

Barcelone. — IV ^e Congrès international des villes, Séville, 1928.	Pages.
FRANCE. — Immeuble à loyer à bon marché de la ville de Paris.	600
— Les résultats de l'exploitation en 1925 des grandes compagnies de chemins de fer français	610
ITALIE. — Les petits mouvements périodiques du sol. — Le problème des sous-pressions aux barrages massifs. — III ^e Congrès international de l'organisation scientifique du Travail, Rome, 1927.	612
LA HAVANE. — Nouvelle route de plus de 1.125 kilomètres de longueur à Cuba	621
DIVERS. — La construction en blocs de béton. — Les constructions maritimes en 1926. — Influence de la dimension et de la forme des éprouvettes sur la résistance du béton à la compression.	624
Comptes Rendus :	
AMÉRIQUE. — <i>Proceedings of the american society of civil Engineers.</i> — La relation entre les profondeurs et la courbure des passes et des chenaux	630
BELGIQUE. — <i>Moniteur belge.</i> — Pêche sur la Meuse. Bouée. — Passage d'eau sur le chenal du port de Blankenberghe. — Haut-Escaut à Gand. Navigation. — Canal de Gand à Terneuzen. Navigation. — Canal de Loo. Navigation. — Lys. Navigation. — Budget des recettes et dépenses extraordinaires pour l'exercice 1927. — Meuse. Navigation. — Dendre canalisée et canal de Blaton à Ath. Droits de navigation. — Taxe de transmission. Modification. — Règlement général de jaugeage. Modification. — Frais de séjour des agents de l'État. — Canaux de Mons à Condé et de Pommerœuil à Antoing. Règlement particulier. — Loi du 22 juillet 1927, autorisant la Société Nationale des habitations à bon marché à émettre un emprunt de 110 millions de francs en vue de la réalisation de son objet.	636
FRANCE. — <i>Académie des Sciences.</i> — L'utilisation de l'énergie thermique des mers	643
SUISSE. — La Conférence mondiale de l'énergie. Congrès de Bâle 1926	647
Bibliographie :	
Histoire du livre et de l'imprimerie en Belgique. — Le béton armé dans les constructions civiles et industrielles (SANTARELLA). — Constructions scolaires italiennes, primaires et secondaires (SECCHI). — Comment compléter la législation sur le régime des eaux au point de vue technique et économique (D ^r CERNY). — Guide pour conducteurs et contremaîtres de chantiers de béton armé (R. HOFFMAN et E. KLESS). — Evacuation des eaux usées de sucreries (D ^r CERNY). — Détermination de l'effet des basses températures sur la résistance des mortiers et bétons au ciment (O. GRAF)	649

VUES PHOTOGRAPHIQUES HORS TEXTE :
 Montage du pont basculant de Selzaete.
 PLANCHE V.

MÉMOIRES

ÉTUDE

SUR LA FORMATION DE

L'ESCAUT MARITIME

ET DES

RIVIÈRES A MARÉE

DE BELGIQUE

LEUR ENTRETIEN ET LEUR AMÉLIORATION

PAR

R. HAENECOUR
 Ingénieur en chef Directeur des Ponts et Chaussées.

Suite et fin (1)

(1) V. fascicules nos 2 et 3 de 1927.

CHAPITRE III.

LA SITUATION ACTUELLE DE L'ESCAUT MARITIME; SON ENTRETIEN ET SON AMÉLIORATION.

PLANCHE II.

I. — Les conditions initiales du problème à résoudre.

S'il est une question, dans l'art de l'ingénieur hydraulicien, qui a soulevé des discussions, donné lieu à des commissions, suscité des recherches, engendré des rapports et tenté notamment les mathématiciens, les techniciens, les marins, les hydrographes et même les simples chercheurs, c'est bien celle de l'Escaut maritime actuel. Nous appuyons sur le mot actuel, car il semble que personne n'ait songé à remonter suffisamment loin dans le passé de façon à pouvoir établir ce que nous nommerons les conditions initiales du problème, personne ne semble avoir tenté d'analyser d'une façon systématique les modifications qu'ont subies les circonstances d'amont et d'aval, ainsi que celles du lit, ces éléments essentiels dans tout problème d'hydraulique.

Cependant, nous l'avons déjà prouvé dans les deux premiers chapitres de cette étude, ces modifications ont été tellement profondes, qu'il est réellement étonnant qu'elles aient échappé jusqu'à présent, d'une façon presque complète, à ceux qui se sont occupés de la question.

Ceux qui admettent implicitement que le fleuve à marée a toujours existé, et que les circonstances qui régissent le fleuve n'ont pas varié, en arrivent presque tous, malgré cela, à soulever le spectre de l'ensablement inévitable et fatal des rivières à marée. D'un côté donc, ils admettent l'immutabilité des circonstances, de l'autre côté, ils doivent envisager le dépôt de sédiments sur l'origine desquels ils gardent en général un silence prudent; d'un côté la naissance du fleuve est donc reculée indéfiniment dans le temps, de l'autre côté, sa mort est prédite à brève échéance. Ces contradictions semblent avoir échappé complètement aux partisans de l'ensablement inévitable.

A ce point de vue, il nous semble indispensable de faire remarquer ce qui suit :

L'eau nivelle sans cesse la surface de l'écorce terrestre, depuis le sommet des plus hautes montagnes jusque dans les fonds les plus bas de la mer. S'il n'y avait que cette cause qui agissait, l'on pourrait dire avec certitude que tous les cours d'eau sont fatalement condamnés à disparaître.

Dans cette hypothèse, contrairement à ce que l'on pourrait supposer à première vue, ce seraient les cours d'eau à marée qui subsisteraient le plus longtemps.

Heureusement, d'autres causes viennent agir en sens inverse de ce nivellement général, ce sont les mouvements de l'écorce terrestre qui élèvent les montagnes et abaissent le fond des océans, agissent sur les précipitations atmosphériques, donnent naissance à des fleuves, les développent et les transforment. Les rivières à marée sont plus sujettes que les autres à cette influence par suite de leur situation spéciale, qui est nécessairement proche de la mer, et dépourvue par conséquent de pente appréciable.

La naissance de l'Escaut maritime a été provoquée par un ensemble de causes qui ont toutes à leur base le mouvement de l'écorce terrestre. Ce mouvement, qui est continu, présente à certaines époques des recrudescences d'intensité; il y eut premièrement le tassement brusque du sol à la fin de l'ère quaternaire, qui provoqua la formation de la lagune tourbeuse et dirigea les eaux du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut vers l'Ouest; ensuite survint l'affaissement ayant mis fin à l'époque de la tourbe, qui permit le dépôt de l'argile dite des polders ou d'Ostende; enfin, se produisirent les ruptures à la côte flamande et zélandaise, qui eurent pour résultat final le percement du Hont et la formation de l'Escaut occidental.

