc, il est prévu un dispositif à établir ultérieurement, destiné à partager convenablement le courant de flot entre le chenal du môle et celui de l'avant-port. Il se composerait d'un mur avec paroi concave vers le chenal du môle et paroi rectiligne de l'autre côté, suivant AD ou CD. A part le point de contact A ou C, le nouvel avant-port serait donc entièrement distinct des installations du môle.

e) L'estran compris entre le viaduc du môle et la jetée ouest du chenal conduisant vers l'écluse de Zeebrugge, ainsi que celui s'étendant entre la jetée Est de ce même chenal et un point situé à environ mi-chemin des écluses d'évacuation de Heyst, sont endigués de la même façon que l'îlot de l'avant-port, mais avec crête

atteignant la cote (+ 6.50) au lieu de (+ 5.00), et remblayés à la cote (+ 7.00), pour éviter toute irruption des eaux.

3. — JUSTIFICATION DES INSTALLATIONS PROPOSÉES.

Le viaduc du môle doit, d'un côté, offrir la section la plus grande possible pour le passage des courants sans compromettre la sécurité des navires, et, de l'autre côté, modifier le moins possible le régime local des courants existant avant la construction du môle, de façon à ne pas nuire aux profondeurs de l'entrée du port, au large du musoir.

Les expériences de laboratoire faites à ce sujet ne pouvant donner que des indications relatives, sujettes pour le surplus à caution, il faudra bien se résoudre à déterminer arbitrairement la cote du fond au droit de ce viaduc et mettre celui-ci aussi bas que possible, quitte à réduire ensuite la profondeur par déversement d'enrochements, si les circonstances l'indiquent.

En ce qui concerne le partage des eaux de flot entre le chenal du môle et celui de l'avant-port, il convient de remarquer que si on laisse ce partage se faire naturellement, c'est-à-dire sans paroi séparatrice, on obtiendra évidemment le maximum de rendement pour le débit de flot passant sous le viaduc du môle, mais les courants seront probablement mal partagés au point de vue des besoins de chacun des deux chenaux.

Quand donc au bout de quelques années, une situation d'équilibre se sera établie dans la rade, que la pointe de l'Oostbank notamment sera enlevée, naturellement ou par dragages, et que le seuil du viaduc du môle sera établi à une cote définitive, il faudra observer soigneusement la situation hydrographique pendant un certain temps et décider si l'établissement d'une paroi séparatrice s'impose; dans l'affirmative, il faudra faire choix entre les tracés AB et CB.

Bien entendu, des expériences de laboratoire préliminaires peuvent donner des indications relatives peut-être utiles, mais il serait dangereux de se fier uniquement à celles-ci.

Pour la digue à construire le long de l'estran à l'est de l'écluse, il serait également préférable de ne la réaliser premièrement que dans l'étendue M. N. où elle est parallèle aux murs de quai, quitte à la prolonger plus tard d'après les indications d'essais en laboratoire ou mieux d'après les enseignements que fourniront des observations directes faites pendant quelques années. Cette digue en effet, supprime non seulement une partie nuisible de l'estran au point de vue formation de vase, mais doit aussi à certains moments guider les courants vers le chenal d'entrée, dont l'envasement est le plus à craindre.

En se reportant maintenant à la rose des courants aux Wielingen, et qui, établie à Zeebrugge présenterait une forme analogue mais proba-

blement encore plus aplatie, on constate : qu'à l'étales de jusan il n'y aura probablement pas de courant appréciable dans les chenaux, phénomène impossible à éviter d'ailleurs ; que 2 heures après, le courant de flot, à son maximum de vitesse, aura déjà une direction presque perpendiculaire au viaduc du môle et qu'il balayera le chenal de l'avant-port et du môle avec une grande intensité, et celui vers le musoir plus faiblement ; que 4 heures après l'étales de jusan, le courant s'établira franchement dans ce dernier chenal jusqu'à l'étales de flot, mais avec une vitesse réduite, comme d'ailleurs dans les deux autres chenaux ; que vers l'étales de flot le courant sera surtout faible dans les chenaux du môle et de l'avant-port ; que jusque près de M. B. les courants de jusan, très intenses dans cet intervalle, seront de nouveau défavorables pour le chenal d'entrée alors que leur action sera intense dans le chenal de l'avant-port et plus faible dans celui du môle ; qu'enfin le chenal d'entrée recevra pendant plus de 2 heures des courants assez faibles mais très favorablement orientés.

