

347683

FORMATION DE LA COTE ET DES FLEUVES
A MARÉE DE BELGIQUE.
PROJET D'AVANT-PORT POUR ANVERS,

PAR

R. HAENECOUR,
Inspecteur Général des Ponts et Chaussées.

(PLANCHE I)

Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout
BIBLIOTHEEK

(Met samenvatting in 't Nederlandsch)

F3

Prix : ~~40 Fr.~~
Prijs : ~~40 Fr.~~

EXTRAIT DES
ANNALES DES TRAVAUX PUBLICS DE BELGIQUE
Août — Octobre — Décembre 1944

Formation de la côte et des fleuves à marée de Belgique.

Projet d'avant-port pour Anvers,

R. HAENECOUR,

Inspecteur Général des Ponts et Chaussées.

Préambule.

Le présent mémoire, terminé en février 1942, ne put être livré à l'impression sous l'occupation ennemie; il était, en effet, pour le moins inopportun de publier alors, sur le sujet traité, certains aperçus et points de vue dont la mise en lumière était indispensable; le travail ne fut présenté à la Commission Directrice des *Annales* qu'après la libération de notre pays.

Le paragraphe II du chapitre III de la présente étude est intitulé : « *Le nouveau projet d'adaptation du fleuve aux nécessités futures de la navigation* ». Ce nouveau projet est celui publié en 1930 dans notre brochure « *L'Avenir du Port d'Anvers et de l'Escaut Maritime* », mais modifié et mis à la hauteur des récents enseignements et des circonstances actuelles, toujours en vue de l'admission permanente de navires de 11,50 mètres de tirant d'eau.

Etant donné que le port d'Anvers et sa voie d'accès à la mer ont échappé à toute destruction grave et qu'un brillant avenir leur semble réservé et qu'il importe, sans aucun doute, de prévoir la nécessité urgente de pouvoir y admettre, d'une façon permanente, des navires de très grand tirant d'eau, nous croyons que notre projet qui est, en réalité, celui d'un *avant-port pour Anvers*, vient combler une véritable lacune dans le programme d'extension des installations maritimes de ce port.

Dans un deuxième mémoire terminé en août 1944 et soumis actuel-

lement à la Commission Directrice, nous montrons et nous démontrons même, qu'il peut être procédé sans dangers dans l'Escaut à des travaux du genre de ceux que nous proposons, à l'effet d'utiliser au maximum les possibilités d'extension vers l'aval du port d'Anvers. Les schorres de Santvliet, où le nouvel avant-port est projeté, ont d'ailleurs été endigués en grande partie dans le courant de l'année 1942.

Préface.

La présente étude est la suite — ou mieux le complément — de l' « Etude sur la Formation de l'Escaut Maritime et des rivières à marée de Belgique », parue dans les *Annales des Travaux Publics de Belgique*, tome XXVIII, 2^e série, fascicules d'avril, juin et août 1927. Elle a entraîné la révision du projet d'adaptation du fleuve et des installations maritimes d'Anvers aux exigences possibles de la grande navigation, joint à notre opuscule *L'Avenir du Port d'Anvers et de l'Escaut Maritime*, édité en 1930 par les « Imprimeries du Limbourg », à Hasselt (1).

Les recherches nouvelles que nous avons effectuées depuis 1926 à la côte belge, entre l'Yser et la frontière française, les nombreux travaux parus depuis lors sur l'histoire, la géologie, l'archéologie, la toponymie et la science hydraulique, qui se rattachent à la question, nous ont amené à modifier quelques points de vue primitifs sans que, toutefois, aucune des thèses de notre ancienne étude n'en ait été ébranlée; certaines d'entre elles en sont même singulièrement renforcées. Il ne nous semble notamment plus contestable que l'influence du débit supérieur sur le régime de la partie maritime du fleuve et même sur celui de la côte avoisinante est marquante, contrairement aux idées généralement admises.

Le champ de nos recherches s'est étendu, d'autre part, dans le Limbourg belge, résultat de quatorze années de séjour dans cette région en qualité d'Ingénieur en Chef-Directeur du service des routes, des canaux et de la Meuse Mitoyenne.

En outre, nous sommes allés chercher beaucoup plus loin dans le temps, la cause probable des phénomènes, et croyons avoir fait un pas de plus dans la recherche de la vérité.

Enfin, le tremblement de terre des 11, 12 et 13 juin 1938 semble venir confirmer, d'une façon décisive, l'une des thèses principales défendues dans notre étude primitive, à savoir que le facteur primor-

(1) Cette brochure est épuisée.

dial dans la formation des estuaires du Rhin, de la Meuse, de l'Escaut et peut-être aussi de celui de la Tamise, est un affaissement du sol de la partie méridionale de la Mer du Nord, qui étend progressivement ses effets vers le sud.

Dès lors, le mémoire actuel était en gestation, et il ne nous manquait plus que le temps nécessaire pour le rédiger. L'autorité occupante nous le fournit en nous mettant en disponibilité à la date du 1^{er} octobre 1941.

Malgré tout notre désir de documenter l'ouvrage par des plans, nous avons dû restreindre ceux-ci à l'extrême limite, en raison des difficultés matérielles inhérentes à cette tâche, aggravées encore par les circonstances du moment; nous avons tâché, toutefois, de suppléer à cette lacune par un certain nombre de croquis dessinés à l'échelle. Le lecteur voudra bien nous en excuser et se rapporter, pour le surplus, aux cartes de l'Institut Cartographique Militaire et aux cartes géologiques.

Nous prions encore le lecteur de bien vouloir observer qu'à l'époque où l'étude primitive a été élaborée, les termes « Hont » et « Escaut Occidental » étaient synonymes; actuellement il semble établi par la toponymie, que le premier terme est d'origine celtique, et ne peut donc s'appliquer au fleuve issu de la rupture des dunes au Moyen Age, mais uniquement à une mare ou bras lagunaire de l'époque de la tourbe, sillonné par les méandres de son émissaire. Quand nous avons écrit dans notre étude primitive (Introduction) que le Hont est de formation récente, il s'agit de l'Escaut Occidental bien entendu; il en fut de même dans le paragraphe X du chapitre premier de cet ouvrage, quand nous avons dit que le Hont et le Zwyn sont des produits de ruptures de dunes.

Dans la question des Wielingen nous apportons, croyons-nous, une solution claire et acceptable, basée sur des recherches faites avec l'unique souci de ne se laisser guider par aucune idée préconçue.

L'une des tâches qui nous incombent est celle de convaincre le lecteur qu'à l'époque romaine, le tracé des côtes de la Mer du Nord, celui de certaines parties des fleuves et rivières considérés, ainsi que l'état superficiel du sol dans les vallées, étaient autres qu'à l'époque actuelle; nous avons longuement décrit, dans notre étude primitive, les principales modifications subies dans le temps par l'Escaut Maritime et ses affluents à marée; dans le § I — B du chapitre II nous exposons la situation à l'époque romaine des principaux fleuves et rivières de Belgique ainsi que celle du Rhin, et nous donnons leur tracé probable sur la carte de la figure 5. Ces renseignements sont puisés en

partie dans les remarquables mémoires de MM. Antoine et Alphonse Belpaire intitulés « De la Plaine Maritime depuis Boulogne jusqu'au Danemark ».

Comme dans notre mémoire primitif nous avons recours, à diverses reprises, à la toponymie, pour étayer nos thèses; cette science peut rendre d'énormes services dans la résolution de problèmes tels que celui qui nous occupe, notamment quand les bases historiques font défaut. Nous nous excusons donc d'avance de ces incursions forcées dans une science qui n'est pas la nôtre.

Dans nos recherches nous nous sommes encore laissés guider par le fait bien connu, mais toutefois rarement mis en lumière, que la configuration du sol persiste en général à travers les siècles, là où des érosions ou d'autres actions ne sont pas venues modifier les situations primitives; c'est, en réalité, l'application à la couche superficielle de la croûte terrestre, du principe connu en géologie sous le nom d'antécédence ou de règle de la permanence (1).

La persistance de cette configuration se manifeste principalement dans les chemins et dans beaucoup de cours d'eau; aussi peut-on dire que les cartes actuelles, et je vise ici naturellement celles de notre Institut Cartographique Militaire et les cartes géologiques, sont, pour quiconque veut les étudier méthodiquement, des images frappantes des situations existant bien avant l'époque actuelle ou moderne.

L'étude de ces cartes, jointe aux renseignements de la toponymie, permet de résoudre ainsi certaines questions où les données habituelles de l'archéologie et de l'histoire font défaut. Bien entendu, là où des modifications importantes se sont produites, comme sur les côtes et dans la zone lagunaire tourbeuse, les situations primitives sont partiellement ou totalement effacées de ces cartes, et l'on en est réduit à des conjectures; celles-ci peuvent toutefois être solidement basées, dans beaucoup de cas, sur les données fournies par les zones voisines non oblitérées.

Pour finir, nous nous permettrons d'exprimer l'espoir que de plus savants et de plus perspicaces que nous viendront un jour compléter nos thèses; nous croyons que nous leur aurons grandement facilité la tâche et que nos conclusions seront fécondes et durables.

(1) « Trois règles fondamentales de l'Architecture de l'Ecorce Terrestre », par P. Fourmarier, Membre de l'Académie de Belgique, Professeur à l'Université de Liège.

CHAPITRE PREMIER.

Formation de la Côte belge.

1. — Niveau des mers.

Quand en géologie ou dans des questions similaires à celle qui nous occupe, on parle de retrait et d'invasion de la mer, on raisonne comme si le niveau du sol était invariable; quand, au contraire, l'argumentation est basée sur des soulèvements ou des abaissements du sol, on semble considérer plutôt le niveau de la mer comme invariable.

En réalité, ni l'un ni l'autre ne sont fixes, et il faut entendre par là que leur distance au centre de la Terre varie, ce centre étant supposé invariable. L'écorce terrestre, en effet, se contracte par refroidissement et doit, par conséquent, s'affaisser, abstraction faite des soulèvements locaux qui peuvent se produire; le niveau des mers, de son côté, est condamné à baisser lentement par suite de la lente hydratation que subissent certaines roches au contact de l'eau (1).

Ces deux actions générales, dont les effets sont évidemment insensibles à l'observation contemporaine, agissent dans le même sens et abaissent le niveau absolu des eaux; seul, le mouvement relatif qui en résulte nous intéresserait cependant, mais celui-ci est pratiquement négligeable pendant la durée des temps géologiques modernes.

Des causes autres que l'hydratation des roches viennent toutefois modifier le volume total des eaux de la mer; il y a, d'un côté, l'évaporation et les pertes dans le sol qui le diminuent, et de l'autre côté, le débit des cours d'eau et glaciers, les pluies et les sources de fond qui lui restituent, semble-t-il, avec plus ou moins de retard, un volume sensiblement équivalent à celui qui lui est enlevé.

A première vue donc, le niveau des mers semble lié, d'une façon invariable, à celui du sol, abstraction faite, bien entendu, des mouvements locaux que celui-ci peut subir et des résultats de l'hydratation. La géologie nous fournit toutefois la preuve qu'il n'en est pas ainsi, et il convient, dans des problèmes du genre de celui que nous traitons, de rechercher les causes possibles de variation dans le niveau des mers.

Il est à remarquer d'ailleurs qu'un mouvement local du sol, tel que le lent affaissement de la partie méridionale de la Mer du Nord et des

(1) Nous faisons ici abstraction des apports solides des fleuves, des sédiments formés dans l'eau de mer et des dépôts résultant des animaux et organismes vivant dans celle-ci.

contrées environnantes, signalé dans notre mémoire primitif, est un phénomène qui a, il est vrai, une influence prépondérante dans la tenue des côtes et dans la formation et le régime des fleuves qui y aboutissent, mais qui est incapable d'expliquer des faits géologiques d'une importance capitale tels que le retrait et l'invasion des mers sur le sol de la Belgique à différentes époques géologiques. Il nous paraît par conséquent très probable qu'un des facteurs déjà envisagés qui agissent sur le niveau des mers peut rompre temporairement l'équivalence entre le volume enlevé et celui restitué et modifier sensiblement ce niveau; c'est le retard dans la restitution des eaux enlevées par évaporation, par suite d'une extension glaciaire ou même d'un développement extraordinaire des forêts, des marais et des lagunes.

Nous avons cherché premièrement, par un calcul partiellement hypothétique, mais basé cependant, en grande partie, sur des données certaines de la géologie, à nous rendre compte de l'influence d'une extension glaciaire comme celles des temps quaternaires.

Avant de faire ce calcul il est indispensable, pensons-nous, d'exposer brièvement l'état de nos connaissances au sujet de ces phénomènes.

Les époques géologiques antérieures à l'ère quaternaire ont connu à diverses reprises des extensions glaciaires dont la dernière remonte au pliocène moyen, à l'ère tertiaire donc; les traces de ces extensions sont toutefois en grande partie oblitérées ou devenues invisibles. Ces manifestations semblent en tout cas avoir été beaucoup moins nombreuses que celles qui se sont produites pendant les temps quaternaires, qui sont souvent pour ce motif qualifiés de « glaciaires » bien qu'ils comprennent également des périodes interglaciaires de longue durée et de climat tempéré ou plutôt normal, dans les régions influencées par ces phénomènes.

Quatre extensions se sont manifestées semble-t-il pendant l'ère quaternaire, dont les deux premières ont été les plus importantes. Elles avaient leur origine sur les hauteurs de l'Amérique du Nord, de l'Ecosse, de la Scandinavie et de la Finlande, et étaient accompagnées d'extensions beaucoup moins accentuées venant notamment du Caucase, de la Suisse et des Pyrénées.

Les deux premières extensions provenant du nord de l'Europe couvraient une grande partie de ce continent, jusqu'à atteindre la frontière nord de la Belgique; nulle trace d'extension glaciaire n'a été relevée toutefois en Sibérie ni autour du formidable massif de l'Himalaya.

Ces phénomènes ont évidemment été produits par des précipitations anormales de pluie et de neige sur les hauteurs citées ci-dessus, qui sont devenues ainsi de véritables sources de glaciers s'étendant en tout sens; en Europe, la distance parcourue par les glaces du nord au sud atteignait environ 1500 km.

Les hypothèses astronomiques émises au sujet des causes du phénomène, notamment un climat plus rigoureux dans les régions boréales, ne sont pas admissibles.

Il faudrait en effet remonter beaucoup trop loin dans la succession des temps pour retrouver les conditions astronomiques nécessaires à ce climat, alors que le dernier glaciaire ne peut guère être distant de plus de 10.000 ans. Comment expliquer pour le surplus, dans ces conditions, les extensions du Caucase, de la Suisse et des Pyrénées ?

L'explication la plus admissible est une raison géographique basée sur un mouvement du sol, à savoir l'effondrement de l'Atlantide Nord; ce phénomène permet

au Gulfstream auparavant localisé, de poursuivre sa course vers le Nord-Est et de déplacer temporairement, sur les hauteurs ci-dessus désignées, des précipitations qui auparavant tombaient sur des régions incapables d'engendrer des glaciers. Cet effondrement se serait produit en plusieurs phases auxquelles correspondraient les différentes extensions glaciaires; les précipitations atmosphériques auraient donc chaque fois subi des perturbations de très longue durée.

Certains géologues ont signalé que les périodes glaciaires concordent avec un exhaussement du sol et les interglaciaires avec un abaissement; ces mouvements alternatifs et répétés ne sont guère admissibles et il est beaucoup plus rationnel d'admettre suivant nous, que c'est le niveau des mers qui oscille, comme conséquence directe des fluctuations glaciaires venant rompre l'équivalence entre le volume des eaux enlevé et celui restitué aux mers.

Il nous paraît également certain que ce n'est pas le climat froid des époques glaciaires qui engendre les glaces; il en est tout simplement la conséquence, et ne doit avoir régné que dans les régions voisines de la calotte glaciaire; enfin, la localisation des extensions dans certaines régions de l'hémisphère boréal exclut la possibilité d'une augmentation générale des précipitations atmosphériques sur toute la surface de la Terre.

Toute hypothèse cosmique semble donc écartée.

Voici maintenant le calcul annoncé, dans lequel une seule donnée est hypothétique: c'est l'épaisseur moyenne de la surcharge des glaces estimée à 500 mètres. Cette épaisseur n'est nullement exagérée; en effet, si l'on suppose le sol couvert de glaces en pente régulière depuis la côte (+ 500) au centre d'émission des glaces, jusqu'à zéro au bord de la calotte glaciaire, soit sur 1500 km. de distance, et une pente de 1,5 millièmè pour la surface du glacier, le sommet de celui-ci se trouverait à une hauteur de 2250 m. et l'épaisseur moyenne du cône de glaces ainsi considéré serait d'environ 580 m.; l'hypothèse faite sur la pente superficielle du glacier est d'ailleurs défavorable, puisque à cette époque l'extension du glacier du Rhône dans sa partie la plus en aval, près de Lyon, avait encore une pente de plus de 4 millièmes d'après les traces laissées sur les flancs de la vallée.

Si l'on admet maintenant que la superficie des terres occupe 130 millions de km² et celle des mers 370 millions, et que la calotte glaciaire s'étend sur 21 millions de km² de terres [chiffre cité par M. de Lapparent pour la première extension du quaternaire (1)] et sur un centième de la superficie des mers, c'est-à-dire sur 24,7 millions de km², l'épaisseur de la tranche liquide enlevée à la surface des mers peut se calculer comme suit. (On doit évidemment, dans ce calcul, faire abstraction de la partie des glaces située en dessous du niveau des mers, puisque cette partie a pris la place d'un volume d'eau sensiblement équivalent):

(1) *Abrégé de géologie*, par A. de Lapparent, 3^e édition, p. 245.

Superficie restante de la surface des mers : 366,3 millions de km².
Superficie couverte par la calotte glaciaire : 24,7 millions de km².

Ces deux surfaces étant dans le rapport de 15 à 1, l'épaisseur de la tranche en question serait de 500 : 15 ou 33 m. Si l'on tient compte de la différence de densité d'un dixième entre l'eau de mer et la glace, cette épaisseur se ramène à 30 m. environ.

En ce qui concerne maintenant un développement extraordinaire des forêts, des marais et des lagunes, situation qui est réalisée à une époque tourbeuse, il n'est guère possible de se livrer à des calculs, même hypothétiques; les considérations suivantes sont toutefois de nature à montrer que ce facteur n'est pas négligeable, et qu'il peut agir sur le niveau des mers si les conditions envisagées règnent sur une superficie de terres suffisamment grande.

En dehors des périodes de la tourbe, caractérisées par le manque de crues et le débit très minime des cours d'eau, témoin leur peu de largeur, l'eau enlevée par évaporation de la surface des mers lui est restituée presque intégralement, mais avec un certain retard, par les fleuves, les glaciers et les pluies si, bien entendu, on ne se trouve pas en période d'extension glaciaire.

Il n'en est plus de même à une époque tourbeuse; un grand volume d'eau est alors fixé par la végétation, accumulé dans les marais et lagunes, et imbibe la partie supérieure de la croûte terrestre; ce volume est distrait, pour une longue durée, de celui des eaux de la mer. Les forêts condensent, en effet, l'humidité atmosphérique, diminuent, par conséquent, l'intensité des pluies, empêchent le ruissellement, retardent et diminuent l'évacuation vers les cours d'eau et favorisent l'évaporation lente à la surface du sol. Le cycle normal, évaporation à la surface des mers, pluie, transport par les cours d'eau et retour à la mer, est en grande partie modifié; enfin, les vents venant de la mer sont moins intenses et amènent moins de pluie, par suite du fait que les forêts provoquent la stagnation de l'air.

Un pareil régime, régnant pendant quelques milliers d'années, durant lesquelles certains cours d'eau n'évacuent même plus à la mer, témoin ce qui s'est passé dans la lagune flandrienne à l'époque de la tourbe, doit soustraire un volume considérable d'eau de la mer et faire baisser son niveau. Toute conjecture au sujet de l'épaisseur de la tranche correspondante est cependant impossible.

Les deux causes envisagées peuvent, pour le surplus, additionner leurs effets, une extension glaciaire n'étant nullement incompatible avec une période tourbeuse dans d'autres régions. Bien entendu, dans

une région déterminée, il semble bien que ces périodes soient la conséquence de ces extensions.

En résumé, si nous faisons abstraction des mouvements généraux et locaux du sol, des fluctuations glaciaires, des périodes tourbeuses, et des gonflements ou abaissements temporaires du niveau des mers dus à l'action des vents et des courants, nous pouvons dire que le niveau moyen de la mer reste constant.

Nous entendons d'ailleurs par niveau moyen, pour plus de simplicité, celui à égale distance de la marée haute moyenne et de la marée basse moyenne. Nous rappelons, pour le surplus, qu'en plein océan l'amplitude de la marée est petite et peu perceptible (elle ne se manifeste réellement, avec une ampleur très variable, que sur les côtes) et que les courants de marée ont une vitesse quasi nulle dans les mers profondes et larges.

Il n'y a donc aucune différence sensible à faire en pleine mer entre le niveau et le niveau moyen; le premier peut être considéré comme une surface « de niveau » ou perpendiculaire en chaque point à la direction de la pesanteur.

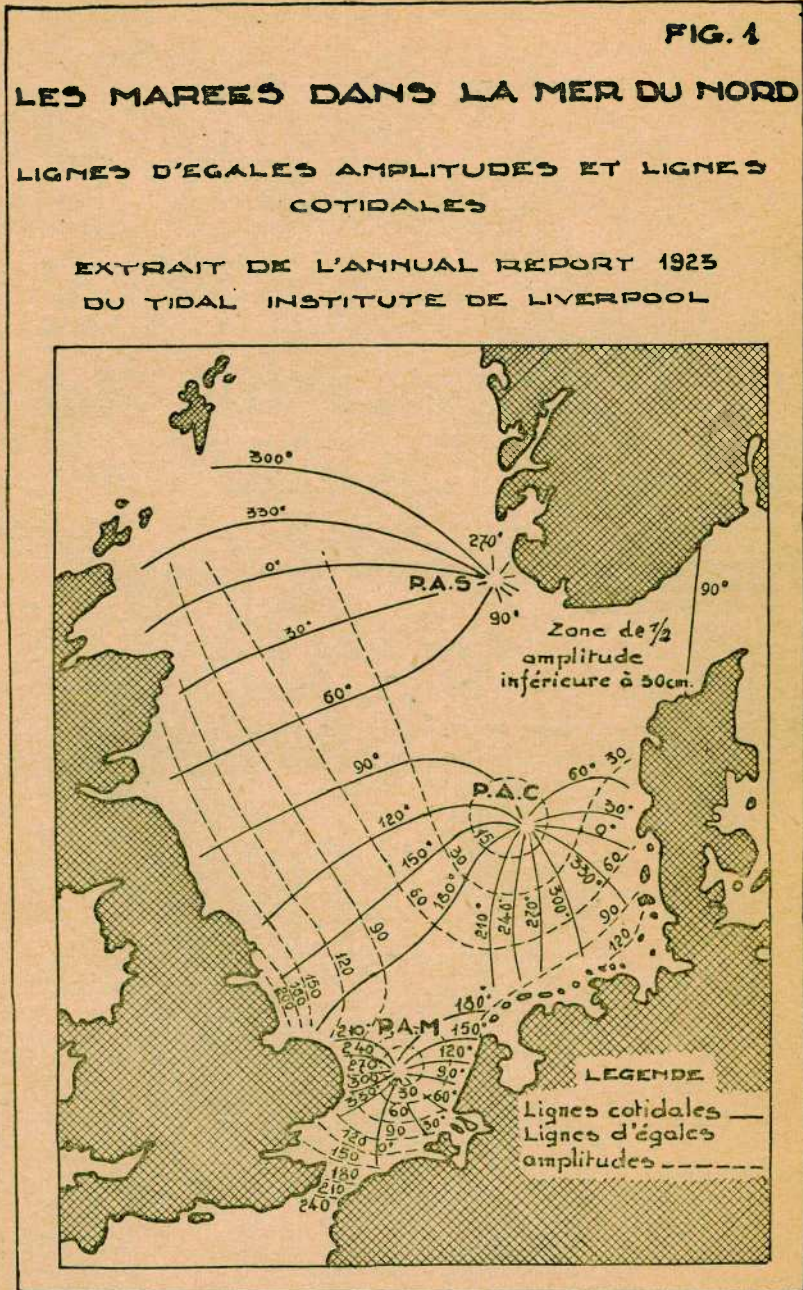
Le long des côtes et dans les mers étroites ou de peu d'étendue, le niveau moyen peut différer quelque peu de cette surface de niveau régnant au large par suite de circonstances locales. Nous aurons l'occasion d'en montrer un exemple dans le paragraphe suivant.

2. — *Amplitude moyenne de la marée et niveau moyen de la mer le long des côtes belges et néerlandaises.*

Nous rappellerons premièrement, d'une façon aussi brève que possible, la genèse des marées dans la Mer du Nord: de l'onde-marée qui parcourt l'Atlantique se détachent deux ondes dérivées; l'une parcourt la Manche et entre dans la Mer du Nord par le Pas-de-Calais, l'autre fait le tour de l'Angleterre et de l'Ecosse et rencontre la première au large des bancs des Flandres; elle a mis douze heures de plus que la première pour arriver dans cette région où il y a interférence. L'onde venant de l'Ouest est affaiblie par son passage par le Pas-de-Calais; elle ne conserve sa prédominance sur celle venant du Nord que sur la côte du continent; cette dernière prédomine sur la côte Est de l'Angleterre et de l'Ecosse.

Le régime des marées du large de la Mer du Nord, abstraction faite donc des différences assez notables qui peuvent exister le long des côtes par suite de circonstances locales telles que tracé des rives, profondeurs, embouchures de fleuves, etc., est très clairement représenté

par la carte des marées élaborée par le « Tidal Institute » de Liverpool que nous reproduisons ci-après (fig. 1).



Ce document est établi d'après une méthode nouvelle et présente des divergences assez notables avec les documents similaires dus notamment à W. Whewell (1836), à R. A. Harris (1904) et à R. Sterneck (1920); l'observation exacte des marées en pleine mer étant, en effet, très difficile et onéreuse, on a eu recours, dans cette Institution, à l'observation des courants de marée, faciles à observer dans la Mer du Nord; les résultats de ces observations, joints aux données relatives à la marée le long des côtes, ont permis ensuite le calcul des amplitudes.

Cette carte, extraite de l'*Annual Report* (1923) du « Tidal Institute », indique, en pointillé, les lignes d'égale amplitude (les demi-amplitudes sont données en centimètres), et en trait plein, les lignes cotidales, lieux géométriques des endroits où la marée haute se produit en même temps; ces dernières sont cotées en degrés, et l'intervalle qui sépare deux courbes différant de 30 degrés, représente à peu près la distance parcourue par la marée haute en une heure.

Les lignes cotidales aboutissent vers le large en des points appelés « amphydromiques » où il y a, par conséquent, constamment marée haute, c'est-à-dire que l'amplitude doit y être nulle; les lignes d'égale amplitude sont, en général, concentriques à ces points particuliers, au nombre de trois. Deux de ces points sont particulièrement intéressants pour la question qui nous occupe, à savoir le point amphydromique méridional (P. A. M.), situé à environ 90 km. au large de Hoek van Holland-Scheveningen, et le point central (P. A. C.), à 250 km. au large de Schiermonnikoog.

Dans le tableau ci-après nous avons réuni, pour les divers postes d'observation le long des côtes envisagées, la cote de M. H. et de M. B. moyenne, l'amplitude moyenne, ainsi que la cote du niveau moyen de la mer pendant la période décennale 1901-1910.

Toutes ces cotes sont rapportées au « Nieuw-Amsterdamsch Peil » (N.A.P.), qui se trouve à 2,33 m. au-dessus du zéro du dépôt de la Guerre (D).

Sur la figure 2 ci-après sont tracés, en pointillé, la courbe des amplitudes moyennes de la marée, et en trait plein le profil en long du niveau moyen; ces courbes ont été tracées « de sentiment ».

Les observations du poste de Flessingue n'ont pas été utilisées pour le tracé de ces courbes, ce poste se trouvant à proximité de celui de Wielingen et devant être considéré comme appartenant à l'Éscout Maritime et non à la Mer du Nord.

Par analogie avec Flessingue, où les courbes passent légèrement en dessous des points déterminés par l'observation, celles-ci ont été infléchies de la même façon en dessous des données du poste de Delf-

zijk; celui-ci est situé à une certaine distance à l'intérieur de l'estuaire de l'Ems, et il est à présumer que l'amplitude à ce poste est supérieure à celle qui existe à proximité, au droit du cordon littoral des îles, et que le niveau moyen y est également légèrement supérieur.

*Amplitudes moyennes de la marée et niveau moyen de la Mer du Nord
sur les côtes belges et néerlandaises.
(Période décennale 1901-1910.)*

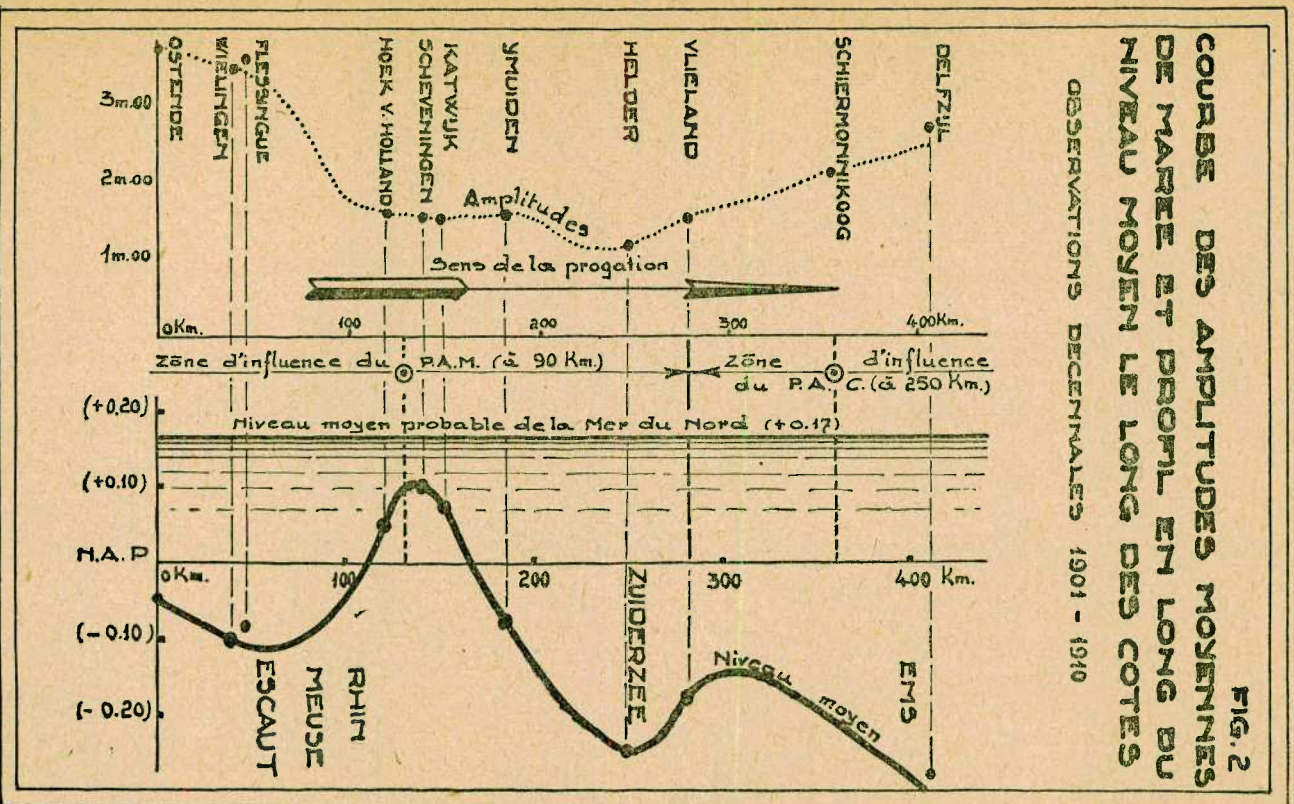
Postes d'observation	M. H. m.	M. B. m.	Amplitude moyenne en mètres	Niveau moyen
Ostende	+ 1.86	- 1.94	3,80	- 0,04
Wielingen	+ 1.77	- 1.96	3,73	- 0,10
Flessingue	+ 1.79	- 1.96	3,75	- 0,09
Hoek van Holland	+ 0.87	- 0.78	1,65	+ 0,04
Scheveningen	+ 0.90	- 0.70	1,60	+ 0,10
Katwijk	+ 0.85	- 0.71	1,56	+ 0,07
Ymuiden	+ 0.72	- 0.90	1,62	- 0,09
Helder	+ 0.33	- 0.84	1,17	- 0,26
Vlieland	+ 0.58	- 0.95	1,53	- 0,19
Delfzijl	+ 1.08	- 1.65	2,73	- 0,29

Les abscisses sont comptées dans le sens de la propagation de la marée et la position des points amphydromiques M. et C. est indiquée par projection orthogonale sur la ligne générale des côtes les plus rapprochées.

Nous appelons zone d'influence d'un P. A. la partie des côtes à laquelle aboutissent les lignes cotidales qui se détachent de ce point.

Comparons maintenant les données théoriques de cette carte avec les indications de ces deux courbes. Pour les amplitudes premièrement : du Pas-de-Calais jusqu'à Hoek van Holland, entrée du « Nieuwe Waterweg » vers Rotterdam, la côte est successivement coupée par les lignes d'égale amplitude 210 à 90 (4,20 à 1,80 m. d'amplitude), et les amplitudes enregistrées diminuent de 3,80 à 1,65 m.; ensuite, jusqu'à Helder, la côte est sensiblement concentrique à la ligne 60 et les amplitudes réelles varient de 1,65 à 1,17 m.; de plus, à Helder, où l'immense nappe du Zuiderzee a son débouché principal et joue le rôle

de régulateur de marée, on remarque un rabattement local très marqué de la courbe; enfin, jusqu'à Delfzijl, dans la zone d'influence du P. A. C., la côte est coupée très obliquement par les lignes 90 et 120



et l'amplitude y croît lentement de 1,17 à 2,73 m. Compte tenu de l'influence des côtes, il y a donc concordance parfaite.

En ce qui concerne maintenant le niveau moyen, on remarque immédiatement qu'il y a rabattement au droit des embouchures, à savoir celles du groupe Escaut, Meuse et Rhin, du Zuiderzee et de l'Ems; au delà la courbe semble être encore descendante, par suite probablement de la proximité des embouchures du Weser et de l'Elbe. Un relèvement très marqué, au contraire, se dessine au droit de la section Hoek van Holland-Katwijk, résultat du manque d'embouchures importantes; il en est de même, mais à un degré moindre, pour la section Vlieland-Delfzijl.

Ces deux sections se trouvent, la première en face du P. A. M. et la seconde en face du P. A. C.; la position et la proximité du premier de ces points sont directement cause, d'ailleurs, de la non-existence ou de l'instabilité des embouchures dans cette section; nous avons vu, en effet, que les embouchures ont une tendance à se déplacer vers des zones à plus forte amplitude de marée.

Ces rabattements de niveau au droit des embouchures sont des phénomènes d'hydraulique très naturels; ils sont provoqués par les variations dans la vitesse des courants, et sont analogues aux chutes de prise d'eau à la sortie des réservoirs et aux dénivellations qui se produisent au droit des piles de pont, résultats de la contraction des veines liquides.

En résumé, les différences entre les niveaux moyens sont peu sensibles, quelques décimètres tout au plus, et il est probable que le niveau moyen dans la Mer du Nord dans les parages de la ligne des points amphydromiques, où les courants sont insensibles et les cotes de niveau par conséquent les plus élevées, est approximativement de (+ 2,50) (D) ou (+ 0,17) (N. A. P.). Au sujet de cette cote, il est intéressant de signaler que l'ancien repère de nivellement usité en Hollande, l'Amterdamsch Peil (A. P.) se trouvait à 2,2275 m. au-dessus du zéro du Dépôt de la Guerre et qu'il était réputé se trouver à 0,149 m. au-dessus du niveau moyen de la mer à Amsterdam. Il s'ensuit donc que ce dernier niveau se trouve à la cote $-(2,33 - 2,2275 + 0,149)$ ou $(-0,2515)$ par rapport au (N. A. P.), ce qui correspond parfaitement avec le niveau moyen à Helder $(-0,26)$.

On peut donc dire que le niveau du Zuiderzee se trouvait à environ $(0,25 + 0,17)$ ou 0,42 m. en dessous de celui de la Mer du Nord dans sa partie centrale.

Cette situation, qui paraît paradoxale à première vue, est en réalité très naturelle; le Zuiderzee est, en effet, un réservoir régulateur de marée de grande puissance intercalé entre des cours d'eau à débit

supérieur relativement minime, et un point de la côte (Helder), où l'amplitude de marée est très faible par suite de la proximité du P. A. M.; le niveau moyen de la mer y est abaissé, pour le surplus, par suite des circonstances locales intéressant toute la côte, depuis l'Escaut jusqu'au delà de l'Elbe. Si l'on suppose, par exemple, un réservoir semblable au Zuiderzee, intercalé sur l'Ems à proximité de Delfzijl, le niveau moyen qui se réaliserait dans cette nappe serait à une cote encore inférieure à celle du Zuiderzee; l'amplitude de la marée serait évidemment diminuée en ce poste par suite de cette intercalation. Pour le groupe Escaut-Meuse-Rhin, la réalisation d'un dispositif semblable aurait encore les mêmes conséquences, mais le niveau moyen qui se réaliserait dans le réservoir serait plus élevé que celui du Zuiderzee et la diminution de l'amplitude peut-être insignifiante, à cause de la grande puissance de ces estuaires et du fort débit supérieur de ces fleuves.