Les deux dernières recrudescences dans le mouvement du sol furent accompagnées de phénomènes dus à la main de l'homme, à savoir: la modification du débit d'amont provoquée par les déboisements contemporains de l'époque romaine, et l'érection des digues latérales au fleuve limitant la deuxième invasion de la marée.

Le problème à résoudre peut en conséquence se poser de la façon suivante: *étant donné qu'au XII^e siècle environ il se créa une communication entre Bath, sur l'Escaut oriental,*

et un point de la côte où l'amplitude de la marée devait dépasser 5 mètres, alors qu'à l'embouchure existante elle n'atteignait que 2^m.50 environ, sachant de plus que les eaux, au fur et à mesure qu'elles s'élevèrent dans le fleuve et que le terrain s'abaissa, furent contenues latéralement par des digues établies aussi près que possible des rives, déterminer la situation d'équilibre vers laquelle va tendre le fleuve, tant en ce qui concerne le fond de celui-ci que la surface des eaux. Le problème se complique par ce fait que les circonstances d'aval sont dépendantes, dans une certaine mesure, de cette situation d'équilibre. Dire que le fleuve à marée doit fatalement s'ensabler, c'est prétendre que cette situation d'équilibre ne peut être atteinte et que le problème ne comporte pas de solution; en effet, l'équilibre, une fois réalisé, doit se maintenir aussi longtemps que les circonstances d'amont et d'aval et le niveau du terrain restent invariables.

Il est évident pour le surplus que cette situation d'équilibre comporte des modifications passagères ou périodiques, provoquées par les changements analogues qui se produisent dans les circonstances d'amont et d'aval.

Le problème d'hydraulique envisagé comporte, à notre avis, une solution consistant dans une situation d'équilibre correspondant à un minimum de transport par l'eau de matières solides et à une égalité entre les matières analogues importées par l'amont et par l'aval et celles évacuées par l'aval; aux premières il faut évidemment ajouter celles qui se forment dans le fleuve maritime et qui résultent en majeure partie de l'action de certains sels marins sur les eaux douces d'amont.

Nous n'envisageons plus dans cette situation des dépôts sans cesse croissants de terre de schorre; c'est dire évidemment que nous supposons tous les espaces libres du fleuve couverts de schorres non seulement mûrs, c'est-à-dire à la cote de la M. H. O., mais arrivés de plus à une cote telle qu'ils soient désormais sans influence sur le cours d'eau.

Il doit être bien entendu également que les marées, à l'embouchure, parcourent leur cycle habituel et que seule leur amplitude moyenne est constante, que le débit d'amont subit ses fluctuations périodiques et que sa valeur moyenne est invariable, enfin que les digues sont définitivement fixées et à l'abri de tout accident.

Il n'y a plus, dans ces conditions, dans le fond du fleuve, que des modifications temporaires qui font qu'il oscille autour d'une position moyenne qui caractérise sa situation, d'équilibre.

A ceux qui nous objecteraient que l'existence des schorres, ou plutôt d'espaces libres propres à servir d'emplacement à ces formations, est indispensable à la vie du fleuve, nous répondrons simplement que les digues formant les limites du lit sont des barrières artificielles qui ont été élevées pour contenir le flot montant de l'invasion marine, et que le fleuve les a simplement garnies et continuera à les garnir de ses sédiments, jusqu'au moment où la situation d'équilibre sera réalisée.

Nous pouvons signaler dès à présent que si l'endiguement de schorres le long d'un fleuve en voie d'approfondissement, dans la partie où l'amplitude de la marée est dans sa phase croissante, est de nature à diminuer la capacité de creusement du fleuve et d'abrèger la durée de son développement, au contraire, le long d'un fleuve, arrivé à son état d'équilibre, l'importance des schorres est devenue négligeable par définition, et la question de leur endiguement ne se pose plus. Si, pour une cause quelconque, le fleuve entre en régression, comme il est arrivé pour le Zwyn, l'endiguement des schorres peut être momentanément favorable à l'entretien des profondeurs du cours d'eau.

En résumé, nous estimons donc que si les circonstances d'amont et d'aval ainsi que le niveau du terrain, ne varient pas, le fleuve à marée, arrivé dans sa situation d'équilibre, peut subsister sans dragages, à condition que le débit d'amont ne vienne pas à être chargé de matières étrangères pouvant provoquer des dépôts dans le fleuve, ou de nature à donner une consistance anormale à ceux qui s'y forment temporairement, et qu'il ne vienne pas à se produire en mer, à proximité de l'embouchure, une cause de perturbation permanente qui charge le flot de matières en suspension.

Il ne s'agit pas, bien entendu, des dragages qui pourraient être jugés nécessaires pour améliorer les conditions de navigation, soit pour combattre les oscillations périodiques du fond, soit pour abaisser celui-ci d'une façon permanente.

Il convient également de ne pas perdre de vue que la situation d'équilibre ne peut être atteinte par une marche toujours croissante du phénomène de creusement du fleuve; il y aura

vraisemblablement vers la fin de cette période des régressions partielles du fleuve suivies de progressions analogues d'amplitude décroissante, oscillant autour de la position d'équilibre.

Notre maître Massau, dans des pages inoubliables (Mémoire sur l'intégration graphique des équations aux dérivées partielles, *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Ecoles Spéciales de Gand*, tome XXIII, 2^e livraison, 1900) a fait allusion à la façon dont une telle situation d'équilibre peut être atteinte :

« Il n'y a jamais de tâtonnements que quand il s'agit de trouver une position d'équilibre, un mouvement uniforme, un mouvement permanent parce que la matière elle-même n'atteint ces solutions particulières qu'après des espèces d'hésitations : oscillations ou convergences. »

Belpaire, dans son mémoire très intéressant sur l'amélioration du Rupel, *Annales des Travaux Publics de Belgique*, premier cahier, tome III, 1844, a voulu établir certaines conditions initiales; il n'est toutefois pas remonté suffisamment loin dans le passé, car il compare la situation actuelle à celle qui a dû exister immédiatement avant l'endiguement, c'est-à-dire au XIII^e siècle; il s'imagine que les digues ont été construites juste au bord de l'ancienne rivière et assigne par conséquent à celle-ci une largeur exagérée; il ignore que l'invasion de la marée a précédé de très peu l'érection des digues, et ne se fait pas la moindre idée de la préexistence d'une rivière, sinueuse et étroite, dont le tracé serpentait entre les digues actuelles; celles-ci ont été établies, en beaucoup d'endroits, à grande distance de la rivière primitive qui avait déjà envahi en partie son lit majeur au moment de l'endiguement.