En conclusion, le chenal du môle sera parcouru par le flot et le jusan sauf aux environs des étales ; il en sera de même pour le chenal de l'avant-port ; la situation du chenal d'entrée sera la moins bonne, car il ne sera parcouru que par des courants de vitesse réduite et de moins longue durée.

C'est donc dans ce dernier chenal, au droit de la rive Est de l'îlot que les dragages les plus importants pourront s'imposer. On pourra y remédier en partie en donnant au prolongement de la digue M. N., un tracé et un développement convenables, pour diriger plus ou moins les courants dans ce chenal ; ce moyen ne peut toutefois être appliqué trop loin, sans risquer d'affaiblir les courants dans toute la rade et modifier ainsi le régime local préexistant.

Certains dragages d'entretien s'imposeront également dans les deux autres chenaux, mais tout semble indiquer qu'ils ne seront pas d'un coût prohibitif.

En ce qui concerne les écluses d'évacuation à Heyst, dont les eaux douces provoquent évidemment la formation d'une certaine quantité de vase, nous ne voyons pas l'utilité de leur déplacement à l'ouest du môle ; les précipitations ainsi formées ne feront que passer et osciller par la rade sans s'y déposer, quelle que soit la position que l'on donne à ces ouvrages. Il serait également inutile croyons nous de pomper ces eaux vers M. H., dans l'espoir de voir ces sédiments emportés par le flot, car le gain de ce courant ne doit plus être guère sensible à Zeebrugge où même être transformé déjà en gain de jusan par suite de la proximité de l'embouchure de l'Escaut ; la solution serait d'ailleurs très

coûteuse, et n'empêcherait en tout cas que le dépôt d'une minime quantité de vase.

Il nous reste enfin à dire quelques mots des caractéristiques principales du régime de la côte pouvant agir sur la situation de la rade et des chenaux de Zeebrugge et influencer leur avenir.

Nous avons montré que le gain de flot observé et déterminé très exactement dans le Pas-de-Calais se propage le long du continent en s'amplifiant par l'apport des débits des fleuves et de celui d'une branche du Gulfstream rencontrée dans la Mer du Nord; ce gain produit un déplacement continu de sable le long de la côte dans la direction de ce courant, et l'on peut se demander si ce phénomène n'est pas de nature à influencer défavorablement le port.

Si l'on se remémore que ce gain est considérable (2 milliards de m. c.) alors que le débit d'amont des fleuves est infiniment plus petit (3,5 millions de m. c. par marée pour l'Escaut seul), il devient évident que malgré la variabilité des débits d'amont, les effets du gain de flot sont stabilisés depuis longtemps, c'est-à-dire que les apports venant de la terre ferme compensent plus ou moins les pertes. Ceci ne s'applique évidemment pas à la région voisine de l'embouchure, à cause de la formation constante de vase en cet endroit, et du fait que cette région peut ne pas encore être en situation d'équilibre quand le fleuve l'est déjà. En réalité, cet équilibre ne saurait jamais être stable en cet endroit à cause de la tendance au déplacement des passes d'entrée du fleuve; pour le surplus, la situation d'équilibre du fleuve se déforme elle-même lentement, par suite de la variation du débit moyen d'amont et des affaissements du sol.

Si nous considérons maintenant la région devant l'embouchure, il y a lieu de distinguer deux périodes: celle pendant laquelle le fleuve se forme, en creusant son lit et en évacuant les produits d'érosion vers la mer, et celle pendant laquelle le fleuve est en état d'équilibre, celui-ci se déformant toutefois lentement comme signalé ci-dessus; entre les deux toutefois, il doit se produire, comme nous l'avons montré dans nos études précédentes, une période d'oscillation, qui est en cours pour l'Escaut Maritime depuis le milieu du siècle passé.

En 1867, lors de la fermeture du Sloe et de l'Escaut Oriental, beaucoup de discussions surgirent à propos de l'influence de ces travaux sur le régime du fleuve; l'on sait que rien ne put être décelé dans ce sens par après, sauf, d'après nous, qu'une intensité plus grande dans les perturbations périodiques dans le coude de Bath se manifesta.