Bien entendu, des modifications semblables apportées dans ce sens auraient une certaine influence sur le régime des marées dans la Mer du Nord à proximité de ces côtes. La démonstration en a été faite par le barrage du Zuiderzee; en effet, les amplitudes de marée enregistrées après la fermeture du Zuiderzee, dans tout le Waddensee, nom donné à la partie non endiguée de cette mer, sont notablement supérieures aux anciennes; certaines ont même été doublées; ces résultats avaient d'ailleurs été prévus par le calcul (1).

3. — *Variations de niveau de la Mer du Nord pendant l'ère géologique quaternaire et moderne.*

La Mer du Nord qui, dès l'ère tertiaire, semble avoir servi d'exutoire aux cours d'eau de la région qui nous occupe, n'a pas toujours existé telle que nous la connaissons actuellement. Au début de l'ère quaternaire, notamment, elle ne communiquait pas encore avec la Manche et formait un golfe; l'Angleterre était soudée au continent au droit du Pas-de-Calais et même de la côte belge actuelle (2). Un fleuve impor-

(1) *Bulletin de l'Association Internationale permanente des Congrès de Navigation*, janvier 1933, n° 15. « L'influence de la fermeture du Zuiderzee sur le régime des marées le long des côtes néerlandaises », par M. J. Th. Thyssé, Ingénieur en Chef des Travaux du Zuiderzee, Directeur du Laboratoire Hydrotechnique annexé à l'Université technique de Delft.

(2) La Mer du Nord porte successivement en géologie, pendant l'ère tertiaire les noms de tongrienne, rupélienne, bolderienne, anversienne, diestienne, scaldisienne et poederlienne, et, pendant l'ère quaternaire, de moséenne, campinienne et flandrienne, d'après les noms des différents sédiments qu'elle a déposés sur nos côtes et dans les estuaires de l'époque.

tant, venant des hauteurs de l'Artois, se déversait encore, à l'époque campinienne, dans une baie qui formait la pointe sud-ouest de cette mer, à l'emplacement de la Zélande et de la région au nord de Gand; son cours aval suivait approximativement la région poldérienne actuelle le long de la côte belge; dans cette baie se jetaient également la Lys, l'Escaut et un prolongement du Rupel, agrandi par la Dendre, parcourant en sens inverse à peu près le cours de l'Escaut actuel entre Gand et Rupelmonde.

Une première extension glaciaire quaternaire, qui avait étendu son front jusqu'au delà des frontières nord de la Belgique, avait barré complètement la Mer du Nord; les cours d'eau qui y trouvaient issue furent ainsi privés de leur exutoire et leurs eaux se dirigèrent vers l'ouest, le long du front de la calotte glaciaire et vinrent s'accumuler dans la minime portion de cette mer non comblée par les glaces. Le niveau de ce lambeau de mer monta en conséquence, et les eaux se déversèrent finalement par dessus le sol de l'isthme du Pas-de-Calais dans la Manche, où régnait déjà un niveau très abaissé; l'isthme fut naturellement attaqué par les eaux du côté de la Manche et une tranchée s'y creusa. Les géologues ne peuvent évidemment déterminer jusqu'à quel point le nouveau détroit fut réalisé par cette première érosion et jusqu'à quel niveau les eaux purent baisser dans ce lambeau de Mer du Nord. Quand plus tard, les glaces reculèrent et que le barrage de glaces fut rompu dans la Mer du Nord, un niveau correspondant à celui des autres mers s'y rétablit. Il y eut donc successivement, abaissement de niveau jusqu'à la formation du barrage, relèvement jusqu'au déversement par-dessus l'isthme, abaissement graduel pendant l'érosion de celui-ci et probablement pendant la rupture du barrage, enfin relèvement concordant avec celui des autres mers. On était alors au début de l'époque moséenne.

Nous allons nous placer maintenant à l'époque flandrienne, au début du dernier glaciaire, qui allait parachever le creusement de l'isthme du Pas-de-Calais et réaliser dans nos régions la situation hydrographique actuelle; cette extension a vraisemblablement été provoquée par la phase finale de l'effondrement de l'Atlantide nord.

La mer dite flandrienne occupait alors toute la partie des Flandres et des provinces d'Anvers et de Brabant située approximativement au nord d'une ligne jalonnée par les villes d'Aerschot, de Gand et d'Ypres.

D'après certains géologues, le retrait de cette mer fut assez brusque; il est possible que les restes de dunes que nous avons signalés dans notre mémoire primitif à Heusden, Melle, Uitbergen et Berlaere, soient des « témoins » de la côte de la mer flandrienne à son maximum d'extension; la régression de cette mer a sans doute été moins rapide dès que la côte actuelle de nos régions fut franchie, à cause de la plus forte pente du sol; des temps d'arrêt ont d'ailleurs pu se produire dans ce mouvement, permettant la formation de faibles lignes dunales; des dunes éoliennes purent se former également sur le sol sablonneux

abandonné par les eaux. Ces massifs semblent avoir subsisté en partie jusqu'à nos jours et on les retrouve, notamment, dans la région dunale de la côte, où ils sont reconnaissables à leur végétation spéciale, souvent fleurie et à leur minime hauteur; beaucoup sont ensevelis sous les dunes modernes; ces massifs sont connus sous le nom d'anciennes dunes flamandaises.

Le retrait de la mer flamandaise fut provoqué, suivant nous, par l'extension glaciaire qui allait à nouveau barrer la Mer du Nord, sans toutefois s'étendre aussi loin vers le sud que lors de la première extension. Un volume d'eau moins grand fut donc distrait des mers et il semble raisonnable d'admettre qu'une baisse de niveau d'environ 20 m. s'est produite à cette époque.

Nous pouvons nous rendre compte, maintenant, de l'étendue du retrait qui se serait opéré dans de semblables conditions.

En prenant comme point de départ le rivage de la mer qui aurait coïncidé sensiblement avec la rive droite de l'Escaut actuel entre Gand et Termonde, nous constatons, premièrement, qu'il est partout à peu près à la cote (+ 10,00) sans traces d'anciennes dunes, alors que le terrain de la rive gauche est en général, sur une grande profondeur, au maximum à la cote (+ 5,00), avec des restes isolés de dunes à la cote (+ 10,00). Le niveau de la mer en cet endroit devait, par conséquent, se trouver au minimum à la cote (+ 5,00), abstraction faite des affaissements éventuels du sol depuis la fin du flamandais, et être par conséquent plus élevé que le niveau actuel de la Mer du Nord (+ 2,50), comme nous l'avons estimé au paragraphe II ci-dessus.

Cette différence pourrait s'expliquer soit par une régression glaciaire antérieure à l'époque flamandaise qui aurait fait monter le niveau de la mer à cette époque, soit par la phase finale de l'effondrement de l'Atlantide nord qui a pu provoquer une montée des eaux de la mer, soit encore par un affaissement du fond d'un océan postérieurement à l'époque flamandaise ou même par la longue période tourbeuse postérieure au flamandais; ces deux derniers phénomènes étant en effet de nature à faire baisser le niveau des mers.

Quoi qu'il en soit, la question est sans grande importance au point de vue des constatations à faire quant à l'étendue approximative du retrait de la mer, la baisse de niveau que nous admettons pouvant différer de plusieurs mètres avec celle qui s'est réellement produite.

En supposant le niveau de la mer à mi-hauteur entre la crête des dunes à la cote (+ 10,00) et le niveau du sol à leur pied (+ 5,00), donc à (+ 7,50), un abaissement de 20 m. le ramènerait à la cote (— 12,50) au moment du retrait maximum, ce qui reporterait la côte

flandrienne, en se basant sur les profondeurs actuelles de la mer, sur une ligne contournant les bancs des Flandres, le West et Oost-Hinder et les bancs de Schouwen, et se rapprochant ensuite de la côte néerlandaise pour serrer celle-ci sur toute sa longueur; en réalité, par suite de l'affaissement inégal du sol, cette ligne pourrait se trouver à quelque distance de celle qui est indiquée sur la figure 3 ci-contre, en supposant les effets du creusement par les courants de marée contrebalancés par les apports des fleuves.

Bien entendu, ceci suppose le Pas-de-Calais suffisamment creusé au début du dernier glaciaire pour servir d'exutoire, dès le barrage de glaces établi, aux fleuves amenant leurs eaux dans la mer flandrienne et permettre l'établissement dans celle-ci du niveau abaissé des autres mers. Si l'on suppose le Pas-de-Calais insuffisamment creusé, une certaine dénivellation a dû y exister aux premiers temps de cette extension glaciaire, mais elle aura dû disparaître rapidement par suite de l'érosion violente qu'elle dut provoquer.

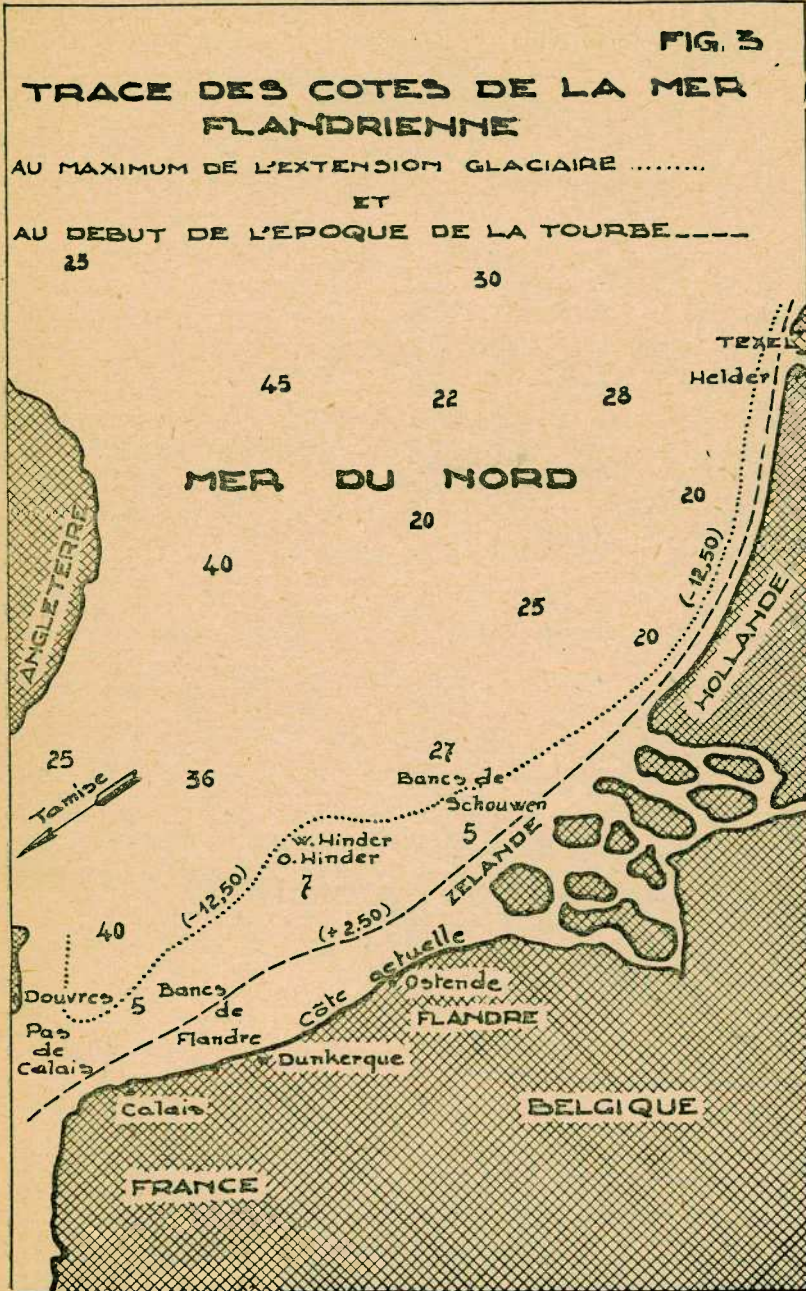
Une ligne de dunes, très faible d'ailleurs, parce que l'amplitude de la marée devait être insignifiante après l'établissement du barrage de glaces, s'ébaucha ensuite le long du tracé indiqué ci-dessus; mais bientôt, le débit des cours d'eau augmentant par suite de la fonte des glaces, une forte crue se produisit, inondant les vallées et les dépressions du fond de l'ancienne mer flandrienne, charriant les arbres fauchés par les glaces et dirigeant ces troncs vers la mer et vers la dépression qui devait devenir plus tard la lagune tourbeuse; celle-ci était en cul-de-sac vers le Pas-de-Calais.

Il est probable que le parachèvement du Pas-de-Calais a été contemporain de ces derniers phénomènes, ainsi que le dépôt de la glaise et du sable bleuâtres.

Le niveau des mers monta en même temps, la ligne dunale commença son mouvement de recul vers les terres et, finalement, le barrage de glaces fut surmonté. Les eaux, qui devaient s'être accumulées assez sensiblement dans ce qui restait de la mer flandrienne par suite de l'insuffisance probable du débouché par le Pas-de-Calais, baissèrent momentanément dans celle-ci et les arbres s'échouèrent dans la future lagune tourbeuse; en même temps, la marée fit sa réapparition, faible d'abord, mais augmentant ensuite au fur et à mesure que les débouchés vers le nord et vers l'ouest s'agrandissaient.

Le mouvement ascendant de la mer reprit ensuite, et quand le niveau moyen normal environ (+ 2,50) fut atteint, la côte se stabilisa sensiblement sur une ligne qui devait se trouver à une certaine distance en avant de la côte actuelle à cause des tassements ultérieurs du sol; elle

englobait encore probablement la majeure partie des bancs actuels près de la côte (voir figure 3); les dunes se développèrent alors et purent



atteindre une hauteur correspondante à l'amplitude de la marée. Le mouvement de recul de ces dunes continua ensuite à une cadence beaucoup moins forte, le lent affaissement du sol entrant seul en jeu dès ce moment.

Mais un autre facteur vint influencer, à un certain moment, ce mouvement de recul, à savoir la diminution de l'amplitude de la marée; cette question sera examinée dans le paragraphe suivant.

La stabilisation relative de la côte, accompagnée du développement des dunes indispensable à la formation de la lagune tourbeuse, marqua la fin de la régression glaciaire et de l'époque flandrienne. Les forêts se développèrent, les pluies diminuèrent en se régularisant, l'époque de la tourbe débuta et, avec elle, l'ère moderne.

Comme nous l'avons déjà exposé, il est possible que le développement des forêts, et de la végétation en général, ait fait baisser légèrement le niveau des mers pendant la période de la tourbe; nous ne serons toutefois pas éloigné de la vérité en disant que le niveau moyen des mers, depuis le commencement de l'époque moderne jusqu'à nos jours, ne s'est pas écarté sensiblement de la cote (+ 2,50) (D).

4. — *Variations de l'amplitude de la marée dans la Mer du Nord.*

On ne connaît pas de cartes de marée dans la Mer du Nord antérieures à celle de Whewell (1833); cette dernière ne donne que les lignes cotidales dont l'allure ne diffère pas sensiblement de celle des lignes de la carte de 1923 que nous avons reproduite (voir fig. 1); le P. A. M. s'y trouve un peu plus au Sud, et le P. A. C. y est ébauché à peu près dans la même position; le P. A. septentrional fait toutefois défaut; les lignes d'égale amplitude manquent. Eu égard au perfectionnement que la méthode d'établissement de ces cartes a subi depuis lors, il n'est pas possible de faire des comparaisons sur ces bases.

Dans le paragraphe IX du chapitre II de notre mémoire primitif, nous avons montré que l'amplitude de la marée à l'embouchure de l'Escaut Occidental diminua brusquement, d'une manière assez sensible, vers 1288 environ, et nous avons commenté ce fait de la façon suivante: « Que s'est-il passé à cette époque dans le régime des marées? S'agit-il d'une augmentation générale mais passagère de l'amplitude de la marée, ou bien y a-t-il eu modification locale dans celle-ci par suite de l'envahissement de la terre ferme et de la formation d'un golfe à l'emplacement des îles submergées? Nous inclinons pour cette dernière hypothèse et nous croyons, en outre, que la forte amplitude qui a régné à cette époque a dû diminuer assez brusquement par suite de l'ouverture de l'Escaut Occidental, pour baisser ensuite graduellement

au fur et à mesure que le flot s'engouffre davantage dans ce fleuve ».

Des constatations nouvelles qu'il nous a été permis de faire de 1926 à 1939, après la rédaction de notre mémoire primitif, le long de la côte belge entre Nieuport et la frontière française, prouvent que le phénomène en question n'a pas été localisé à l'embouchure de l'Escaut Occidental, mais qu'il s'est étendu à toute la côte belge, et qu'il constitue, avec la formation de ce fleuve, deux effets d'une même cause, à savoir une recrudescence dans l'affaissement du sol qui provoqua la submersion de beaucoup de terres sises devant la côte.

Cette cause devait nécessairement entraîner la diminution brusque de l'amplitude puisque, dans les mers peu profondes, celle-ci est fortement influencée par les modifications mêmes légères dans la profondeur de la mer.

Nous avons donc écarté l'hypothèse d'une diminution générale de l'amplitude succédant à une augmentation générale passagère et cru à un phénomène local par suite du fait que l'un des effets, le percement du fleuve, réagit sur l'autre effet, la diminution de l'amplitude, en accentuant localement ce dernier résultat, alors qu'il s'agit d'une diminution probablement assez brusque, non précédée d'une augmentation temporaire.

Nous développons et analysons ci-après le résultat de ces constatations nouvelles.

La ligne de hautes dunes avec estran surélevé, sise en arrière des dunes frontales, n'existe pas seulement dans le massif dunal de Knocke; on la retrouve, notamment, de Nieuport à la frontière française, région que nous avons particulièrement explorée; elle est inexistante là où la ligne frontale actuelle a déjà dépassé, dans son mouvement de régression, l'emplacement de ces anciennes hautes dunes contemporaines de la grande amplitude, c'est-à-dire antérieures au XII^e ou XIII^e siècle, dunes qui ont évidemment été rasées là par les flots.

Comme dans la région de Knocke, des restes archéologiques de divers âges se retrouvent sur l'estran devant ces vieilles dunes: silex taillés, poteries belgo-romaines et romaines, etc. Ils sont particulièrement nombreux dans le secteur de Coxyde-La Panne-frontière française et décèlent, devant cette section, l'existence d'anciennes terres habitées qui n'ont cependant laissé aucune trace dans l'histoire; leur submersion s'est probablement produite à une époque trop reculée.

Les fouilles entreprises en 1927, 1928 et 1929 à La Panne, par les Musées Royaux d'Art et d'Histoire, sous la direction de M. E. Rahir, Conservateur de ces Musées et Directeur du service des fouilles de l'Etat, à l'endroit dénommé « Camp des Romains », précisément au droit de l'estran devant la ligne de hautes dunes

à proximité de la frontière, sont venues confirmer cette façon de voir, puisque les terres anciennement habitées ne sont pas entièrement submergées et s'étendent notamment à l'endroit des fouilles (1).

Nous ne croyons pas cependant que les découvertes qui y ont été faites présentent un caractère aussi local que celui qu'on leur attribue, nous avons en effet trouvé à Coxyde, dès 1926, sur l'estran devant les hautes dunes, divers échantillons des mystérieuses plaques trouées qui auraient été utilisées dans l'industrie potière à La Panne; nous eûmes l'occasion, en mars 1928, de les remettre à M. E. Rahir, qui ne put à ce moment les identifier; de plus, nous avons vu au Musée de Côme en Italie, des poteries analogues à celles qui auraient été fabriquées à La Panne à l'âge du fer, mais portant la mention « poteries gallo-romaines ».

Nous devons également signaler à propos de la nature de l'argile avec laquelle furent confectionnées les poteries de La Panne, que celle-ci ne pouvait provenir des polders, qui étaient encore existants à l'époque de la tourbe; des formations locales d'argile ou de glaise existaient cependant, comme celles que nous voyons intercalées dans la tourbe, surtout à sa partie supérieure. C'est dans ces sédiments ou dans des argiles encore plus anciennes qu'il faut rechercher le matériau employé à La Panne.

Nous allons maintenant, pour plus de clarté et de facilité, exposer premièrement le processus du recul des dunes, tel que nous l'envisageons, en nous basant sur les déductions faites de nos observations.

Nous nous plaçons donc à la fin de la dernière régression glaciaire, au moment où le niveau de la Mer du Nord avait atteint la cote (+ 2,50) environ, moindre de quelques mètres, semble-t-il, que celle de ce niveau au commencement de cette extension; la ligne de dunes qui se forma alors n'atteignait pas la côte actuelle dont le terrain était à ce moment plus élevé que maintenant d'une quantité égale au tassement du sol depuis cette époque jusqu'à nos jours. Nous estimons comme probable que la majeure partie des terres et des îles dont question ci-dessus étaient à ce moment, ou bien soudées intérieurement à la côte dans la lagune tourbeuse et protégées du côté de la mer par cette ligne de dunes, ou bien formaient îles dans cette lagune; le niveau des eaux de celle-ci se trouvait d'ailleurs, à certains moments, sensiblement plus bas que le niveau de la mer. La partie méridionale de la lagune belgo-néerlandaise devait, en effet, rester très longtemps sans issue à la mer et pouvait même, en conséquence, s'assécher pendant l'été. Quelques îles peuvent avoir été abandonnées sans défense contre les flots par la ligne dunale dans son mouvement de régression; elles n'ont pu avoir qu'une existence éphémère, après avoir été soudées premièrement à la côte à marée basse, comme l'indique César dans ses « Commentaires » pour les îles de son époque.

(1) Voir notamment extrait du *Bulletin de la Société Royale Belge d'Anthropologie* : La Panne. — Fabrication de poteries. — Habitats et Sépultures de l'âge du fer. — Romanisation des habitants de l'âge du fer, — par E. Rahir, Bruxelles, 1930.

Quelle était maintenant l'amplitude de la marée à ce moment, c'est-à-dire au début de la période tourbeuse ?

Pour répondre à cette question, il faut premièrement en résoudre une autre, celle de savoir si l'ouverture du Pas-de-Calais a augmenté ou diminué l'amplitude de la marée dans la Mer du Nord

Certains auteurs traitant de la question ont opté pour l'augmentation, se basant sur le fait que l'amplitude le long du continent diminue actuellement depuis Calais, où elle est de 6 m. environ, jusqu'à Helder où elle n'est plus que de 1,17 m.; nous croyons cependant que les hydrauliciens seront en général de l'avis opposé.

Il suffit, pensons-nous, de faire observer à cet égard que le long de la partie des côtes écossaises et anglaises où l'influence de la vague marée venant du nord est prépondérante, l'amplitude varie actuellement de 3 à 7 m. et n'a pu être que peu influencée par le percement de l'isthme, et que plus au sud l'amplitude est déprimée jusqu'à présenter un minimum de 2 m. à Yarmouth, mais qu'il est certain que des amplitudes de 7 m. et plus y régnaient dans le temps. Le long des côtes du continent où l'amplitude devait être peu différente de celle des côtes opposées, la diminution a donc été forte. Il est pour le surplus évident qu'au fond d'un golfe s'étendant du nord au sud, l'amplitude doit aller en croissant dans cette direction, abstraction faite de l'influence des circonstances locales en certains endroits (1).

Il ne faut pas se laisser influencer d'autre part par l'argument tiré par certains auteurs des grandes vitesses des courants de marée dans le Pas-de-Calais, car grande vitesse signifie interférence des deux ondes marée et diminution donc de l'amplitude.

Nous estimons donc que le percement de l'isthme a fait diminuer l'amplitude dans la Mer du Nord, et que cette diminution a été très forte sur les côtes belges et néerlandaises.

Si l'on envisage, d'autre part, qu'à la fin de l'ère tertiaire l'amplitude de la marée était très forte également dans la mer scaldisienne et poederlienne, témoins les deux énormes bancs de coquilles du scaldisien à Anvers et les plages immenses du poederlien en Campine (2), nous ne serons pas loin de la vérité en fixant à au moins cinq mètres l'amplitude régnant le long de la côte belge au début de l'époque de la tourbe; cette amplitude diminuait probablement très lentement le long de la côte néerlandaise, les estuaires actuels étant inexistantes ou d'un débit fort minime.

Une ligne de hautes dunes a donc dû se former le long de la côte dès le début de l'ère moderne et reculer ensuite progressivement au fur et à mesure de l'affaissement du sol. Nous savons, toutefois, que ce dernier mouvement a dû présenter des paroxysmes; ceux-ci ont

(1) Il nous semble probable que le percement du Pas-de-Calais a provoqué la formation du P.A.M. Des expériences sur modèle réduit pourraient donner des indications à ce sujet.

(2) Assez récemment des sondages ont été faits au pied des dunes du Poederlien dans les environs de Casterlé en Campine, du côté de l'ancienne lagune; ils ont prouvé que le terrain sous-jacent était plus moderne que le poederlien; nous croyons toutefois ne pas devoir nous incliner devant ce fait, étant donné que ces dunes ont parfaitement pu se déplacer sous l'action du vent.

provoqué, dans le mouvement de régression des dunes, des irrégularités et même des progressions temporaires que nous allons analyser ci-après.

Quand un de ces paroxysmes a fait baisser assez brusquement le niveau du sol, l'amplitude de la marée diminue semblablement, d'abord parce que la mer s'approfondit, ensuite parce que l'onde-marée venant de la Manche acquiert une influence plus forte. Une nouvelle ligne dunale prend alors naissance à proximité de la nouvelle laisse de M. H. et tous les sables qui alimentent cette érection ne peuvent plus contribuer à l'entretien de la vieille dune haute. On sait, d'autre part, que les dunes sont attaquées par le vent, en certains points beaucoup plus fortement qu'ailleurs, pour des raisons locales; quand elles sont en première ligne, la mer amène constamment les matériaux nécessaires pour réparer les dégâts; quand, au contraire, elles sont en seconde ligne ou plus loin, les pertes ne sont plus compensées par les gains, des brèches s'ouvrent et peuvent donner lieu à des irruptions de la mer lors des fortes marées hautes dépassant la nouvelle ligne dunale, et même provoquer la formation d'estuaires temporaires ou définitifs, si les circonstances locales s'y prêtent. Ces estuaires coupent l'ancien estran, arrêtent les sables qui sont encore chassés le long de celui-ci quand le vent souffle dans sa direction, et les sables s'amoncellent près de la brèche; sur l'autre rive, la brèche s'élargit par la même cause, et, par vent soufflant dans celle-ci, les sables envahissent l'intérieur des terres des deux côtés de l'estuaire.

Trois cas doivent maintenant être envisagés quand l'un de ces paroxysmes se produit :

1° L'affaissement local du sol et la diminution de l'amplitude sont tels que la nouvelle dune se forme à peu de distance en avant de l'ancienne; la première vient alors se souder à celle-ci en la consolidant et les brèches ne peuvent se former, la nouvelle dune entraîne ensuite l'autre dans son recul.

2° L'affaissement local du sol est faible mais la diminution de l'amplitude sensible; la nouvelle dune se forme alors à une certaine distance en avant de l'ancienne et tous les phénomènes décrits ci-dessus peuvent se manifester dans toute leur ampleur.

3° L'influence de l'affaissement local est prépondérante et annule celle de la diminution d'amplitude; la haute dune est attaquée et disparaît au bout d'un temps plus ou moins long, et la nouvelle se forme en arrière.

Il est à remarquer qu'une haute dune abandonnée en seconde ligne ne recule plus, sauf par l'effet du vent, si elle n'est pas protégée par une végétation suffisante; elle peut, à un certain moment, être rejointe par la nouvelle; le résultat est, dès ce moment, semblable à celui du premier cas considéré ci-dessus.

Le processus du recul des dunes étant ainsi défini théoriquement, nous pouvons maintenant comparer ses indications avec les résultats de l'observation directe.

Avant d'y procéder il est nécessaire d'écartier encore une objection qui pourrait être opposée à l'existence d'une grande amplitude à l'époque flandrienne et moderne.

Nous avons admis plus haut, pour faire le calcul du retrait de la mer flandrienne, que son niveau moyen sur la côte Gand-Termonde-Rupelmonde était de (+ 7,50) environ; cette hypothèse entraîne évidemment avec elle une amplitude assez faible sur cette côte, sinon les dunes auraient dû se former sur la crête à la cote (+ 10,00) formant la rive droite actuelle de l'Escaut; or, à part un élément de dune minuscule avec crête à la cote (+ 20,00) se trouvant au sud-est de Wetteren le long du chemin de fer (1), et des formations dunales à la cote (+ 10,00) dans la région de Bornhem, nulle part rien de semblable n'est à retrouver.

On pourrait en conclure que l'amplitude dans la mer flandrienne était faible et ruiner ainsi notre thèse; en réalité la baie de cette mer au nord de Gand était barrée par des îles, et elle se trouvait sensiblement dans les mêmes conditions que le Zuiderzee avant son endiguement; l'on conçoit donc que l'amplitude de marée ait pu y être beaucoup moins forte qu'en dehors de la ceinture des îles côtières en question.

Une autre réfutation de cette même objection pourrait être basée sur l'hypothèse que le tassement du sol de cette baie depuis le flandrien ait été moins fort au nord qu'au sud, et que par conséquent le terrain de cette baie, qui actuellement est sensiblement de niveau à la cote (+ 5,00), ait pu avoir à l'époque flandrienne une pente vers le nord et que la laisse de M.H. était tout simplement à la cote (+ 5,00) avec un niveau moyen de la mer sensiblement plus bas à (+ 2,50) par exemple.

Il ne serait plus nécessaire dans ce cas, comme nous avons dû le faire, de recourir à une diminution du niveau de la mer de (+ 7,50) à (+ 2,50) depuis la dernière extension glaciaire, et le retrait maximum de la mer se serait produit jusqu'à la cote (— 17,50).

Quoi qu'il en soit, l'objection ne serait pas de nature à ébranler nos thèses.

Nous devons encore mettre en évidence le fait que d'après le deuxième cas envisagé plus haut, les estuaires se formeraient surtout dans les régions à faible affaissement, là où la haute dune en arrière de la nouvelle subsiste ou a subsisté; cela paraît évidemment paradoxal, mais on ne doit pas oublier que ces régions sont plus élevées que les autres et par conséquent dépourvues de tourbe, et que nous avons montré dans notre mémoire primitif que c'est là une cause principale d'invasion de la mer.

Nous appuyons finalement sur l'impossibilité de l'existence d'estuaires pendant la lagune tourbeuse ou argileuse, comme nous l'avons montré précédemment; le système d'assèchement naturel d'une lagune est parallèle à la côte; dès qu'un système perpendiculaire à celle-ci s'établit, il est destructif de la lagune. C'est ce

(1) Cette dune minuscule semble plutôt être en relation avec le promontoire panisielien qui aboutit en face, de l'autre côté du chemin de fer, venant de la direction de Cherscamp, et dont la pointe est à la cote (+ 25,00).

qui est arrivé pendant le dépôt de l'argile supérieure des polders, où divers estuaires se sont formés à la côte entre le IX^e et le XIV^e siècle semble-t-il; certains de ceux-ci, grâce à l'existence de cours d'eau intérieurs avec un débit supérieur suffisant, purent se maintenir jusqu'à nos jours et se stabiliser comme l'Escaut Occidental et l'Yser, ou durer quelques siècles, comme le Zwyn, les autres n'eurent qu'une existence éphémère; les restes qui subsistent de ceux-ci, formèrent avec des canaux d'écoulement artificiels, le réseau hydraulique des polders qui s'établirent sur l'ancienne lagune argileuse. Celle-ci se couvrit de nombreux villages facilement reconnaissables à leurs noms, dont la plupart se terminent en « Kerke » et « Kapelle ». Les anciennes éminences de la plaine flamandaise étaient cependant occupées par des villages beaucoup plus anciens à noms celtiques et francs, dont les habitants ont certainement cultivé, tout au moins partiellement, l'argile inférieure de la lagune, comme le long de l'Escaut Occidental.

La carte géologique de Belgique montre que l'argile supérieure des polders déposée par les cours d'eau formant le prolongement de ces estuaires et par les eaux d'inondation, se trouve notamment au droit de l'estuaire du Zwyn, de Knocke, Blankenberge, Le Coq, Ostende, Middelkerke, Nieuport, et du secteur Oostduinkerke-La Panne.

Nous pouvons maintenant passer en revue ce qui s'est passé réellement à la côte.

A l'embouchure de l'Escaut et du Zwyn, où la région a été bouleversée par le creusement du premier de ces fleuves, il est impossible de tirer des conclusions; tout ce que l'on peut observer, c'est que les dunes voisines de Walcheren sont très hautes, mais comme cette côte est perpendiculaire à la côte belge, il est probable que le vent est ici un facteur dominant de cette élévation.

Pour la région de Knocke nous avons longuement exposé, dans notre mémoire primitif, les modifications survenues à la suite de la diminution de l'amplitude; certains points de vue de détail devraient cependant être révisés, l'hypothèse d'une diminution locale de l'amplitude ayant conduit à quelques déductions qui ne peuvent être maintenues; nous ne croyons pas, cependant, devoir entrer dans des détails à ce sujet, les conclusions principales étant exactes.

A Blankenberge, on ne trouve qu'un tronçon de hautes dunes derrière la digue maçonnée, mais il est probable que ces dunes ont existé sur une plus grande longueur et ont été rejointes par les nouvelles dunes peu avant que celles-ci n'aient reculé jusqu'à l'emplacement actuel.

Au Coq, secteur que nous n'avons pas étudié sur les lieux, nous sommes dans une région de vieilles dunes, de genêts, de bruyères et de restes archéologiques de l'époque romaine et franque; une panne (mare desséchée) porte le nom de « de Santvloghe »; il y a donc eu là des vols de sables intenses.

Chose curieuse, dans cette région un vieux chemin conduisant des dunes au village de Clemskerke porte le nom de Vosseslag (Vorschlag), ce qui est le chemin à travers les marais; or, « slag » pour

chemin n'est employé, semble-t-il, qu'en Campine et au delà de la Meuse : Winterslag, le chemin qui tourne, Donderslag, le chemin à travers la mare, Moerslag (au nord de Fouron-le-Comte), le chemin dans la tourbe. Sont-ce les Eburons, proscrits par César dans les îles de la côte, qui ont donné ce nom au chemin ? S'il en était ainsi, la toponymie serait réellement d'une aide précieuse aux autres sciences ! (1)

A Ostende et à Middelkerke, les hautes dunes sont absentes ou ont disparu par la main de l'homme, mais il y avait devant la côte, du X^e au XVI^e siècle, une langue de terre s'étendant d'Ostende à Westende, dénommée « Streep » ; ces deux localités y étaient d'ailleurs établies primitivement, ainsi que les villages de Mariakerke, Middelkerke et Walravensyde ; tous ont dû reculer devant l'invasion de la mer. Cette île très allongée devait être protégée du côté de la mer par de fortes dunes (2), sinon elle n'aurait pu subsister si longtemps ; du côté des terres elle était couverte de schorres.

Il nous paraît certain qu'il s'agit là de l'emplacement des vieilles dunes contemporaines de la forte amplitude, lesquelles n'ont pas été entraînées par le mouvement de recul des nouvelles dunes qui s'étaient érigées devant elles ; celles-ci se sont ensuite reformées derrière ces hautes dunes quand la nouvelle ligne dunale avait dépassé le « Streep » à l'est et à l'ouest.

Il s'agirait donc d'un cas particulier, provoqué par le dépôt dans cette région d'alluvions fertiles qui ont formé les schorres et permis sans doute auparavant aux vieilles dunes d'acquérir une stabilité peu ordinaire, probablement par suite d'une végétation très développée.

Nous renvoyons ici les lecteurs, surtout ceux qui s'intéressent à l'archéologie, à la biologie et à l'histoire, aux remarquables études que M. K. Loppens a publiées à ce sujet (3).

Cet auteur signale, notamment, un estuaire au nord de Westende dans la direction de l'Est ; c'était probablement une passe de flot ne laissant passer que de l'eau de mer chargée de sable ; la carte géologique ne mentionne du sable à « Cardium » qu'au sud de Westende,

(1) Au nord de la Flandre Orientale, entre Zelzaete et Moerbeke, existe un village et un polder du nom de « Overslag », appellation qui pourrait avoir la même origine. Un bras du Nouveau Geer à Tongres, datant de la fin de la période romaine, longé par un vieux chemin s'appelle aussi Overslag.