Toutes les erreurs qui pèsent si lourdement sur les anciennes théories des fleuves à marée ont été érigées en principes par cet ingénieur et admises d'autant plus facilement que la conclusion maîtresse de son mémoire : faciliter la propagation de la marée, est exacte pour les fleuves à marée en période de creusement, c'est-à-dire pour l'Escaut actuel.

Chose curieuse, Belpaire signale un relèvement du fond de la Senne à Bruxelles, de 3 à 4 mètres, depuis le règne de Marie-Thérèse, ainsi que la disparition de la navigation sur cette rivière, dont la pratique était indéniable au XV^e siècle. Il s'agit probablement de l'affaissement du sol que nous avons déjà signalé, et qui ne s'est vraisemblablement pas commu-

niqué à la région de Bruxelles; dans cette hypothèse, la pente de la Senne se serait accentuée par cet affaissement, ce qui a dû entraîner inévitablement une diminution de section pour la rivière, et des entraves insurmontables pour la navigation. Il n'y aurait donc pas eu relèvement à Bruxelles, mais bien affaissement dans la région située plus en aval.

Avant de reprendre l'examen de la situation créée dans le fleuve par la deuxième invasion de la marée, il est nécessaire de signaler que certains raisonnements par lesquels l'on prétend prouver la thèse de l'ensablement inévitable des rivières à marée, peuvent se retourner et montrer également le creusement fatal et indéfini; ces raisonnements et leurs conclusions sont donc à rejeter.

II. — La période des grandes perturbations.

Ainsi que nous l'avons déjà esquissé, la période de creusement général et intense du fleuve, doit être suivie d'une lente progression du flot, qui se termine par une série d'oscillations d'amplitude décroissante, convergeant vers la position d'équilibre qui en constitue la limite.

Dans l'Escaut maritime, le creusement du fleuve a toutefois été suivi, ou plutôt arrêté, par une période de perturbations profondes que nous allons décrire rapidement, et qui a été provoquée par les inondations artificielles ou accidentelles qui se produisirent le long de la partie moyenne du fleuve à partir du XVI^e siècle. L'histoire mentionne, avant cette date, un grand nombre de ruptures de digues, mais il est probable que les brèches furent rapidement bouchées et que ces accidents n'eurent pas de répercussions sur la situation générale du fleuve; il n'en fut plus de même pour les événements qui suivirent et qui sont relatés ci-après.

En 1530, une inondation submergea la moitié Nord de la pointe Est de l'île de Sud-Beveland, ainsi que le polder de Saeftingen; la plupart de ces terres devaient être définitivement englouties ou le furent lors d'inondations subséquentes; celle du 28 novembre 1570 notamment, qui dépassa presque partout les digues, entraîna à peu près tout ce qui restait encore de la terre de Saeftingen.

En 1576, commencent les inondations défensives autour d'Anvers. La ville est prise par les troupes espagnoles, qui com-

mandent ainsi le passage par le fleuve; les États Généraux, pour rétablir la navigation en leur faveur, percent les digues du polder de Borgerweert, de façon à pouvoir y naviguer; l'année suivante la ville est toutefois abandonnée par l'armée occupante, et le dit polder est réendigué.

En 1583, les hostilités sont reprises et les partisans des États-Généraux tendent une série d'inondations le long de l'Escaut, pour empêcher la reprise d'Anvers par les Espagnols; quand finalement le 17 avril 1585, la ville capitule, la situation était la suivante, abstraction faite de l'Escaut oriental.

Tous les polders de la rive gauche de l'Escaut, depuis Burght jusqu'à Saeftingen et La Clinge sont inondés; il en est de même pour ceux de la rive droite de Weert jusqu'au Rupel et de Hoboken à Santvliet, exceptés ceux de Muysbroeck et d'Ettenhoven; le long du Rupel l'inondation s'étend sur toute la rive gauche et atteint même le polder de Battenbroeck.

La superficie de cette immense nappe atteint plus de 500 kilomètres carrés non compris les terres inondées de l'île de Sud-Beveland. Il n'y a pas de doute qu'il se constitua ainsi un réservoir régulateur de la marée; l'amplitude de celle-ci dans le fleuve, dut décroître sensiblement en amont, provoquant ainsi une régression dans cette partie du fleuve, et des perturbations profondes dans toute la section contiguë à la zone inondée. Ces perturbations durent se propager également dans les deux estuaires du fleuve, où elles furent probablement accompagnées d'une recrudescence dans le creusement; nous estimons en effet que la majeure partie des précipitations argileuses qui doivent nécessairement se former dans le fleuve par suite notamment de l'action de certains sels marins sur les eaux douces d'amont, se déposèrent dorénavant dans ce bassin régulateur, facilitant ainsi l'action érosive des courants dans la région située en aval. A l'entrée de la zone inondée le flot fut surchargé de sable, à la sortie, le jusant revint considérablement épuré par décantation sur les polders inondés; les conséquences de cet état de choses ne nous semblent pas douteuses.

Si nous ajoutons à cela le fait que l'Escaut oriental dont l'existence est incontestablement une cause d'affaiblissement pour l'Escaut occidental et pour la partie du fleuve située plus en amont, se détache de celui-ci à proximité de la limite aval de la zone inondée, l'on comprendra facilement pourquoi

le creusement du fleuve semble s'être effectué d'une façon beaucoup moins intense en amont de Bath qu'en aval, et pourquoi les méandres de la rivière primitive, situés en amont, protégés par les concrétions dont nous avons signalé l'existence, résistèrent dans leur ensemble à l'action érosive des courants.

Quand, plus tard, comme nous l'exposerons plus loin, la zone inondée fut à nouveau réendigüée presque complètement, un mal irréparable était accompli; le fleuve avait eu le temps de garnir ses digues de vastes schorres dans toute la région en amont de Bath, la section s'y était donc notablement rétrécie, et le creusement du fleuve ne put reprendre avec assez de vigueur pour atteindre le stade auquel il serait arrivé sans les circonstances défavorables que nous venons d'indiquer.

Nous avons affirmé tantôt que l'existence de l'Escaut oriental était une cause d'affaiblissement pour le fleuve; nous nous basons en cela sur les considérations que nous avons développées au commencement du deuxième chapitre de cette étude, considérations résultant du fait que l'amplitude de la marée à l'embouchure de ce bras est de beaucoup inférieure à celle qui existe à Flessingue à l'embouchure de l'Escaut occidental. Nous avons également montré auparavant qu'un tel bras doit s'oblitérer fatalement; en ce disant, nous n'entendons pas prétendre que ce bras aurait dû se boucher naturellement d'une façon complète; il est même probable que la situation d'équilibre à laquelle serait arrivé l'Escaut sans le barrage de ce bras, aurait encore comporté une communication plus ou moins importante avec l'estuaire oriental. Il résulte de tout cela que l'on peut admettre à priori que le barrage de ce bras, ainsi que celui du Sloe, a été favorable au fleuve parce qu'il a dû provoquer une progression temporaire dans le cours d'eau; nous verrons plus loin que cette progression, probablement de peu de durée, doit être accompagnée d'une rectification en plan dont la réalisation est en cours, et dont la durée sera beaucoup plus longue.