On peut se demander toutefois, dans cet ordre d'idées, si la région devant l'embouchure n'a pas été influencée par cette fermeture. En effet, avant 1867, l'Escaut Oriental enlevait environ 20,5 millions de

m. c. par marée à notre Escaut Maritime; il y avait donc de ce chef à l'embouchure de celui-ci, un gain de flot correspondant, diminué toutefois du débit total des eaux supérieures pendant une marée; si nous évaluons celles-ci à 75 m. c. par seconde en moyenne, nous obtenons 3,5 millions de m. c., ce qui laisserait finalement un gain de flot de 17 millions de m. c.

Après 1867, ce gain de flot doit s'être transformé en gain de jusant provenant du débit d'amont, car nous avons montré dans une troisième étude sur l'Escaut qui vient d'être acceptée par la Commission Directrice des Annales, que l'onde marée s'adapte immédiatement aux modifications apportées au fleuve.

Il est évident qu'un tel renversement dans les circonstances d'aval doit agir sur la région devant l'embouchure, et nous attribuons en majeure partie à ce renversement, la modification qui s'est produite à la côte à l'extrémité est du Binnen-Paardemarkt, qui s'est séparé de la côte, modification qui a été constatée en 1878; il est intéressant de noter à ce sujet que les précipitations atmosphériques durant les années 1876, 77 et 78 s'élevèrent à Bruxelles à 2820 mm, total qui ne fut jamais dépassé, sauf en 1914, 15 et 16; ce phénomène a notablement augmenté le débit d'amont et certainement contribué à la modification en question.

Nous pensons donc que l'augmentation séculaire du débit supérieur de l'Escaut Maritime, de plus en plus manifeste depuis le commencement de ce siècle, va transformer l'Appelzak, pointe avancée de la grande rade d'Ostende ou plutôt débris du puissant schaar de flot qui réunissait il y a des siècles ces deux mouilles, en une véritable passe d'entrée de l'Escaut, où flot et jusant exerceront leur érosion; il n'y aura à ce moment, encore très éloigné toutefois, plus de rade extérieure pour Zeebrugge, mais ce port sera à proximité immédiate d'une passe d'entrée de l'Escaut; bien entendu, cette transformation ne se fera pas sans perturbations gênantes auxquelles les générations à venir auront à faire face. L'avenir lointain est donc certainement assuré et les difficultés possibles, pendant les temps plus rapprochés, ne doivent pas faire reculer les ingénieurs; ils pourront les vaincre comme celles que nous rencontrons de nos jours dans le coude de Bath.

Enfin, en ce qui concerne la vase, s'il est vrai que celle qui se formera dans la région d'embouchure ira en croissant avec le débit d'amont, la majeure partie sera toujours entraînée vers le nord comme maintenant, sous l'action du gain de flot, qui est sensible déjà au bateau-phare des Wielingen. Le gain de jusant devant s'annuler le long de la côte dans les parages de Zeebrugge ou même plus à l'est, seule la production locale de vase restera dangereuse pour ce port, et nous avons conçu notre projet de façon à limiter cette production autant que possible.

4. — PROGRAMME DES TRAVAUX.

Ceux-ci peuvent s'entamer de concert pour le môle, l'avant-port, la rade et l'estran de la façon suivante :

a) *Môle.*

Construction du nouveau viaduc, démolition de l'ancienne claire-voie fermée, et modification de l'extrémité du môle de façon à lui donner la forme courbe la plus favorable aux courants.

b) *Avant-port.*

Construction rapide du viaduc et, simultanément, des murs de quai et de raccordement; établissement progressif de l'endiguement face au môle en commençant au point B, et remblaiement du terre-plein par produits de dragage. Construction éventuelle, au moment voulu, du bassin à flot et de la rive est.

La claire-voie ne devra toutefois être ouverte qu'après l'achèvement du viaduc de l'avant-port, des murs de quai et de la plus grande partie de l'endiguement qui fait face au môle, pour des raisons de facilités de construction de ces ouvrages.

c) *Rade.*

Dragage de la pointe de l'Oostbank et déversement des produits sur le terre-plein; les dragages d'entretien ordinaire doivent évidemment être continués le long du môle et dans la passe d'entrée. Etablissement ultérieur éventuel de la paroi séparatrice ABD ou CBD.

d) *Estran.*

Construction de l'endiguement le long de l'estran jusqu'au point N, et approvisionnement à proximité des deux viaducs des blocs de béton de remploi nécessaires aux enrochements, à provenir de la démolition de la claire-voie et des abris militaires environnants.