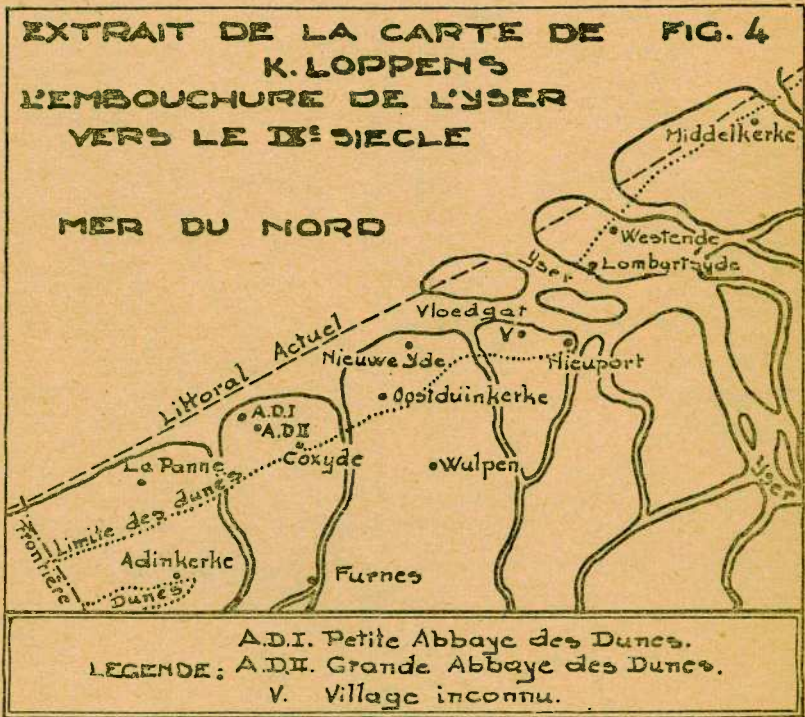
(2) Les cartes hydrographiques indiquent de nombreux fonds durs sur le Stroombank, emplacement probable de « ter Streep ».

(3) *La région des dunes de Calais à Knocke*. — Géographie, fouilles archéologiques, histoire, par K. Loppens, avenue de la Mer, Coxyde (village), 1932.

Histoire de Coxyde et de l'Abbaye des Dunes, par K. Loppens, 1930.

vers Lombartsyde, et pas d'argile supérieure des polders; il y a probablement eu erreur de direction pour cet estuaire. Celui-ci doit s'être formé à la suite d'une brèche entre les dunes de Streep et celles du massif de Lombartsyde.

Pour Nieuport nous sommes forcés, pour la compréhension de ce qui va suivre, de donner un extrait de la carte de l'auteur susnommé, intitulée « L'Embouchure de l'Yser vers le IX^e siècle » (figure 4).



Disons tout de suite que les deux estuaires de Nieuport ne nous semblent pas si anciens que l'indique cette carte; le village de Sandhove n'est en effet, devenu Nieuport qu'en 1160 (voir tableau chronologique à la fin du chapitre, § V), et la carte géologique ne renseigne que peu d'argile supérieure près de Nieuport, ce qui prouve qu'il s'est écoulé peu de temps depuis la formation de l'estuaire jusqu'au barrage de l'Yser par des écluses, vers 1250 environ.

A partir de Nieuport, nous nous trouvons maintenant en présence d'une ligne de hautes dunes continue jusqu'à la frontière, située à peu de distance en arrière des dunes frontales et rejoignant même celles-ci en certains endroits, notamment à Saint-Idesbald; de nombreuses brèches existent encore dans cette ligne et quatre brèches anciennes

doivent avoir provoqué la formation d'estuaires, mais seul celui de l'Yser s'est maintenu, le débit supérieur nécessaire à la formation d'un estuaire définitif étant inexistant ou insuffisant pour les autres. Le deuxième estuaire était d'ailleurs certainement une passe de flot puisqu'il est désigné, dans les archives, par le nom de « vloedgat »; il ne semble d'ailleurs pas avoir donné lieu au dépôt d'argile supérieure des polders; les deux derniers estuaires se trouvaient à mi-distance entre Oostduinkerke et Coxyde et entre ce dernier village et La Panne.

C'est dans le secteur Nieuport-Frontière que se sont produits des vols de sable remarquables qui ont occasionné la destruction du village de Nieuwe Ide et de l'Abbaye des Dunes; nous aurons l'occasion d'en reparler ci-après.

Avant d'examiner successivement les quatre estuaires ci-dessus signalés, il convient de remarquer que la côte actuelle est en retrait sur celle du IX^e siècle de Middelkerke jusqu'à Nieuport, et qu'au delà les nouvelles dunes n'ont, en général, pas encore rejoint les anciennes; c'est très probablement l'influence protectrice de l'île de « ter Streep » qui en a été cause.

A. — *Yser*. — Le massif dunal de Lombartsyde à l'est de l'estuaire, qui atteint une vingtaine de mètres de hauteur derrière la ligne frontale, est très probablement le résultat de vols de sable provenant de l'attaque, par le vent, de la pointe ouest des hautes dunes contemporaines de la grande amplitude; celles-ci devaient se trouver au delà de la côte actuelle. Nous ne pouvons toutefois en donner aucune preuve certaine; les cartes hydrographiques indiquent cependant des fonds durs à l'emplacement de la côte indiqué sur la carte Loppens.

A l'ouest de l'estuaire, la situation est analogue, mais l'indication des fonds durs en mer manque.

B. — *Vloedgat* (passe de flot). — Au nord de cette passe, qui avait une direction est-ouest, existe un massif dunal de grande hauteur, formé probablement par vol de sable, mais nous ne pouvons donner aucune preuve de cette action.

Au sud nous trouvons maintenant une ligne de hautes dunes atteignant 24 mètres et qui peuvent être considérées comme contemporaines de la grande amplitude; derrière elles, dans une dépression parsemée de quelques îlots flamandais, se retrouvent les restes d'un village enseveli, puis rasé, tant par l'action des sables que par la main de l'homme, et qui a été reconnu comme étant le Nieuwe Yde dont parlent les anciennes chroniques et les vieilles archives; ce village fut rattaché en 1246 à Nieuport.

Les archives signalent que Nieuwe Yde se trouvait le long du Vloedgat et leurs indications ont permis d'identifier avec lui le village enseveli qui était connu sous le nom de « Spelleplek », l'endroit des épingles, que l'on y trouve en grande quantité.

Les fouilles archéologiques nombreuses qu'on y a pratiquées, les poteries et pièces de monnaie retrouvées, prouvent que le village a existé du XIII^e au XVI^e siècle et qu'il était habité par des pêcheurs; pendant ce dernier siècle il doit avoir été atteint par les sables sous forme d'une dune mouvante, qui a passé dessus et détruit toutes les constructions; cette dune a été arrêtée au bout du village par la rencontre d'une panne pourvue de végétation; les dernières habitations sises dans celle-ci ont échappé à la destruction. La dune une fois passée au-dessus du village, tous les matériaux superficiels furent enlevés, et il faut fouiller la terre pour trouver des débris.

L'emplacement du village est une dépression humide et sableuse d'environ neuf hectares de superficie, sise presque entièrement à droite de la petite route menant d'Oostduinkerke à Duinpark sur la route royale; dans le fond la dune mouvante



fixée par la panne existe encore, surmontée déjà de quelques villas, et, à gauche de la petite route s'élève une petite dune flandrienne fleurie où l'on a pratiqué des fouilles nombreuses (1).

Nous y avons fait de nombreuses recherches et quelques fouilles; sur la dune fleurie s'élevait la demeure d'un notable, car les briques que nous y avons trouvées sont vernissées; on y brûlait de l'antracite, probablement de provenance anglaise, dont nous avons recueilli divers échantillons très bien conservés; il paraît que les pêcheurs obtenaient ce charbon en Angleterre en échange des dentelles fabriquées au fuseau par les femmes de l'endroit; c'est là que l'on trouve aussi en grand nombre de petits objets en bronze. Dans la plaine sablonneuse, l'emplacement de l'écurie commune se marque par la présence de nombreux clous en bronze pour

(1) Voir la photo. Elle est prise du sommet de la dune fleurie, et montre l'emplacement du village avec, dans le fond, la dune mouvante qui l'a enseveli et rasé; la bande blanche transversale est la petite route d'Oostduinkerke à Duinpark.

ferrer les chevaux; les habitants pratiquaient probablement déjà la pêche à la crevette à l'aide de chevaux, comme cela se faisait encore récemment à Coxyde; dans la partie nord de l'emplacement, à l'entrée d'un trou de lapin nous avons trouvé une poignée d'arme, ressemblant à celle du poignard dit à antennes de la seconde phase halstattienne; nous l'avons remise au petit musée local d'Oostduinkerke. Comme c'est souvent le cas, Nieuwe Yde a donc eu des précurseurs dans la plus haute antiquité.

Les vols de sable qui ont rasé Nieuwe Yde sont vraisemblablement partis de l'extrémité ouest des hautes dunes contre l'estuaire suivant, un peu au delà de Oostduinkerke-Bains.

C. — *Estuaire de Coxyde* entre Oostduinkerke et Coxyde.

Cet estuaire est connu, paraît-il, par une tradition; il existait encore au XII^e siècle, mais s'est vite ensablé; une branche latérale se dirigeait vers Wulpen, qui était un village de pêcheurs. Il est possible que les amoncellements de sable sur la rive gauche à l'embouchure aient très vite comblé l'estuaire, franchi celui-ci, et contribué à l'ensevelissement de Nieuwe Yde.

Devant la côte, à marée basse, on remarque encore actuellement, à son emplacement supposé, deux bancs de sable en forme de jetées qui s'incurvent vers l'ouest et semblent délimiter un chenal.

D. — *Estuaire entre Coxyde et La Panne*.

Cet estuaire n'a laissé que peu de traces dans l'histoire et semble également avoir été barré rapidement par les sables qui ont dû s'amonceller en quantités énormes sur la rive gauche de l'embouchure; celle-ci se trouvait à l'ouest de Saint-Idesbald, plage située à mi-distance entre Coxyde et La Panne. Les vols de sable sont actuellement encore très intenses en cet endroit, au point que la ligne vicinale de la côte est maintes fois menacée d'être coupée; c'est d'ailleurs là une région de sable à Cardium, mollusque vivant en abondance le long du rivage et qui constituait, de ces temps, le principal aliment des habitants de la côte; sa désignation flamande est « Kok » et il a donné son nom à Coxyde, la crique des Cardium; l'origine de ce village est donc postérieure à la formation de la crique de ce nom; tout semble prouver qu'il date du XII^e siècle.

Vers 1123, un monastère de Cisterciens se fonda dans les dunes, à l'est du couvent actuel de Saint-Idesbald, sur la rive droite de l'estuaire en formation; ce ne fut qu'une construction en bois, vite remplacée toutefois par une demeure en pierres, la petite Abbaye des Dunes, qui fut érigée en 1128 à peu de distance à l'ouest du premier monastère et plus près de la mer; l'Abbaye fut rattachée ensuite à l'ordre des Bénédictins blancs.

En 1239 les moines inaugurèrent la Grande Abbaye des Dunes, monument grandiose qui fût élevé au sud-est de la précédente, à quelques centaines de mètres plus loin dans les terres. Les vols de sable étaient-ils déjà menaçants et les religieux

espéraient-ils échapper ainsi à la submersion par les dunes ? La chose est possible et même probable; toujours est-il qu'ils démolirent la petite abbaye et emportèrent tous les matériaux utilisables.

Au XIV^e siècle les malheurs s'abattirent sur l'abbaye : des inondations se renouvelèrent à plusieurs reprises, le sable s'avança menaçant sous forme de hautes dunes mouvantes dénommées « blekkers »; à l'approche de ces dunes, la nappe aquifère monta dans le sol à tel point que toutes les caves et les souterrains furent inondés; pour comble de malheur, les lapins minèrent tellement le sol sous les constructions que celles-ci menacèrent de s'écrouler.

Vers 1577 les moines durent s'enfuir et les dunes mouvantes prirent possession du célèbre monastère.

Ces dunes se réunirent ensuite pour former un seul massif qui progressa toujours vers l'est-nord-est et fut finalement fixé artificiellement par des plantations en 1880; c'est le « Hoogen Blekker », la plus haute dune actuellement de nos côtes (+ 33,00). D'après les calculs de M. K. Loppens cette dune a avancé de cinq mètres par an entre 1580 et 1880, de l'abbaye à son emplacement actuel.

En prolongeant le trajet de cette dune vers l'ouest, dit cet auteur, on débouche exactement à la côte à l'endroit déjà signalé ci-dessus, où les vols de sable sont encore si intenses. Si la vitesse de progression a été constante, c'est vers 1300 que les sables mouvants ont commencé leur marche vers l'intérieur des terres. Ici comme ailleurs, c'est principalement sur la rive droite de l'estuaire que l'invasion a eu lieu.

En résumé, il y a concordance parfaite entre les constatations faites sur les lieux et les conjectures de notre processus théorique (1).

Nous croyons, en conséquence, que la diminution brusque de l'amplitude de la marée que nous avons signalée précédemment est indéniable.

Nous trouvons encore une preuve de la grande amplitude de marée régnant anciennement sur nos côtes dans le fait que César rapporte que les Eburons proscrits qui étaient près de l'Océan, se réfugièrent dans les îles que la mer formait dans son flux; il est clair qu'une situation pareille, semblable à celle qui existe encore au Mont Saint-Michel, sur la côte française, nécessite une grande amplitude de marée.

Enfin, les hautes dunes, souvent fleuries, donc très anciennes, qui couvrent la côte hollandaise, de Helder au Hoek van Holland, nous apportent encore un témoignage de la grandeur ancienne de l'amplitude de la marée dans cette région.

Ces dunes, comme le montre la figure 3, n'ont pu se déplacer beaucoup depuis le début de l'époque de la tourbe (2); elles ne purent atteindre cette hauteur que grâce à une forte amplitude de marée;

(1) A la lumière de ces faits, l'on pourrait peut-être faire l'étude des dunes de Campine, considérées jusqu'ici comme purement éoliennes, et trouver que leur formation a suivi un processus analogue.

(2) Les ruines du château-fort romain devant Katwijk, se trouvent seulement à 1500 mètres environ en mer, dont la pente de fond est assez raide au delà.

nous nous trouvons probablement là dans le premier cas envisagé plus haut. On pourrait évidemment objecter que cette région est sujette à des affaissements très prononcés, c'est indiscutable, mais l'amplitude également doit, dans ces conditions, avoir beaucoup diminué, de sorte que les deux actions ont pu parfaitement se contrebalancer; il est évident, pour le surplus, que le point amphydromique méridional (P. A. M.) était, pendant l'époque de la tourbe, situé plus au nord que maintenant, les courants de marée venant du Pas-de-Calais n'ayant pas encore beaucoup creusé la mer et les affaissements étant encore faibles.

Le Rhin et la Meuse débouchaient dans cette partie des côtes au temps de César, mais n'avaient pu former de véritables estuaires, l'intensité de l'amplitude étant déjà trop faible à cette époque et le débit supérieur encore très insuffisant.

Nous avons encore mis en évidence, dans notre mémoire primitif, que le creusement de l'Escaut Occidental avait eu comme conséquence le dépôt sur nos côtes d'environ deux milliards de mètres cubes de sédiments; il est possible que ce phénomène ait pu contrebalancer ensuite partiellement ou même totalement l'influence de l'abaissement du sol et que, par conséquent, l'amplitude de la marée ne soit pas constamment sur nos côtes dans une phase décroissante.

Nous examinerons cette question dans le chapitre suivant.

5. — *Tableau chronologique des faits intéressant la formation des embouchures de l'Escaut, du Zwyn et de l'Yser.*

- 725 environ. — Fondation de l'Abbaye de Deurne (Quercoladona) et construction de l'*Eyendijk* de Deurne au Borg, à Anvers.
- 740 environ. — Un ouragan terrible avec *tremblement de terre* ravage la côte.
833. — Walcheren, Schouwen et Borsselen sont déjà abritées par des *digues*.
- Entre 833 et 850, les *Normands* occupent certaines îles de la Zélande.
867. — Construction du *Château des Comtes de Flandre* à Gand, pour contenir les Normands.
880. — Les *Normands* hivernent dans l'Abbaye de Saint-Bavon à Gand et détruisent celle de Saint-Pierre.
938. — Les dunes de Flandre et de Walcheren se séparent complètement, le *Hont commence à s'approfondir*.
942. — L'empereur Othon I *s'empare du château* des Comtes de Flandre.
980. — L'empereur Othon II *creuse* à travers les dunes entre la Flandre et la Zélande ce que l'on nomme *les Wielinge* et ce qui avait nom « fossé d'Othon ».
984. — *Ysendijk* est nommé dans un diplôme de l'évêque d'Utrecht.
995. — Creusement du *port de Calais*.
1007. — Le *château des Comtes* est restitué à la Flandre avec la Zélande et le Pays de Waes.
1124. — Il est fait mention pour la première fois d'un *polder*.
1160. — Le village de Sandhove devient *Nieuport*.
1177. — Grande *inondation* de la Flandre Zélandaise.

1189. — Une *écluse à sas* est installée à *Damme* qui devient succédané de Bruges.
1197. — Construction de l'*Ysēndijk* du *Zwyn* à *Saeftingen*.
1199. — Il résulte d'une charte qu'il existe des *digues à Hulst*.
- 1200 environ. — *Lammensvliet* devient l'*Ecluse*.
1221. — Gand demande à la Comtesse Marguerite de Constantinople le creusement d'un canal de la *Liève* vers le *Zwyn* à *Damme*.
1246. — Déplacement de l'embouchure de la *Durme*.
1257. — La navigation paraît se faire de *Gand* vers *Damme*.
1260. — L'*Yser* a des *écluses à sas*.
1260. — Construction d'une *digue* entre le *Zwyn* et l'embouchure (?) de l'*Escaut*, et d'une *forteresse* à *Saeftingen*.
- 1270 et 1290. — Barrage de la *Lys* et de l'*Escaut* à *Gand*.
1280. — Construction de la *digue du Comte Jean* (de *Namur*) de *Gravelines* à l'*Ecluse*.
- 1288 ou 1377. — *Inondation* de la *Flandre Zélandaise*; submersion des restes des îles de *Schooneveld* et de *Schaerphout*, formation du 2^e *estuaire du Zwyn* et engloutissement des travaux hydrauliques des empereurs *Othon I et II*.
1315. — Creusement du port de *Flessingue*.
1318. — Les premières *galéasses vénitiennes* arrivent à *Anvers* par l'*Escaut Oriental*.
- 1324 au plus tard. — Construction de *digues* pour rétrécir l'*entrée du Hont*.
1324. — *Inondation*.
1334. — « *Onze Lieve Vrouw ter Streep* » (vieux *Mariakeerke*) est partiellement englouti et « *Oostende ter Streep* » disparaît définitivement.
1393. — Le « *veergat* » entre *Flessingue* et *Breskens*, et la passe des *Wielingen* (« *het gat van der Wielingen* ») s'agrandissent.
1400. — Le *Hont* est encore guéable en certains endroits.
1470. — Le port de l'*Ecluse* devient impraticable pour les gros navires. *Charles le Téméraire* fait inonder le *polder du Zwartegat* à l'embouchure primitive du *Zwyn*.
- Fin du XV^e siècle. — Les bateaux ne vont plus au delà de l'*Ecluse*.
1504. — Sentence de la Cour de *Malines*, le *Hont* « auparavant petit et peu profond est devenu large et profond », les *carraques et galéasses* l'empruntent et fraudent le tonlieu (douane) de *Yersiekeroort* dans le *Sud-Beveland* sur l'*Escaut Oriental*.
1575. — L'armée espagnole traverse l'*Escaut Oriental* à gué.

CHAPITRE II.

Formation des fleuves à marée de Belgique.

1. — *Situation des fleuves à l'époque des lagunes tourbeuses et argileuses.*

A. — *Débits des fleuves à l'époque de la tourbe (1).*

Nous savons qu'à l'époque de la tourbe, il n'y avait pas de crues, tout au moins pas de crues périodiques, et que les rares couches de glaise interposées dans cette formation correspondent à des événements plusieurs fois séculaires, crues ou invasions de la mer.

En dehors de ceux-ci, le débit était fort minime et pouvait même s'annuler, car les lagunes s'asséchaient de temps en temps, témoin la grande profondeur à laquelle se rencontre parfois la tourbe, comme nous l'avons signalé dans notre mémoire précédent.

La faible intensité du débit peut se mesurer par les méandres des cours d'eau à l'époque néolithique, preuve de leur peu de pente, et par leur largeur, qui était beaucoup moindre que celle des cours d'eau d'aujourd'hui.

Ces méandres existent encore actuellement le long de nos rivières, là où ces dernières ont coupé ces boucles néolithiques et où celles-ci n'ont pas été comblées par une cause naturelle ou artificielle; il suffit

(1) L'époque de la tourbe est dénommée aussi « néolithique » parce que contemporaine de celle de la pierre polie.

de consulter les cartes de l'E. M. pour s'en convaincre. Partout où l'une de ces boucles présente la même largeur que le cours d'eau actuel, on se trouve pour le surplus en présence d'une coupure artificielle récente.

Nous avons déjà cité dans notre mémoire précédent, le Vieil-Escaut à Bornhem comme exemple d'ancienne boucle néolithique coupée par le cours d'eau plus moderne; il présente une largeur d'environ 100 m. alors que celle de l'Escaut est environ le double; le Vieil-Escaut ayant toutefois été élargi par les courants fluviaux depuis l'époque de la tourbe jusqu'en 1246 environ, on peut admettre que sa largeur était beaucoup moindre que 100 mètres à l'époque en question.

Un autre exemple frappant de cette augmentation de largeur et qui en donne de plus la mesure exacte, se rencontre dans le Limbourg belge. La Vieille Meuse à Dilsen n'a que 40 m. de largeur, alors que la Meuse actuelle y est large d'une centaine de mètres; un peu plus en amont à Stockheim, une autre boucle coupée n'a qu'une vingtaine de mètres de largeur, alors que le bras abandonné au XVI^e siècle, immédiatement en aval, en présente déjà environ quatre-vingt; la première boucle de Stockheim remonte probablement à l'époque de la tourbe. On peut donc affirmer que la largeur de la Meuse a augmenté au moins dans la proportion de 1 à 5.

Il est à remarquer pour le surplus, que la tourbe ne semble pas s'être formée dans le lit de la Meuse mitoyenne et plus en amont, à cause de la pente qui était probablement trop forte et provoquait des transports de fins graviers. Soit dit encore incidemment, il n'y a aucun motif de supposer que le Rhin n'ait pas subi depuis l'époque de la tourbe une semblable augmentation de largeur (1).

Si nous supposons maintenant que la profondeur moyenne des cours d'eau ait été doublée en même temps, et que l'influence de l'augmentation de la pente puisse s'exprimer par le multiplicateur 2, il en résulterait que le débit normal actuel serait $5 \times 2 \times 2$ ou 20 fois plus fort que le débit sensiblement constant de l'époque de la tourbe.

Pour la Meuse, dans la région considérée, ce dernier débit aurait donc été de $\frac{500}{20}$ ou 25 mètres cubes par seconde, alors que le débit actuel varie de 50 à 3000 mètres cubes.

Pendant les quelques siècles qu'a duré le dépôt de l'argile inférieure des polders à la côte, le débit de nos cours d'eau a rapidement augmenté, pour atteindre une grandeur en rapport avec l'intensité des précipitations atmosphériques à cette époque; celles-ci sont naturellement

(1) La tourbe s'étendait, paraît-il, dans le lit du Rhin jusque près de Cologne.

inconnues, mais ne devaient pas différer de beaucoup de la quotité que l'on enrégistre actuellement.

B. — *Tracé et embouchures des fleuves à l'époque romaine.*

Ainsi que nous l'avons exposé précédemment, nous estimons qu'il n'y avait pas d'issues directes à la mer le long de la côte belge, pendant l'époque des lagunes tourbeuses et argileuses; par ces dernières nous entendons évidemment celles qui correspondent au dépôt de l'argile inférieure des polders à la côte, les estuaires en Belgique étant contemporains du dépôt de l'argile supérieure. Nous avons montré d'ailleurs que le dépôt de l'argile inférieure à l'intérieur des terres, le long des cours d'eau, s'est produit postérieurement à son dépôt le long de la côte, et qu'il peut parfaitement y avoir eu synchronisme entre le dépôt du premier de ces sédiments et celui de l'argile supérieure, qui ne s'est effectué que dans la région avoisinant la côte.

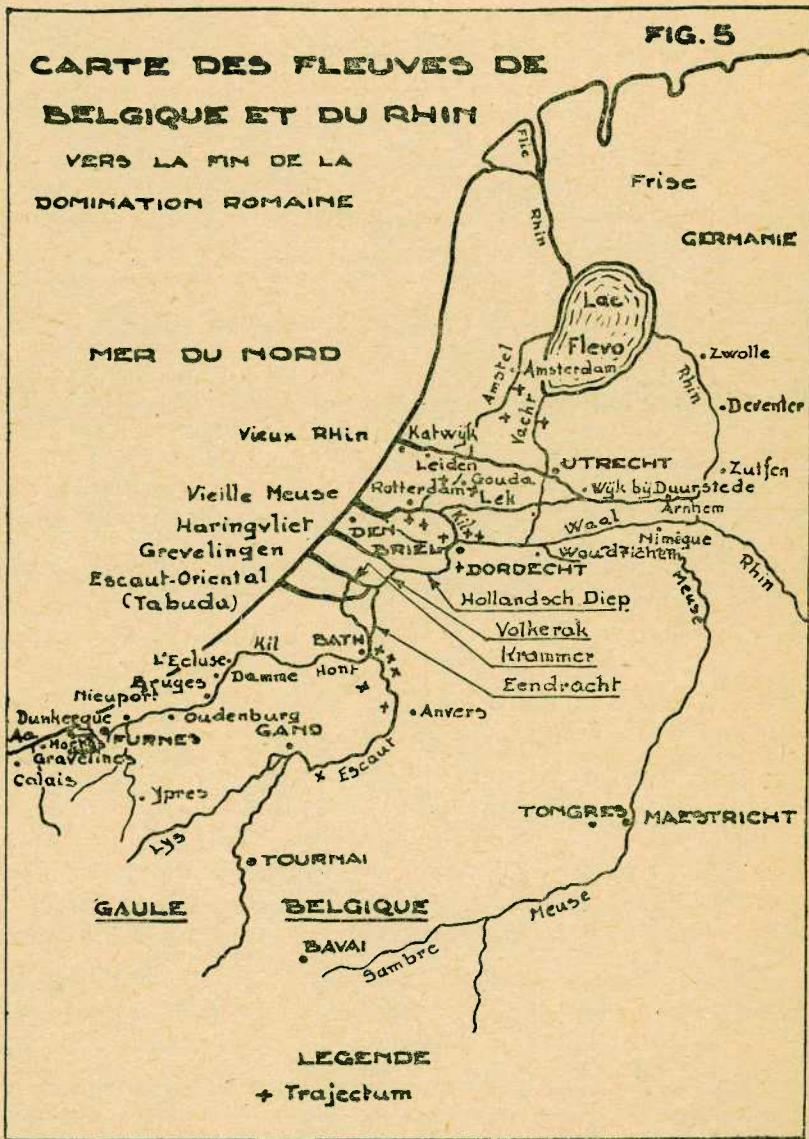
En Hollande au contraire, la formation des embouchures semble avoir débuté à l'époque de la tourbe, par suite de l'affaissement plus intense du sol. Du temps des Romains, la tourbe était en effet encore à nu dans ce pays, comme en Belgique d'ailleurs, puisqu'ils constatèrent notamment, que les habitants de la Frise employaient comme combustible le sol même qu'ils foulaient aux pieds; le fait est d'ailleurs archéologiquement prouvé. D'autre part, Pline raconte, en parlant du pays des Cauches, peuple habitant au delà des bouches du Rhin, que l'Océan se répandait deux fois par jour sur les terres; cela prouve l'existence à cette époque d'embouchures ou tout au moins de brèches.

Nous savons par l'Histoire (voir la carte de la fig. 5 ci-après), qu'à l'époque de César, le Rhin se divisait en trois branches; la première se jetait dans le lac Flevus ou Flevo, qui devait devenir plus tard le Zuiderzee, en suivant le cours actuel de l'Yssel, par Zutfen, Deventer et Zwolle; elle en sortait ensuite au nord pour se jeter dans la mer par des passages entre les îles côtières; la seconde débouchait à Katwijk en passant par Arnhem, Wijk-bij-Duurstede, Utrecht et Leyde suivant le cours actuel du Vieux-Rhin; la troisième, sous le nom de Waal, se dirigeait vers la Meuse en passant par Nimègue, se réunissait à cette rivière à Woudrichem, passait par Dordrecht et se jetait dans la mer au sud de Hoek van Holland par le tracé actuel de la Vieille Meuse.

La Meuse, à partir d'un point situé un peu en aval de Bois-le-Duc, se dirigeait vers Woudrichem, le bras actuel dénommé Bergsche Maas n'existant probablement pas encore; une nouvelle dérivation du Rhin se créa ensuite sous le nom de Lek entre Wijk-bij-Duurstede, vers l'embouchure de la Vieille Meuse en passant par Rotterdam; toutes ces eaux réunies formèrent par la suite l'embouchure « immense » dont

parle Pline. Celle-ci comprenait probablement tous les terrains situés entre le Kil (bras de rivière) de Dordrecht, la Vieille Meuse, le Hollandsch Diep et le Haringvliet, la région de Voorne près de la côte avec la vieille localité de « Den Briel » formant île dans ces terres submergées.

Cette embouchure immense ne subsista pas toutefois; la Meuse emprunta le cours actuel du Volkerak, du Krammer et des Grevelingen,



et les eaux de l'Escaut abandonnant l'Eendracht se dirigèrent vers l'ouest pour former l'Escaut Oriental, qui fut probablement la Tabuda dont parle Ptolémée, puisque l'Yser, le Zwyn et l'Escaut Occidental n'étaient pas encore nés, comme nous l'avons prouvé précédemment.

Il serait à souhaiter que les toponymistes puissent trouver l'étymologie de Tabuda; d'après certains, ce fleuve, qui est indiqué par Ptolémée comme se trouvant à l'est de Gessoriacum navale (Boulogne), serait l'Aa débouchant actuellement à Gravelines; d'après d'autres, ce serait l'Escaut Oriental ou même les Grevelingen; ces derniers semblent plutôt avoir raison et nous mêmes donnons la préférence à l'Escaut Oriental. La proximité de Gouda avec une localité au nord dénommée Bodegraven est peut-être une indication précieuse pour orienter les recherches des toponymistes.

En Belgique, où la tourbe s'est formée dans toutes les parties à faible pente des cours d'eau, sur les plateaux et dans les bas fonds, et tapisait toute la lagune des Flandres, les cours d'eau venaient déboucher dans celle-ci et se perdre dans les méandres qui la sillonnaient.

Ces méandres vont devenir plus tard les lits des nouveaux estuaires, conformément d'ailleurs à la loi d'après laquelle les accidents de terrains même minimes se répercutent à travers les couches géologiques. Ainsi, l'Escaut Occidental, né vers le XII^e siècle, n'est autre qu'un méandre approfondi et élargi de la lagune tourbeuse, qui au moyen-âge portait encore uniquement le nom de Kil, Hont ou Diepenhee (1). Il constituait l'exutoire du trop plein de toute la lagune des Flandre vers l'Escaut Oriental à Bath, avant la naissance du Zwyn, de l'Escaut Occidental et de l'Yser actuel. Vers l'extrémité ouest de la lagune, un cours d'eau prenait naissance vers Ypres (2), suivait le cours actuel de l'Yperlee et de l'Yser jusqu'à Nieuport, longeait la côte à l'emplacement du canal de Plasschendaele, se dirigeait vers Bruges, Damme et l'Escluse, pour se jeter dans le Hont par le futur lit du Zwyn.

Une récente trouvaille en toponymie vient pour le surplus prouver l'ancienneté du Hont.

(1) Kil ou Calle est un nom générique désignant un bras de cours d'eau; Diepenhee vient probablement de heede ou eede qui a la même signification que yde à la côte, c'est-à-dire crique.

(2) Un embranchement venant des Moères à proximité de Hondschoote passait par Furnes et se jetait à Nieuport dans ce cours d'eau; la toponymie de Hondschoote semble être : là où le Hond est délimité, barré, là où il se termine; aux toponymistes à décider s'il en est bien ainsi. Dans l'affirmative, la thèse exposée ci-après en serait singulièrement renforcée.

Il y a même encore entre Cassel et Hazebrouck un village dénommé Hondeghem sur la crête de partage des bassins de l'Yser et de l'Escaut, à proximité des sources de l'Yser.

M. l'Abbé J. Ceysens, dans une étude intitulée « L'ancien vocable Hont » (1), montre que celui-ci est d'origine celtique et désigne une eau stagnante, un marécage, et qu'il est devenu Han, Ham, Hom, Hond, etc...

Tous les Hontstraete que nous retrouvons dans beaucoup de localités, doivent leur nom à leur situation proche d'une eau ou d'un marais de l'époque de la tourbe; notre Hont a sans aucun doute la même origine, c'était le grand émissaire de la lagune vers l'Escaut Oriental; la rue du Grand Chien à Anvers n'est autre qu'un vieux chemin celtique longeant l'extrémité sud de la lagune anversoise de la rive droite de l'Escaut.

Il est à remarquer également qu'un affluent du Weser s'appelle « Hunte » et que les localités de Hambourg (Allemagne), Hombourg (près d'Aubel), Han (grotte de), Hansweert (sur le Hont) et peut-être Domburg (île de Walcheren), dérivent du même vocable.

A propos de l'étymologie d'Anvers, qui reste encore toujours mystérieuse, nous nous permettons de signaler que l'origine de Antwerpen pourrait bien être dans ces conditions Hontwerp, au lieu de « aan het werp » comme nous l'avions signalé précédemment; le terme « werpland » était d'ailleurs anciennement courant pour indiquer des atterrissements. Ce sont les alluvions qui se sont formées autour de l'emplacement du Borg à Anvers en arrière du « Steen », lors du creusement du coude d'Austruweel, à la première invasion de la marée dans l'Escaut devant Anvers, quand celui-ci y déplaça son cours, qui auraient donné leur nom à la nouvelle localité; le Borg ou château-fort était peut-être inexistant à cette époque.

La limite orientale de la lagune tourbeuse à l'époque romaine, est jalonnée par les localités en « drecht » qui décèlent un ancien trajectum ou passage facile donnant accès aux terres émergées de la lagune tourbeuse. Voici leur nomenclature (voir les indications de la fig. 5) :

Quatrecht (le petit passage) sur l'Escaut près de Gand.

Zwyyndrecht, le passage sur l'ancien cours de l'Escaut devant Anvers.

Kieldrecht (le passage sur un Kil ou Calle, méandre venant de Calloo) sur un promontoire flamandien et poederlien.

Berendrecht (le passage sur un bar ou bras de mer) sur un promontoire semblable situé en face sur l'autre rive de l'Escaut actuel.

Ossendrecht (de Ossa, montagne en Thessalie?) le passage vers la Zélande.

Woensdrecht (de Wodan, nom saxon du dieu germanique Odin; Wodan est synonyme de vent et a également donné en flamand son nom au jour du mercredi, Woensdag) passage vers les terres actuellement submergées de Sud-Beveland.

Eendracht (nom de l'ancien cours de l'Escaut devant Tholen; il dérive probablement d'un trajectum et d'une localité disparue, peut-être aussi de Hondrecht).

Wieldrecht (sur un ancien wiel ou weel), en dessous de Dordrecht sur le Kil actuel.

Zwijndrecht, en face de Dordrecht, dans une position analogue à celle de Zwijndrecht devant Anvers.

Dordrecht, *Papendrecht* et *Sliedrecht*, sur la Merwede.

Barendrecht et *Katendrecht* (passage empierré) au sud de Rotterdam.

Moordrecht (de moor, marais) et *Haasdrecht* (de hazel, noisetier dont le fruit abonde dans la tourbe) sur l'Yssel.

Utrecht, le « trajectum inferius », sur le Vieux Rhin.

Loosdrecht, sur la Vecht.

Mijndrecht et *Duivendrecht*, sur l'Amstel au sud d'Amsterdam.

(1) *Verzamelde opstellen*, uitgegeven door den Geschied- en Oudheidskundige Studiekring te Hasselt. — Boekdeel IV, 1928. — Drukker Léon Crollen, Hasselt.

Avant la formation des embouchures du Rhin Occidental, de la Meuse et de l'Escaut à la côte hollandaise, les eaux de ces fleuves, réduits à des cours d'eau de minime importance d'ailleurs, se réunissaient dans cette lagune où elles se perdaient par évaporation. Il est probable que vers la fin de l'époque de la tourbe, antérieurement à l'époque romaine, la capacité de ce réservoir se soit réduite, le volume de tourbe nouvelle dépassant le gain du réservoir dû à l'affaissement du sol, et que cette circonstance força le Rhin et la Meuse à se créer très tôt un exutoire à la côte, dans la région où affluaient les plus gros débits de l'époque; une partie des eaux du Rhin se jetait d'ailleurs déjà directement dans la mer par l'intermédiaire du lac Flevo comme nous l'avons exposé plus haut.

C. — *Formation de la lagune argileuse des Flandres et de la Zélande.*

Vers la fin de l'occupation romaine dans nos régions, la tourbe de la lagune, déjà presque entièrement émergée, se couvre de glaise (argile inférieure des polders); le régime des cours d'eau change donc brusquement à cette époque. L'eau courante, claire pendant la formation de la tourbe, se charge de matières argileuses, le débit augmente considérablement, et la lagune disparaît sous l'inondation. Dès ce moment, l'évaporation n'est plus suffisante pour absorber le débit, les eaux montent dans la lagune et se dirigent d'une façon constante par le Hont vers l'Escaut Oriental à Bath; le débit de celui-ci augmente considérablement et devient suffisant à la formation d'un estuaire à marée.