Voici maintenant quelques indications au sujet de la durée pendant laquelle certains de ces polders restèrent inondés :

Le polder s'étendant depuis Anvers jusqu'à la digue de Cauwenstein, de 1585 jusque vers 1590, et de 1632 à 1722, toutefois, dès 1638, le polder Ferdinand est créé et soustrait à l'inondation, de même qu'en 1649 la construction de la digue

de Wilmarsdonck vint soustraire aux eaux les polders d'Austruweel et d'Eeckeren réunis.

Les polders de Lillo et de Stabroeck, sous eau depuis 1584, sont réendigüés en 1650; Kieldrecht est réendigüé en 1653 ainsi que Calloo, Doel avait déjà été réendigüé en 1614, en même temps que Sainte-Anne, auquel on annexa le schorre primitif de Keetenisse.

En 1688 on réendigüe une partie du polder de Saeftingen, sous le nom de polder d'Arenberg.

En 1715, le polder de Namur, situé à l'Ouest de celui de Saeftingen, qui avait échappé jusqu'à cette date aux désastres, fut inondé à son tour, et abandonné définitivement deux ans plus tard.

Enfin, au siècle passé, l'on créa encore, sur l'ancienne terre de Saeftingen, une série de polders; ceux-ci ne peuvent toutefois plus être considérés comme des réendigüements de l'ancien polder de Saeftingen, mais constituent plutôt des endiguements nouveaux des schorres qui s'étaient formés en cet endroit.

En résumé, au XVIII^e siècle, il ne resta guère plus de 50 kilomètres carrés de terres submergées, et l'on peut dire que les causes de perturbation durent cesser de produire des effets sensibles vers cette époque; une tendance vers la régularisation dut débiter ensuite, ses effets ne devinrent toutefois sensibles que dans le courant du siècle suivant. Une partie de la terre submergée du Sud-Beveland a également été reconquise sur les eaux, mais ce gain ne peut évidemment plus avoir d'influence sur le fleuve depuis le barrage de l'Escaut oriental.

III. — La régularisation du fleuve.

Quand un fleuve tel que l'Escaut maritime, approche de sa situation d'équilibre, son tracé, ses passes, ses chenaux, ses profondeurs et largeurs, l'amplitude de la marée, en un mot, toutes les caractéristiques du lit et du cours d'eau se régularisent, c'est-à-dire qu'un régime s'établit, et que le cours d'eau, de sauvage qu'il était, ou plutôt apparaissait auparavant, devient plus régulier et semble obéir dorénavant à des lois déterminées.

Il n'est pas possible, en effet, de concevoir cet état d'équilibre sous une forme telle, que nulle loi ne puisse s'y manifester par des signes bien visibles.

Nous en concluons que dans un tel fleuve, dès que des manifestations de cette espèce se produisent, dès qu'il est possible à l'observateur de les déceler, et au chercheur de les faire apparaître de telle façon qu'il lui devient possible de formuler des lois qui leur paraissent applicables, on peut affirmer avec confiance, que la situation d'équilibre se dessine et approche.

C'est ce que nous allons essayer de faire pour l'Escaut.

En dehors de ces lois qui caractérisent la situation d'équilibre et s'appliquent donc à un état permanent qui doit se réaliser, ou plutôt à une limite vers laquelle tend le fleuve, il y en a d'autres qui expriment les modifications temporaires ou périodiques qui se produisent dans le lit, en fonction des variations accidentelles ou régulières des circonstances d'amont ou d'aval.

Ces modifications sont probablement noyées dans les transformations générales du fleuve pendant toute la période de creusement et de perturbation, et les lois qui les régissent ne peuvent apparaître clairement que vers la période d'équilibre, en même temps que celle-ci se dessine.

Les lois qui appartiennent à la première catégorie ne pourront évidemment pas être vérifiées par constatation directe, tout au moins pas par la génération actuelle, étant donnée la lenteur avec laquelle marche le phénomène de la formation du fleuve; au contraire, celles qui relèvent de la deuxième catégorie, peuvent subir immédiatement l'épreuve de l'expérience, il suffit d'attendre l'expiration de quelques cycles par lesquels passent les circonstances d'amont ou d'aval, c'est-à-dire le débit d'eau douce et la marée.

Il ne s'agit pas, bien entendu, dans ce qui précède, des modifications périodiques de peu d'ampleur que subit le lit du fleuve en fonction de la marée, indépendamment de la variation de l'amplitude de celle-ci; ces modifications obéissent également à des lois qui ne sont toutefois pas propres à la situation d'équilibre, et qui doivent apparaître dès la période de creusement. Ces lois, basées sur les règles générales de la physique et de la mécanique, existent évidemment dans toutes les rivières à marée, même dans celles qui ont été modifiées artificiellement de telle façon qu'il ne peut plus être question de situation d'équilibre naturel.

La connaissance de ces lois ne permet donc pas d'affirmer l'existence de cette situation d'équilibre, mais il est indispen-

sable de faire connaître certaines d'entre elles avant de rechercher celles qui sont inhérentes à cette situation, ainsi que celles qui expriment les modifications du lit en fonction des variations des circonstances d'amont et d'aval.

IV. — L'action de la marée sur le fond du fleuve.

Nous n'avons pas connaissance de recherches systématiques effectuées sur l'Escaut dans le but de déterminer cette action; ces recherches devraient consister dans des opérations de sondage, de mesure de courants superficiels et profonds, de prélèvements d'échantillons d'eau dans le double but de déterminer la teneur en sels et celle des matières en suspension, de prise d'échantillons du fond naturel ou mobile du fleuve; enfin, l'observation des mouvements à la surface de l'eau devrait être pratiquée d'une façon méthodique et complétée, le cas échéant, par la prise de photographies par avion. Le « Nieuwe Waterweg » en Hollande, reliant Rotterdam à la mer, sur lequel des recherches semblables ont été effectuées, voir revue *De Ingénieur*, 17 septembre 1921, n° 38, compte rendu d'une conférence par l'ingénieur J. J. Canter Cremers, est une rivière à marée « améliorée » dont le pourcentage du débit d'amont vis-à-vis de celui du flot, est environ quatre fois plus grand que pour l'Escaut, et dont l'amplitude moyenne de la marée à l'embouchure est deux et demi-fois moindre que pour ce fleuve; c'est, somme toute, une petite rivière à marée vis-à-vis du développement magnifique de l'Escaut. De plus le « Nieuwe Waterweg » est maintenu dans un état d'équilibre artificiel par des dragages quasi-permanents, et les apports de sable par les eaux d'amont, ainsi que par le flot, n'y semblent guère contestables.