Remblaiement ultérieur des estrans endigués au fur et à mesure que les produits de dragages deviennent disponibles.

SAMENVATTING :

ZEEBRUGGE.

Ontwerp voor het verbeteren van de haven en den aanleg van een voorhaven in de reede.

Inleiding.

Steller beschouwt de hydrografische opmetingen, die in de reede werden uitgevoerd, als de uitslagen van een reusachtige proef op een model in natuurlijke grootte, welke bewijzen dat, met den vroegeren doorlaat, — en vooral zonder dezen, — de toegang tot het havenhoofd, in de oorspronkelijk voorziene omstandigheden, onmogelijk kan worden bijgehouden. Hij wijst op een nieuwe oplossing van het probleem, dat door de noodzakelijke verbetering van de bestaande inrichtingen wordt gesteld, en waarbij zou worden gebruik gemaakt van de maatregelen, die in de reede moeten worden getroffen ten einde aan den voet van het havenhoofd en in de toegangsgeul toereikende diepten te bekomen, om een voorhaven of een aanloophaven voor speciale goederen aan te leggen.

EERSTE HOOFDSTUK.

Regime van de Belgische Kust.

1. — ALGEMEENE BESCHOUWINGEN.

De wetten, welke de bewegingen beheerschen van het zeewater, alsmede de veranderingen, welke de zeebodem zelf ondergaat, kunnen worden bepaald door de wetenschappelijke interpretatie van de resultaten uit rechtstreeksche waarnemingen. Proeven op kleine modellen zijn zonder nut of zelfs gevaarlijk, indien zij niet op rechtstreeksche waarnemingen zijn gesteund; bovendien, zijn de laboratoriummethododes voor de studie van de getijgolven nog niet nauwkeurig genoeg uitgewerkt.

2. — EVENWICHTSTOESTAND VAN DE NOORDZEE.

De Noordzee bestaat sinds meer dan honderd eeuwen in haar huidige vorm, in het leven geroepen door de doorbraak van de landengte in het Nauw van Calais; de indringing van het getij afkomstig van het Kanaal heeft, langs de Belgische kust, merkbare wijzigingen in den

zeebodem teweeggebracht; thans schijnt echter een evenwichtstoestand ingetreden.

De standvastigheid van de gezamenlijke kusten van het Nauw van Calais en van zijn bodem, waarop geen enkel algemeen materialen-transport plaats vindt, blijkt inderdaad ten volle uit de werken van den heer Van Veen, Hoofdingenieur-Directeur van den Nederlandschen Waterstaat. Deze ingenieur heeft de vloedaanwinst van de Kanaallengte zeer nauwkeurig berekend, en komt tot een totaal van 2239 millioen kubieke meter per getij, welke langs de kusten van het vasteland en in de richting, waarin het getij zich voortplant, een onafgebroken zand-transport teweegbrengen.

3. — HYDROGRAFISCHE BESCHRIJVING VAN DE KUST.

In de Schelde, vertoonen de stroomopwaarts gerichte uiteinden van de kuilen een merkwaardige bestendigheid in de dwarsrichting, en vormen zij (vloed)scharen; de stroomafwaarts gelegen uiteinden, daarentegen, zijn onstandvastig en geven aanleiding tot de vorming van dremfels bij hun ontmoeting met de daaropvolgende kuilen.

Langs de kust, schommelen de banken ter plaatse; de kuilen zijn van het westen naar het oosten gericht en worden reeden, waarvan de oostelijke uiteinden vloedscharen zijn zonder standvastigheid in de langsrichting, terwijl de westpunten betrekkelijk stabiele ebscharen vormen.

De evolutieduur van de reeden en van de omliggende banken langs de kust is veel langer dan deze van de overeenkomstige, in den stroom waargenomen evolutiekringen; deze laatste worden beheerscht door de schommelingen van het bovenstroomsch debiet, terwijl de eerste gehoorzamen aan de astronomische oorzaken, die de getijden beïnvloeden.

Bij de monding der stroomen, blijkt het regime weinig standvastig te zijn en wordt de interpretatie van de rechtstreeksche waarnemingen zeer ingewikkeld. Wat de Zee-Schelde betreft, welke nochtans haar evenwichtstoestand nabij is, zou het mondingsgebied onmogelijk stabiel kunnen zijn, eenerzijds omdat deze toestand zich langzaam wijzigt in verband met de verzakking van den bodem en de vermeerdering van het bovenstroomsch debiet, anderzijds omdat de toegangseulen zelf van den stroom schijnen te gehoorzamen aan de wet van de verplaatsing van de mondingen naar het westen toe.