L'Escaut Oriental se forme donc et la marée se propage de plus en plus loin dans les terres; il est en effet à remarquer que les embouchures de fleuves formées pendant l'époque de la tourbe ne purent devenir alors de véritables estuaires à marée, le débit d'amont et probablement aussi l'amplitude de marée étant insuffisants; dans ces embouchures, le flot creuse il est vrai le fond et rejette les matières sur les rives, mais le jusant est incapable de balayer suffisamment celles-ci vers la mer.

La lagune argileuse qui se forma ainsi dans nos régions comprenait toute la région poldérienne future des Flandres et de la Zélande jusqu'à l'Escaut Oriental; elle était encerclée du côté de la mer par une ligne ininterrompue de dunes, jusqu'à l'extrémité de l'île de Walcheren; les îles du Nord et Sud-Beveland étant protégées par les atterrissements formés sur la rive par le flot; ceux-ci furent certainement transformés en digues par la main de l'homme, bien avant que les véritables polders furent organisés; ces digues n'avaient vraisemblablement pas de pertuis d'évacuation, celle-ci se faisant vers le Hont par les méandres qui devinrent plus tard les bras de mer séparant ces îles.

La formation de cette argile dura semble-t-il deux à trois siècles; ces

alluvions finirent par émerger en grande partie et la lagune s'assécha par des cours d'eau qui se superposèrent aux méandres de la lagune tourbeuse; le Hont et tous ses affluents subsistèrent donc et permirent même la navigation. C'est ainsi que l'on cite des vieilles localités comme Aardenburg (Flandre Zélandaise) et Oudenburg (1) près d'Ostende, comme étant des ports dans ces temps reculés; certains auteurs en concluent erronément que ces localités étaient des ports à la côte, alors que les bateaux devaient entrer par l'Escaut Oriental pour y arriver, passer par Bath, par Flessingue déjà existant son nom l'indique, par le futur Zwyn et par Bruges qui n'était alors qu'une localité sans importance (Oudenburg est marqué sur la fig. 5 entre Nieuport et Bruges).

Des terres surgirent donc, très fertiles, qui attirèrent certainement les envahisseurs Francs de l'époque, des Saxons transplantés et des Frisons; elles formèrent plus tard, tout au moins celles qui ne furent pas recouvertes par des sédiments non argileux plus récents, le sol de nos polders, quand l'affaissement du terrain et la formation des nouveaux estuaires vinrent rendre indispensable l'organisation poldérienne que nous connaissons actuellement.

Les cours d'eau de terres hautes rectifièrent un peu partout leurs méandres néolithiques; ils s'élargirent et s'approfondirent, et la navigation put s'établir. On était vraisemblablement alors au début du VI^e siècle.

Quelle peut maintenant bien être la cause du changement de régime des cours d'eau, dont nous venons d'esquisser à grands traits les résultats ?

L'intensité de la pluie aura certainement augmenté, mais nulle trace n'en est restée dans l'Histoire; est-ce le début d'une nouvelle extension glaciaire dans l'Europe Occidentale? Cela semble peu probable, étant donné que l'augmentation actuelle des précipitations atmosphériques depuis une trentaine d'années, question qui sera examinée plus loin, est telle qu'il doit certainement s'être produit des régressions dans ces phénomènes après l'époque de l'argile inférieure.

A notre avis, c'est une augmentation assez brusque, mais de longue durée, due à des causes inconnues, sujette à des régressions et des progressions, et qui fut telle que le ruissellement des eaux pluviales put éroder sérieusement les terrains; une perturbation dans les courants du Gulfstream ne semble pas exclue comme origine. Il y eut évidemment le fait que les Romains déboisèrent beaucoup ce qui augmenta les préci-

(1) Antoine Belpaire, dans son ouvrage déjà cité, rapporte que l'auteur Oudegherst (*Kronijke van Vlaanderen*, Gend, 1785, blz. 6) raconte qu'Oudenburg était connu au milieu du V^e siècle, pour une ville maritime de grand commerce.

pitations, et que sous leur domination, l'agriculture prit une grande extension; beaucoup de terrains étaient ainsi à nu à certaines saisons et permirent une érosion encore plus forte; mais cette cause qui a existé certainement, n'a pu agir que graduellement, alors que nulle part pensons-nous. on ne constate un passage graduel de la tourbe au sédiment qui le surmonte; la cause principale doit évidemment avoir été un phénomène brusque à l'égal de l'effet.

Nous nous trouvons donc en présence, au VI^e siècle, d'une lagune argileuse en grande partie émergée et qui, comme réservoir régulateur de crue et de marée, est devenu quasi inopérant; le creusement de l'Escaut Oriental reprend en conséquence, l'invasion de la marée progresse avec une nouvelle vigueur, mais on ne constate pas encore, comme vers la fin de l'époque de la tourbe à la côte hollandaise, la formation de nouvelles embouchures; il y eut alors probablement, pendant quelques siècles, un ralentissement dans l'affaissement du sol. Bien entendu pendant cette époque, les embouchures situées plus au nord s'étaient transformées en véritables estuaires à marée.

Vers le VIII^e ou IX^e siècle apparemment, une nouvelle période de trouble est décelée par l'Histoire, l'estuaire du Zwyn, entre autres, doit s'être formé alors, et une autre époque commence pour nos régions, que nous allons examiner ci-après.

C'est dans cette période que débute l'intervention raisonnée de l'homme dans la lutte contre les éléments de la nature; on ne se contente plus de consolider les levées de terre érigées par l'invasion du flot le long des embouchures, on construit délibérément des digues, quelques-unes même sur plate-forme de fascinage, comme celles de Hoevenen et de l'Eyendijk à Anvers, on aménage des écluses d'évacuation, on creuse des canaux de dérivation, en un mot l'organisation poldérienne débute, basée probablement sur les connaissances techniques importées par des Frisons ou sur celles acquises par les Croisés revenus de l'Orient, où la civilisation était plus avancée que dans nos régions.

2. — *Déplacement des embouchures et formation des estuaires dans la lagune des Flandres et de la Zélande.*

A. — *Régime des marées.*

Cherchons maintenant à nous rendre compte du régime des marées existant à cette époque dans la Mer du Nord.

Nous pouvons admettre que l'affaissement du sol continue, lentement en général, mais entrecoupé de temps en temps par des paroxysmes qui donnent lieu à des modifications brusques dans la région des côtes; en

prenant pour base les déductions que nous avons exposées dans notre précédent mémoire, au chapitre II, paragraphe XII, il semble que l'affaissement puisse être évalué à 0,20 mètre par siècle environ. Mais il y a pourtant lieu d'examiner, si le dépôt en mer des matériaux provenant du creusement des estuaires et du transport constant des matières solides charriées par les fleuves, ne peut pas contrebalancer ce tassement.

Nous avons indiqué dans le mémoire précité que le volume des matières provenant du creusement de l'Escaut Occidental pouvait être évalué à environ deux milliards de mètres cubes; étant donné qu'il y a encore trois estuaires semblables au nord, ceux des bouches du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut Oriental, on peut estimer à environ huit milliards de mètres cubes, le volume total déposé.

En ce qui concerne le volume des dépôts provenant des matières solides en suspension dans ces fleuves et ne provenant pas du creusement des estuaires, nous pouvons nous baser sur les chiffres suivants, déduits des observations faites à Maestricht par le Waterstaat hollandais (1) : Volume transporté par la Meuse en 1881, 310.976 mètres cubes; en 1882, 1.243.182 mètres cubes. Si l'on tient compte du fait que pendant l'année 1882 il a été enregistré à Bruxelles 920 millimètres d'eau tombée, et 780 en 1881, et que la moyenne y est de 731 millimètres de 1833 à 1890, il est permis de prendre approximativement comme moyenne pour la Meuse à Maestricht, le volume de 300.000 mètres cubes de matières solides transportées par an. Il est raisonnable de porter ce débit solide à 400.000 à l'embouchure de la Meuse, d'adopter pour le Rhin 1.000.000 de mètres cubes, et pour l'Escaut 100.000. Le débit total serait dans ces conditions 1.500.000 mètres cubes par an, et par siècle 150.000.000.

En répartissant maintenant le creusement des estuaires sur une période de dix siècles, du III^e au XIII^e, nous obtenons finalement par siècle (800.000.000 + 150.000.000) ou 950.000.000 de mètres cubes pour le volume des dépôts.

En supposant maintenant que ceux-ci se soient étalés sur 250 km. de longueur le long des côtes et sur 50 km. de largeur, on obtient une superficie de $250.000 \times 50.000 = 12.500.000.000$ de m², et un dépôt d'environ 0,08 mètre d'épaisseur par siècle.

Comme nous avons raisonné sur des moyennes, nous pouvons en conclure, si les chiffres avancés ci-dessus s'approchent de la réalité, que le

(1) Voir « Etudes hydrologiques » sur le bassin de la Meuse, par J. A. Pierrot, Ingénieur des Ponts et Chaussées, *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Ecoles Spéciales de Gand*, tome XIV, 2^e fascicule, 1891.

dépôt des sédiments ne compense pas l'affaissement du sol dans la région côtière envisagée, mais qu'à certaines époques, quand des estuaires sont en plein creusement, le premier phénomène peut parfaitement contrebalancer temporairement le second; c'est ce qui doit être arrivé à l'époque du maximum de creusement du grand estuaire de l'Escaut Occidental.

La conclusion de ces calculs est, qu'en général le fond de la Mer du Nord s'abaisse et qu'il y a une tendance constante à la diminution de l'amplitude de la marée, régression qui a été entrecoupée anciennement de progressions temporaires locales quand les dépôts de sédiments avaient plus d'importance que l'affaissement du sol; il n'y a plus en effet, de nos temps, d'estuaires en creusement et l'épaisseur moyenne du dépôt sur la zone côtière doit être actuellement beaucoup moindre que 0,08 mètre par siècle; les chiffres indiqués ci-dessus donnent environ 0,01 m. pour cette épaisseur.

Le régime des marées à l'époque considérée devait donc être semblable à celui qui règne actuellement, mais avec des amplitudes plus fortes; la position du point amphydromique méridional ne pouvait pas différer beaucoup de celle qu'il occupe actuellement; il se trouvait probablement un peu plus au nord, puisque l'amplitude était plus forte.

Il est visible que ce point particulier est fixé pour ainsi dire dans le centre du petit golfe délimité à gauche et à droite par les côtes sud-est de l'Angleterre et les côtes belges et néerlandaises; nous pouvons donc raisonner sur les documents de notre époque, pour chercher dans quelles conditions les estuaires se sont déplacés et modifiés.

B. — *Déplacement des embouchures vers le sud-ouest.*

En nous reportant à la figure 1, nous voyons que du Pas-de-Calais jusqu'au Hoek van Holland environ, entrée du « Nieuwe Waterweg » vers Rotterdam, la côte coupe successivement les lignes d'égale amplitude du P. A. M. de 240 à 90, et est ensuite jusqu'à Helder sensiblement concentrique à la courbe 60, l'amplitude décroît donc de 4,80 m. à 1,80 m. dans la première section, pour ne plus varier qu'entre 1,80 m. et 1,20 m. dans la seconde.

Au delà, la côte est encore coupée, mais très obliquement, par les lignes d'égale amplitude 90 et 120 du P. A. C., c'est-à-dire que l'amplitude y croît lentement de 1,80 m. à 2,40 m., toujours dans le sens de la propagation de la marée, comme le montrent les lignes cotidales de ces deux P. A. qui aboutissent à la côte.

Dans le paragraphe I du chapitre II, de notre étude précédente sur la formation de l'Escaut Maritime, nous avons exposé la loi qui régit le déplacement des embouchures vers le sud-ouest entre Helder et le

Pas-de-Calais. La question de savoir si cette évolution du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut est établie scientifiquement a été posée; nous allons tâcher de le faire en peu de mots.

Deux causes attirent dans cette région les estuaires vers le sud-ouest; il y a d'abord la plus grande amplitude de marée et ensuite l'avance des phases de la marée dans la même direction; la première cause permet la formation d'un estuaire plus large et plus profond et par conséquent plus stable, par suite des plus fortes pentes superficielles dues à l'amplitude de marée, et des plus forts courants de marée que cette amplitude engendre; la seconde produit surtout, comme nous l'avons exposé précédemment, le comblement des estuaires orientaux préexistants et hâte la formation du nouvel estuaire occidental.

Dans ce secteur, ces deux circonstances sont concordantes; il n'en est pas de même à l'est de Helder, où le déplacement des embouchures vers l'Est, affirmé par certains auteurs, est favorisé par l'augmentation de l'amplitude, mais contrecarré d'autre part par le retard dans les phases de la marée. Le premier élément est sans doute prépondérant, ce qui permettrait d'expliquer les prétendus déplacement vers l'est des embouchures du Vecht, de l'Ems, du Weser, de l'Elbe et de l'Eyder.

Quoi qu'il en soit, la tendance à l'orientation vers le sud-ouest pour les trois fleuves envisagés premièrement, nous semble scientifiquement établie, même pour le Rhin dont la majeure partie du débit débouchait probablement un peu à droite, et non en face comme maintenant, du P. A. M.; il est en tout cas certain, pour ce dernier fleuve, que les circonstances régnant à la côte faciliteraient beaucoup plus fortement son déplacement vers le sud-ouest que dans la direction opposée; la courbe des amplitudes de la figure 2 parle éloquemment à cet égard; celle des niveaux moyens de la mer ne peut être invoquée puisque cet élément dépend précisément de la position des embouchures.

C. — *Anvers, port naturel du Rhin.*

On a souvent, dans certains milieux, dénié à Anvers la qualité de port rhénan; nous croyons au contraire pouvoir affirmer que cette ville serait devenue un port naturel de ce grand fleuve sans les circonstances que nous allons décrire.

Rendons-nous premièrement compte des facilités réellement extraordinaires que présentent les estuaires avec grande amplitude de marée, pour l'évacuation facile des débits d'amont.

Si l'on envisage par exemple l'Escaut maritime, long de 160 km., on constate que le niveau moyen de l'eau au barrage terminal de Gentbrugge est de (+ 3,50) environ et que le niveau moyen de la mer à Flessingue est de (+ 2,24); la pente superficielle qui existerait en

cas d'amplitude réduite à zéro serait donc de moins de $1,26 : 160.000$ ou $0,000008$, puisque la cote terminale au dit barrage serait encore fortement abaissée dans cette hypothèse.

Une pente si minime ne pourrait, sans marée, évacuer le débit d'amont sans provoquer le comblement progressif du lit et engendrer une situation incompatible avec les conditions de stabilité voulues pour un cours d'eau; de plus, l'assèchement des terrains bas serait rendu impossible sur presque toute la longueur du fleuve.

Demandons-nous maintenant, quelle serait la situation au point de vue évacuation des eaux d'amont, d'un estuaire qui partirait du Rhin pour aboutir à la côte dans les parages de l'île de Walcheren, en suivant par exemple le tracé débutant à Woudrichem, confluent du Waal et de la Meuse, et comprenant ensuite la Nieuwe Merwede, le Hollandsch Diep, le Hellegat, le Volkerak, le Mastgat entre les îles de Tolen et de Schouwen, le Zandkreek entre les îles de Beveland Nord et Sud, et finalement le Sloe entre Walcheren et Sud Beveland; sa longueur serait d'environ 120 kilomètres.

D'après J. A. Pierrot, (*Etudes hydrologiques et géologiques sur le bassin de la Meuse*, ouvrage cité), le niveau moyen de l'eau à Woudrichem est à plus de 2,00 mètres au-dessus de A. P., (Amsterdamsch Peil) c'est-à-dire à une cote supérieure à $(2,33 - 0,10 + 2,00)$ ou $(+ 4,23)$; comme le niveau moyen à l'embouchure (Flessingue) est $(+ 2,24)$, la pente superficielle de cet estuaire serait donc supérieure à $(4,23 - 2,24) : 120.000$ ou $0,0000166$, c'est-à-dire au moins le double de celle de l'Escaut Occidental, avec égalité d'amplitude de marée à l'embouchure, mais par contre débit d'amont beaucoup plus fort. Les conditions voulues pour l'établissement d'un grand estuaire à marée existent donc.

De Woudrichem aux bouches de la Vieille Meuse, il y a environ 75 km. et une dénivellation superficielle de plus de $(4,23 - 2,37)$ ou 1,86 m., donnant une pente de plus de $1,86 : 75000 = 0,000025$, soit plus de trois fois celle de l'Escaut, sans qu'un véritable estuaire à marée ait pu se former en cet endroit; l'amplitude à l'embouchure n'y est en effet que de 1,65 m. contre 3,75 à Flessingue; la forte pente aurait d'ailleurs eu pour résultat de soustraire la partie amont du tracé à l'influence de la marée.

Ces chiffres montrent que l'évacuation des eaux de la Meuse et du Waal est plus difficile par les bouches actuelles que par un émissaire qui aurait le tracé indiqué ci-dessus.

La formation d'un estuaire Rhin-Bouches de l'Escaut était donc possible, et le tracé en question, comportant d'ailleurs uniquement des méandres de la lagune tourbeuse et argileuse, est la limite vers laquelle

pouvait tendre l'évolution naturelle des cours d'eau de la région (voir fig. 6 ci-contre).

Cette transformation ne peut toutefois plus s'accomplir naturellement, à cause des obstacles qui y ont été opposés par la main de l'homme; sans ceux-ci, il est vraisemblable qu'elle serait accomplie depuis des siècles. La conséquence inéluctable de cette modification aurait été un colmatage de certains bras anciens de la rive droite du nouvel estuaire, la ruine de certains ports, et la prospérité pour d'autres.

Sur la rive gauche de cet estuaire, l'Escaut Oriental aurait eu son existence comme voie navigable prolongée ou même stabilisée, tandis que l'Escaut Occidental aurait subi un retard assez considérable dans sa formation.

Dans ces conditions Anvers serait devenu un port naturel du Rhin en communication avec ce fleuve par deux grands estuaires, l'Escaut Occidental et la moitié amont de l'Escaut Oriental, devenus de simples affluents du Rhin.

Quels sont maintenant les obstacles qui ont été opposés à cette évolution naturelle du Rhin vers le sud-ouest? C'est ce que nous allons exposer ci-après en examinant en même temps les modifications qui se sont produites anciennement dans le tracé du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut.

La tendance des eaux du Rhin à prendre de préférence le cours du Waal au lieu de se diriger vers l'Yssel et le Vieux Rhin, est bien établie; des observations faites en 1819 (1), prouvent que le Waal absorbait à cette époque les deux tiers du débit total, et que le reste se partageait dans la proportion de 1 à 3 entre l'Yssel et le Vieux Rhin.

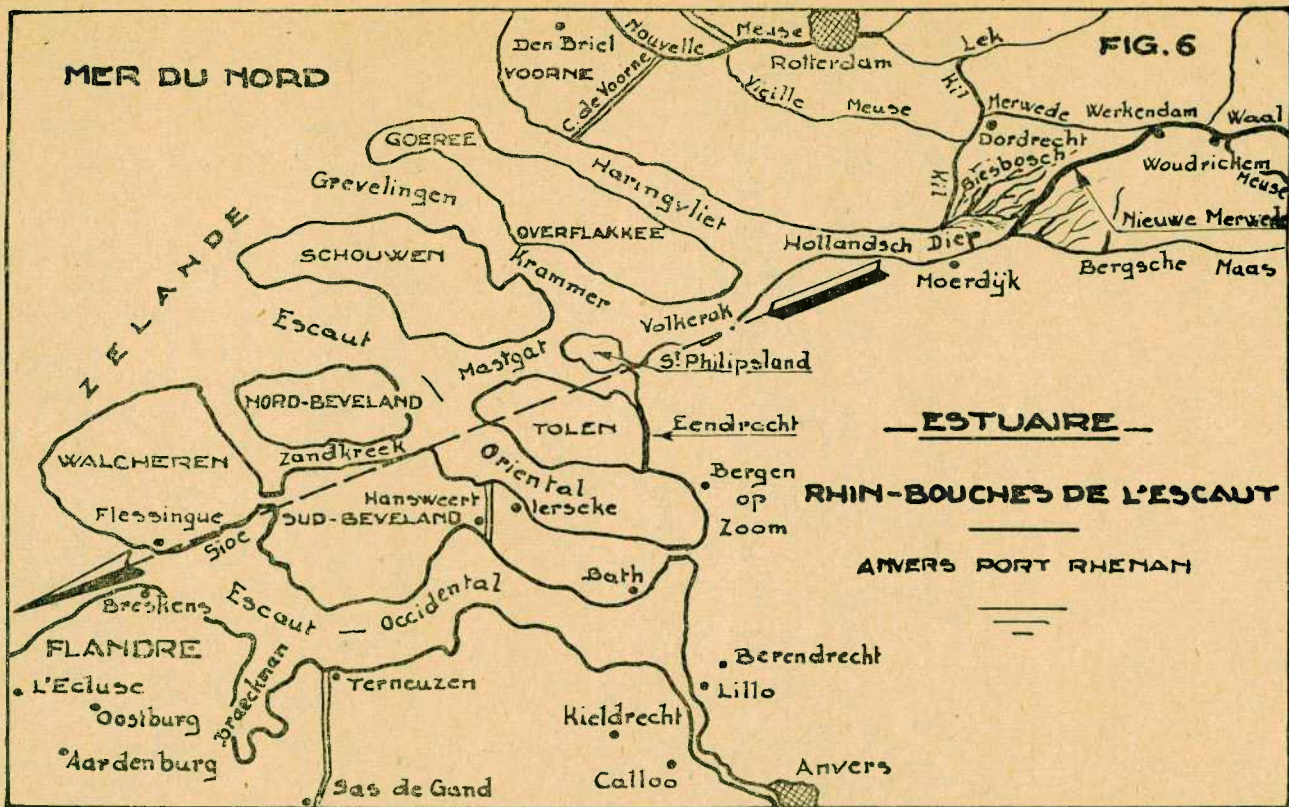
L'évolution de ces bras a toutefois été combattue victorieusement jusqu'à présent, par l'établissement de digues et surtout de déversoirs, permettant d'évacuer une partie des eaux de crue vers d'autres émissaires, de façon à ne pas provoquer le détournement permanent du débit.

Pour la Meuse, nous avons déjà signalé au paragraphe I — B, du présent chapitre, comment celle-ci forma, à un certain moment, une embouchure immense qui comprenait toutes les terres entre le Haringvliet et la Vieille Meuse, la région de Voorne avec la localité de Den Briel, formant île dans l'embouchure, exceptée; ces terrains émergèrent ensuite à nouveau, probablement quand le bras dénommé Grevelingen-Krammer-Volkerak se forma, transformation sur l'époque de laquelle aucune indication certaine n'existe.

Enfin l'exemple le plus frappant de la tendance à évolution de ces fleuves est donnée par un événement qui survint les 18 et 19 novembre 1421. Par une marée haute extraordinaire et une crue du Waal et de la Meuse, les digues se rompirent en de nombreux endroits, et une communication directe s'établit entre la Vieille Meuse ou la Merwede à Werkendam, en aval de Woudrichem, et le Hollandsch Diep au Moerdijk.

La catastrophe fut épouvantable et les eaux abandonnèrent presque complètement

(1) Voir Alphonse Belpaire : *De la plaine maritime depuis Boulogne jusqu'au Danemark*, Anvers, 1855.



La Vieille Meuse, pour se diriger vers le Hollandsch Diep, en provoquant la formation du Biesbosch (voir fig. 6). Pendant plusieurs siècles, la situation fut très instable dans cette région, les efforts mis en œuvre pour diriger à nouveau le débit supérieur vers la Vieille Meuse, étant constamment déjoués en hautes eaux par la

tendance des eaux du Waal et de la Meuse à se diriger par le Biesbosch vers le Hollandsch Diep.

Comment se fait-il maintenant que l'estuaire ainsi amorcé à son origine amont ne se soit pas plus amplement développé dans la direction indiquée ? La réponse à cette question est très simple. Si l'on examine ce qui s'est passé pour l'Escaut Occidental lors de sa formation, commencée vers le XII^e siècle par la percée de la mer à travers les dunes en direction du Hont, on voit que l'invasion subséquente de la marée s'est propagée rapidement vers l'amont, pour arriver au siècle suivant à Gand, à 160 km, dans les terres; aucun endiguement sérieux n'existait avant cette percée le long de ce fleuve, puisque l'amplitude de la marée y était petite ou inexistante; aucun obstacle ne s'offrait donc à la propagation de la marée à part le défaut de profondeur. Dès que le débit d'amont trouva issue par le Hont, il abandonna presque complètement l'Escaut Oriental, et vint renforcer le jasant du nouvel estuaire, qu'il aida puissamment à balayer les atterrissements provenant du creusement par le flot; personne ne songea à diriger à nouveau le débit d'amont vers l'Escaut Oriental; seule une tentative infructueuse fut faite avant 1324 pour retrécir le Hont entre Flessingue et Breskens par la construction de digues autour de cette dernière localité; le seul résultat fut une inondation désastreuse en 1324.

Pour le Waal et la Meuse, au contraire, tout fut mis en œuvre pour diriger à nouveau le débit supérieur vers les anciens émissaires, et, si la situation au Biesbosch fut instable pendant fort longtemps en hautes eaux, il est certain qu'en dehors de ce cas, le débit d'amont manqua complètement au nouvel estuaire pour parfaire son creusement.

Mais un obstacle autrement important existait dans les parages du Mastgat : les îles de Tolen et Schouwen étaient déjà fortement endiguées en 1421, et la distance entre les digues du Oosterlandsche polder sur l'île de Schouwen, endigué en 1354, et celles du Kempenshofstedepolder sur l'île de Tolen, endigué en 1419, n'était plus que de 2000 m, environ; cette ouverture était absolument insuffisante pour permettre la formation d'un estuaire proportionné à ses circonstances d'amont et d'aval; celui-ci devait d'ailleurs nécessairement passer entre ces endiguements, soit pour se diriger, par le tracé indiqué vers l'embouchure de l'Escaut Occidental, soit éventuellement pour emprunter l'embouchure de l'Escaut Oriental.

Il est à remarquer que les endiguements de l'île Saint-Philipsland sont postérieurs à 1421.

Après une lutte de quelques siècles au Biesbosch, la situation y fut stabilisée également en hautes eaux, et la formation naturelle d'un estuaire Rhin-Bouches de l'Escaut n'était plus à envisager dès ce moment.

Il nous reste encore à signaler pour la Meuse, au commencement du siècle passé, l'ensablement progressif de la Vieille Meuse devant Den Briel, suivi ensuite par celui de l'embouchure du Haringvliet, forçant les navires de plus de 6 mètres de tirant d'eau à destination de Rotterdam à entrer par les Grevelingen, le Krammer et le Volkerak, à redescendre ensuite le Haringvliet jusqu'à Hellevoetsluis, pour déboucher finalement en amont de Den Briel dans la Vieille Meuse, par le canal de Voorne.

Pour l'Escaut, nous avons vu que du temps des Romains, il se dirigeait vers la Meuse par l'Eendracht; son évolution finale d'orient vers l'occident, enregistrée par l'Histoire dans ses deux appellations successives, a été longuement décrite dans notre mémoire précédent.

Tous ces fleuves doivent être considérés comme étant actuellement stabilisés, entre digues bien entendu, car certains s'ensablent et d'autres se creusent encore tout en se déformant en plan; les moyens techniques et les ressources financières dont on dispose actuellement sont tels,

qu'il n'est plus possible d'envisager une modification permanente de lit, résultant même d'une catastrophe analogue à celle de 1421.

Mais si les conséquences d'une telle catastrophe ne sont plus à redouter, il est possible qu'un jour une nouvelle recrudescence dans l'affaissement du sol, accompagnée d'une diminution générale de l'amplitude de la marée, vienne rendre très précaire l'évacuation des eaux du Rhin et de la Meuse; il ne restera alors que la ressource de laisser à ces eaux leur libre cours vers le sud-ouest, en supprimant tous les obstacles qu'on a laissé s'accumuler dans cette direction. Il sera dans ce cas indispensable de prendre toutes les dispositions nécessaires pour que les perturbations passagères qui se produiront inévitablement dans les bras de mer environnants, et dans les régions de la côte à proximité de leurs embouchures, ne puissent gêner la navigation vers certains ports; l'accès du port d'Anvers notamment nécessiterait alors des précautions tout à fait spéciales.

D. — *Formation des estuaires dans la lagune argileuse des Flandres et de la Zélande.*

Il convient avant tout de rappeler ici que les îles à la côte, qui furent submergées à l'époque de cette formation, et d'autres qui existent encore, telles Walcheren et Beveland, formaient à la fin de la lagune argileuse, des terres dans celle-ci et non des îles dans la mer.

Il est en effet évident, pour Walcheren et Beveland par exemple, entièrement couvertes d'argile inférieure, sauf peut-être quelques éminences flandriennes, qu'elles ne pouvaient se trouver en mer au début de l'époque de la lagune argileuse, mais devaient exister en arrière de la ligne des dunes, car sinon elles n'auraient pu se couvrir du sédiment en question, l'argile inférieure des polders ne se déposant pas en mer (1). Schoonevelde (voir fig. 7 ci-après), son nom l'indique, était cultivé, et devait par conséquent également être couverte d'argile inférieure des Polders.

Remarquons pour le surplus que les estuaires de l'Escaut Oriental, des Grevelingen et du Haringvliet, déjà existants, ont été formés au début de l'époque de la lagune argileuse dans des embouchures qui

(1) Il faut distinguer :

a) L'argile inférieure des polders, formée dans des lagunes ne communiquant pas directement avec la mer.

b) L'argile supérieure des polders, formée le long des côtes à la suite d'invasions dues à des ruptures de dunes.

c) L'argile des inondations naturelles ou artificielles, formée le long des cours d'eau à la suite de ruptures de digues.

d) La terre de schorres, formée le long des cours d'eau et des côtes, contre des digues ou des dunes.

s'étaient ouvertes à l'époque de la tourbe, et que les embouchures du Vieux Rhin et de la Vieille Meuse n'ont pu donner lieu à de véritables estuaires, l'amplitude de marée et surtout le débit supérieur étant insuffisants à cet effet; nous n'avons donc à nous occuper que du Zwyn, de l'Escaut Occidental et de l'Yser.

1° *Zwyn* (première embouchure).

En application de la loi géologique déjà rappelée, nous pouvons déterminer avec une quasi certitude, les tracés des cours d'eau disparus sur la terre ferme, les traces de ceux-ci n'étant jamais complètement oblitérées; au contraire, quand il s'agit de terres submergées, et de cours d'eau incorporés dans la mer, il n'y a plus que des conjectures à faire, basées éventuellement sur l'existence de bancs de sable indiqués sur les cartes hydrographiques modernes, et guidées par la configuration des vieilles cartes.

Pour ces dernières, il convient de ne pas perdre de vue que les géomètres de l'époque se contentaient, pour élaborer ces documents, de monter sur les tours et de reproduire aussi fidèlement que possible le panorama qui s'offrait à leurs yeux. Les déformations patentes qu'ont subies les régions encore existantes figurant sur ces vieilles cartes, prouvent le peu d'exactitude de celles-ci; on ne peut donc que se laisser guider par elles, et rectifier les erreurs flagrantes.

Nous allons maintenant analyser systématiquement tous les éléments capables de jeter la lumière sur l'origine du Zwyn.

La toponymie d'abord nous enseigne que ce mot est un nom générique qui désigne un cours d'eau; il y a Zwinemunde en Allemagne, Zwijndrecht devant Dordrecht et Anvers, Zwijnaerde au sud de Gand; l'origine en est évidemment celtique.

Zwijnaerde peut donner des indications assez précieuses: quand, lors de la dernière régression glaciaire, les eaux de nos cours d'eau dans le nord de la Belgique, se dirigèrent de l'est vers l'ouest pour déboucher dans la Manche, le Haut-Escaut ne trouva pas un passage suffisant à l'entrée de Gand dans la région du « Strop » (nom probablement symptomatique); celle-ci est en effet resserrée entre les bords escarpés de la rive droite à Meirelbeke et Ledeborg, et de la rive gauche au droit de la colline Saint-Pierre. Le Haut-Escaut doit avoir dirigé alors son débit partiellement vers la Lys, en contournant la colline susdite par le sud. Il se créa ainsi une espèce de déversoir superficiel de la région de Zwijnaerde vers Tronchiennes, qui subsista à l'époque de la tourbe sous forme d'un méandre, prenant son origine à l'extrémité aval du petit canal de Zwijnaerde formant coupure de l'Escaut, passant sous la chaussée de Courtraï par le pont dit « Maltebrugge » et débouchant dans la Lys aux environs du pont du « Snepke ».

Ce méandre a été partiellement recreusé pour délimiter le territoire de la ville de Gand et porte actuellement le nom de « Grietgracht ».

La conclusion qui s'en dégage est que Zwyn désigne probablement un bras de rivière de peu d'importance, à minime débit et à courant incertain, puisque c'est à l'époque de la tourbe que ce nom a pris naissance.

L'histoire et les vieilles chroniques nous apprennent d'autre part que le Zwyn de la côte est né d'une rupture de dunes au temps des Normands; de plus, la construction en 867 du Château des Comtes de Flandres à Gand, sur la Liève, un vieux méandre néolithique détournant les eaux de la Lys vers la Caele (1), implique l'existence à cette époque d'une issue à la mer et d'une communication entre la Caele et le Hont. Il n'est guère possible d'admettre en effet, que la Caele poursuivait encore alors son cours jusqu'à Calloo. Quant à la communication avec le Hont, elle existait pensons-nous suivant le tracé actuel du canal de Langelede, et plus loin, par Sas de Gand vers le Braeckman et le Hont. Toute communication directe par eau au moyen-âge entre Gand et Damme est à notre sens exclue, comme nécessitant des travaux d'art trop considérables pour l'époque.

Nous pouvons donc conclure qu'avant 867, le premier estuaire du Zwyn était en formation, et pouvait livrer passage à de petits bateaux tels que ceux des Normands (2).

Beaucoup d'auteurs estiment que le Zwyn de la côte s'identifie avec Sincval ou Cincval ou Sincvalla. Alphonse Belpaire, dans son ouvrage déjà cité, relate que d'après une charte de 1241 de Thomas, Comte de Flandre, il résulterait que Cincval serait le port de Damme, et il cite le texte d'après lequel les habitants de Muiden en Flandre sur la rive gauche du Zwyn en face de l'Ecluse, sont exemptés de payer le tonlieu « binnen zijne Stad Damme en overal binnen de Haven die gewoonlijk Cincval wordt gezegd ».

La toponymie devrait pouvoir éclaircir l'énigme, mais nous n'avons pu aboutir par cette voie; voici toutefois quelques indications que nous avons recueillies : Dans un diplôme de Philippe d'Alsace de 1180, il est écrit « Bekeghem inter Pita et Watervalla », or le village de Bekeghem situé au sud-est d'Oudenburg comprend encore maintenant un hameau nommé De Watervalle, ce qui permet de préjuger que val ou valla a la même signification que le mot flamand val ou valle c'est-à-dire chute (d'eau); la carte géologique montre que ce lieu dit se trouve à la pointe d'un golfe allongé d'argile inférieure des polders, là où débouchait un cours d'eau

(1) La Caele est une petite rivière venant de la direction de Nevele et passant par Vinderhoutte, Evergem et Roodenhuyse, où elle prend le nom de canal du Moervaart, par Mendonck, Wachtebeke et Moerbeke, où elle se jette dans la Durme; celle-ci a probablement capté la Caele pendant l'ère moderne; cette dernière continuait auparavant dans la direction du Nord-Est pour déboucher à l'Escaut à Calloo. Il est à remarquer que cette localité s'appelait anciennement Calvelous et que actuellement un hameau de Wachtebeke s'appelle Calve; la toponymie encore une fois nous vient en aide.

(2) Cette argumentation suppose que le percement du Zwyn ait été accompagné d'une obturation suffisamment forte du Hont entre Bath et le Braeckman pour empêcher les bateaux Normands de remonter ce cours d'eau lagunaire; c'est là un phénomène normal, constaté à chaque déplacement d'embouchure, comme déjà exposé.

de terres hautes, ce qui permet de supposer qu'il y avait là une dépression de terrain et d'envisager la possibilité d'un déversoir superficiel. Sincvalla pourrait donc être un ancien déversoir d'eau, mais le mot de Sinc reste obscur. Il y a encore à proximité, entre Lombaertsijde et Slijpe, un lieu-dit « Rattevalle » (1) le long du tracé du cours d'eau lagunaire, dénommé Yser avant la formation de l'estuaire actuel de ce nom, lequel Yser formait alors le prolongement amont du Zwyn ou Sincfalla. Il y a donc des indices sérieux d'origine commune pour ces trois noms et les toponymistes rendraient un grand service à la science hydraulique et à l'histoire en résolvant ce problème.

Sur la carte de la fig. 7 ci-contre, nous donnons le tracé probable de la côte des Flandres et de la Zélande à l'époque précédant immédiatement la formation des embouchures dans cette région, donc vers le IX^e siècle, ainsi que le tracé probable et en partie certain, des cours d'eau lagunaires de l'époque. Nous y avons figuré la ligne des dunes continue qui encercle ces terres, le Zwyn ou Cincval, prolongement de l'ancien Yser parallèle à la côte, le Kil ou Hont dirigeant les eaux de toutes les lagunes vers Bath sur l'Escaut Oriental.

Il est à remarquer que les terres de Schoonevelde et de Scharphout, comme Walcheren et Beveland d'ailleurs, émergées de la lagune, ne sont pas encore des îles proprement dites, mais vont le devenir bientôt par suite de ruptures de dunes pendant les siècles qui suivront.