Il ne serait toutefois pas permis de dire que les phénomènes qui ont été observés dans cette rivière, se produisent uniquement dans la région d'embouchure des fleuves à dimensions restreintes où le débit supérieur joue un rôle important, parce que là seul se produirait à chaque marée un contact entre des couches de densité très différentes, et parce que par conséquent là seul pourraient se produire, en un point donné, pendant l'espace d'une marée, des variations rapides dans la densité de l'eau; ces variations sont en effet les causes primor-

diales de certains phénomènes observés dans le Nieuwe Waterweg.

Examinons premièrement dans ce but les données existantes au sujet de la salure des eaux dans l'Escaut :

En mer 1025 ;

A Flessingue 1020 ;

A Hoedekenskerke, près de Hansweert, 1015 ;

A Bath 1014 à 1007 ;

A Anvers 1002 à 1000 ; en temps normal les eaux y sont douces à marée basse sur la rive gauche.

A l'embouchure du Rupel les eaux peuvent être considérées comme douces en permanence, sauf le cas de perturbation extraordinaire. Il semble que l'on puisse conclure de ces indications que la salure dans l'estuaire en aval de Bath, croît régulièrement jusqu'en mer et qu'il est probable qu'en un point donné, dans l'espace d'une marée, elle varie entre des limites très étroites ; au contraire, à Bath même et dans une section s'étendant en temps normal jusque près ou au delà d'Anvers, le degré de salure varie entre des limites plus ou moins éloignées. Il nous semble permis d'affirmer que dans cette région, si pas à chaque marée, tout au moins lors de nombreuses circonstances, périodiques et accidentelles, la densité varie rapidement en un point donné pendant une marée, de sorte que les causes qui produisent les phénomènes observés dans le Nieuwe Waterweg, y existent également.

Nous citerons notamment à ce sujet un fait qui n'a jamais été signalé et qui nous semble d'une importance capitale : vers la marée basse toutes les écluses de décharge de cette région s'ouvrent et évacuent pendant deux heures en moyenne, les eaux complètement douces provenant du débit total pendant l'espace d'une marée, de tous les cours d'eau traversant la région poldérienne. Ce débit n'est nullement négligeable ; pour les Schyns et autres cours d'eau qui débouchaient jusqu'en 1925 dans le coude d'Austruweel, et qui ne fournissent qu'une partie de ce débit, il atteint en moyenne environ 10 mètres cubes par seconde.

Ces eaux douces viennent littéralement recouvrir la tête de flot, composée dans cette région d'eaux relativement salées et nous croyons que rien que ce fait est de nature à justifier l'affirmation que nous avons émise ci-dessus.

De plus, à chaque variation brusque du débit d'amont, lors

de l'arrivée de la tête de crue, à chaque marée exceptionnelle, des couches de densité très différentes doivent être mises en contact. Enfin, si l'on considère le cycle d'une lunaison complète et que l'on fait abstraction des perturbations possibles, la variation de l'amplitude de la marée passe, pendant cet intervalle, quatre fois par un maximum qui correspond chaque fois à un maximum d'amplitude par marée des limites de la densité en un point donné.

Des causes semblables à celles qui existent dans le Nieuwe Waterweg, près de l'embouchure, agissent donc également dans l'Escaut, dans la région moyenne du fleuve ; des effets semblables ou analogues doivent donc s'y produire.

Le débit d'amont dans cette région est encore relativement très peu important, mais son influence, loin d'être négligeable, comme on l'admet généralement, est même absolument prépondérante dans les modifications passagères que subit le fleuve ; nous le montrerons plus loin.

Voici, en résumé, les conclusions générales que l'on peut déduire des observations faites dans le Nieuwe Waterweg et qui nous semblent applicables à l'Escaut maritime.

Il y a, en aval d'Anvers, une région dont nous ne pouvons préciser la longueur, mais qui comprend certainement Bath, dans laquelle la densité en un point donné varie entre des limites assez larges par marée ; cette région se déplace vers l'amont quand les circonstances d'aval augmentent d'intensité ou quand celles d'amont diminuent ; le mouvement inverse se produit dans les cas contraires.

C'est dans cette région, que l'on peut qualifier de saumâtre, que se produit principalement le phénomène que l'on appelle le mouvement secondaire de l'eau et qui résulte essentiellement du fait que la densité de l'eau y est variable, dans les différents points d'une section transversale, et croît en général de la surface vers le fond.

Si l'on suppose dessinées les lignes d'intersection d'un profil en long du fleuve, avec des surfaces d'égale densité de l'eau, l'on obtient des lignes en pente de l'aval vers l'amont. Cette pente est la plus forte là où les limites entre lesquelles oscillent les densités sont les plus écartées, dans la région donc de l'eau saumâtre. Il se produit ainsi un mouvement vers l'amont d'eau salée, plus intense près du fond que vers la surface, et un mouvement d'eau douce vers l'aval, plus intense à la surface qu'au fond ; c'est le mouvement secondaire.

Comme la distribution des vitesses, par suite de la résistance des parois seule, tend à placer la vitesse maximum vers la surface, il en résulte finalement que les vitesses du flot sont plus grandes que celles du jusant vers le fond, et que l'inverse se réalise à la surface et près des rives.

A certains moments, dans la région saumâtre, il peut aussi y avoir jusant superposé au flot.

C'est donc en général le flot qui devrait attaquer le fond et le jusant les rives; mais, dans la région des eaux salées, et dans celles des eaux douces, la densité ne varie presque pas dans une section transversale, et rien ne s'oppose à un échange de molécules de vitesse différente entre les différentes couches liquides. C'est ce que l'on a appelé la turbulence du mouvement, et il en résulte une uniformisation des vitesses le long des parois. Comme dans ces régions, sans cette turbulence, les vitesses du flot et du jusant seraient peu différentes, il en résulte que l'action de ces deux courants tend sensiblement au même but, et que par conséquent une situation d'équilibre peut s'établir. En temps normal, c'est-à-dire en dehors des perturbations dans les circonstances d'amont et d'aval, il n'y a donc pas d'attaque des parois dans ces régions par les courants de marée, abstraction faite des modifications qui résultent des variations régulières et périodiques de l'amplitude de celle-ci.