4. — SNELHEDEN EN RICHTINGEN VAN DE GETIJSTROOMEN.

Langs de Belgische kust, en op een breedte van ongeveer 15 kilometer, verloopende de stroomingen volgens omgekeerd wentelende krin-

gen (d.i. in tegenovergestelde richting van de beweging van de uurwerkwijzers); verder in zee zijn ze rechtstreeks afwisselend, en op de tegenoverliggende kust van Engeland draaien zij in rechtstreeksche richting. De stroomenroos werd bepaald voor de vroegere ligplaats van het lichtschip Wielingen, volgens de waarnemingen die, vóór 1879, door den hydrograaf Petit werden uitgevoerd.

5. — VORMING VAN DE KLEI- EN SLIBAFZETTINGEN.

Langs de kust van het vasteland treft men, te beginnen van de nabijheid van het Scheldemondingscomplex, een slibachtige zone aan, voortkomende van de ontbinding van de kleibodems die op deze plaats tot bij het waterlak reiken, en van de inwerking van de colloïden, die door de bovenstroomsche wateren worden aangevoerd, op de ionen van het zeewater. Bovendien brengen de beschutte stranden van de kust en van het mondingscomplex, door tussenkomst van bepaalde levende organismen (weekdieren, zooals de « cardium », enz.) een soort zware slib voort, die « havenslib » wordt genoemd.

HOOFDSTUK II.

Ontwerp voor de verbetering van de haven van Zeebrugge en den aanleg van een voorhaven in de reede.

1. — VOORGESTELDE PRINCIPES.

A. — De stranden zooveel mogelijk onttrekken aan den invloed van de levende organismen.

B. — De voortplanting van deze organismen beperken en zorgen voor de ontruiming van hun afvalproducten.

C. — Het regime van de kust zoo weinig mogelijk wijzigen.

2. — BESCHRIJVING VAN HET ONTWERP.

a) Opnieuw in gebruik stellen van den doorlaat, met hoogtepeilen voor den drempel, die achteraf zullen worden bepaald.

b) Aanleggen van een nieuwe voorhaven op de aangevulde Middenbank.

c) Viaduct tusschen de voorhaven en de kust.

d) Achteraf te bouwen scheidingswand ABD of CBD, om den vloedstroom op rationeele wijze te verdeelen tusschen de geul van het havenhoofd en deze van de voorhaven.

e) Indijken en aanvullen van het strand.

3. — VERANTWOORDING VAN DE VOORGESTELDE INRICHTINGEN.

De laboratoriumexperimenten kunnen geen nauwkeurige aanduidingen geven nopens de peilen, waarop de drempel van den nieuwen doorlaat moet worden aangelegd; er blijft dus niets anders over dan dezen drempel zoo laag mogelijk aan te leggen, en dan de diepte desnoods achteraf, door het uitstorten van steenmateriaal, te verminderen, indien de omstandigheden de noodzakelijkheid hiervan moesten uitwijzen.

Wanneer, na enkele jaren, een evenwichtstoestand zal zijn ingetreden, zal men, op grond van zorgvuldige en in toereikend aantal uitgevoerde hydrografische opmetingen, beslissen of de aanleg van een scheidingswand ABD of CBD zich opdringt.

De toepassing, op het havenhoofd, van de Wielinger stroomenroos, toont aan dat de belangrijkste baggerwerken in de toegangsgeul zullen moeten worden uitgevoerd; een oordeelkundige, doch voorzichtige verlenging van den dam MN zal dit euvel kunnen verhelpen.

Aldus is de toekomst van de haven voor langen tijd verzekerd, want een nieuwe toegangsgeul naar de Zee-Schelde is thans langs de kust in vorming.

Alleen de plaatselijke voortbrengst van slib levert nog een gevaar op voor de haven, doch het ontwerp is derwijze opgevat, dat deze voortbrengst zooveel mogelijk wordt beperkt.

4. — PROGRAMMA DER WERKEN.

De werken kunnen gezamenlijk voor het havenhoofd, de voorhaven, de reede en het strand worden aangevat.