La position des Wielingen et même celle du passage des Wielingen (2), « het gat der Wielingen » déjà cité dans le tableau chronologique reste incertaine; nous opinons en ce qui concerne ce dernier

(1) Rattevalle pourrait être une erreur de copie et signifier Kattevalle; Kat suivant nous signifie caillou, pierre arrondie ou erratique et ensuite pierre tout court. Ainsi il y a le Kattegat bien connu, Cadzand, Keetenisse, Keet (abri en pierres), le Mont des Cats dans la Flandre Française, le Kattenberg sur la colline Saint-Pierre à Gand, le Ketsbrug à Bruges, Katendrecht déjà cité, en Hollande, Kattendijk bien connu à Anvers, Kattesas, une écluse à Nieupoort, Kattesteeg, la ruelle entre deux murs non mitoyens, Katrol, nom flamand de la poulie dont la forme ressemble à un gros caillou, Kei, nom flamand du caillou, Ketsen et Kaatsen qui signifient jouer à la balle, Kade qui signifie quai, etc...

(2) Voir Alphonse Belpaire, p. 194 : la même chose résulte du passage suivant de Reigersberch, relatif à l'année 1393 (édition de Boxhorn, 2^e partie, p. 172). « Ende 't veergat worde van daghe te daghe grooter, wijder en breeder, overmits die groote stroomen ende vlooden, die dageliecx uyter zee quamen, ende mede omdat 't zeewater veel ruymte kreech van die gheinundeerde landen. Desgelijcx 't gat van der Wielinghe. »

En ce qui concerne la toponymie de Wielingen il s'agit, sans aucun doute à notre avis, d'un village disparu de l'époque franque, établi à proximité d'un « weel » analogue à ceux qui abondent notamment dans la région d'Anvers. L'endroit est d'ailleurs celui où débouchait, suivant Rutot, dans la mer campinienne, le fleuve dont question au paragraphe VI du chapitre premier, venant des hauteurs de l'Artois; les circonstances étaient donc certainement propices à la formation de dépressions pouvant devenir plus tard des « weelen ».

Il semble établi qu'au moyen-âge, le Zwyn ou Sincval formait la limite entre la Flandre, à la France, et la Zélande à l'empire; ceci ne pouvait évidemment s'appliquer qu'à la partie de ce cours d'eau en aval des Wielingen. La prétendue île de Cadzand appartenait donc à la Flandre dans ces temps, et fut probablement incorporée à la Zélande quand le déplacement de l'embouchure du Zwyn à l'ouest de Cadzand fut un fait accompli.

Pour les terres situées plus au Nord, Wulpen et Schoonevelde, le doute subsiste quant à la question de savoir à qui elles appartenaient avant le percement du Zwyn, et c'est ce qui rend si difficile à présumer ce que réellement les empereurs Othon I et II ont voulu faire en fait de travaux hydrauliques dans la région des Wielingen.

Quoi qu'il en soit, il est à peu près certain que la première rupture des dunes se produisit vers la pointe ouest de l'île actuelle de Walcheren, à l'endroit marqué A sur la carte de la fig. 7, et qu'elle provoqua la formation du premier estuaire du Zwyn; ce cours d'eau, qui se dirigeait auparavant vers le Kil ou Hont, prit le chemin du nord par deux voies qui s'offraient à lui au nord-est de Cadzand; le Hont jouant le rôle de régulateur de marée, celle-ci se transmit probablement de préférence par la voie située à l'ouest des deux petites îles de la région des Wielingen. Est-ce là l'origine du différend séculaire au sujet des limites des deux pays, c'est très probable.

Une nouvelle percée en 938, qui s'effectua en B, ou peut être sur différents points de la ligne dunale A-B, fit une île de Schoonevelde qui se trouva ainsi entre les deux bras du premier estuaire du Zwyn (1).

L'une des hypothèses que l'on peut faire au sujet des intentions des empereurs Othon, c'est qu'ils ont voulu aider le creusement de l'estuaire et barrer le cours d'eau, en G par exemple, pour gagner des terres à l'empire dans la direction de l'ouest; les premières dates que l'on cite pour les travaux en question sont 936, 941, 946 et 949; la première est antérieure à 938, ce qui permet également de supposer que la seconde rupture a été en partie provoquée par ces travaux.

Désormais la marée, trop puissante pour être absorbée uniquement par le Zwyn, se dirigea principalement vers le Hont, et l'estuaire de l'Escaut Occidental commença à se former; ce puissant voisin constitua dès l'abord une menace sérieuse pour l'existence du Zwyn.

2° *Escaut Occidental et seconde embouchure du Zwyn.*

Le Zwyn primitif, malgré ce mauvais présage, devait cependant

(1) Schoonevelde avait probablement déjà formé île dans la lagune tourbeuse, c'est-à-dire qu'elle n'était pas recouverte de tourbe.

vivre plus de quatre siècles avec son premier estuaire, et apporter une prospérité inouïe aux ports de Bruges, Damme et l'Écluse. La raison en est, croyons-nous, que les couches d'argile, de tourbe et de glaise qui tapissaient presque partout l'ancienne lagune au droit du Hont ont résisté fortement aux érosions des courants de marée; au contraire, dès que ces couches furent érodées, le sable sous-jacent se laissa entamer facilement et le creusement définitif, en profondeur, qui ne débuta qu'à partir du XV^e siècle au plus tôt, puisque le Hont était encore guéable en 1400, doit s'être accompli beaucoup plus rapidement; en effet en 1575 déjà, l'armée espagnole traversa l'Escaut Oriental à gué. Nous avons signalé pour le surplus dans notre mémoire primitif, au paragraphe II du chapitre III, dans quelles circonstances le creusement du fleuve fut arrêté vers la fin du XVI^e siècle.

L'événement capital pour ces deux estuaires se produisit en 1288 (voir tableau chronologique au par. V du chapitre I^{er}), ce fut l'inondation de la Flandre Zélandaise, accompagnée de la submersion quasi totale des îles de Schoonevelde et de Scharphout et d'une nouvelle percée vers l'endroit marqué C (1); ce fut aussi le début du creusement du deuxième estuaire du Zwyn à l'ouest de Cadzand et la catastrophe provoqua certainement une recrudescence marquée dans la formation de l'Escaut Occidental; la marée dut s'introduire principalement dans ce fleuve par la passe marquée G au plan de la fig. 7, qui doit être considérée comme la position initiale de la fameuse passe des Wie-lingen; la côte prit ensuite à peu près la configuration actuelle.

Certains auteurs reportent ces événements à 1377 et comprennent dans ceux-ci l'engloutissement des travaux hydrauliques des empereurs Othon; la question est sans importance au point de vue de notre exposé.

Pour les détails au sujet de ces deux estuaires, nous ne pouvons que renvoyer le lecteur à notre mémoire primitif, tout en attirant l'attention sur le fait qu'une écluse à sas était installée à Damme depuis 1189 et que par conséquent le débit supérieur du Zwyn ne devait plus être très fort à cette date.

3^o Yser.

L'époque exacte de la formation de cet estuaire n'est pas très certaine; nous savons que le village de Sandhove prit le nom de Nieuport en 1160 et qu'il fut fondé probablement en 1103; Nieuport pour le surplus reçut des écluses à sas avant 1260.

(1) La côte telle qu'elle est figurée sur la carte doit évidemment être rapprochée alors des terres d'une distance égale au recul des dunes pendant l'époque qui s'est écoulée depuis le IX^e siècle jusqu'au moment des ruptures.

Il est donc certain que l'Yser déboucha à la côte avant la fin du XII^e siècle et détourna la majeure partie de l'ancien débit supérieur du Zwyn, qui ne fut barré à Damme qu'en 1189; le cours d'eau lagunaire indiqué sur la fig. 5 avait d'ailleurs été affaibli vers la même époque par la formation de l'estuaire temporaire de Middelkerke dont il a été question au paragraphe IV du chapitre premier. Tous ces phénomènes procèdent d'ailleurs de la tendance au déplacement des embouchures vers le sud-ouest, mais une cause secondaire est venue agir fortement, semble-t-il, sur l'évolution de l'Yser lagunaire parallèle à la côte; ce sont les affaissements différents du sol, moins prononcés vers le milieu de son parcours, au sud d'Ostende, qu'à l'est et à l'ouest.

La carte géologique montre en effet que les sédiments Yprésiens s'avancent profondément dans la lagune dans la région de Ghistelles à proximité de ce cours d'eau; suivant Belpaire il y avait là un endroit où la tourbe était encore à nu au milieu des marais au XI^e siècle et où habitaient des hommes quasi sauvages (1).

La tourbe transgresse donc en cet endroit le bord oriental de la lagune argileuse, ce qui dénote un faible affaissement après l'époque de la tourbe vis-à-vis des affaissements voisins.

La pente vers le nord-est du cours d'eau lagunaire s'est donc accentuée à droite de la région de Ghistelles, et a été diminuée ou changée de sens vers la gauche, ce qui a certainement contribué à la formation des estuaires de Middelkerke et des estuaires suivants, dans la direction du sud-ouest. L'évolution de ce cours d'eau lagunaire permit le barrage du Zwyn à Damme qui formait son cours aval, mais fut cause en partie, comme nous l'avons exposé dans notre étude précédente, de la mort précoce du Zwyn.

3. — Anciens cours d'eau de la région d'Anvers; leur influence sur la stabilité des murs de quai en rivière.

Depuis l'achèvement de notre première étude sur l'Escaut Maritime, en 1926, les grands travaux d'extension du port d'Anvers et du tunnel sous l'Escaut ont été achevés, et les nombreux forages et fouilles pratiqués à cette occasion ont permis de compléter nos connaissances géologiques et hydrologiques sur toute cette région.

(1) Ces hommes étaient probablement des descendants des néolithiques comme ceux que K. Loppens signale de nos temps dans la forêt d'Houthulst; ils étaient dénommés dans la Flandre « moerduivels » et « boschkanters » et habitaient des huttes analogues à celles des néolithiques. Ils existaient également il y a peu d'années encore dans la région de Genck (Limbourg), où ils portaient le nom de « beezembinders » d'après le seul métier qu'ils exerçaient (fabricants de balais en tiges de bruyères).

Il appert d'une façon incontestable, de ces nouvelles données, que les cours d'eau de la rive droite de l'Escaut à Anvers, traversaient encore au début de l'invasion de la marée, le cours actuel de ce fleuve, pour se jeter plus loin vers l'ouest dans l'Escaut de ce temps; celui-ci s'était maintenu dans son ancien lit néolithique, longeant la rive gauche de la lagune anversoise, comme nous l'avons montré dans notre étude précitée.

M. le Dr G. Hasse (1), qui depuis plus de quarante ans fouille le sous-sol d'Anvers, a, croyons-nous, signalé le premier, les prolongements anciens de ces cours d'eau sur la rive gauche actuelle de l'Escaut, le déplacement relativement récent de celui-ci devant Anvers, ainsi que le bouleversement produit dans ces rivières par l'invasion de la marée.

Dans une nouvelle communication parue en 1934 dans le *Bulletin de la Société Royale de Géographie d'Anvers* (2), cet auteur fait connaître ses dernières vues sur cette question et généralise pour tout le cours de l'Escaut, la notion des seuils géologiques scaldisiens que nous avons exposée dans notre précédent mémoire.

Cette communication est accompagnée d'une carte donnant le tracé général de ces anciens cours d'eau; comme il résulte de ce dernier document qu'il y a corrélation entre les endroits où les murs de quai d'Anvers se sont affaissés et les emplacements des anciennes rivières, nous croyons nécessaire, dans l'intérêt de la science hydraulique, de revoir la question à ce point de vue et de mettre au point les détails qui intéressent la présente étude.

Nous avons en conséquence reproduit, dans la carte de la figure 8 ci-après, les tracés des rivières anciennes figurant sur la carte de M. Hasse, complétés par l'indication des deux seuils scaldisiens quaternaires (3) et par l'emplacement probable de l'Escaut néolithique.

Comme complément à ces seuils, que nous avons été le premier à mettre en lumière, nous indiquons aussi un seuil poederlien, qui donna naissance aux tertres d'Oorderen et de Wilmarsdonck et se relie au promontoire d'Eeckeren.

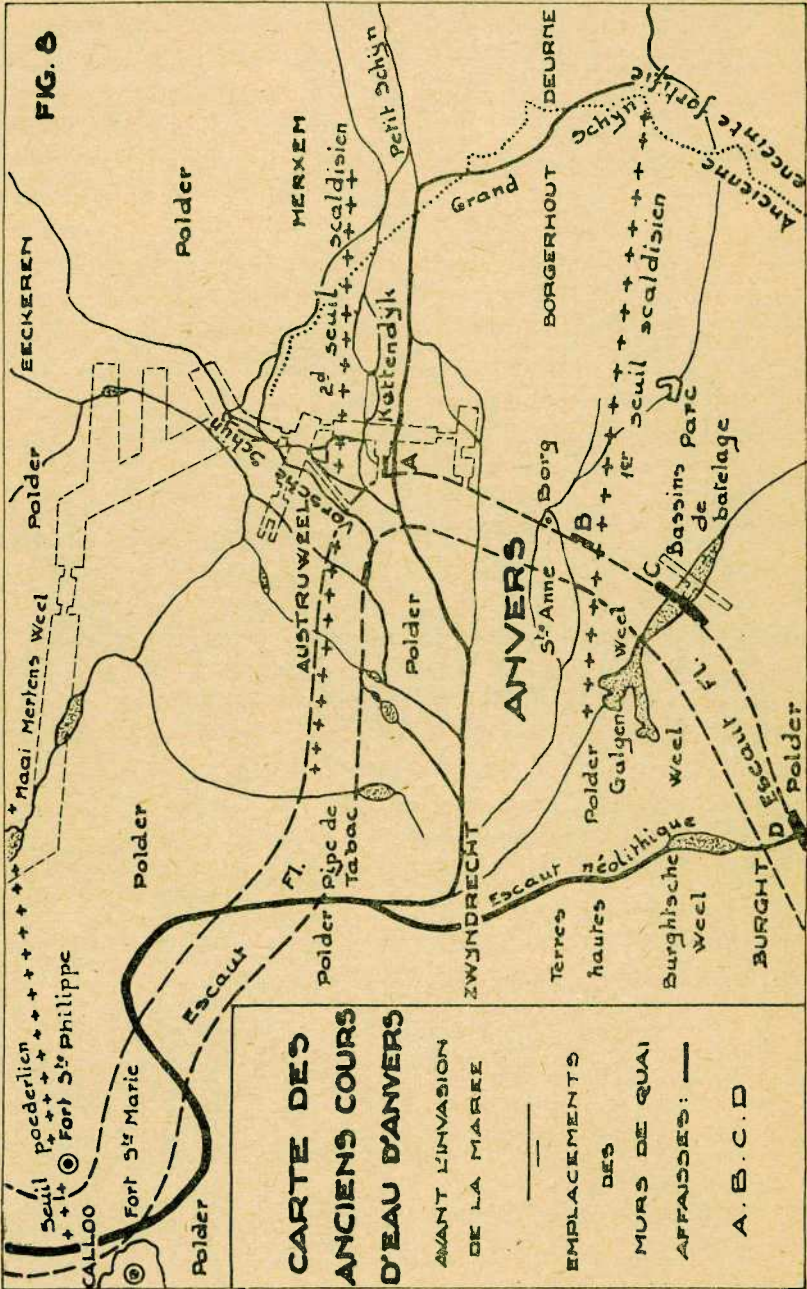
(1) Voir *Bulletin de la Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, Bruxelles, tome XXIV (1910). — Les Schijns et l'Escaut primitifs à Anvers. (Ouvrage déjà cité dans notre premier mémoire.)

(2) Hydrographie primitive au Nord d'Anvers, par le Dr G. Hasse.

(3) Pour l'indication de ces seuils, qui correspondent à l'affleurement des deux bancs coquilliers du terrain scaldisien à la cote (— 3,00), nous avons supposé ceux-ci en pente régulière, et nous nous sommes basés sur leurs cotes de niveau relevées au Kattendijk et au Kruisschans; ces seuils ne sont donc pas rectilignes, en réalité, et la position du premier n'est qu'approximative.

Analysons maintenant les données de cette figure 8.

L'Escaut néolithique, dont le cours coupe transversalement le tracé de l'Escaut actuel entre Hoboken et le Burchtsche Weel, coule du sud au nord en longeant



le bord escarpé de la rive gauche du lit quaternaire du fleuve, de Burght à la Pipe de Tabac, en passant devant Zwijndrecht, conformément à la loi que nous avons énoncée comme suit au paragraphe I du chapitre premier de notre précédent mémoire : « à la fin de l'ère quaternaire, les rivières s'établissent au pied des rives escarpées des anciens cours d'eau ou bras de mer des époques précédentes ». La pente de la rive droite de l'Escaut quaternaire à Anvers est en effet beaucoup moins forte que celle de la rive opposée, par suite de l'existence des divers Schijn qui y débouchaient transversalement.

Au delà de la Pipe de Tabac, le fleuve décrit une courbe et une contre-courbe, pour se glisser entre les forts de Sainte-Marie et de Saint-Philippe, endroit où vraisemblablement le fleuve quaternaire avait le plus profondément entaillé le seuil poederlien dont question ci-dessus.

Ce seuil était formé des grosses concrétions gréseuses et d'un banc de plaquettes très dures, dont nous avons longuement parlé dans notre mémoire primitif; étant donné l'existence des tertres poederliens de Calloo, d'Oorderen et de Wilmarsdonck, du promontoire poederlien d'Eeckeren qui s'avance profondément dans la lagune argileuse, et des Maai Mertens-, Zandvoort- et Spraanweel qui ne peuvent avoir été que la conséquence de fortes érosions locales dans le seuil, nous pouvons admettre que celui-ci s'étendait dans la direction générale du village de Calloo vers le sud du village d'Eeckeren, tel qu'il est esquissé sur notre carte; les tertres qui n'ont pu être érodés par les courants quaternaires grâce à l'existence du seuil se trouvent évidemment en aval de celui-ci dans la direction de ces courants.

En ce qui concerne les affluents de la rive droite de l'Escaut à Anvers, qui coulent dans la direction générale est-ouest, ils se concentrent visiblement dans la région située entre les deux seuils scaldisiens, constitués, comme nous l'avons déjà dit, par deux bancs de coquilles d'environ 0,50 m. d'épaisseur, distants approximativement de 4 mètres.

Le banc supérieur, composé de coquilles intactes, affleure vers la côte (— 3,30) dans la rive droite de l'Escaut en aval d'Austruweel, et le banc inférieur, beaucoup moins résistant, composé en grande partie de coquilles brisées, devait affleurer vers la côte (— 3,00) dans le fond quaternaire du fleuve. La carte géologique montrant que le terrain scaldisien est inexistant sur la rive gauche entre Burght et Zwijndrecht, nous pouvons en conclure que ces bancs ne se continuaient pas jusqu'à cette rive, et que par conséquent l'obstacle au passage des eaux était minime dans cette région; cela explique encore la position de l'Escaut néolithique accolé à cette rive gauche.

Il est probable d'autre part que le premier seuil scaldisien a été plus profondément érodé que le second, beaucoup plus résistant, et qu'il a attiré ainsi les émissaires des Schijn, qui sinon auraient dû s'établir immédiatement en amont du second seuil.

Pourquoi le flot de la marée envahissante s'est-il dirigé de la Pipe de Tabac vers Austruweel, longeant en amont le second seuil scaldisien, au lieu d'emprunter le lit des Schijn situé à environ 1 km. vers le sud ? C'est vraisemblablement parce que ce dernier tracé aurait nécessité un tournant brusque vers la droite à la hauteur de la Pipe de Tabac, incompatible avec le tracé situé plus en aval, déjà grandement rectifié sans doute.

Nous devons signaler encore qu'un bras secondaire du Grand Schijn primitif semble avoir suivi le tracé actuel du petit canal dit d'Herenthals débouchant dans les étangs du Parc, qu'il a franchi le premier seuil dans les parages de la rue des Juifs, et qu'il a entouré de ses eaux le tertre du « Borg » et de Sainte-Anne, celui-là berceau de la ville d'Anvers. Le bras principal du Grand Schijn passait par Deurne, recevait un peu plus loin le Petit Schijn, tournait ensuite vers l'ouest pour passer

l'Escaut actuel à la hauteur du chenal d'entrée de l'écluse du Kattendijk (1). Enfin, au droit du bassin de batelage des quais du sud, un petit cours d'eau de terres hautes formait un weel dont le Galgenweel semble être le prolongement, et se jetait plus loin dans l'émissaire commun des Schijn en contournant probablement l'extrémité ouest du premier seuil scaldisien.

La position des principaux cours d'eau anciens traversant le cours actuel du fleuve étant ainsi bien définie, voyons où se sont produits les différents accidents aux murs de quai, qui, pendant environ un demi-siècle, ont si fortement alarmé les milieux intéressés.

A. — *Glissement du mur de quai sud du chenal d'entrée de l'écluse du Kattendijk*, en 1923 (au point marqué A sur le plan).

Cet ouvrage datant de 1860 environ était fondé sur pilotis, et son glissement vers le chenal a entraîné sa destruction complète; il se trouvait à peu près au droit du Grand Schijn primitif, et un émissaire des cours d'eau venant de la région de Merxem et d'Eeckeren le traversait vers le milieu de sa longueur. Les sondages exécutés à une dizaine de mètres en arrière du mur montrent qu'en moyenne la tourbe a 1,75 m. d'épaisseur et repose sur le banc scaldisien supérieur à la cote (— 2,00) environ, le banc inférieur se trouvant vers (— 6,00), et que l'argile compacte se rencontre vers la cote (— 20,00). L'accident, arrivé semble-t-il après une période de pluies, est dû très probablement à la poussée des eaux contenues entre les deux bancs de coquilles, mises sous pression par une crue souterraine; les pilots ne pouvaient d'ailleurs avoir été encastés de beaucoup dans l'argile.

B. — *Un mouvement peu important* s'est produit dans le mur en construction au quai Plantin en 1883; il fut attribué à l'envahissement du terre-plein par les eaux du fleuve, celui-ci ayant débordé par dessus la tablette à la cote (+ 6,50); on exhaussa tous les murs en construction à cette époque de 0,30 m. sur 3500 m. de longueur, et on renforça leur profil. Il n'y a aucune corrélation avec l'emplacement des anciennes rivières, l'endroit est marqué B au plan, et l'accident semble dû uniquement à l'insuffisance de hauteur du mur de quai.

C. — *Une série d'accidents graves* se sont produits en 1899, 1905, 1907, 1913 et 1930, aux quais Cockerill, de la Station et Ledeganck, dans les sections voisines de la jonction entre les anciens murs terminés en 1884 et ceux du sud achevés en 1902, à l'endroit marqué C au plan, à proximité du bassin de batelage. Au droit de celui-ci existait dans le temps le weel déjà signalé plus haut, correspondant avec le Galgen

(1) Il s'agit probablement ici d'un phénomène de capture du Grand Schijn par le Petit Schijn.

Weel de la rive gauche ; à la jonction entre les anciens et les nouveaux murs, la tourbe a 1,00 m. d'épaisseur et descend jusqu'à la cote (— 5,50), et l'argile se rencontre à (— 9,25). Au sud de la jonction, les nouveaux murs fondés comme les anciens sur caissons à air comprimé sont légèrement encastrés dans l'argile de Boom, au nord les murs sont fondés dans le sable vert. La cote si basse à laquelle se trouve la tourbe à cette jonction, à 600 m. de l'axe du weel, prouve que celui-ci était très important et profond, et qu'il devait constituer un grave danger pour la stabilité d'un mur non spécialement construit à cet effet ; le mur reposait là sur le sable boldérien, qui, au contact de l'argile imperméable de Boom, surtout au droit de l'ancien weel, devait être gorgé d'eau et donner lieu à une véritable rivière souterraine, ayant ses crues accompagnées de surpressions non prévues dans les calculs.

Les accidents ont eu lieu après des périodes de fortes pluies et ont été attribués à la poussée anormale des eaux souterraines.

D. — *Deux accidents graves* se sont produits en 1905 et 1913 à l'extrémité des nouveaux murs de quai du sud, au droit de l'Escaut néolithique et du lit quaternaire du fleuve ; une dépression fort marquée dans la ligne d'affleurement de l'argile de Boom (1) marque le passage du lit quaternaire de ce fleuve ; sur le bord est de celui-ci (rive escarpée), où s'est établi l'Escaut néolithique, la tourbe descend jusqu'à la cote (— 3,80). La cause des accidents est identique à celle indiquée ci-dessus.

Si les auteurs des projets de ces murs avaient eu connaissance de cette hydrologie particulière du sous-sol d'Anvers, ils auraient certainement prévu des dispositions spéciales dans les sections dangereuses signalées ci-dessus, et aucun accident ne serait probablement arrivé.

Comme conclusion, il est permis d'avancer que pour des travaux tels que murs de quai importants, écluses, etc..., il ne suffit pas à l'Ingénieur de faire pratiquer des forages même nombreux et profonds dans l'étendue des travaux, il doit acquérir des connaissances générales sur la géologie du sous-sol environnant et être à même de prévoir les circonstances anormales qui peuvent se présenter.

4. — *L'affaissement du sol et les repères de nivellement.*

L'hypothèse la plus probable qui résulte de toutes les considérations précédentes pour expliquer les phénomènes constatés, est donc un

(1) Voir Pl. II de la note de MM. Pierrot et Zanen : « Construction de 2000 m. de quais en rivière », *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1^{er} fascicule, 1906.

affaissement lent et continu du sol, d'intensité cependant variable suivant les lieux, et pouvant présenter ce que nous avons appelé des paroxysmes, étant entendu qu'il ne faut attacher à ce mot qu'une valeur relative vu la lenteur avec laquelle s'effectue le mouvement d'abaissement. Nous avons montré également que ce dernier est annulé en partie par les dépôts de sédiments en mer près des embouchures et dans la région lagunaire, et qu'il est possible qu'à certains moments et en certains endroits l'apport soit supérieur à l'affaissement. Il semble également qu'un centre d'affaissement existe dans la région des embouchures de la Tamise, du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut, et que le mouvement se propage du centre vers la périphérie; il est pour le surplus évident que cette partie de la mer du Nord serait depuis longtemps envahie par des deltas, si son sous-sol ne s'abaissait pas progressivement.

Nous sommes parvenu à expliquer, d'une façon acceptable croyons-nous, tous les phénomènes constatés depuis le commencement de la dernière extension glaciaire, sans faire intervenir dans la région considérée des soulèvements du sol. On peut même se demander également, si les paroxysmes dans l'affaissement sont bien indispensables à la justification de l'établissement des lagunes tourbeuses et argileuses, et à la formation des estuaires de la côte belge. A notre avis, les bases suffisantes manquent à la résolution de ce problème, qui sort d'ailleurs à plusieurs points de vue du cadre de notre compétence.

Nous ferons toutefois observer que la formation de la tourbe a mis au moins cent siècles pour combler la lagune au point de forcer certains émissaires à se créer une issue vers la mer, alors que le dépôt de l'argile inférieure n'en a exigé que quelques-uns; l'épaisseur du dépôt d'argile est pour le surplus sensiblement proportionnelle à la hauteur d'eau, toutes autres choses égales d'ailleurs, ce qui n'est certes pas le cas pour la tourbe, qui cesse même de se former quand cette hauteur dépasse une certaine limite.

Comme un affaissement continu et inégal du sol doit se marquer dans les repères de nivellement par des irrégularités et des discordances, nous allons exposer ci-après les constatations qu'il nous a été permis de faire à ce sujet dans la région d'Anvers.

Nous reproduisons dans ce but l'extrait ci-après d'une note que nous avons dressée en mars 1919 dans le but de documenter l'Administration des Ponts et Chaussées sur cette question.

* « Le nivellement général du Royaume, exécuté en 1840 par le Département des Travaux Publics, a comme plan de comparaison la basse mer de vives eaux ordinaires à Ostende, formant le zéro du port; les cotes de nivellement rapportées à ce plan de comparaison sont désignées par la lettre (Z) (zéro d'Ostende).

Le nivellement général de l'Etat-Major a également comme plan de comparaison la marée basse moyenne des vives eaux à Ostende, mais, bien que définis de la même façon, ces deux plans ne coïncident pas, comme nous le verrons plus loin; les cotes de nivellement rapportées à ce deuxième plan sont désignées par la lettre (D) (Dépôt de la Guerre).

Le point de départ de ces deux nivellements généraux est la tablette de l'écluse des bassins à Ostende, dont les cotes sont respectivement (+ 0,45) (Z) et (+ 6,2835) (D); le plan de comparaison du Dépôt de la Guerre se trouve donc, à Ostende, à (0,1665 m.) au-dessus de celui du nivellement général du Royaume.

Le Département des Travaux Publics adopta, en 1888, le plan de comparaison du nivellement général de l'Etat-Major, et, lorsque je fus chargé pour la première fois en 1901, d'un service d'opérations graphiques à Anvers, la situation y était la suivante :

Pour passer du zéro d'Ostende, conservé par les services techniques de la ville d'Anvers, au zéro du Département de la Guerre, on ajoutait 0,252 m. aux cotes rapportées au 1^{er} zéro (Z). On admettait donc à cette époque, que le plan de comparaison du Dépôt de la Guerre se trouvait à Anvers à 0,252 m. en dessous du zéro d'Ostende, alors que dans cette dernière localité il y a une différence de 0,1665 m. en sens contraire entre les deux plans.

Il ne nous a pas été possible, avec les renseignements que nous avons pu recueillir à Anvers, de déterminer l'origine de cette anomalie, qui a été, et est encore, la source de difficultés et d'erreurs de toutes espèces.

Je ne citerai comme exemple, qu'un grand nivellement effectué en 1900, par l'Administration des Ponts et Chaussées, dans la région poldérienne aux environs d'Anvers, en vue de l'exécution de grands travaux maritimes dont les plans s'ébauchaient à cette époque; l'opérateur, croyant travailler avec le zéro du Dépôt de la Guerre, fit tout son nivellement par rapport au zéro d'Ostende; ce n'est qu'au moment d'utiliser les résultats du nivellement que l'on s'aperçut de la méprise.

Avant cette époque, déjà, on commençait à se méfier; en effet, un nivellement de précision effectué en 1890 par l'Institut cartographique militaire, indique, pour cote de la tablette au droit de l'échelle taillée dans les pierres du musoir Nord de l'écluse du Kattendijk (+ 7,815) (D), alors que la cote de la ville d'Anvers pour ce même point est (+ 7,64) (Z). La différence n'était donc que de (7,815 — 7,64) ou 0,175 m. au lieu de 0,252 m. généralement admis; une différence de 0,077 m. apparaît donc.

La nécessité de faire une distinction entre les cotes rapportées au zéro du Dépôt de la Guerre et celles utilisées par le Département des Travaux Publics s'impose par conséquent; ces dernières, qui ont généralement été obtenues en ajoutant 0,252 m. aux cotes prises par rapport au zéro d'Ostende, sont désignées par les lettres (P. C.) (Ponts et Chaussées).

En 1905, une tentative est encore faite pour essayer de démêler la question : un nivellement contradictoire est effectué entre l'Administration des Ponts et Chaussées et le Service technique de la ville d'Anvers; le point de départ est la tablette précitée de l'écluse du Kattendijk; l'arrivée, le Spuyhuis, barrage situé sur le Grand Schijn, à proximité de la route militaire à Wommelghem, commandant l'alimentation du canal d'Hérenthals a son origine. Ce canal, datant de 1486, a été construit pour alimenter notamment les nombreuses brasseries établies à Anvers; il se déverse dans les étangs du parc de cette ville, dont il est la propriété. L'alimentation de ce canal a donné lieu à diverses reprises à des contestations qui ont eu leurs échos devant les tribunaux.

Voici les résultats principaux de cette opération effectuée par rapport au zéro d'Ostende (Z) :

A. — Borne marquée 6,520 à proximité du Boerebrug, sur le canal d'Hérenthals (rive gauche) : 6,571.

B. — Trait marqué 5,5 dans la pierre de taille entre les deux rainures amont (rive droite) du pont du Vaartbrug sur le même canal et sous la route militaire : 5,508.

C. — Trait du chiffre 40 sur l'échelle en bois fixée à la culée de la rive droite du même pont : 4,058.

Cette échelle marquée Echelle militaire dans le registre des hauteurs hydro-métriques tenu en 1900 et 1901, a son zéro à la cote (+ 3,576), le trait en question devrait donc être à la cote (3,576 + 0,40) ou (+ 3,976).

D. — Trait du chiffre 80 sur l'échelle en fonte émaillée fixée au mur en aile amont de la rive droite du même pont : 3,853.

Cette échelle marquée Echelle 5 au registre précité, a son zéro à la cote (+ 3,067) ; le trait devrait donc être à la cote (+ 3,867).

E. — Clou de jaugeage Spuyhuis devant se trouver à la cote (+ 3,65) : 3,72.

Pour les deux repères B et D, les résultats du nivellement contradictoire sont compatibles avec les données antérieures ; au contraire, pour les points A, C et E, ils décèlent une différence de 0,05 m. à 0,07 m. analogue à celle déjà révélée par le nivellement de précision de 1890 pour le repère de l'Ecluse du Kattendyk. L'opération ne donne donc pas de résultats décisifs, elle ne fait que montrer l'étendue de la zone où les divergences existent. Il semble à cette époque, qu'une erreur d'environ 7 centimètres se soit glissée à un certain moment dans une opération de nivellement, et ait influencé un certain nombre de repères ; nous verrons plus loin que cette hypothèse est insuffisante pour expliquer toutes les divergences.

Lorsqu'en 1907 on décida l'exécution des grands travaux maritimes au Nord d'Anvers, conjointement avec une 2^e ligne de défense formant front inondable, la question des repères se dressa à nouveau. On s'était borné jusqu'à ce moment d'inscrire dans les cahiers des charges des entreprises de travaux au lieu de la mention ordinaire : « les cotes sont rapportées à tel plan de comparaison », la suivante « les cotes sont rapportées au plan de comparaison adopté jusqu'ici pour les travaux d'Anvers, par rapport à ce plan tel point se trouve à telle cote », on éludait ainsi la question.

Cela ne pouvait plus suffire pour les travaux projetés qui comprenaient notamment un canal de dérivation des eaux poldériennes d'environ vingt kilomètres de longueur où une erreur, même de 5 centimètres seulement n'était plus admissible. D'accord avec les autorités militaires on décida de faire table rase du passé et d'établir une série de repères nouveaux. L'Institut cartographique militaire fut chargé de cette tâche et exécuta en décembre 1907, janvier et février 1908, un nivellement de précision le long de la 2^e ligne de défense d'Anvers, entre la gare de Vieux-Dieu et le Kruisschans. Un grand nombre de repères avaient été établis au préalable aux abords de cette ligne, les uns en fonte et indiqués par des chiffres arabes, les autres constitués par des rivets en cuivre et indiqués par des chiffres romains ; les altitudes sont celles des sommets de la pastille du repère ou du rivet.

Voici les résultats principaux de ce nivellement exécuté par rapport au zéro du Dépôt de la Guerre (D) :

1^o Clou de jauge du Spuyhuis, qui fut recoupé en passant : (+ 3,903).

Par rapport au zéro utilisé par notre Administration, la cote devait être (3,72 + 0,252) ou (+ 3,972) (P. C.) soit une différence de 0,069 m.

2° Tablette aval du Hoogmolenbrug sur le petit Schijn sous la chaussée vers le pont 39 sur le canal de jonction de la Meuse à l'Escaut : (+ 6,355), soit, en décomptant 0,007 m. pour la tête du rivet (+ 6,348).

Par rapport au zéro (P. C.) la cote devrait être (6,154 + 0,252) ou (+ 6,406), soit une différence de 0,058 m. La cote (+ 6,154) figure sur le profil en long du Petit Schijn, dressé en 1901 par l'Administration des Ponts et Chaussées. L'examen des profils en long des cours d'eau situés plus au Nord et dressé à la même époque montre que la divergence existe dans toute la région et qu'elle dépasse même 0,10 m. dans la région poldérienne.

Pour éviter une perte de temps on décida alors de commencer les études définitives sur la donnée suivante : *il faut diminuer de 0,07 m. les cotes rapportées au zéro des Ponts et Chaussées pour pouvoir les comparer à celles rapportées au zéro du Dépôt de la Guerre.*

Les opérations graphiques que mon service a effectuées ultérieurement au Nord d'Anvers ont permis de procéder à de nouvelles recherches dans le but de résoudre complètement la question : trois nivellements de précision furent exécutés entre les repères de l'Institut cartographique militaire et ceux utilisés par l'Administration des Ponts et Chaussées. Les résultats de cette enquête sont consignés ci-après :

Région du Canal de Jonction de la Meuse à l'Escaut.

Le repère utilisé par le service de la dite voie navigable, milieu de la tablette Nord aval du pont 39, se trouve à la cote (+ 7,2362) (P. C.). En partant du repère R. 6. de l'Institut cartographique militaire établi dans le pignon ouest de la maison pontière avoisinante, on trouve pour le 1^{er} repère la cote (+ 7,141) (D). La différence est donc de 0,0952 m.

Région des nouveaux bassins au nord d'Anvers.

Le marque entaillée dans la pierre à l'extrémité des tablettes des murs de quai au n° 78 des bassins intercalaires se trouve à la cote (+ 6,005) (Z), c'est-à-dire (+ 6,252) (P. C.). En partant du repère R. 7. de l'Institut cartographique militaire établi à la gare d'Eeckeren on trouve pour la marque précitée (+ 6,168) (D). La différence est donc de 0,091 m.