Il n'en est plus de même dans la région saumâtre, où la différence de densité dans une même section transversale empêche la turbulence définie ci-dessus, et où l'action du mouvement secondaire est au contraire aggravée par les courants transversaux qui dérivent directement de ce mouvement; ces courants longent le fond en le remontant vers chacune des rives pendant le flot et s'écartent des rives vers le centre de la section pendant le jusant; à la surface, pendant le flot, l'eau se concentre vers l'axe et cette surface devient ainsi concave, le mouvement inverse a lieu pendant le jusant et la surface devient convexe. Ces courants transversaux se combinent évidemment avec les autres; le résultat final est un antagonisme complet entre le flot et le jusant qui se combattent presque partout en permanence; le flot creuse les parties profondes et dépose ses produits à proximité, le jusant attaque les rives et abandonne ses matériaux plus loin, de préférence dans les profondeurs.

La présence de ces courants transversaux est décelée dans le fleuve par les anomalies que présentent les mouvements des flotteurs que l'on lâche dans la région de Bath pour la mesure des courants superficiels, ainsi que par les observations directes de la surface du fleuve, notamment à Anvers; ces courants démontrent l'existence du mouvement secondaire dans cette région.

Nous attribuons également le phénomène connu à Anvers sous le nom de « Le diable dans l'eau », aux perturbations brusques produites dans le mouvement secondaire, au moment où le flot d'une marée extraordinaire commence à se déverser par dessus le banc des Anguilles, atterrissement situé en face du coude d'Austruweel sur la rive gauche du fleuve.

La conclusion pratique à retenir de ces considérations est qu'en temps normal, c'est-à-dire en dehors des perturbations, de grandes quantités de matières solides sont constamment en mouvement dans la zone envisagée du fleuve; des modifications continuelles, mais de peu d'ampleur, se produisent là sous l'action du flot et du jusant. Il y a donc là des transports qui changent alternativement de sens avec la marée, de sorte qu'il n'y a pas de transport général dans un sens, bien entendu abstraction faite de celui qui résulte de la tendance vers la situation d'équilibre lorsque celle-ci n'est pas encore réalisée.

On ne peut perdre de vue également que la complication des phénomènes constatés est extrême et qu'il faut examiner les situations dans chaque cas particulier.

V. — Les lois inhérentes à la situation d'équilibre.

Nous n'avons pas été en situation d'approfondir le problème au point de vue marégraphique; les observations systématiques et complètes dans ce domaine sont d'ailleurs de date encore trop récente pour permettre de déceler une stabilisation ou une régularisation, et montrer par conséquent l'approche de la situation d'équilibre. Seules les cartes hydrographiques donnent des indications suffisamment éloignées dans le temps pour permettre éventuellement une affirmation à cet égard.

Avant d'analyser ces documents, il convient toutefois de présenter quelques observations générales à leur sujet.

Ces cartes, contrairement aux plans terrestres, indiquent les profondeurs en dessous du plan de comparaison et non les

élevations en dessus de ce plan. Ces profondeurs, pour des cartes de fleuves tel que l'Escaut, sont figurées par des courbes de niveau dessinées d'après des points de sondage isolés. Là où les profondeurs varient peu, le problème du dessin de ces courbes n'est pas déterminé et comporte plusieurs solutions; il convient donc de ne pas attacher trop d'importance en ces endroits, aux détails de ces cartes.

Parmi ces courbes, il est d'habitude d'en faire apparaître une plus clairement que les autres, en la dessinant par exemple en gros traits; dans l'Escaut c'est celle de 8 Ms. Il est convenu qu'elle délimite la passe navigable. (Plan II, fig. 1.)

Comme les profondeurs sont évidemment plus fortes le long des rives concaves que du côté opposé, et que dans la rivière à l'état naturel une courbe est toujours suivie d'une contre-courbe, l'on obtient ainsi une série de fosses ou « mouilles » le long des rives concaves, se terminant à une distance plus ou moins grande des points d'inflexion séparant les courbes successives. Le passage d'une mouille à une autre au-dessus de l'axe de la rivière s'appelle « seuil ».

Au fur et à mesure que l'on approche de l'extrémité amont du cours d'eau maritime, les profondeurs d'eau, ainsi que le développement des mouilles diminuent, tandis que la longueur des seuils augmente.

Dans la partie moyenne du fleuve les mouilles chevauchent les unes sur les autres, et il semblerait à première vue que deux seuils devraient exister à chaque point d'inflexion, correspondant aux extrémités des deux mouilles d'amont et d'aval. En réalité, le passage correspondant à l'extrémité aval de la mouille d'amont, débouchant dans le creux de la mouille d'aval, est de beaucoup plus praticable que celui formé par le prolongement de l'extrémité amont de la mouille d'aval. Cette extrémité est, en effet, généralement séparée de la mouille d'amont par un banc mobile, de sorte que le passage ne se fait pas au-dessus de l'axe de la rivière mais longe la rive convexe, et débouche approximativement dans l'extrémité aval de la deuxième mouille d'amont. Ce passage d'une mouille à la deuxième mouille d'amont, en évitant la mouille intermédiaire, présente des profondeurs beaucoup moindres que le premier passage, et constitue une fausse passe; le seuil correspond donc naturellement à l'extrémité aval de la mouille d'amont et non

à l'extrémité amont de la mouille d'aval dénommée « schaar ». (Plan II, fig. 2.)

Dans l'estuaire proprement dit du fleuve ces schaaars acquièrent un développement considérable et vont rejoindre pour ainsi dire l'extrémité aval de la deuxième mouille d'amont; il se crée ainsi deux passes navigables continues, mais de profondeur réduite au droit du sommet des rives convexes; ces passes continues longent chacune des rives et ne peuvent être utilisées sur toute leur longueur par la grande navigation. (Plan II, fig. 1.)

Celle-ci emprunte en général un tracé formé par les mouilles, allant alternativement d'une rive à une autre, en passant au-dessus des seuils. Il est à remarquer que les mouilles ne sont utilisées ainsi que sur la moitié de leur longueur, depuis l'extrémité aval jusqu'au sommet de la courbe, endroit ou débouche approximativement la mouille d'amont.

Les schaaars sont encore désignés en flamand sous le nom de « vloedzak », c'est-à-dire poche de flot; ils sont, en effet, le produit de ce courant. Ils sont soustraits pendant un temps plus ou moins long au jusant; ainsi vers M. B. le courant du premier flot se déverse par les fausses passes dans la passe principale alors que le jusant règne encore dans celle-ci.

Les extrémités des schaaars sont remarquablement fixes; elles dépendent, en effet, des conditions d'aval dont les variations sont peu intenses et de petite durée. Au contraire, les extrémités aval des mouilles, creusées sous l'influence du jusant, éprouvent des modifications profondes correspondant à celles qui se produisent dans les circonstances d'amont; nous développerons ce point dans le paragraphe suivant.