Région du Kruisschans.

La tablette de la tête aval de l'écluse d'alimentation du fossé de l'ancien fort de Lillo se trouve à la cote (+ 4,656) (P. C.). En partant de ce point on trouve pour les repères 0^{IV}, 22^{II} et 23 de l'Institut cartographique militaire, établis au België-Sluis, respectivement (+ 6,492) (+ 5,522) et (+ 4,980) (P. C.), alors que ces repères ont pour cotes (+ 6,367) (+ 5,399) et (+ 4,854) (D). La différence est donc respectivement de 0,125 m., 0,123 m. et 0,126 m.

Il résulte de ces diverses constatations, qu'abstraction faite des environs du Spuyhuis où certains repères anciens semblent ne pas être entachés d'erreur, il y a entre le plan de comparaison de l'Institut cartographique militaire et celui utilisé par l'Administration des Ponts et Chaussées une différence allant en croissant vers le Nord-Ouest et atteignant 0,125 m. au Kruisschans, extrémité du nivellement de 1907-1908.

Ce chiffre explique la décision de l'Administration des Ponts et Chaussées de placer le radier des nouvelles écluses d'évacuation des Schijn au Kruisschans à la cote (— 0,125 m.) (D); les calculs faits pour déterminer l'ouverture de ces ouvrages ont en effet été basés sur une cote de radier égale à (0,00) (P. C.), qui correspond à la cote précitée.

Tous les repères établis par l'Institut cartographique militaire le long de la 2^e ligne de défense d'Anvers, ont été examinés par les soins de mon service en

janvier 1919, la plupart sont intacts, quelques-uns seulement sont détruits ou sont devenus suspects.

Conclusion.

Il doit être entendu que le plan de comparaison du nivellement de précision de l'Institut cartographique militaire le long de la 2^e ligne de défense est horizontal; cette opération, préparée et exécutée par des spécialistes, offre des garanties certaines d'exactitude.

Les cotes utilisées par le service des Ponts et Chaussées ne sont pas rapportées à un même plan horizontal, elles doivent être diminuées d'une quantité variable d'après la région de 0,05 m. à 0,125 m. pour pouvoir être comparées à celles rapportées au zéro du Dépôt de la Guerre.

Il est possible qu'une erreur d'environ 0,07 m. ait été commise un jour soit au seuil d'entrée de la Chapelle Saint-Job, rue de Bréda, à Anvers, où une marche en bois aurait été établie, soit au Spuyhuis, où la cote du clou de jauge aurait été mal prise.

Cette erreur ne peut toutefois pas expliquer l'accroissement de la divergence que l'on constate entre les repères en allant vers le Nord-Ouest.

Devant l'impossibilité de trouver sur place une explication satisfaisante des anomalies constatées dans la région d'Anvers, il ne reste qu'une solution à la question, c'est un nivellement de précision entre Anvers et Ostende. Cette opération devrait être effectuée en passant par la région cambrienne du Brabant, pour établir si réellement les tassements des terrains quaternaires et tertiaires existent encore de nos jours comme l'affirment certains géologues (1). Ce phénomène pourrait produire des anomalies analogues à celles constatées à Anvers, il expliquerait en outre la tendance que certains attribuent aux eaux de l'Escaut, à vouloir dépasser la crête des digues et la tablette des murs de quai.

Le problème posé prend une ampleur et une gravité singulières; les motifs techniques locaux qui ont guidé les recherches exposées ci-dessus disparaissent devant la grandeur des intérêts qui surgissent, c'est en réalité la conservation de notre côte, de nos polders et de leurs digues qui apparaît, c'est le régime même de l'Escaut qui est en jeu. »

Les irrégularités et les discordances existent donc, preuves de l'affaissement inégal du sol. Il est intéressant de noter que la zone des affaissements tels que nous les avons définis plus haut est précisément celle où le tremblement de terre du 11 juin 1938 s'est fait sentir et qui est jalonnée par les localités de Ipswich et Ramsgate en Angleterre, Dunkerque, Cambrai, Liège, Dusseldorf et Amsterdam sur le continent; nous laissons cependant à de plus compétents en la matière le soin de tirer des conclusions formelles de cette concordance.

5. — Les variations dans l'intensité des pluies en Belgique.

Dans notre mémoire sur l'Escaut Maritime, nous avons défini l'action du débit d'amont dans les modifications du fond du fleuve, et nous en

(1) A l'époque où ces lignes ont été écrites, le tassement des couches supérieures semblait encore être déterminant dans la question des affaissements du sol.

avons montré la réalité par certaines concordances entre ces modifications et celles du débit d'amont; nous avons signalé notamment l'heureuse influence qu'avaient eue sur le bon maintien du fleuve, les périodes dites « humides » pendant lesquelles les précipitations atmosphériques et par conséquent le débit d'amont dépassent la normale. Vingt années à peu près s'étant écoulées depuis les derniers événements survenus dans le fleuve et relatés dans ce mémoire, il convient croyons-nous, de mettre à jour et au point certaines conditions météorologiques qui ont influencé sur les circonstances d'amont jusqu'à ce jour, à savoir les précipitations atmosphériques.

Sur le diagramme de la fig. 9 ci-après (1), nous avons porté en abscisses les années depuis 1833, date des premières observations à l'Observatoire de Bruxelles, et en ordonnées, les hauteurs de pluie annuelles y recueillies jusqu'en 1889, ensuite jusqu'en 1939, celles recueillies à Uccle.

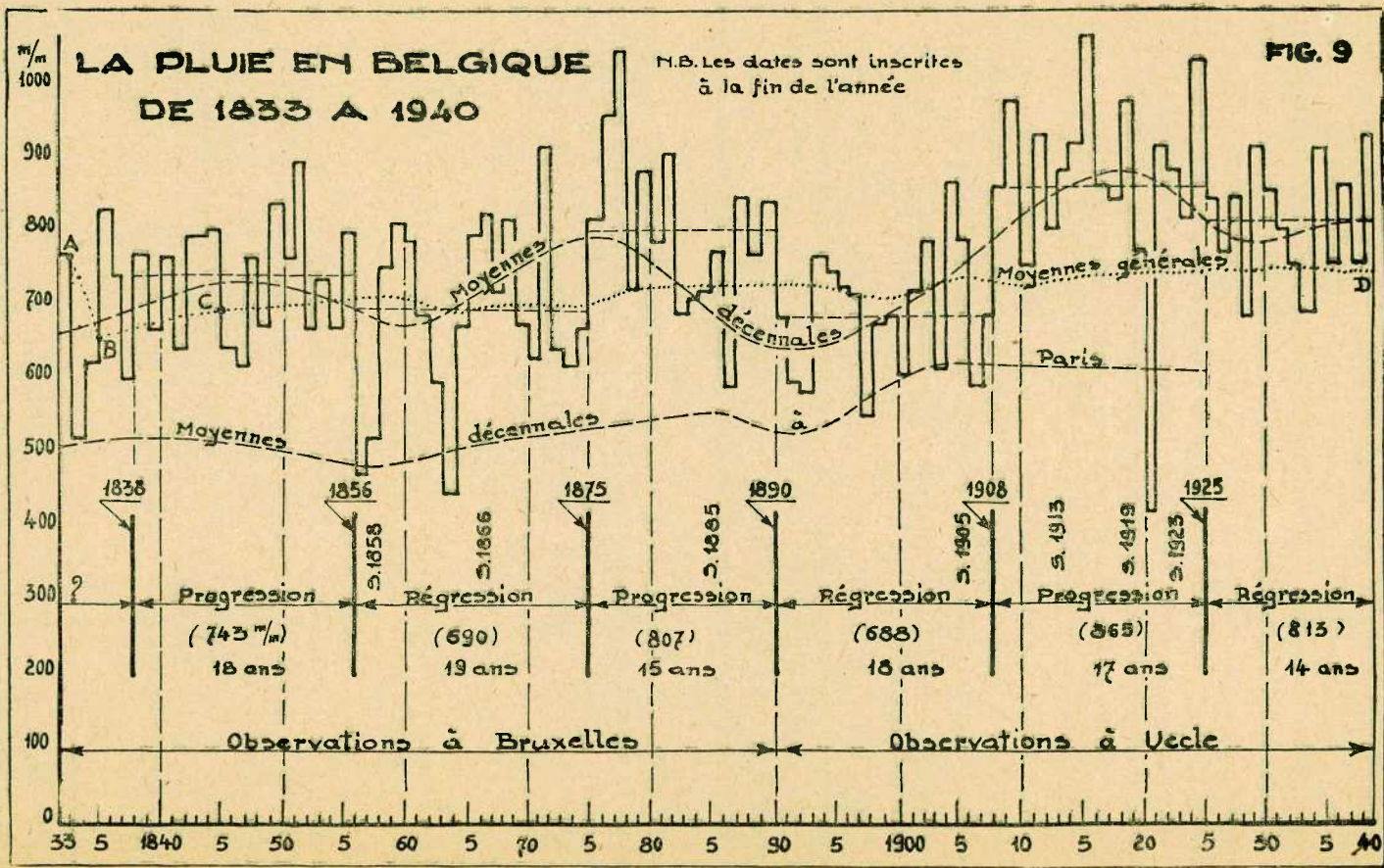
Nous rappelons à ce sujet, que les hauteurs enregistrées à Bruxelles et à Uccle donnent la juste mesure des moyennes pour toute la Belgique, et que nous les avons prises comme bases pour le bassin de l'Escaut, étant donné que les modifications que subissent ces précipitations sont générales dans tout le pays et varient sensiblement dans la même proportion partout.

Nous avons calculé ensuite, tous les cinq ans, les moyennes générales des hauteurs d'eau tombée depuis 1833, et nous les avons portées en ordonnées, ce qui nous donne la courbe A. B. C. D., dont la partie A. B. C. ne doit pas être prise en considération, le nombre d'années d'observations, treize, étant trop restreint; après 1845, la courbe devient régulière et monte d'environ 50 mm. jusqu'en 1940; il convient de remarquer que si l'on groupe les années par nombre plus petit que cinq, l'on obtient une courbe en zig-zag sur une longueur encore plus grande que A. B. C.

Cette courbe montre entre 1856 et 1876 et entre 1890 et 1909, deux régressions qui correspondent à ce que certains auteurs dénomment des périodes « sèches »; au delà de 1925 règne une régression moins prononcée qui ne se dessine que par une partie étale dans la courbe.

Entre ces régressions se trouvent des périodes dénommées habituellement « humides » mais que nous qualifions de « progressions »; sans nous immiscer dans la controverse au sujet des périodes humides et

(1) Les dates précédées d'un S et inscrites verticalement sont celles où un seuil s'est formé à Bath, comme signalé dans notre premier mémoire.



sèches, nous estimons que l'on peut considérer la période qui précède 1856 comme une progression qui commence vers 1839; avant cette date la diagramme ne permet pas de classer la période.

Pour mettre encore mieux en lumière les variations des précipitations, nous avons calculé, pour ces diverses périodes, les moyennes des hauteurs de pluie enregistrées, et nous les avons représentées dans le diagramme par une parallèle à l'axe des X; nous voyons ainsi que les moyennes pour les progressions sont constamment montantes et au-dessus de la courbe des moyennes générales: 743, 807 et 865, tandis que pour les régressions, les moyennes oscillent autour de cette même courbe: 690, 688 et 813. Ce dernier chiffre est même notablement plus élevé que les moyennes générales correspondantes, ce qui caractérise la tendance au relèvement général de cette courbe. Nous avons également construit la courbe des moyennes décennales, qui montre plus clairement que celle des moyennes générales, les progressions et les régressions, tout en étant quelquefois moins exacte en ce qui concerne la position de celles-ci, quand par exemple des années très humides marquent la fin d'une période décennale portant au début sur une période sèche.

Comment faut-il maintenant interpréter ces données? Sommes-nous en Belgique et aussi dans les zones capables d'engendrer des glaciers, au commencement d'une progression générale et continue, indice du début d'une nouvelle époque glaciaire? Non, nous ne le croyons pas, comme nous l'avons expliqué précédemment au paragraphe I — C du chapitre II de la présente étude. Sont-ce les poussières des grandes villes et des routes, toujours plus intenses et facteurs de condensation de l'humidité atmosphérique qui sont la cause du phénomène? Evidemment non, puisque l'augmentation générale de la pluie a certainement commencé à une époque antérieure au début de la viciation de l'air par les fumées d'usines et les poussières des routes. Faut-il chercher la cause dans les ondes électriques multiples qui sillonnent actuellement notre atmosphère? Non encore, pour le même motif que le précédent.

Nous considérons le phénomène comme étant une période ascendante d'une durée de plusieurs siècles, peut-être millénaire, entrecoupée de progressions et de régressions d'une durée beaucoup moindre. Les considérations qui suivent confirment cette opinion.

Il existe pour l'Observatoire de Paris un diagramme des hauteurs annuelles analogue à celui de Bruxelles; il commence en 1690, mais présente deux lacunes de 1754 à 1773 et de 1797 à 1804.

Pour analyser celui-ci et le comparer à celui de Bruxelles, nous avons également calculé ses hauteurs moyennes par périodes décennales et nous avons indiqué sur notre diagramme, la partie de la courbe de

Paris correspondante à la période de 1833 à 1925, date au delà de laquelle nous ne possédons plus de renseignements.

Une première constatation est à faire : les hauteurs d'eau à Paris sont inférieures à celles de Bruxelles d'environ un quart, et les variations y sont moins fortes, mais l'allure générale des deux courbes est identique, progressions et régressions coïncident sensiblement ; l'augmentation est d'environ 100 mm. par siècle pour les deux postes.

Si nous examinons maintenant le diagramme de Paris dans son ensemble, nous constatons qu'à l'origine vers 1700 il existe un maximum d'environ 500 mm. dans les précipitations, que celles-ci diminuent ensuite d'une façon continue jusque vers 1735, où elles atteignent 350 mm. seulement, qu'elles remontent pour atteindre un nouveau maximum d'environ 500 mm. vers 1780, redescendent rapidement à 450 mm. jusque vers 1800, et commencent ensuite une montée générale qui dure probablement encore de nos jours.

Si donc l'on peut admettre qu'il y a synchronisme constant entre les phénomènes décélés par les courbes des deux observatoires, on peut en conclure que vers 1735, les précipitations atmosphériques à Bruxelles ne devaient guère dépasser 600 mm. puisque la montée y est d'environ 100 mm. par siècle.

Il en résulte donc finalement que le débit d'amont de l'Escaut Maritime était vers 1735 sensiblement inférieur à ce qu'il est de nos jours ; cela constitue donc une circonstance défavorable au creusement du fleuve qui n'a pas encore été signalée, et qui a certainement contribué à l'arrêt du développement du fleuve lors de la fin de la période des grandes perturbations dans celui-ci, vers le début du XVIII^e siècle, comme nous l'avons exposé au paragraphe II du chapitre III de notre précédente étude.

CHAPITRE III.

L'Escaut Maritime.

Projet d'avant-port pour Anvers.

1. — *Situation actuelle du fleuve.*

Divers facteurs ont agi sur le maintien ou mieux le développement du fleuve depuis les derniers événements envisagés dans notre étude primitive, à savoir, l'augmentation du débit d'amont, la variation dans les circonstances d'aval, c'est-à-dire l'amplitude de la marée en mer, les dragages intensifs pratiqués depuis 1924 environ, et la mise en service du détournement des Schijn. Nous allons les examiner successivement.

La situation même du fleuve sera caractérisée par les cotes de marée dans le fleuve et par les plans hydrographiques relevés par sondage. Il est indispensable toutefois de préciser premièrement, la façon dont nous envisageons l'action de la marée et du débit d'amont dans le fleuve; nous le ferons aussi brièvement que possible en renvoyant pour le surplus le lecteur aux exposés que nous avons faits sur le même sujet dans l'étude ci-dessus rappelée.

1° *Action de la marée et du débit d'amont.*

Nous rappellerons premièrement qu'il ne se dépose plus d'argile des polders le long du fleuve, les conditions nécessaires à la formation de ce sédiment étant inexistantes; les dépôts se font sur les rives, sous forme de limon fluviatile dans la région amont et de terre de schorre dans la région aval, et, dans le lit même du fleuve sous forme, en général, de sédiments sableux plus ou moins purs.

Supposons le fleuve arrivé approximativement dans sa situation d'équilibre, c'est-à-dire ayant le lit adapté dans ses grandes lignes aux circonstances d'amont et d'aval, et voyons les phénomènes qui se passent sur les rives et qui se renouvellent à chaque marée; nous pouvons raisonner d'ailleurs sur une marée moyenne, car aucune déduction ne sera basée sur un ordre de grandeur quelconque des divers éléments considérés.

Nous supposerons d'abord le débit d'amont constant et égal à sa valeur moyenne et nous le ferons ensuite varier en mettant en lumière les changements que cette modification entraîne.

Sur la figure 10 ci-contre, nous avons représenté trois courbes locales moyennes de la marée à Hansweert, Anvers et Termonde, stations qui se trouvent respectivement dans l'estuaire (eau salée), dans la partie moyenne (eau saumâtre) et dans la partie amont du fleuve (eau douce); ces courbes sont extraites de l'atlas joint au *Recueil de Documents relatifs à l'Escaut Maritime*, dressé en 1904 par MM. Pierrot et Van Brabandt, respectivement Ingénieur en chef-Directeur du Service Spécial de l'Escaut Maritime et Ingénieur chargé du service de la marégraphie; ces courbes moyennes ont été calculées pour la période 1888-1895, dont les hauteurs de pluie, comme le montre la figure 9 (chap. II) ont une moyenne qui se rapproche sensiblement de la moyenne générale à cette époque.

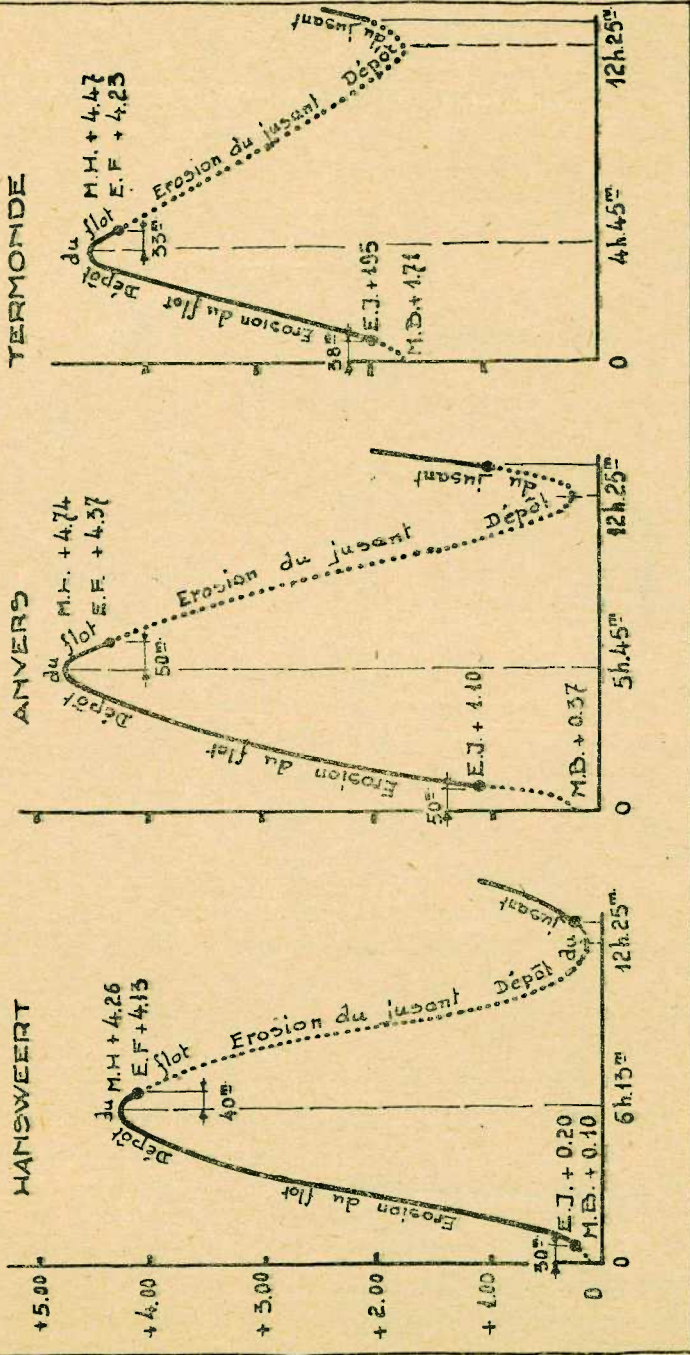
Nous avons indiqué sur ces courbes la durée du gagnant et du perdant, celle des retards des étales de flot et du jusant sur les M. H. et M. B., ainsi que les cotes de ces quatre points caractéristiques.

On remarque immédiatement que par suite de la proximité des étales de F. et de J. des M. H. et des M. B., les dépôts dus aux érosions du flot se font aux environs de l'heure de marée haute, en se prolongeant évidemment dans la première partie du jusant, et que ceux dus aux érosions du jusant se produisent vers l'heure de marée basse ainsi que dans le premier flot. Ces dépôts s'étendent évidemment dans toute la largeur du lit, mais nous n'envisageons ici que les dépôts de rive, qui peuvent se durcir à l'air et au soleil et échapper ainsi aux érosions suivantes.

FIG. 10

COURBES LOCALES D'UNE MAREE MORENNE

A



Comme les érosions du flot et du jusant ne s'effectuent qu'à partir d'une vitesse déterminée, elles ne peuvent avoir lieu que pendant les temps correspondant aux zones intermédiaires entre celles des dépôts. Il s'en suit que les dépôts du flot sur les rives peuvent se durcir immédiatement à l'air et au soleil, qu'ils échappent presque complètement au courant de jusant suivant et même partiellement au flot suivant, tandis que les dépôts du jusant subissent immédiatement l'action érosive du flot sans avoir eu le temps de durcir.

On pourrait évidemment, en analysant la variation de la vitesse moyenne des courants, délimiter approximativement les zones de dépôt et d'érosion, mais ce serait compliquer inutilement le présent examen, dont les conclusions sont indépendantes de cette délimitation.

Tout ou partie de ces dépôts de rive du flot dus à une marée moyenne seront évidemment soumis à l'action des marées de plus forte amplitude, mais, comme ces mêmes dépôts ne seront plus atteints, en tout ou en partie, par les marées de plus faible amplitude et que pendant ces dernières les dépôts de rive du flot se formeront à des cotes inférieures à celles des marées moyennes, nous pouvons conclure que *dans un fleuve à marée à débit constant, il y a une tendance permanente à l'engraissement des rives au-dessus de mi-marée, par transport des sédiments vers l'amont.*

Quant aux dépôts du jusant sur les rives, qui subissent immédiatement l'action du flot, nous pouvons admettre qu'ils sont emportés par ce courant et que les rives vers marée basse restent en équilibre, comme le lit du fleuve en dessous de cette cote.

Les rives subissent donc un mouvement de redressement autour de leur base vers marée basse dans le cas d'un débit supérieur constant.

Si nous envisageons maintenant une période de sécheresse, le lit et les rives du fleuve ne sont momentanément plus en équilibre et les phénomènes décrits ci-dessus se modifient partiellement : les dépôts du flot se font d'une façon plus intense, mais les dépôts du jusant diminuent fortement. Les rives se redressent encore, mais au lieu de pivoter autour de leur base, elles basculent autour d'une ligne située plus haut vers la mi-marée, jusqu'à ce qu'une nouvelle situation d'équilibre s'établisse.

Si au contraire une période de pluie intervient, des mouvements en sens opposé se produisent et les rives s'aplatissent en pivotant encore autour d'une ligne située vers la mi-marée, jusqu'à rétablissement d'une nouvelle situation d'équilibre.

Dans notre mémoire primitif, § VII du chapitre III, nous avons longuement décrit ces phénomènes d'une façon générale mais sans les expliquer toutefois comme ci-dessus ; la présente analyse montre les causes réelles de tous ces phénomènes.

Il en résulte finalement qu'une certaine variation dans le débit d'amont est indispensable pour empêcher l'engraissement continu des rives dans leurs parties supérieures; les crues sont en effet seules capables de provoquer le balayage de ces dépôts du flot, qui menacent surtout de rétrécir la partie amont des fleuves à marée.

Ces phénomènes permettent également d'expliquer comment les estuaires en formation élèvent eux-mêmes leurs digues sous l'action du flot, tout en s'élargissant, quand un débit supérieur suffisant vient se joindre au jusant, et pourquoi les fleuves à marée n'ont pu se développer à l'époque de la tourbe, le débit d'amont étant alors quasi inexistant; ils mettent en lumière la cause principale de la mort du Zwyn, à savoir l'amputation presque complète de son débit d'amont, provoquant la diminution de la puissance érosive du jusant, alors que les dépôts du flot allaient en croissant par suite du creusement de l'Escaut Occidental; le jusant de ce nouveau fleuve était en effet surchargé de matières provenant de cette érosion, et celles-ci étaient reprises ensuite en mer par le flot suivant qui les déposait sur les rives du Zwyn; le retrécissement et le comblement de celui-ci était donc inévitable.

2° Augmentation actuelle du débit d'amont.

Nous avons exposé au § 5 du chapitre précédent, que les précipitations atmosphériques à Bruxelles augmentent en moyenne décennale d'environ 100 mm. par siècle depuis deux siècles environ; actuellement cette moyenne décennale, calculée de 1930 à 1939, s'élève à 810 mm., mais il est à remarquer que la prétendue dernière régression dans ces précipitations, présente une moyenne de 813 mm. d'eau tombée, de beaucoup supérieure aux moyennes générales correspondantes, et que la courbe des moyennes générales à Bruxelles n'est que étale en ce moment. Cette situation est certainement l'indice d'une forte tendance à l'ascendance de cette courbe et des débits supérieurs des cours d'eau.

Il est quasi certain qu'un balayage général du fleuve par le jusant est en cours, particulièrement intense depuis 1908, et qu'il continuera à faire sentir ses effets pendant un certain nombre d'années encore; depuis 1921, il n'y a plus eu à proprement parler d'année sèche ou de période sèche, le diagramme de la pluie annuelle étant presque entièrement au-dessus de la courbe des moyennes générales. Le redoutable seuil de Bath, qui normalement, aurait dû se manifester déjà, par exemple vers 1930, n'est plus réapparu depuis 1923; les partisans de dragages intensifs, comme solution unique à l'amélioration de l'Escaut, pourront il est vrai attribuer à ceux-ci cette heureuse circonstance, nous pensons toutefois qu'il suffira d'une année réellement sèche comme 1921

pour dissiper cette dangereuse illusion. Les seuils provoqués par une sécheresse relative comme celle de 1919 auraient seuls, croyons nous, pu être influencés et peut-être évités par des dragages intensifs dans le genre de ceux pratiqués actuellement sur le fleuve.

Conformément aux idées que nous avons développées à ce sujet, l'examen des plans hydrographiques doit donc révéler dans la partie amont du fleuve un déplacement des seuils vers l'aval, dans la partie moyenne un déplacement dans le même sens des extrémités aval des mouilles (fosses de jusant), un retrait des extrémités amont des mouilles (fosses de flot ou schaaars), entraînant les seuils vers l'aval, et, dans l'estuaire, une oblitération des schaaars avec nivellement des régions voisines; à proximité de l'embouchure, le lit du fleuve peut toutefois encore être encombré des débris du balayage.

Le débit d'amont étant pour le surplus sensiblement constant depuis 1925 et constituant une sécheresse relative vis-à-vis de la période 1909-1925, les rives doivent s'être redressées partout en pivotant autour d'une ligne vers mi-marée.

3° *Variation dans les circonstances d'aval (amplitude et cotes de la marée).*

Nous avons vu qu'il y a une tendance générale à la diminution de l'amplitude de la marée à la côte par suite de l'affaissement continu du sol; il y a donc lieu de rechercher si ce phénomène a pu se manifester dans les cotes de marée à l'intérieur du fleuve.

Tableau des marées hautes, marées basses et amplitudes moyennes pour les périodes décennales de 1871 à 1930 (1).

POSTES		1871 1880	1891 1900	1901 1910	1911 1920	1921 1930
Flessingue	M. H.	4,13	4,05	4,12	4,12	4,17
	M. B.	0,51	0,37	0,37	0,40	0,41
	Amplitude	3,62	3,68	3,75	3,72	3,76
Lillo	M. H.	4,71	4,65	4,78	4,82	4,89
	M. B.	0,32	0,25	0,29	0,27	0,29
	Amplitude	4,43	4,40	4,49	4,55	4,60
Anvers	M. H.	4,69	4,76	4,79	4,91	4,93
	M. B.	0,38	0,37	0,31	0,32	0,28
	Amplitude	4,31	4,39	4,48	4,59	4,65
Tamise	M. H.	4,77	4,63	4,71	4,84	4,86
	M. B.	0,76	0,43	0,48	0,52	0,47
	Amplitude	4,01	4,20	4,23	4,32	4,39

(1) Les renseignements manquent pour la période de 1881-1890.

Dans le tableau ci-devant nous avons réuni, pour quelques postes le long du fleuve, les cotes moyennes de M. H., de M. B., ainsi que les amplitudes correspondantes de marée pendant quelques périodes décennales.

L'examen de ce tableau montre :

A. — Pour les M. H., que pour tous les postes depuis la période 1891-1900, les cotes vont en augmentant graduellement, l'ascension étant la plus rapide pour le poste d'Anvers; avant cette période, les cotes diminuent partout sauf pour ce dernier poste.

B. — Pour les M. B., qu'une modification similaire se dessine pour cette même période pour tous les postes sauf Anvers, où la M.B. semble descendre d'une façon continue, et pour Tamise, où elle redescend depuis 1920.

C. — Pour les amplitudes, que l'augmentation se dessine partout dès 1871, sauf à Lillo, où il y a légère baisse au début; l'augmentation de l'amplitude s'élève de Flessingue (0,14 m.) vers l'amont, où elle atteint 0,38 m. à Tamise.

En résumé, depuis un demi-siècle, la M. B. est descendue presque régulièrement d'environ 0,10 m. dans les différents postes, abstraction faite de la forte différence enregistrée au début à Tamise, résultat probable des travaux effectués dans cette région de 1881 à 1890, et l'amplitude augmente partout d'une façon plus sensible, de sorte que la M. H. subit un relèvement général.

La chute des M. H. et des M. B., sauf à Anvers pour la M. H., entre 1880 et 1891, sans que le mouvement ascensionnel de l'amplitude en soit affecté (sauf légèrement à Lillo), pourrait s'expliquer par un relèvement du sol au nord et au sud d'Anvers pendant cette période, mais est-il bien logique d'admettre qu'un pareil mouvement soit intercalé dans un affaissement séculaire et général du sol? Cette période est à débit normal vis-à-vis de la moyenne générale, sans grands écarts dans les précipitations, mais cette constatation n'apporte aucune explication du phénomène; il y a encore les pluies anormales de 1875 à 1878, qui ont certes balayé le fleuve et entraîné en mer beaucoup de sédiments, mais peut-on admettre une pareille cause alors que les pluies encore plus fortes de 1909 à 1920 n'ont rien produit de semblable? Nous n'avons pu trouver d'explication plausible à ce phénomène.

La diminution d'amplitude à la côte ne semble donc pas se propager à l'intérieur du fleuve, où d'autres causes, agissant en sens contraire, sont prépondérantes.

En conclusion, la période actuelle se caractérise par un relèvement des M. H. un abaissement des M. B. et une augmentation de l'amplitude, modifications qui semblent devoir perdurer encore pendant des années. L'ordre de grandeur du relèvement des M. H. se rapproche du tassement moyen du sol, estimé à 0,20 m. par siècle; la question de savoir s'il y a là une relation de cause à effet reste évidemment à résoudre.

4° *Dragages effectués depuis 1924.*

A la suite du relèvement anormal du seuil de Bath en 1923-1924, résultat de la grande sécheresse de 1921, des dragages très intenses furent pratiqués sur les différents seuils, notamment à Bath, dans le but de porter ces seuils à la cote (— 9,00) et d'élargir les passes navigables.

Le cube dragué à Bath de 1927 à 1933 s'élève à environ six millions de m³, ce qui dénote une opération de grande envergure et de nature à produire un effet sensible sur le régime du fleuve; ce travail s'est effectué dans des circonstances on ne peut plus favorables, par suite de la grandeur du débit d'amont; en effet, malgré le déversement dans le fleuve d'une grande partie des déblais, à proximité même des lieux de dragages, aucun mécompte ne semble s'être produit, les matières déversées ou mises en mouvement ayant semble-t-il été entraînées vers la mer.

L'opération est évidemment critiquable en ce sens qu'elle ne constitue qu'un palliatif pour la situation à Bath; elle peut de plus encore donner lieu à des craintes au sujet d'une propagation plus facile des marées-tempêtes; mais, dans son ensemble, grâce aux pluies intenses de l'époque, elle peut être considérée comme ayant été favorable au régime du fleuve, abstraction faite de la possibilité de relèvement du seuil de Bath, après un déblayage consécutif à une année sèche. Ce phénomène est d'autant plus à redouter en ce moment, commercialement parlant, que l'opération elle-même tend à favoriser la navigation dans le fleuve de navires d'un tirant d'eau de plus en plus grand.

5° *Situation hydrographique.*

Les résultats des dragages et de l'augmentation du débit amont sont intimement liés, et il n'est pas facile de discerner dans les modifications que l'on constate dans le lit du fleuve, la part qui revient à chacun de ces deux facteurs. Si nous comparons par exemple les cartes hydrographiques de juillet 1924 à celles d'août-octobre 1935 pour la région de Bath, nous constatons que :

A. — La côte nord de l'île de Saeftingen et les schorres y attenantes ont été fortement attaqués par les courants de flot sortant du Schaar du Nord et peut-être aussi par les courants de jusant qui ont trouvé un chemin plus facile vers la pointe de ce schaar.

B. — La partie du Schaar du Nord limitée par la courbe (— 8,00) s'est retirée d'environ un km. vers l'aval, et ses courbes de niveau 4,5 et 6 (en dessous de zéro) forment devant lui un immense plateau, comme pendant les époques de sécheresses. Les goulets de Saeftingen se forment encore, sans se creuser profondément toutefois.

C. — L'Appelzak, fosse en dessous de (— 8,00) qui constitue la pointe avancée du schaar terminant la mouille de Bath, a complètement disparu, et les schorres voisins de la rive droite sont fortement attaqués vers leur base; ce schaar se retire donc aussi vers l'aval.

D. — La passe de Bath s'est considérablement élargie, mais l'extrémité aval de la mouille de Saeftingen s'est redressée vers le nord comme en temps de sécheresse. Cette dernière circonstance est malheureusement très défavorable à la navigation, puisqu'elle accentue le coude de Bath; elle peut donner lieu pour le surplus, lors du relèvement du seuil de Bath après une véritable année sèche, à des complications graves dans l'évolution normale de ce seuil. En effet, le jusant, qui anciennement lors de ces évolutions s'échappait à gauche et à droite respectivement vers le Schaar du Nord et vers l'Appelzak, ne trouvera plus qu'une voie d'écoulement vers la gauche, par le goulet de Saeftingen, qui se reformera inévitablement après une sécheresse.

Le mouvement pendulaire de l'extrémité aval de la mouille de Saeftingen gagnera ainsi en ampleur vers l'ouest, et le déplacement après déblayage, de l'ancienne passe redressée vers l'est, à la position nouvelle plus vers l'ouest, se fera avec des difficultés plus grandes qu'auparavant, donnant lieu à des entraves sérieuses et plus longues pour la navigation.

Nous croyons que les dragages intensifs sont grandement cause de cette situation inquiétante, car ils ont renforcé le courant de flot dans la passe de Bath et dans la partie aval de la passe de Saeftingen.

Il y a donc une ombre au tableau de la situation, et il s'agira d'être vigilant dès que la première menace de relèvement du seuil se fera sentir.

Le grand danger dans cette région est l'exécution de travaux dont les conséquences tendraient au maintien temporaire du coude de Bath dans sa position ancienne, à l'encontre de la tendance du fleuve en cet endroit, qui marche naturellement vers le redressement de ce coude.

Il est possible en effet que ce coude, maintenu artificiellement dans sa

position, ne vienne un jour à se rectifier brusquement, jetant la perturbation dans le fleuve pendant de longs mois au grand dam de la navigation.

En résumé le coude de Bath présente deux phénomènes contradictoires, l'un est dû à l'intensité du débit d'amont, c'est la disparition de l'Appelzak, signe du retrait du schaar qui lui fait suite, l'autre consiste dans le redressement de l'extrémité aval de la mouille de Saefingen, mouvement qui est caractéristique d'une année sèche; ce redressement est dû probablement à l'échappement direct et constant d'une bonne partie du jusant vers le Schaar du Nord, résultat des dragages intensifs qui ont provoqué la dénudation de la région située en amont du schaar, comme cela se produit par période sèche; ces dragages ont rendu impossible le creusement en profondeur d'un goulet, facteur indispensable au relèvement du seuil. On ne peut espérer suivant nous que cette heureuse circonstance se reproduira lors d'un déblayage consécutif à une année sèche.

La contradiction est d'ailleurs générale dans toute la région, une partie des phénomènes (retrait des schaaers) obéit à la loi de la période humide, une autre (dénudation des bancs et pivotement des rives) se fait comme en temps de sécheresse, qui n'est cependant que relative pendant cette période.

En réalité, le régime du fleuve a été troublé en cet endroit, le flot a été détourné vers la passe de Bath, et le jusant probablement vers le Schaar du Nord.

6° *Mise en service du détournement des Schijn.*

Cette mise en service, effectuée en 1925, constitue en réalité le déplacement vers l'aval à une distance d'environ 13 km., d'une série d'affluents se déversant anciennement dans le fleuve à Austruweel; elle exerce son influence sur le régime de l'Escaut par l'intermédiaire du mouvement dit « secondaire »; il en est de même d'ailleurs pour l'augmentation du débit d'amont dans la partie moyenne du fleuve, dont nous n'avons examiné ci-dessus que l'influence générale sur tout le cours d'eau, abstraction faite de ce mouvement secondaire.

Nous allons maintenant examiner ici les modifications probables apportées dans ce mouvement par ces deux facteurs, après avoir rappelé succinctement comment il faut, suivant nous, envisager ce phénomène dans l'Escaut Maritime (1).

(1) La théorie du mouvement secondaire, due à l'Ingénieur J. J. Canter-Cremers du Waterstaat Hollandais, a été exposée par celui-ci dans une conférence faite

La section du fleuve comprenant les eaux dites saumâtres, dans laquelle s'observe le mouvement secondaire, s'étend approximativement d'Anvers jusqu'en aval de Bath; elle peut difficilement être délimitée exactement, étant donné le manque d'observations directes à cet égard.

Cette section s'allonge tout en se déplaçant vers l'amont, lorsque l'intensité du flot vis-à-vis de la puissance du jusant augmente; elle se réduit par contre et se déplace vers l'aval, quand le jusant acquiert plus de puissance par rapport au flot; dans ce dernier cas la pente vers l'amont des surfaces d'égale densité de l'eau augmente, ce qui renforce l'intensité du phénomène envisagé.

Celui-ci se caractérise par les faits suivants: la densité de l'eau en chaque point des sections transversales est variable et oscille entre des limites d'autant plus grandes que la pente des surfaces d'égale densité est plus forte; elle croît, en général, de la surface vers le fond; le mouvement vers l'amont de l'eau salée est plus fort près du fond qu'à la surface, et celui de l'eau douce vers l'aval plus intense à la surface qu'au fond; les vitesses du flot sont en conséquence plus grandes que celles du jusant vers le fond, et l'inverse se réalise à la surface et près des rives; la différence de densité dans une section transversale empêche le mouvement de devenir turbulent et s'oppose à une égalisation des vitesses du flot et du jusant; les courants secondaires longent le fond en remontant les rives et se dirigent vers l'axe du fleuve à sa surface pendant le flot et la surface de l'eau devient concave; ils s'écartent des rives sur le fond pendant le jusant et se dirigent vers l'axe à la surface et celle-ci devient convexe; flot et jusant se combattent constamment mettant en mouvement de grandes quantités de matériaux.

L'augmentation du débit d'amont accentue donc le mouvement secondaire dans la région de Bath, car celle-ci se trouve certainement encore dans la section des eaux saumâtres qui doit s'être déplacée vers l'aval; la mise en mouvement des matériaux est donc augmentée dans cette région, ce qui permet au jusant d'exercer plus largement encore son balayage vers l'aval.

Quant au déplacement des affluents du coude d'Austruweel vers le Vieux-Kruisschans (1) par le détournement dit des Schijn, il est évi-

en 1921 au « Koninklijk Instituut van Ingenieurs ». (Voir compte rendu dans le n° 38 du 17 septembre 1921 de la revue *De Ingenieur*. — La Haye.)

Les vitesses du mouvement secondaire sont les composantes dans une section transversale des vitesses réelles des molécules d'eau.

(1) Ce lieu dit est en réalité le véritable Kruisschans ou fort Sainte-Croix, établi par l'armée espagnole lors du siège d'Anvers en 1583, à l'extrémité de la digue de Cauwenstein. C'est erronément que l'emplacement de la nouvelle écluse de navigation a reçu le nom de Kruisschans.

dent que ce travail doit également avoir comme conséquence le renforcement du mouvement secondaire vers l'aval, puisque la section des eaux saumâtres est ainsi affaiblie à son extrémité amont.

Dans notre étude primitive, nous n'avons tablé que sur le débit moyen de ces affluents, estimé à environ 10 m^3 par seconde, mais le débit maximum des deux écluses d'évacuation du Vieux-Kruisschans doit également être pris en considération, puisqu'il peut coïncider avec un déblayage du fleuve au cours duquel se produit le relèvement du seuil de Bath. Ce débit maximum peut s'élever à certains moments, à 100 m^3 par seconde et exercer par conséquent une grande influence sur le mouvement secondaire, dont il accentue notablement et brusquement les effets dans la région du seuil de Bath, pendant la période correspondante à la crue des Schijn. Ces effets ne seront toutefois pas favorables lors de l'existence de ce seuil; en effet, par suite de la convexité de la surface du fleuve pendant le jusant, l'échappement de celui-ci par le goulet de Saeftingen sera favorisé, ce qui accentuera encore l'importance du seuil.

La masse d'eau douce ainsi introduite dans le fleuve pendant la plus grande partie du jusant, atteignant environ $1.500.000 \text{ m}^3$, nous le montrons à la fin de cette étude, affaiblit notablement la densité du flot suivant, dont la longueur théorique dans le fleuve à Lillo près du Kruisschans est de 13,9 km., (voir note sur les étales de courant par L. Van Brabandt, p. 34, *Annales des Travaux Publics de Belgique*, avril 1905). Ce flot qui s'est avancé approximativement jusqu'aux environs d'Anvers, constitue ensuite avec le débit supérieur le jusant suivant qui dépasse Lillo de 700 m. environ, ce qui amène sensiblement la tête de ce jusant dans les parages de Bath.

L'influence notable et brusque de ce facteur sur le mouvement secondaire dans la région de Bath, lors des crues des Schijn, n'est donc pas contestable.

Nous donnons à la fin de ce chapitre une note sur les écluses d'évacuation des Schijn pour montrer l'importance des débits de ces ouvrages.

Conclusion.

Toutes les circonstances examinées ci-dessus semblent favorables au régime du fleuve, qui subit probablement en ce moment une période de progression dont la durée est liée à celle de l'augmentation du débit d'amont. L'effet de l'augmentation du débit d'amont et des dragages est toutefois défavorable dans le coude de Bath; l'évolution actuelle de la passe de Saeftingen semble en effet se faire en opposition avec la

tendance naturelle du fleuve, et l'échappement permanent du jusant vers le Schaar du Nord semble favorisé.

Dès qu'une année de véritable sécheresse débutera, il y aura à nouveau transport général de matériaux venant de l'estuaire ou même de l'embouchure, vers la section moyenne du fleuve et même plus en amont; lors du déblayage consécutif à cette sécheresse, le jusant chargé de matières s'échappera par un goulet, déplacera celui-ci vers le nord tout en formant un seuil dans la passe de Saeftingen en aval de ce goulet (ce seuil accompagne toujours le goulet dans son mouvement de translation et se relève au fur et à mesure qu'il progresse vers le nord); à un certain moment tout le débit de jusant s'échappera à certaines heures de la marée vers le Schaar du Nord (1).

Le seuil est alors fixé contre la passe de Bath dans sa position la plus redressée, et le goulet de Saeftingen entre dans sa phase finale pour se confondre avec cette passe; c'est alors que la passe de Saeftingen « saute » de sa position redressée du temps de sécheresse vers la position nouvelle plus en aval, de l'est vers l'ouest donc, pour recommencer ensuite son redressement progressif.

Cette passe dans sa position nouvelle se creuse alors rapidement sous l'effet des deux courants de flot et de jusant, et les matières mises en mouvement vont former plus en aval le seuil de Valkenisse, qui subit ensuite une évolution analogue à celle du seuil de Bath (2).

2. — *Le nouveau projet d'adaptation du fleuve aux nécessités futures de la navigation.*

Dans notre brochure intitulée *L'Avenir du Port d'Anvers et de l'Escaut Maritime* nous avons décrit et justifié un « Projet d'adaptation du fleuve et des installations maritimes d'Anvers aux exigences possibles de la grande navigation », en vue de l'admission permanente de navires de 11,50 m. de tirant d'eau; ce projet était basé sur les considérations exposées comme suit :

« Cette amélioration, comme nous l'avons indiqué dans notre étude prérapportée, doit tendre à réaliser la situation vers laquelle marche naturellement le fleuve, c'est-à-dire vers la rectification de la brisure que présente le tracé du fleuve à Bath. Celle-ci n'est devenue nuisible d'ailleurs que par suite du colmatage et surtout du barrage artificiel de l'Escaut Oriental, qui ont provoqué la formation du Schaar

(1) Le 15 octobre 1923, au droit du seuil de Bath en pleine formation, à 9 h. 30, à mi-marée descendante (cote + 2,60), il n'y avait aucun courant superficiel; le jusant de la passe de Santvliet s'échappait à droite vers l'Appelzak et celui de la passe de Saeftingen à gauche vers le Schaar du Nord.

(2) Voir pour la position des passes le plan ci-joint qui donne leur position en 1905, année où un seuil est en pleine formation à Bath.

du Nord, dans une situation perpendiculaire à la passe navigable, et celle de l'Appelzak, sans lesquels la fuite du jusant ne pourrait s'opérer.

C'est donc le barrage de l'Escaut Oriental qui est cause de l'ampleur des perturbations dans cette région, mais l'amputation de ce bras aura pour résultat de raccourcir la période de transformation du fleuve, tout en augmentant l'intensité des phénomènes. *L'amélioration doit tendre à abréger encore la durée de cette période, tout en diminuant cependant l'ampleur des perturbations*; cette dernière condition ne peut évidemment être remplie qu'en poussant avec prudence et modération à la réalisation de la nouvelle situation envisagée.

Celle-ci, comme nous l'avons montré antérieurement, comporte la réunion en une seule courbe, des trois passes de Santvliet, Saeftingen et Bath, ainsi que la suppression des seuils de Santvliet et de Bath; le Schaar du Nord n'étant plus, dans cette situation, perpendiculaire à la passe navigable, et le Schaar terminé par la fosse dite Appelzak ayant disparu, les perturbations dans cette région ne seront plus guère différentes de celles des autres sections du fleuve, c'est-à-dire qu'elles pourront être combattues sur les seuils par des dragages ordinaires.

L'amélioration peut être réalisée, non pas en une fois par une opération telle qu'une coupure, qu'il ne peut être question d'envisager à notre avis, mais par une série d'opérations successives d'endiguement, de suppression de digues existantes, de ripage de passes, etc., dont on ne saurait dresser le programme à l'avance point par point, et dont il faudra même au besoin modifier le projet, au fur et à mesure des enseignements que viendront fournir les travaux déjà exécutés.

Le but final à atteindre est donc la réalisation d'une passe unique allant du seuil du Frederic à celui de Valkenisse, et il est évident que la phase première des travaux devra être parfaitement déterminée et justifiée à l'avance; nous la décrirons dans l'exposé de la nouvelle extension des installations maritimes du port, car nous avons combiné celle-ci de façon qu'elle forme partie intégrante de cette première phase.

Comme la nécessité de pouvoir admettre en permanence des navires de 11,50 m. de calaison ne pourra en tout cas devenir inéluctable que dans un avenir assez éloigné, un quart de siècle par exemple, nous supposons les travaux d'amélioration suffisamment avancés pour pouvoir maintenir en tous temps les seuils en aval de Santvliet à la cote (— 9,00); en amont de cet endroit nous admettrons l'hypothèse la plus défavorable, celle où, ni les travaux de dragage, ni l'amélioration du fleuve dans la région de Bath, complétée même par des travaux de correction dans la partie amont du fleuve, ne soient parvenus à assurer le maintien *permanent* de la cote (— 9,00) sur les seuils, et les largeurs de passes suffisantes pour le passage des plus gros navires. »

Comme on le voit, nous n'avons tenu compte lors de la rédaction de cette brochure en décembre 1929, d'aucune amélioration naturelle du fleuve, l'augmentation des précipitations atmosphériques depuis 1909 n'ayant pas encore pris à ce moment le caractère de permanence que nous pouvons lui accorder maintenant; l'augmentation permanente du débit d'amont reconnue depuis lors comme indéniable entraîne comme conséquence l'allongement vers l'aval de la section moyenne du fleuve où des passes d'une courbure assez accentuée se maintiennent aisément, à l'encontre de ce qui se passe dans l'estuaire, où les courbures sont beaucoup moins prononcées. Nous pourrions donc prévoir dans notre nouveau projet, pour le tracé de la nouvelle courbe devant réunir les trois passes susmentionnées, un rayon de courbure plus petit que celui

du projet de 1929, ce qui présente de nombreux avantages qui seront mis en lumière ci-après.

D'un autre côté, le délai d'un quart de siècle que nous avons mis en avant, au bout duquel ces travaux deviendraient inéluctables, semble actuellement trop long; treize ans à peine se sont écoulés, mais la fin d'une guerre qui aura entraîné une hécatombe de navires, imposera inévitablement aux constructeurs de bateaux des normes agrandies et unifiées, devant lesquelles les Ingénieurs hydrauliciens n'auront qu'à s'incliner; il importe donc dès à présent d'édifier les avant-projets de travaux futurs avec des dimensions largement établies. Les intérêts du port d'Anvers, qui se confondent d'ailleurs avec l'intérêt général, exigeront pour le surplus une solution immédiate, ne présentant aucun aléa, acceptable par tous les intéressés, d'une exécution très rapide et ne donnant lieu qu'à une dépense proportionnée aux avantages à escompter.

La fin de la guerre nous placera donc devant ce problème et il conviendra de voir très grand au point de vue navigation et d'adopter une solution qui puisse maintenir la prospérité du port pendant une longue période.

Nous avons en conséquence revu sur ces bases notre ancien projet d'adaptation du fleuve; il est figuré sur la planche VIII. Bien entendu, nous avons maintenu l'hypothèse la plus défavorable, celle où les navires de 11,50 m. de tirant d'eau ne pourront atteindre en permanence les installations actuelles du port par la voie du fleuve.

La réunion en une seule courbe des trois passes de Santvliet, Saeftingen et Bath, au lieu de se faire par un arc passant par l'île de Saeftingen, à courbure semblable à celles des passes de l'estuaire, est réalisée par un alignement droit se trouvant dans la direction Redoute de Blauwgaren-Epi de Bath, terminé en amont par l'ancien schaar de la passe de Santvliet et, en aval, par un arc à courbure plus accentuée dans le coude de Bath, se terminant plus loin dans la pointe aval de la passe actuelle de ce nom.

C'est somme toute à échelle moitié moindre, une passe semblable à celle du Middelgat; celle-ci présente également une courbure accentuée au droit du coude de Hansweert, encadrée de deux alignements presque droits.

L'opération qui serait ainsi réalisée serait pour le surplus absolument analogue, mais à plus grande échelle, à celle qui s'est effectuée devant Anvers entre 1877 et 1884, lors de la construction des premiers murs de quai en rivière; cette dernière consistait dans la réunion de deux courbes de même sens par un alignement droit avec suppression de la contre courbe intermédiaire, qui disparaît d'ailleurs ensuite naturellement. La

réussite de ces travaux à Anvers, confirmée par les brillants résultats complémentaires obtenus par la construction des murs de quai du sud, est un gage de succès pour les travaux que nous envisageons.

Lorsque, en 1901, nous étions adjoint à M. Pierrot, Ingénieur en Chef-Directeur du Service Spécial de l'Escaut Maritime, on n'espérait guère obtenir qu'un mouillage d'environ 5,00 m. à l'extrémité amont de ces derniers murs; tout le monde sait que les résultats ont dépassé de beaucoup ces espoirs.

Il faut évidemment que la partie rectiligne du tracé, dans la partie amont de la nouvelle passe, soit garnie de murs de quai ou de parois directrices, qui attirent réellement les courants de flot et de jusant, comme la construction des murs de quai du sud l'a prouvé.

Une opération analogue mais à échelle plus réduite, pratiquée en 1891 au Krankeloon, sur la rive gauche de l'Escaut, immédiatement en amont du fort Sainte-Marie, n'a pas donné de résultats satisfaisants, uniquement parce que la rive n'a pas été rectifiée et garnie de parois directrices.

Nous avons signalé dans notre étude primitive, au § VI du chapitre III, à propos de l'établissement des premiers murs de quai, « *que les exigences dérivant du parfait aménagement du port sont bien souvent en opposition avec celles qui résultent du bon maintien du fleuve* » et que « *un demi-siècle de prospérité sans cesse croissante pour Anvers témoigne d'ailleurs surabondamment que la solution donnée au problème a été commercialement satisfaisante bien que semblant peu en rapport avec certaines données de la technique moderne* ».

Ces considérations, émises en 1926, seront nous semble-t-il à nouveau d'application pour notre projet révisé d'adaptation du fleuve et des installations maritimes d'Anvers; l'agencement de ces dernières a également dû être modifié par suite du changement introduit dans le tracé de notre premier projet.

La position et la courbure données à la nouvelle passe, tendent à favoriser le passage du flot au détriment du Schaar du Nord, dont l'action engendre la formation néfaste de goulets par circonstances d'aval momentanément prépondérantes; elles éloignent autant que possible cette passe des parages dangereux du Middelpmaat, où se produit l'échappement du jusant vers ce Schaar; elles suppriment évidemment tout échappement de ce courant vers la droite; elles éloignent cette passe autant que possible de l'ancienne passe de Saefingen qui doit s'oblitérer naturellement; enfin, elles permettent l'exécution du projet par simple ripage de rives, ce qui n'était pas le cas pour le projet primitif, celui-ci coupant les anciennes passes et leurs schaaars.

La distance maximum de ripage atteint environ 400 m. dans le coude de Bath, et 1 km. au droit des Ballast Platen; il est à remarquer toutefois que la pointe de la surface de déblais à enlever en cet endroit sera déjà naturellement entamée par les courants pendant la première phase des travaux décrite plus loin et que le choix judicieux des emplacements de la partie des produits de dragage à déverser dans le fleuve peut d'ailleurs grandement diminuer le cube de ces dragages en forçant les courants à suivre la nouvelle passe.

Le projet nécessite l'endiguement immédiat de la plus grande partie des schorres de Santvliet contre lequel aucune objection sérieuse n'a pu être émise jusqu'à présent au point de vue technique; cet endiguement entraînera vraisemblablement à bref délai l'oblitération des Slikken de Hinkelenoord en Hollande, restes déjà en grande partie endigués de l'ancien Escaut Oriental, et hâtera l'endiguement inévitable de ces terres.

Les superficies à endiguer immédiatement (400 H. environ des schorres de Santvliet) et celles dont l'endiguement hâtif en sera la conséquence, sont de beaucoup inférieures à celles que nécessitait notre ancien projet (3000 H.); les craintes éventuelles de ceux qui redoutent les endiguements de schorres en cet endroit ne seraient donc pas justifiées. Quant à ceux qui estiment que le seuil de Bath, que nous supprimons, est un mal nécessaire parce qu'il joue le rôle d'amortisseur de marée, nous pouvons les tranquilliser; ce n'est pas ce seuil ni les schorres environnants qui amortissent la marée dans cette région, c'est la mise en mouvement dans cette partie du fleuve, de grandes quantités de matériaux dont la majeure partie effectue même un cycle fermé, conséquence du mouvement secondaire.

Nous allons maintenant décrire succinctement les installations maritimes que nous prévoyons dans la région de Santvliet et leur liaison avec le port d'Anvers, ainsi que les travaux de la première phase de l'amélioration du fleuve; *ces derniers s'effectuent uniquement sur territoire belge et, en majeure partie sur des terrains appartenant au Domaine de l'Etat.*

Cette partie de notre ancien projet a également subi des modifications importantes, par suite de la nécessité dans laquelle nous nous sommes trouvés, étant donné le nouveau tracé du fleuve, d'avancer plus en rivière la ligne des quais projetés; ceci ne permet plus de construire la super-écluse éventuelle derrière la digue existante, car le chenal d'entrée serait trop long, cette première position n'est d'ailleurs pas indispensable.

Nous en avons profité pour mettre entièrement cet ouvrage d'art

devant la digue, et il est dessiné à titre d'indication, avec les dimensions des nouvelles écluses du canal de Panama (365,75 × 41,15).

Les quais et l'écluse sont légèrement reculés vers le nord, de façon à les placer à l'aval du seuil du Frederic, dans la situation la plus favorable à l'entretien des profondeurs au pied des murs de quai qui devra être à (— 12,50) ; nous avons prévu deux tronçons de murs, l'un en amont de l'écluse éventuelle, de 600 m. de longueur, l'autre en aval de 800 m. ; toutes ces dimensions ne sont évidemment données qu'à titre d'indication, et ne peuvent être fixées qu'après une étude détaillée. En amont des murs nous projetons une paroi directrice des courants de 250 m. de longueur servant de raccordement, suivie d'un endiguement ordinaire joignant le fort Frederic ; en aval des murs, un endiguement ordinaire jusqu'à l'extrémité des schorres de Santvliet suffit pendant la première phase des travaux, mais devra être doublé vers le fleuve d'une paroi directrice pour l'exécution du projet complet.

Cette première phase consiste dans le ripage de la passe de Santvliet, de façon à l'amener au pied des murs de quai amont pour rejoindre en courbe régulière le seuil ancien de cette passe ; les produits de dragages peuvent servir à l'exhaussement des schorres à endiguer et à des déversements en des points du fleuve à déterminer judicieusement. Bien entendu, cette première phase ne doit comprendre obligatoirement ni l'écluse, ni les murs de quai aval, il suffit de prolonger dans ce cas la digue d'aval jusqu'à l'extrémité aval des murs amont. Pour assurer l'exploitation de ces installations pendant cette phase, il suffit de construire une auto-route et un chemin de fer longeant les digues de l'Escaut jusqu'à la nouvelle avenue au nord d'Anvers. L'auto-route peut être prolongée dans la direction de Santvliet pour se raccorder là avec la voirie existante.

Le super-canal avec flottaison à la cote (+ 4,00) est projeté plus à l'intérieur des terres ; il se dirige en ligne droite vers la redoute d'Oorderen, qu'il contourne par une courbe de 3000 m. de rayon pour se glisser entre cet ouvrage et la porte de Berendrecht sur le détournement des Schijn, et déboucher finalement dans le bassin-canal à proximité de l'écluse du Kruisschans.

Le canal du Moerdijk est rejeté dans les terres hautes, avec flottaison à la cote (+ 4,00) ; de cette façon l'écluse de jonction anciennement prévue peut être supprimée ; nous n'envisageons pas non plus la construction d'une écluse spéciale à l'Escaut pour ce canal. Celui-ci ainsi que le super-canal a son origine dans un bassin d'environ 125 hectares de superficie faisant suite à la nouvelle écluse.

Il ne peut évidemment être question de ponts au-dessus du super-canal de 12 km. de longueur, sauf au droit de la super-écluse et au droit de la

nouvelle avenue au Kruisschans; la zone comprise entre l'Escaut et ce canal sera desservie par l'auto-route, et un ou plusieurs passages d'eau perfectionnés peuvent être établis, dont un notamment à la hauteur de Lillo; à notre sens toute cette région devrait être annexée au territoire de la ville d'Anvers, y compris évidemment les schorres endigués de Santvliet.

Le passage du canal au-dessus de deux fossés du détournement des Schijn se faisant en amont de la partie de ces fossés formant réservoir principal, le débit maximum de ceux-ci en cet endroit sera beaucoup moindre qu'à l'entrée des écluses d'évacuation où il était prévu anciennement; le débouché des siphons à construire pour ce passage, ouvrages très importants, sera en conséquence grandement diminué. Les deux écluses d'évacuation présentent chacune six pertuis de 2,50 m. d'ouverture et leur bon fonctionnement restera certainement assuré malgré la perte de charge qui résultera du passage à travers les siphons.

Ces installations peuvent être complétées par une darse et un bassin de virage destinés aux navires de très fort tirant d'eau, à établir au nord de la nouvelle avenue; nous avons cru superflu de faire figurer ces ouvrages sur le plan.

Nous rappellerons enfin comment un navire de 11,50 m. de tirant d'eau, peut effectuer le parcours du Wandelaar au nouvel avant-port de Santvliet; en nous plaçant aux quadratures, et en supposant le seuil du Wandelaar tenu en permanence à une cote telle (environ — 9,50) que le navire puisse y passer une heure avant M. H., il pourra arriver à Santvliet environ une demi-heure après M. H., puisque le trajet dure quatre heures pour le navire et que la M. H. met 2 h. 30 pour se propager jusque là (4 h. — 1 h. — 2 1/2 h. = 1/2 h.). Le navire arrive donc vers la fin du courant de flot (50 min. après M. H.) et l'évitage peut encore se faire. Inutile de dire que la profondeur au pied des murs de quai doit être maintenue par dragage au minimum à la cote (— 12,50).

Une objection immédiate pourrait être faite au projet: ne faut-il pas en même temps que l'on exécute les travaux décrits ci-dessus et surtout ceux de la première phase, compléter ceux-ci par un ensemble de digues submersibles ou insubmersibles destinées à guider les courants vers la nouvelle passe et empêcher si possible l'action néfaste qu'exerce le Schaar du Nord par suite de sa situation perpendiculaire à la passe de Saefingen? Il convient de remarquer en effet que les travaux de la première phase ne remédient que peu aux inconvénients à écarter dans le coude de Bath, ils ne font que donner satisfaction immédiate aux exigences de la grande navigation.

Nous répondrions volontiers oui, si ce n'était que l'exécution de ces travaux, fort coûteux d'ailleurs, ne présentait des aléas graves et dont l'étude approfondie entraînerait un retard inadmissible. Avant d'entamer ou même de projeter de pareils travaux, il est en effet indispensable d'être fixé sur les conditions dans lesquelles se forment les goulets dans la région du Middelpmaat, de connaître comment et pourquoi ils se déplacent vers le nord, pourquoi le jusant choisit à un certain moment l'un des goulets, le creuse et finit par en faire le goulet dit « de Saeftingen », cause du relèvement anormal du seuil.

Aucune théorie ou formule ne semble toutefois pouvoir nous venir en aide à ce sujet; il y a bien les essais en laboratoire, mais étant données les difficultés de cette tâche, déjà presque insurmontables dans le cas simple d'une section de fleuve à marée en état d'équilibre (1), combien de temps se passera-t-il en recherches stériles avant d'obtenir un résultat dans lequel on puisse avoir confiance? Il s'agit en effet très probablement ici d'une perturbation dans le mouvement secondaire pendant un fort jusant, analogue à celle qui se produit pendant le flot d'une marée

(1) Dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Ecoles Spéciales de Gand*, 5^e série, — tome XXIX, 4^e fascicule, 1939, a paru une étude intitulée : « Essais sur modèle réduit pour un seuil de fleuve maritime », par L. Bonnet, Administrateur-Inspecteur Général des Services Maritimes d'Anvers et J. Lamoën, Ingénieur des Ponts et Chaussées; elle a trait à la section de fleuve comprise entre les coudes de Sainte-Marie et du Kruisschans. Malgré le remplacement des courants de marée par des courants « stationnaires » de flot et de jusant s'écartant donc fortement de la réalité, les essais sont parvenus à reproduire assez fidèlement le fond naturel du fleuve.

Les auteurs en concluent que si l'on apporte au modèle certaines modifications, les résultats de celles-ci vont se reproduire dans la nature en cas d'application de ces modifications au lit du fleuve.

Cette conclusion ne peut être acceptée suivant nous qu'après vérification par expérience directe.

Il faut remarquer avant tout que la section en question forme pour ainsi dire le tronçon le mieux « tenu » du fleuve par deux coudes bien prononcés et réguliers, et qu'il semble en état d'équilibre, tous les fonds durs ayant disparu des passes; il n'est guère possible d'obtenir dans cette section d'autres passes que celles qui existent, c'est ce qui explique le succès des essais malgré la divergence entre les conditions réelles de marée et celles des courants employés.

Si les essais avaient été faits avant 1880 sur la section Kruisschans-Lillo, l'on aurait trouvé en laboratoire, un lit tout autre que celui existant à cette époque, puisqu'une modification profonde s'est produite pendant cette année dans la passe navigable; celle-ci a quitté la rive gauche pour la rive droite entre Lillo et le feu du Kruisschans; une mésaventure de ce genre est toujours possible, car on oublie un peu trop les fonds durs du fleuve et leur influence sur le tracé des rives et des passes.

Cette considération n'est pas de nature à faire espérer un succès rapide par la méthode telle qu'elle a pu être appliquée jusqu'ici, en cas d'emploi pour un tronçon du fleuve dans la région de Bath.

extraordinaire dans le coude d'Austruweel ou plutôt sur le banc des anguilles à Anvers, et qui donne lieu au phénomène bien connu appelé « le diable dans l'eau » (1). N'y a-t-il pas dans ces goulets des tourbillons qui creusent ces fausses passes en les déplaçant vers le nord ? Comment introduire dans les essais de laboratoire un élément quelconque qui puisse avoir des effets semblables à ceux résultant de la différence de densité des couches d'eau en contact ? Hélas ! ce n'est pas demain que l'on pourra s'engager dans cette voie, car des observations suffisantes sur le fleuve même et surtout une interprétation scientifique font défaut ; le souci scientifique des auteurs des rares observations déjà faites est même quelquefois mis en doute et leurs méthodes qualifiées d'empiriques parce que basées sur l'observation directe des faits. Celles-ci n'ont guère été encouragées jusqu'à présent.

Nous apportons une solution à un problème bien déterminé, sans l'aide de formules analytiques qui sont d'ailleurs inexistantes ; la solution est basée sur une technique qui a fait ses preuves pendant plus d'un demi-siècle, elle consiste à réunir localement les courants de flot et de jusant, au pied des murs de quai à construire.

Nous avons entamé le problème à son origine la plus lointaine, nous avons suivi le fleuve dans son évolution séculaire vers son état d'équilibre, il est actuellement dans une nouvelle phase de progression bien marquée, quoique encore toujours menacé de perturbation périodique, suite de l'amputation artificielle de l'Escaut Oriental, opération d'ailleurs bienfaisante dans ses autres effets. Il semble en état de pouvoir subir sans dommages la « correction » projetée.

Nous croyons que l'on peut avoir confiance dans la méthode que nous avons employée, aucune autre ne peut d'ailleurs nous apporter une solution en ce moment. Si l'on parvient à reproduire en laboratoire les phénomènes de marée compliqués du coude de Bath, si le lit que l'on obtient par les essais s'identifie avec celui de la nature, ce qui est fort peu probable, il restera encore à vérifier si les résultats des modifications que l'on apportera au modèle se reproduisent réellement dans la nature.

(1) Quand, dans le coude d'Austruweel, le flot d'une marée extraordinaire déverse par dessus le banc des Anguilles, il se forme en cet endroit une série de tourbillons très puissants qui se meuvent vers l'amont le long de la rive gauche pour s'éteindre quelques centaines de mètres plus loin. Nous avons vu en 1923, du haut du bâtiment du Pilotage, un bateau d'intérieur ancré le long de cette rive en face de ce bâtiment, saisi par un de ces tourbillons, effectuer en quelques secondes un tour complet sur lui-même et se coucher sur le flanc ; l'impression était saisissante et justifie certainement l'appellation de « de duivel in 't water » (le diable dans l'eau).

Cela revient à exécuter des travaux sans plus de garantie scientifique qu'avec la méthode proposée.

Nous croyons en fin de compte qu'en hydraulique des fleuves à marée comme dans beaucoup d'autres sciences, *la théorie ne viendra qu'après l'expérience, pour expliquer les résultats de celle-ci.*

3. — Note sur les écluses d'évacuation des Schijn.

En prévision du commencement des grands travaux au nord d'Anvers, le Ministre des Travaux Publics ordonna en 1900, l'étude du détournement des Schijn et de tous les cours d'eau se jetant dans l'Escaut sur la rive droite du fleuve entre Anvers et Vieux-Kruisschans; commencée par feu M. l'Inspecteur Général Ghyoot, nous fûmes chargés en 1901 de poursuivre cette étude et de déterminer notamment les débouchés des écluses d'évacuation à l'Escaut.

Ce détournement devait être réalisé par le fossé d'une nouvelle enceinte militaire joignant le fort 2 (Wommelghem), à l'Escaut au Vieux-Kruisschans, passant par le fort 1, celui de Merxem, Eeckeren et la redoute d'Oorderen; à partir d'Eeckeren ce fossé devait être précédé d'un avant-fossé destiné à l'écoulement des eaux poldériennes.

Seule la partie en aval d'Eeckeren fut toutefois construite, et toutes les eaux qui devaient être recueillies en amont furent amenées par deux fossés collecteurs intérieurs à l'enceinte dans l'extrémité amont du tronçon réalisé du détournement des Schijn. Celui-ci sert de réservoir aux eaux qui sont évacuées dans l'Escaut par deux écluses jumelées, chacune à 6 pertuis de 2.50 m. d'ouverture. Les calculs faits pour l'écluse du fossé principal ont indiqué une ouverture de 15 m. Pour l'avant-fossé dont les débits sont beaucoup moindres une ouverture identique a été choisie pour motifs d'ordre militaire; le radier est placé à la cote (— 0,125) au lieu de la cote (0,00) employée dans les calculs, pour les motifs déjà indiqués au paragraphe IV du chapitre second.

Nous donnons maintenant ci-dessous, les calculs effectués pour l'écluse du fossé principal, ainsi que les hypothèses qui en forment les bases, dans le but de montrer la grandeur du débit maximum de cet ouvrage et le cube total d'eau douce déversé dans l'Escaut pendant la marée basse déterminée par ces hypothèses. En publiant cette méthode de calcul, que nous avons établie en 1901, nous croyons de plus rendre service aux ingénieurs qui ont à s'occuper de questions analogues.

Dans le fossé formant réservoir, dont la largeur est de près de 100 m., nous avons supposé tous les axes hydrauliques de niveau; la différence sera en général négligeable ou, en cas de grands débit de l'écluse, peu importante, puisque ces débits se produisent vers le début de l'évacuation, alors que les hauteurs d'eau dans le fossé sont encore assez grandes (voir tableau ci-après); la vitesse dans le fossé ne dépasse d'ailleurs guère 0,30 m. par seconde. Les autres hypothèses faites étant très défavorables, la première est parfaitement admissible.

La cote maximum à tolérer dans le réservoir est celle de la plus basse des hautes eaux des différents affluents, soit (+ 3,20).

Comme circonstance la plus défavorable, nous avons pris une marée basse telle-ment élevée qu'elle ne permet pas l'ouverture des écluses, cette marée étant encadrée de deux marées moyennes, et coïncidant avec une crue générale et extraordinaire de tous les cours d'eau.

Il s'agit premièrement de déterminer la flottaison à maintenir durant les mois d'hiver, pendant lesquels des crues extraordinaires peuvent se produire et coïncider avec des marées défavorables.

Cette flottaison doit être telle que le niveau dans le réservoir, au moment de l'ouverture des écluses après la marée basse exceptionnellement élevée, ne dépasse pas (+ 3,20).

Nous avons donc l'équation :

$$Q \times 60 \times 60 \times T \frac{S + S'}{2} (3,20 - x)$$

dans laquelle

- Q est le débit maximum des affluents ou 13.350 m³ par seconde (1),
- T le temps de fermeture des écluses exprimé en heures,
- S la superficie du réservoir à la cote (+ 3,20) c'est-à-dire 475823 m²,
- S' la superficie du réservoir à la cote x, que l'on peut calculer en fonction de x, l'inclinaison des talus du réservoir étant donnée,
- et x la cote de flottaison cherchée.

Les deux inconnues T et x sont liées par une seconde relation non analytique, le diagramme de la marée moyenne; nous devons donc opérer par tâtonnements.

On obtient approximativement $x = 1,10$ et $T = 19$ heures.

Le fond du réservoir peut alors être fixé à (0,00) de façon à avoir encore une hauteur d'eau convenable dans le réservoir à la fin de l'évacuation.

Le débouché de l'écluse peut maintenant être calculé de la façon suivante :

Il faut écouler pendant l'ouverture de l'écluse, qui dure 2×12 h. 25 — 19 h. ou 5 h. 50, le volume total arrivé dans le réservoir pendant 24 h. 50' c'est-à-dire :

$$13,35 (24 \times 60 \times 60 + 50 \times 60) = 1.193.490 \text{ m}^3.$$

En supposant le radier de l'écluse à la cote (0,00) et les pertuis au-dessus de (+ 3,20) le débit de l'écluse sera donné par la formule :

$$d = 0,625 \lambda \left[h + \frac{2}{3} (H - h) \right] \sqrt{2g (H - h)} \quad . . . (1)$$

dans laquelle :

- 0,625 est un coefficient de correction établi expérimentalement,
- λ le débouché linéaire de l'écluse,
- h la cote de l'eau dans l'Escaut, et
- H la cote de l'eau dans le réservoir.

Nous nous trouvons en présence de deux réservoirs à niveau variable : l'Escaut, dont les variations de niveau sont données par le diagramme de la marée moyenne, et le réservoir, dont les variations nous sont

(1) Les études effectuées sur le Grand et le Petit Schijn ont permis d'établir que leur débit maximum correspond à la formule : $q = H \times 0,0005$ dans laquelle q est le débit en m³ par seconde et H la superficie du bassin hydrographique exprimée en hectares. Cette formule a été appliquée aux autres cours d'eau de terres hautes recoupés par l'enceinte.

inconnues à priori. Dans un premier calcul approximatif, nous supposons ces dernières proportionnelles au temps; cette hypothèse n'est pas exacte, puisque le débit varie de 0 (ouverture) à 0 (fermeture) et que de plus les talus du réservoir sont inclinés; elle revient à substituer une droite à une courbe sinusoïdale qui en diffère peu, mais qui se trouve en majeure partie en dessous de cette droite. L'hypothèse est donc légèrement favorable et nous trouverons donc un débouché un peu trop petit.