En résumé, dans l'estuaire, il y a tendance à la formation de deux passes continues longeant les rives, reliées par des seuils rattachant l'extrémité aval des mouilles au creux de la mouille aval suivante; ces seuils se trouvent à proximité ou même en communication avec la pointe du schaar aval voisin, qu'il n'est évidemment plus possible de qualifier dans ce dernier cas de fausse passe ou même de schaar.

Dans la région moyenne du fleuve, comprise approximativement entre Bath et Anvers, les passes le long des rives ne sont plus continues, et toute la navigation, sauf celle de très petit tonnage ou tirant d'eau, doit se faire en passant alternativement d'une rive à une autre en longeant les concavités.

La passe navigable dans cette région, traverse la rivière en aval du point d'inflexion, à une distance d'autant plus petite que l'on est plus éloigné de l'embouchure. Dans la partie amont de la rivière maritime, l'importance des mouilles diminue graduellement et les seuils occupent des longueurs de plus en plus fortes.

Il est à remarquer que la partie moyenne de la rivière que nous avons envisagée, celle où existent les fausses passes et les schaaars est précisément la section dans laquelle l'eau peut être considérée comme saumâtre en temps normal, et où de grandes quantités de matériaux sont constamment en mouvement. Nous exposerons plus loin qu'il peut se produire là également des modifications profondes et rapides sous l'empire notamment des perturbations qu'éprouvent les circonstances d'amont.

Quand on examine et compare entre elles, les cartes dressées en 1799 et 1800 par M. Beautemps-Beaupré, ingénieur hydrographe de la Marine française, qui sont les plus anciens documents de ce genre, celles de la Marine néerlandaise de 1862 et 1892, celles du lieutenant de vaisseau L. Petit, dressées de 1879 à 1881, et celles plus récentes des services hydrographiques belge et néerlandais, il n'est pas possible de nier qu'une régularisation presque complète s'est effectuée dans le fleuve en l'espace d'un siècle. Nous avons essayé de formuler les lois qui régissent cette régularisation quant à la forme en plan des passes navigables, abstraction faite de la forme générale du lit. Celle-ci a été déterminée par les circonstances que nous avons déjà exposées auparavant, et elle peut être considérée comme définitivement fixée et délimitée par les digues, sauf dans la région de Saeftingen-Bath.

Les irrégularités que présente le lit, tant dans sa forme générale que dans la nature du fond, sont cause que les lois inhérentes à la situation d'équilibre ne peuvent se manifester partout avec la même netteté; il est donc nécessaire de passer en revue les irrégularités les plus manifestes que présente le fleuve.

VI. — Les irrégularités du fleuve.

(Voir cartes hydrographiques et l'Etude sur l'amélioration des ports en plage de sable, par P. De Mey. Atlas, planches XV et XVI).

1° *Le Sloec*. — L'existence de ce bras, barré vers 1871, et dont

l'envasement depuis 1800 était indéniable, provoquait anciennement la formation d'un banc se détachant du « Kaloot » et s'avancant en pointe jusque devant Flessingue; ce banc semble avoir définitivement disparu.

2° *Le Braeckman*. — Ce bras qui constituait anciennement l'entrée du canal vers Gand, a été fortement réduit par des endiguements.

La conséquence en est que la passe dans laquelle ce bras débouchait du temps de Beautemps-Beaupré, a fortement diminué en largeur depuis lors; cette passe est en réalité le premier schaar du fleuve, mais elle souffre évidemment du voisinage de l'embouchure, qui donne au flot une direction qui lui est défavorable. En outre, le fleuve, dont l'entrée présente incontestablement une concavité sur la rive droite à Flessingue, n'est pas limité en face par une rive convexe; il en résulte une orientation défectueuse pour le schaar en question, et un développement exagéré des bancs compris dans ce renflement du fleuve. Malgré cela, le schaar semble s'être soudé depuis la fin du siècle dernier à l'extrémité aval de la deuxième mouille du fleuve, dite « passe de Terneuzen » à proximité du premier seuil, conformément à la loi générale indiquée plus haut.

3° *L'Escaut oriental et les élargissements à Bath*. (Voir pl. II, fig. 2). — Cet ancien émissaire du fleuve a été barré en 1867, alors qu'il était dans une période de décrépitude très avancée. Il n'y a pas de doute à notre avis que l'approche de la fin naturelle de ce bras a provoqué l'oblitération de la passe de Waarde, sa transformation en schaar, la naissance du puissant schaar du Nord, ainsi que la formation de celui contourant les Ballast Platen et se terminant par l'Appelzak. Tous ces événements doivent s'être produits entre l'époque de Beautemps-Beaupré et celle de Blommendaal, auteur des cartes néerlandaises de 1862.

Depuis la fermeture artificielle de l'Escaut oriental, cette régularisation s'est encore accentuée, favorisée par l'existence des terres submergées de Saeftingen et par les endiguements progressifs auxquels on se livre autour des schorres mûrs de la rive droite, entre Berendrecht et Bath.

De l'examen approfondi des cartes hydrographiques il résulte que les Ballast Platen se sont déplacés de plus d'un kilomètre vers l'ouest, dans l'espace de moins d'un demi-siècle, poussant devant eux la passe de Saeftingen et les bancs de ce nom.

Nous sommes donc encore loin en cet endroit d'une position stable, et nous estimons que celle-ci comportera, si la main de l'homme n'y met pas d'obstacles, une situation pouvant se caractériser comme suit : la forme générale du lit comportant un coude prononcé vers Bath doit se rectifier presque complètement, de façon à amener la suppression d'une courbe et d'une contre-courbe constituées par la passe de Bath et celle de Saef-tingen. Cette situation se réalisera par le déplacement progressif du schaar du Nord vers le Sud, de façon à venir déboucher finalement dans le schaar du Prosper ; en même temps les passes de Santvliet, de Saefingen et de Bath, doivent se réunir en une seule courbe, passant approximativement par l'île de Saefingen et d'un développement en rapport avec celui des courbes voisines. Le schaar de l'Appelzak doit s'éteindre dès que les trois passes susmentionnées se seront fusionnées en une seule mouille.

Il est évident que les événements esquissés ci-dessus ne pourront se passer que progressivement.

Nous ne croyons d'ailleurs pas pouvoir envisager une opération telle qu'une coupure à pratiquer sur le fleuve à cet endroit ; seuls des endiguements intensifs à l'est des Ballast Platen nous paraissent à conseiller si l'on voulait hâter l'évolution du fleuve dans cette région.

La marche du phénomène de rectification du fleuve en cet endroit est caractérisée également par la position de la passe de Saefingen vis-à-vis de l'ancien fort désaffecté de Bath.