Nous avons donc :

$$H = 3,20 - (3,20 - 1,10) \frac{t - t_0}{t_f - t_0} \dots \dots (2)$$

dans laquelle t_0 est le temps d'ouverture, t_f le temps de fermeture et où par conséquent $t_f - t_0 = 5 \text{ h. } 50'$.

En se donnant $(t - t_0)$, H peut être calculé par la formule (2) et h est donné par le diagramme de la marée moyenne. Les débits instantanés d pour chaque intervalle t sont donnés par la formule (1) et le débouché est donné par la formule

$$1.193.490 = 0,625 \lambda \sum_0^{5 \text{ h. } 50'} \Delta t \left[h + \frac{2}{3} (H - h) \right] \sqrt{2g(H - h)}.$$

On trouve ainsi à l'aide de cette formule : $\lambda = 13 \text{ m. environ.}$

Cette valeur approchée sert de base dans un calcul définitif où l'on opère par tâtonnements en donnant à λ des valeurs croissantes, par exemple 14 m., 15 m., etc.; on détermine de la manière exposée ci-après la cote que l'on réalise dans le réservoir au moment de la fermeture des écluses pour chaque valeur de λ . Aussi longtemps que cette cote est supérieure à (+ 1,10) le débouché admis est insuffisant, dès que l'on obtient une cote inférieure à (+ 1,10) on peut interpoler entre les deux derniers résultats pour avoir le débouché.

Le niveau final dans le réservoir est obtenu de la manière suivante :

On divise la durée de l'évacuation, 5 h. 50', en intervalles de 15 minutes par exemple, pendant lesquels on suppose que la cote de la marée au milieu de l'intervalle règne pendant toute la durée de celui-ci, c'est-à-dire que l'on remplace la courbe de la marée par une ligne à gradins.

Pour le réservoir, on suppose la cote (+ 3,20) constante pendant le premier intervalle et l'on calcule le débit total de l'écluse pendant celui-ci, ce qui donne également la cote x du réservoir au bout du premier intervalle; celle-ci est supposée régner alors pendant tout le second intervalle et ainsi de suite jusqu'au temps 5 h. 50' qui correspond au niveau final.

Pour obtenir x_n connaissant x_{n-1} , il suffit d'exprimer que le débit total de l'écluse pendant l'intervalle n est égal à la diminution du volume d'eau du réservoir augmenté de la quantité d'eau amenée par les affluents pendant ce temps; nous avons ainsi :

$$d_n \Delta t = \frac{1}{2} (S \cdot x_{n-1} + S \cdot x_n) (x_{n-1} - x_n) + 13,35 \Delta t \dots (3)$$

d_n est donné par la formule (1), $S \cdot x_{n-1}$ et $S \cdot x_n$ sont les superficies du réservoir à la cote x_{n-1} et x_n , x_{n-1} étant connu ainsi que $S \cdot x_{n-1}$, et $S \cdot x_n$ étant fonction linéaire de x_n , l'équation (3) donne la valeur de x_n .

Le tableau suivant donne les résultats du calcul effectué avec des intervalles de 15 minutes pour $\lambda = 15$ mètres.

Vérification du débouché de 15 m. avec intervalles de 15 minutes.

Valeur de n	Cote de la marée au milieu des intervalles	Débits instantanés de l'écluse	Cotes de l'eau dans le réservoir au bout de chaque intervalle
1	3,10	41 m ³	3,145
2	2,89	64	3,05
3	2,67	73	2,92
4	2,47	77	2,795
5	2,36	79	2,665
6	2,05	81	2,525
7	1,83	79	2,385
8	1,65	76	2,255
9	1,47	73	2,125
10	1,29	71	2,005
11	1,11	67	1,89
12	0,94	63	1,785
13	0,78	60	1,685
14	0,64	56	1,585
15	0,50	52	1,50
16	0,39	49	1,415
17	0,28	45	1,345
18	0,23	42	1,285
19	0,27	39	1,225
20	0,40	35	1,175
21	0,54	31	1,135
22	0,72	26	1,105
23	0,90	21	1,085

La cote finale est (+ 1,085), le débouché de 15 m. est donc légèrement trop grand.

On remarque que le maximum de débit s'élève à 81 m³ par seconde, pendant l'intervalle 6 alors que la hauteur d'eau dans le réservoir est de 2,525 m.

Le débit maximum des deux écluses peut donc être estimé à environ 100 m³ par seconde et le volume total des eaux douces déversées dans le fleuve pendant l'évacuation considérée à 1.500.000 m³.

SAMENVATTING :

Vorming der kust en der tijrivieren van België. Ontwerp van een voorhaven voor Antwerpen.

Voorwoord.

Bovenstaande verhandeling is een aanvullende bijdrage tot de studie die reeds vroeger, onder den titel « Etude sur la Formation de l'Escaut Maritime », in de 2^{de}, 3^{de} en 4^{de} afleveringen 1927 van de toen nog ééntalige « Annales des Travaux Publics de Belgique » werd gepubliceerd. Zij omvat een nieuw voorontwerp met het oog op de aanpassing van den stroom en van de haveninrichtingen van Antwerpen aan de vereischten van de moderne grootscheepvaart, en wijzigt hiermede eenigermate het voorontwerp dat in 1930, samen met het geschriftje « L'Avenir du port d'Anvers et de l'Escaut Maritime », in het licht werd gegeven.

Nieuwe onderzoekingen aan de kust hebben er toe geleid de oorspronkelijke zienswijzen eenigszins te verbeteren, doch de vroegere stellingen werden gehandhaafd. Uit de toponymie en haar jongste bevindingen werd partij getrokken, o.m. om den ouderdom te bewijzen van de « Hont ». Bovendien werd aan de Wielingenkwestie een duidelijke en blijkbaar door iedereen aanneembare oplossing gegeven.

EERSTE HOOFDSTUK.

Vorming van de Belgische Kust.

Paragraaf 1 handelt over de kwestie van het gemiddeld peil der zeeën; een benaderende berekening, die nochtans op vaststaande gegevens berust, toont aan dat de uitgebreide ijsformaties van het kwartaire tijdperk, tot 30 m. reikende dalingen van het peil der zeeën hebben moeten teweegbrengen; dit stemt op weinig na overeen met de hoogteverschillen, die in de terrassen der stroomen en der zeeën werden vastgesteld. De achtereenvolgende opheffingen en inzakkingsen van de aardkorst, die door de aardkundigen worden aangenomen om den oorsprong van deze terrassen uit te leggen, blijken hier dus buiten beschouwing te mogen blijven. Afgezien van deze ijsuitbreidingen, blijft het gemiddeld zeepeil onveranderlijk en vormt het een « waterpasvlak », uitgenomen in de nabijheid van de kusten waar het, ter oorzaak van

plaatselijke omstandigheden, lichtjes beneden dit vlak kan komen te liggen.

Paragraaf 2 wijst op de wisselende waarden van het gemiddeld tijverschil en van den gemiddelden zee-waterstand langs de Belgische en Nederlandsche kusten.

Een kaart, die uit een verslag van het « Tidal Institute » te Liverpool werd overgenomen, duidt het verloop der getijden aan in de Noordzee; dit verloop wordt o.m. gekenmerkt door de aanwezigheid van drie punten, die « amphydromische » punten worden geheeten, en waar het tijverschil gelijk is aan nul. De waterstand van het middengedeelte van deze zee schijnt ongeveer overeen te stemmen met het peil (+ 0,17) (N.A.P.) of (+ 2,50) (D), terwijl deze van de vroegere, niet ingedijkte Zuiderzee ongeveer 0,42 m. lager moest liggen.

Paragraaf 3 beschrijft de wisselingen welke het waterpeil van de Noordzee heeft ondergaan gedurende het kwartaire en het moderne tijdperk.

De uitgebreide ijsformaties hebben deze zee afgesneden en de breuk van het Nauw van Calais teweeggebracht; voorheen was het vasteland inderdaad met Engeland verbonden. De gevolgen van de laatste ijsuitbreiding, die ten tijde van de Flandriaansche formatie plaats greep, worden breedvoerig onderzocht; de zee heeft zich toen van het peil (+ 7,50) op ongeveer (— 12,50) (D) teruggetrokken, en de waarschijnlijke ligging van de Flandriaansche kust, op het oogenblik van de grootste ijsuitbreiding, wordt op een kaart weergegeven. De zeespiegel steeg vervolgens opnieuw tot op het peil (+ 2,50) (D), waarop hij tot nu toe nagenoeg in stand is gebleven.

Paragraaf 4 handelt over de wisselingen van het tijverschil in de Noordzee.

Onderzoekingen, die langs onze kusten werden uitgevoerd, bewijzen dat het tijverschil rond 1288, na een catastrophale overstrooming, plotseling is verminderd; de hooge duinen, welke zich op vele plaatsen achteraan de duinen bevinden, die rechtstreeks aan den zeeoever zijn gelegen, dagteekenen van het groote tijverschil; de opening van het Nauw van Calais en de verzakkingen van den aardbodem hebben het tijverschil in de Noordzee doen verminderen.

Ten tijde van de turf en van de onderste kleifformaties der polders, kon de kust geen inhammen vertoonen.

De verzakkingen van den aardbodem hebben een terugtrekking van de duinen voor gevolg, maar in hun hoogsten graad kunnen deze be-

wegingen nochtans aanleiding geven tot het ontstaan van nieuwe duinen vooraan de oude, daar waar de plaatselijke verzakking weinig merkbaar is; de langs de kust gedane vaststellingen stemmen overeen met het theoretisch verloop, dat voor deze terugtrekking en deze voorwaartsche beweging werd vastgelegd.

Paragraaf 5 is gewijd aan een chronologisch overzicht der gebeurtenissen, in verband met de vorming van de Schelde-, Zwin- en IJzermondingen.

TWEEDE HOOFDSTUK.

Vorming der tijrivieren van België.

Paragraaf 1 van dit tweede hoofdstuk handelt over den toestand der stroomen en rivieren ten tijde van de veen- en kleilagunen.

Omtrent het tijdperk van de veenformaties, was het trouwens nagenoeg constant debiet van de waterloopen ongeveer 20 maal kleiner dan het huidig normaal debiet, terwijl hun breedte sindsdien in de verhouding van 1 tot 5 is vermeerderd; tegen het einde van het Romeinsche tijdperk, is de atmosferische neerslag plots toegenomen, om vervolgens geleidelijk de hedendaagsche waarden te bereiken.

Het waarschijnlijk tracé en de vermoedelijke uitmondingen van de stroomen, ten tijde van de Romeinsche overheersching, staan op de kaart van figuur 5 (blz. 38) aangegeven. De gedurende het veentijdperk helder stroomende wateren sleepen thans kleiachtige verweeringsstoffen mede en geven aldus aanleiding tot de vorming van de kleilagune van Vlaanderen en van Zeeland, bovenop de oudere veenlagune.

In paragraaf 2 wordt de verplaatsing van de uitmondingen en de vorming van de uitgebreide riviermonden bestudeerd, in de lagune van Vlaanderen en van Zeeland.

Omtrent het beschouwde tijdperk, moest het verloop der getijden veel overeenstemming vertoonen met dat van nu, alhoewel de tijverschillen toen grooter waren; de uitmondingen van de Schelde, de Maas en den Rijn verplaatsen zich naar het zuidwesten, volgens een vast bepaalde natuurlijke wet.

Indien de mensch geen hinderpalen in den weg had gelegd, zou Antwerpen, ten gevolge van de evolutie der waterloopen in dit gebied, een natuurlijke haven van den Rijn zijn geworden.

De eerste Zwinmonding dagteekent vermoedelijk van vóór 867, jaar

gedurende hetwelk een aanvang werd genomen met de oprichting van het Gravenkasteel te Gent, bestemd om de invallen van de Noormannen te stuiten; deze monding en het er bij aansluitende mondingscomplex moesten zich toen bevinden ter plaatse van de hedendaagsche vaargeul voor zeeschepen, Oostgat genaamd, aan den voet van de huidige duinen van het eiland Walcheren; zij is het gevolg van een doorbraak der duinen, die toen gansch den zeeboezem tusschen dit eiland en de Belgische kust omvatten.

Het Zwin of Cincval was een bijrivier van de Hont, die zich te Bath naar de Schelde begaf; maar bij hoog tij drong het vloedwater niet stroomopwaarts in de Hont, doch volgde veeleer het Zwin, zoodat in deze richting een tijrivier werd geschapen; te dien tijde werd het Zwin verlengd door den toenmaligen IJzer, die evenwijdig met de kust verliep en nog geen uitmonding in de zee bezat.

In 938 greep, meer naar het zuiden toe, een tweede doorbraak van de duinen plaats, en het getij begon zich dan in de Hont voort te planten; van dit tijdstip af dagteekent dus het ontstaan van de Wester-Schelde, die later voor het Zwin zoo gevaarlijk moest worden.

Eindelijk had, in 1288, een rampspoedige overstroming een nieuwe doorbraak van de duinen voor gevolg, nog meer naar het zuiden toe, ter hoogte van Knokke, en gaf aldus aanleiding tot de vorming van de tweede Zwinmonding, waardoor het vloedwater meer en meer naar de Hont werd gericht; dit beteekende voor het Zwin den genadeslag, daar het rond 1160, ten gevolge van de vorming van de IJzermonding te Nieuwpoort, reeds van zijn bovenstroomsch debiet beroofd was geworden; enkele tijd te voren had de IJzer zich trouwens reeds te Middelerke een tijdelijke uitmonding in de Noordzee geschapen.

Al deze verschijnselen zijn trouwens het gevolg van de algemeene neiging tot verplaatsing van de mondingen naar het zuidwesten toe.

Paragraaf 3 handelt over de vroegere waterloopen in het gebied van Antwerpen.

Vóór de indringing van het getij in de Schelde te Antwerpen, t.t.z. vóór het ontstaan van de monding van de Ooster-Schelde ten tijde van de Romeinsche overheersching, baande deze waterloop zich een kronkelenden weg langs de landerijen van Burcht en van Zwijndrecht, en al de hedendaagsche bijrivieren van den rechteroever, de talrijke Schijnen, doortrokken toen de huidige polders van den linkeroever, alvorens zich in de Schelde te werpen.

Wanneer men, op de kaart van deze vroegere waterloopen, de situatie

overbrengt van de vakken der kaaimuren van Antwerpen die op verschillende tijdstippen, o.m. in 1899, 1905, 1907, 1913, 1923 en 1930, zijn gaan schuiven, dan stelt men tusschen deze beide elementen een volledige overeenstemming vast. Het bestaan van deze oude waterloopen is zonder twijfel de aanleiding geweest tot deze verschuivingen, door toedoen van onderaardsche wassen, waarmede de ontwerpers van deze muren geen rekening hebben gehouden, omdat deze omstandigheden hun niet bekend waren.

In paragraaf 4 wordt de terugslag onderzocht van de bodemverzakingen op de waterpassingshoogtemerken.

Uit een vorige studie over de Vorming van de Zee-Schelde, werd reeds opgemaakt dat de gemiddelde verzakkingen van den bodem, op bepaalde punten in de vallei van dezen stroom, 0,20 m. per eeuw bereikten; deze gestadige en trouwens ongelijke verzakkingen* moeten onvermijdelijk door een gemis aan overeenstemming tusschen de waterpassingshoogtemerken aan het licht komen.

De algemeene Rijkswaterpassing, die in 1840 door het Departement van Openbare Werken werd uitgevoerd, heeft als vergelijkingsvlak het gewoon laagwater springgetij te Oostende, en de hoogtecijfers ten opzichte van dit vlak worden door toevoeging van de letter (Z) of nulpunt van Oostende (Zéro d'Ostende) gekenmerkt; later werd eveneens door den Legerstaf tot een dergelijke waterpassing overgegaan, echter met aannahme van een ander vergelijkingsvlak, dat nochtans op dezelfde wijze werd bepaald; de opgave van de overeenkomstige hoogtecijfers wordt gevolgd door de letter (D) of oorlogsdepot (Dépôt de la guerre). Dit laatste referentievlak bevindt zich te Oostende 0,1665 m. boven het eerste; te Antwerpen, daarentegen, nam men rond 1900 nog aan dat het nulpunt van Oostende zich 0,252 m. boven het nulpunt van het oorlogsdepot bevond. Dit beteekent dus een verschil van 0,4185 m.

Een nauwkeurigheidswaterpassing, die in 1907 door de zorgen van het Cartografisch Instituut van het Leger in de streek ten noorden van Antwerpen werd uitgevoerd, levert nochtans het bewijs dat het verschil van 0,252 m. daar ter plaatse, naargelang het beschouwde punt, met 0,07 à 0,125 m. moet worden verminderd.

Paragraaf 5 beschrijft de wisselingen welke de regenval in België sedert ongeveer twee eeuwen heeft ondergaan.

De wijzigingen in de bedding van den stroom en o.m. de ophoogingen van de drempels, staan in nauw verband met de wisselingen van het bovenstroomsch debiet, welke vanzelfsprekend afhangen van den regenval.

De atmosferische neerslag te Brussel (Ukkel), berekend naar de gemiddelde waarden over een tijdverloop van tien jaar, bereikt ongeveer 700 mm. per jaar rond 1840 en 800 mm. per jaar in 1939; de vergelijking met de hoogten die sinds 1700 te Parijs werden vastgesteld leidt tot de aanname van het feit dat, in 1735, de regenval te Brussel 600 mm. niet overtrof en toen een minimum uitmaakte. Sedert 1735, stelt men dus een aanwinst vast van 100 mm. per eeuw. Hieruit volgt eveneens dat het bovenstroomsch debiet vóór dien datum in daling was, wat er toe heeft bijgedragen om de ontwikkeling van den stroom rond het begin van de XVIII^e eeuw stop te zetten, verschijnsel dat reeds in de eerste studie werd vermeld. Sindsdien heeft de stroom zich steeds verder ontwikkeld en nadert hij thans zijn evenwichtstoestand.

Dit doet alle beweringen te niet, volgens dewelke de tijrivieren tot een onvermijdelijke verzanding zouden zijn gedoemd.

DERDE HOOFDSTUK.

De Zee-Schelde.

Ontwerp van een voorhaven voor Antwerpen.

In paragraaf I van dit derde hoofdstuk wordt de huidige toestand van den stroom onderzocht. Hierbij worden achtereenvolgens de verschillende factoren in beschouwing genomen, die het waterregime sinds 1924 hebben beïnvloed, te weten: de wijzigingen welke de bovenstroomsche en benedenstroomsche omstandigheden ondertusschen hebben ondergaan, de intensieve baggerwerken die op de drempels in het mondings-complex werden uitgevoerd, en het in gebruik stellen van de omleiding der Schijnen in 1925.

In een tijrivier met constant bovenstroomsch debiet, bestaat er, ten gevolge van het stroomopwaartsch transport der sedimenten, een permanente neiging tot aanwinst van de oevers boven het halftij-waterpeil; maar door de wassen worden deze afzettingen van den vloed gelukkig weer meegevoerd. Wanneer een voldoende bovenstroomsch debiet voorhanden is, voeren de in vorming zijnde riviermonden zelf hun dijken op; dit verklaart waarom de tijrivieren zich ten tijde van de veenformaties niet hebben kunnen ontwikkelen.

Thans heeft, door de werking van de ebstreaming, een algemeene uitschuring van den stroom plaats, die sinds 1908 bijzonder sterk is geweest; sinds 1921, heeft men geen droog jaar meer gekend, en de geduchte drempel van Bath heeft zich, sedert zijn laatste openbaring in 1923-1924, niet meer opgehoogd. Een dergelijk verschijnsel valt echter,

na een periode van groote droogte, nog steeds te vreezen, want de verdwijning er van is geenszins aan de intensieve baggerwerken te wijten.

De algemeene neiging tot vermindering van het tijverschil langs onze kusten heeft zich echter in den stroom zelf niet voorgedaan; hier stelt men, integendeel, een verhooging van het hoogwater- en een verlaging van het laagwaterpeil vast, dus een vermeerdering van het tijverschil.

De intensieve baggerwerken die o.m. te Bath werden uitgevoerd, met uitstorting van een gedeelte van de baggerspecie in den stroom zelf, grepen onder bijzonder gunstige omstandigheden plaats, daar deze specie naar de zee werd meegevoerd. De hydrografische gesteldheid brengt echter, in de streek van Bath, twee tegenstrijdige verschijnselen aan het licht: het ééne afhankelijk van den omvang van het bovenstroomsch debiet en kenmerkend voor een natte periode, het andere verloopend volgens de wet der droge periodes en waarschijnlijk teweeggebracht door de intensieve uitbaggeringen; het regime van den stroom werd verstoord, waardoor de vloedstrooming naar de geul van Bath en de ebstrooming naar de Noorderschaar worden afgeleid.

Het in gebruik stellen van de sluisen in de omleiding der Schijnen ter plaatse van de Oude-Kruisschans, heeft de uitwerkingen van de secundaire beweging in de bocht van Bath, — hoofdfactor van den ebuitleat langs de Noorderschaar, die de ophooging van de drempels in dit gebied voor gevolg heeft, — aanzienlijk en plotseling versterkt.

Het maximum debiet van deze sluisen, met een totale doorstromingsbreedte van 30 m., kan ongeveer 100 m³ zoetwater per secunde bedragen; de terugslag er van op het regime van den stroom moet dus wel merkbaar zijn.

De huidige omstandigheden blijken dus het regime van den stroom gunstig te beïnvloeden, behalve in de bocht van Bath, waar de vrees voor een verhooging van den drempel steeds blijft voortbestaan.

In paragraaf 2 wordt een beschrijving gegeven van het nieuwe ontwerp voor de aanpassing van den stroom aan de toekomstige vereischten van de grootscheepvaart en met het oog op de permanente toegangsmogelijkheid van schepen met 11,50 m. diepgang. In feite geldt het hier het ontwerp dat in 1930, onder de benaming « *Projet d'adaptation du fleuve et des installations maritimes d'Anvers aux exigences possibles de la grande navigation* », en samen met het geschriftje « *L'Avenir du Port d'Anvers et de l'Escaut Maritime* », in het licht werd gegeven; dit ontwerp werd echter aan de hand van de jongste ervaringen en rekening houdende met de huidige omstandigheden eenigszins gewijzigd en bijgewerkt.

De verbetering van den stroom in de bocht van Bath moet er op gericht zijn den duur te verminderen van de natuurlijke evolutie, welke hij in dit gebied ondergaat, terwijl tevens naar de beperking moet worden getracht van den omvang der verstoringen die door deze evolutie worden teweeggebracht; zij streeft er naar de drie geulen van Zandvliet, Saeftingen en Bath in één enkele bocht te vereenigen, met afschaffing van de twee tusschenliggende drempels, waaronder deze van Bath.

Met den terugkeer van den vrede zal een onmiddellijke oplossing, zonder mogelijke wisselvalligheden, worden geëischt, waarbij alle belanghebbenden zich zullen kunnen neerleggen en waarvan de verwezenlijking snel genoeg zal kunnen worden doorgevoerd.

De meest nadeelige onderstelling, t.t.z. deze waarbij de schepen met 11,50 m. diepgang langs den stroom geen toegang zouden verkrijgen tot de huidige haveninrichtingen, werd in het ontwerp bijgehouden. De verplaatsing van de vaargeulen zou door zijdelingsche verschuiving plaats grijpen, en 400 hectaren ongeveer van de schorren van Zandvliet zouden worden ingedijkt; tevens worden in de rivier en in aansluiting met een super-sluis, 1400 m. kaaimuren voorzien, verlengd door een strekwand van circa 1500 m., die later eveneens als kaaimuur zou kunnen worden omgebouwd. De sluis geeft toegang tot een bekkén van 125 hectaren oppervlakte op het peil (+4,00), waarin dan de eventueele vaart naar den Moerdijk en het super-verbindingskanaal met de haveninrichtingen van Antwerpen zouden uitmonden. Het ontwerp voorziet daarenbaven de bestemming tot industrieele doeleinden van ongeveer 280 hectaren grond op het Staatsdomein.

Vooropgezet dat de drempel van den Wandelaar op het peil (— 9,50) wordt gehouden, kan een schip met 11,50 m. diepgang er bij de kwartierstanden, ten minste één uur vóór het hoog getij overheenvaren, en een weinig vóór het einde van de vloedstrooming Zandvliet bereiken; het zal dus onmiddellijk zijn zwaaiingsmanoeuvre kunnen uitvoeren, en met den steven naar den vloed gericht langs de kade kunnen aanleggen. Het traject van den Wandelaar tot Zandvliet zal minder dan vier uren vergen.

De voorgestelde oplossing berust op een techniek die gedurende meer dan een halve eeuw haar deugdelijkheid heeft bewezen; zij bestaat er in de vloed- en ebstreamingen plaatselijk, aan den voet van de te bouwen kaaimuren, samen te brengen; dit werd reeds op het einde van de vorige eeuw, bij den aanleg van de bestaande kaaimuren, te Antwerpen zelf gedaan.

Het probleem is van zijn versten oorsprong uit aangevat geworden;

men heeft den stroom in zijn eeuwenlange evolutie naar zijn evenwichtstoestand gevolgd; alhoewel nog steeds door periodieke storingsmogelijkheden bedreigd, is hij thans in een nieuw ontwikkelingsstadium getreden; hij blijkt in staat te zijn om zonder schade de beraamde « normaliseering » te ondergaan.

Op het gebied van de hydraulica der tijrivieren, evenals in vele andere wetenschappen, komt de theorie dikwijls slechts na de ervaring, om de uitslagen van deze laatste uit te leggen.

Paragraaf 3 zet ten slotte de berekeningswijze uiteen, die in 1901 werd toegepast om de doorstromingsbreedte te bepalen van de afwateringsluizen der Schijnen ter plaatse van de Oude-Kruisschans. Deze kunstwerken maken den afvoer mogelijk, gedurende één enkel laag getij, van een gezamenlijk volume zoetwater van circa 1.500.000 kubiek meter; hierdoor kan de secundaire beweging in de bocht van Bath, — oorzaak van den ebuitlaat langs de Noorderschaar en van de ophooging van den drempel te Bath zelf —, in sterke mate worden beïnvloed.

TABLE DES MATIERES — INHOUDSTAFEL

Pages.

PRÉAMBULE	1
PRÉFACE	2

CHAPITRE PREMIER.

Formation de la côte belge.

§ I. — Niveau des mers	5
§ II. — Amplitude moyenne de la marée et niveau moyen de la mer le long des côtes belges et néerlandaises	9
§ III. — Variations de niveau de la Mer du Nord pendant l'ère géologique, quaternaire et moderne	15
§ IV. — Variations de l'amplitude de la marée dans la mer du Nord	20
§ V. — Tableau chronologique des faits intéressant la formation des embou- chures de l'Escaut, du Zwyn et de l'Yser	33

CHAPITRE II.

Formation des fleuves à marée de Belgique.

§ I. — Situation des fleuves à l'époque des lagunes tourbeuses et argileuses. 35	
A. — Débits des fleuves à l'époque de la tourbe	35
B. — Tracé et embouchures des fleuves à l'époque romaine	37
C. — Formation de la lagune argileuse des Flandres et de la Zélande ...	41
§ II. — Déplacement des embouchures et formation des estuaires dans la lagune des Flandres et de la Zélande	43
A. — Régime des marées	43
B. — Déplacement des embouchures vers le sud-ouest	45
C. — Anvers port naturel du Rhin	46
D. — Formation des estuaires dans la lagune argileuse des Flandres et de la Zélande	51
§ III. — Anciens cours d'eau de la région d'Anvers. — Leur influence sur la stabilité des murs de quai en rivière	58
§ IV. — L'affaissement du sol et les repères de nivellement	63
§ V. — Les variations dans l'intensité des pluies en Belgique	68

CHAPITRE III.

L'Escaut maritime.
Projet d'avant-port pour Anvers.

	Blz.
§ I. — Situation actuelle du fleuve	73
§ II. — Le nouveau projet d'adaptation du fleuve aux nécessités futures de la navigation	85
§ III. — Note sur les écluses d'évacuation des Schijn	94

SAMENVATTING :

Vorming der kust en der tijrivieren van België.
Ontwerp van een voorhaven voor Antwerpen.

EERSTE HOOFDSTUK.

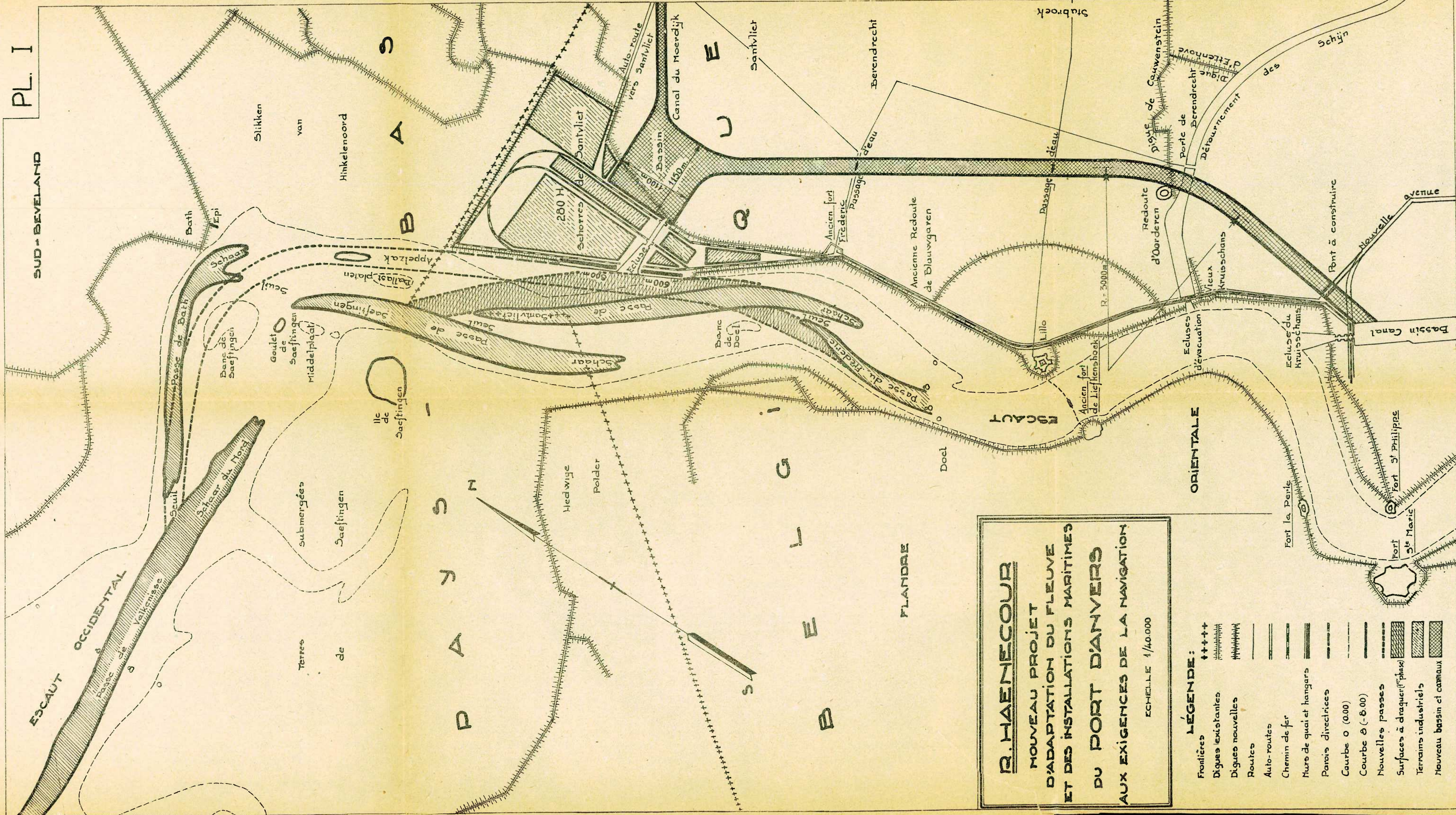
Vorming van de Belgische Kust	99
--------------------------------------	----

TWEEDE HOOFDSTUK.

Vorming der tijrivieren van België	101
---	-----

DERDE HOOFDSTUK.

De Zee-Schelde. Ontwerp van een voorhaven voor Antwerpen	104
---	-----



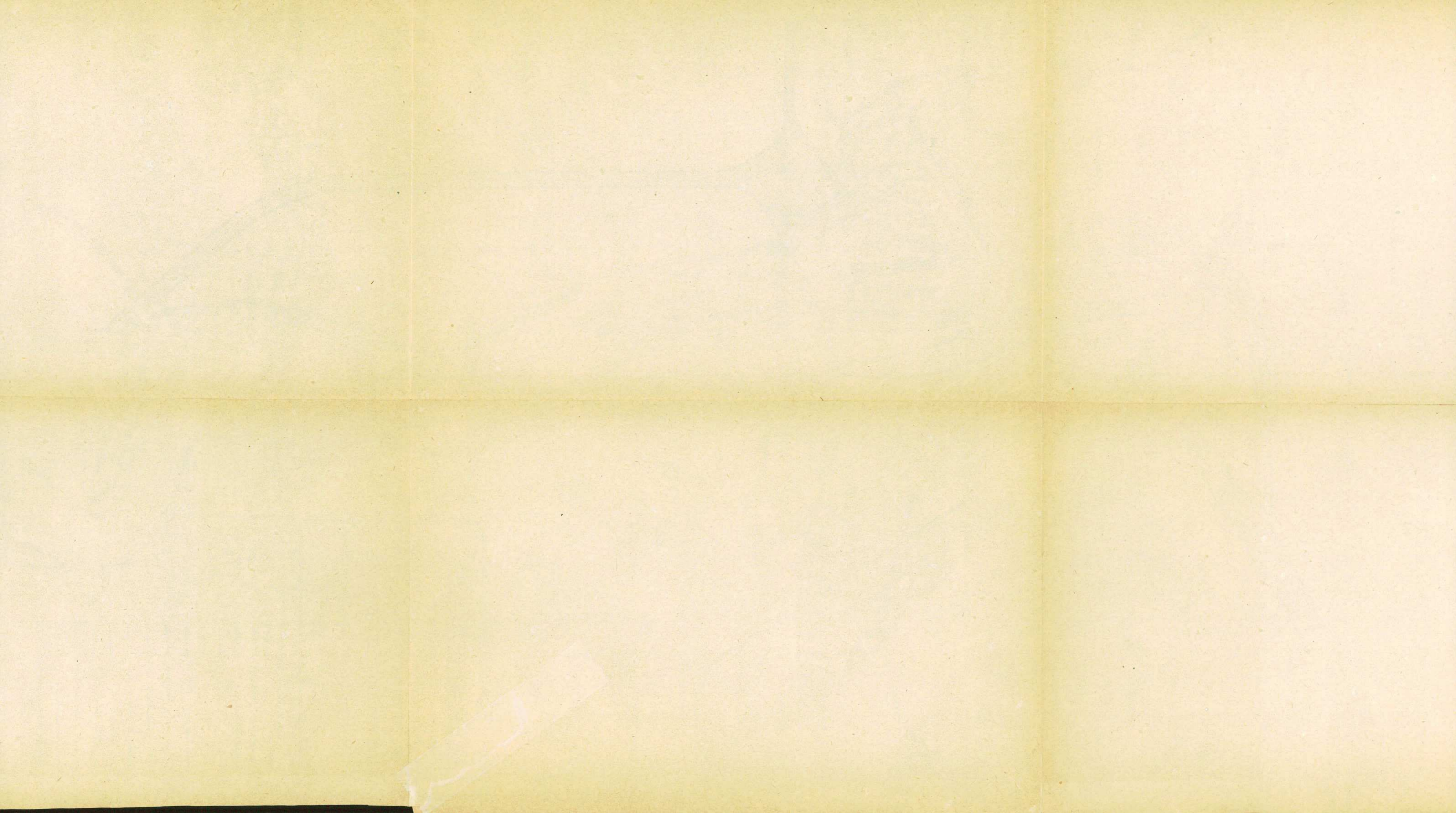
R. HAENECCOUR

NOUVEAU PROJET
 D'ADAPTATION DU FLEUVE
 ET DES INSTALLATIONS MARITIMES
 DU PORT D'ANVERS
 AUX EXIGENCES DE LA NAVIGATION

ECHELLE 1/40.000

LÉGENDE:

- Frontières †††††
- Digues existantes [Symbol]
- Digues nouvelles [Symbol]
- Routes [Symbol]
- Auto-routes [Symbol]
- Chemin de fer [Symbol]
- Murs de quai et hangars [Symbol]
- Parois directrices [Symbol]
- Courbe 0 (0.00) [Symbol]
- Courbe 8 (-8.00) [Symbol]
- Nouvelles passes [Symbol]
- Surfaces à draguer ("phase") [Symbol]
- Terrains industriels [Symbol]
- Nouveau bassin et canaux [Symbol]



BRUXELLES
GOEMAERE, IMPRIMEUR DU ROI, ÉDITEUR
21, rue de la Limite

1944