Sur les cartes de Beautemps-Beaupré, l'alignement de cette passe est à environ un kilomètre à l'est de Bath ; en 1862, la passe pointe droit sur cette localité ; actuellement elle s'éloigne à plus d'un kilomètre à l'ouest.

La génération actuelle ne verra probablement pas la fin de cette évolution.

4° *Les fonds durs du fleuve.* — A partir de Bath l'on entre dans la région du fleuve où nous avons montré l'existence de concrétions ferrugineuses ayant fortement résisté aux courants ; certaines de ces formations n'ont pu être entraînées par l'eau, et forment ce que l'on appelle les fonds durs de l'Escaut. Ils se décèlent sur les cartes hydrographiques par des perturbations remarquablement fixes dans les courbes de niveau, des coups de sonde très rapprochés donnant des profondeurs variant de plusieurs mètres. Il arrive même quelquefois que ces fonds

durs échappent au sondeur, et se retrouvent ensuite quelque temps après ; cela provient de ce que ces fonds sont quelquefois très escarpés, et se présentent même sous forme de voûte trouée.

C'est l'existence de ces concrétions qui a donné à l'Escaut sa forme sinusoïdale si accentuée et qui a fortement entravé l'action de la marée dans son œuvre de creusement général du fleuve. Ainsi que nous l'avons déjà signalé, ce creusement général a été interrompu par la période des grandes perturbations du fleuve, ce qui eut pour résultat de garnir prématurément les rives d'une épaisse couche d'alluvions dans la région qui nous occupe ; le mal fut encore aggravé par l'endiguement intempestif de toute une série de schorres tel que celui des Peerdenschorren, de Keetenisse (nouveau), de Wytvliet, de Krankeloon et du Realpolder. La période des perturbations avait d'ailleurs débuté par l'établissement des forts Frédéric, de Lillo, de Liefkenshoek, Ste-Croix, St-Philippe, Ste-Marie, etc., formant étranglement pour les fortes marées, et dont l'effet pernicieux n'est pas contestable. Le creusement général ne put reprendre ensuite, et c'est la phase de la régularisation qui débuta.

Une partie de la puissance hydraulique du fleuve s'use donc sans nécessité dans toute cette région par suite des sinuosités du lit et de l'irrégularité du fond et des rives en accentuant le déplacement des matériaux mobiles dans cette région.

Sans les circonstances défavorables que nous venons de mettre en lumière, cette section du fleuve eut pu constituer le prolongement de l'estuaire, avec une double passe navigable continue à courbes et contre-courbes de grand développement, se soudant par des passes transversales, sans seuils formant entraves pour la grande navigation.

La rectification du coude de Bath se fut sans aucun doute effectuée dans ce cas sans tarder, et les plus grands navires fréquentant actuellement l'Escaut auraient pu arriver jusqu'à Anvers et y effectuer leur manœuvre d'évitage, sans sujétion de marée.

L'étude minutieuse des cartes hydrographiques de cette section du fleuve nous permet d'affirmer l'existence de fonds durs aux endroits suivants :

Sur la rive gauche de la passe de Saefingen à la côte (—8.00), au droit de l'île de ce nom.

Sur le bord d. de l'extrémité amont de cette même passe à (—7.00).

En pleine passe de Santvliet, au droit de l'extrémité amont du banc de Doel, à (—8.00).

Sur la rive droite de cette passe, en différents endroits, en face du Frédéric, à (—6.00), où se sont creusées de véritables galeries souterraines.

Dans la berge d. à mi-distance entre le Belgiësluis et Lillo, à (—5.00). De grandes quantités de matières concrétionnées furent draguées à proximité de cet endroit en 1897.

En aval du fort La Perle, à l'extrémité amont de la mouille du Kruisschans, à (—7.00).

Dans la berge g. du fleuve au droit du Real Polder, à (—7.00), et, finalement, au droit du Boerinnensluis, à (—3.00). Nous avons eu déjà l'occasion d'analyser les produits de ce dernier fond dur.

Il convient de signaler également le phénomène remarquable qui se passa en 1880, dans une partie de la section considérée du fleuve : la passe navigable abandonna la rive gauche pour la rive droite entre Lillo et le feu du Kruisschans, ce dernier situé entre le Vieux-Kruisschans (Ste-Croix) et le Belgiësluis ; il n'y a pas de doute à notre avis qu'il s'agit de l'écroulement d'un fond dur qui avait fait jusque là obstacle au creusement de l'extrémité aval de la mouille du Kruisschans, fond dur dont les restes ont été partiellement dragués en 1897, et dont il subsiste encore des vestiges.

Nous montrerons plus loin que cet écroulement peut être attribué à la variation des circonstances d'amont lors d'une période extrêmement humide, dont l'intensité maximum se produisit en 1878. Il est probable également que l'endigement tardif du premier schorre de Keetenisse en 1613, n'a pas permis au jusant d'exercer plus tôt, en cet endroit, son pouvoir d'érosion.

5° *La région des seuils quaternaires du fleuve.* — La régularité dans la succession des courbes et contre-courbes, depuis l'embouchure du fleuve jusqu'au coude de Ste-Marie, abstraction faite de la brisure du lit au droit de Bath, et des irrégularités qui en résultent, cesse brusquement au sortir du coude précité.

La passe de Ste-Marie, suivant une courbe bien en rapport avec celles qui la précèdent, est suivie, en effet, par une

mouille de très petit développement, située sur la rive opposée du Krankeloon.

Le passage entre les deux fut, de tout temps, très difficile à la grande navigation ; l'on se décida vers 1891 à y pratiquer des modifications de grande envergure, dont le résultat ne perdura pas longtemps. On avait, en effet, enfreint la loi qui veut que les seuils se trouvent à l'extrémité aval de la mouille d'amont et non à l'extrémité amont de la mouille d'aval. Il faudra donc bien se résigner à maintenir le fleuve en cet endroit par des dragages fréquents, à la hauteur des exigences de la navigation.

Au sortir du coude d'Austruweel, vers l'amont, la rivière présente l'anomalie la plus frappante de tout son cours ; en effet, ce coude est suivi, après un élément rectiligne très marqué, d'une courbe dans le même sens que la précédente qui conduit la rivière jusqu'à l'entrée du couloir de Burght.

En réalité, l'anomalie est artificielle ; la construction des premiers murs de quai d'Anvers de 1877 à 1884 a supprimé en cet endroit une contre-courbe de très peu de développement, comprise entre les deux seuils quaternaires du fleuve, et qui leur doit son origine.

L'existence ancienne de cette contre-courbe se manifeste encore à certaines époques, par la formation d'une fosse le long de la rive gauche du fleuve, phénomène qui a le don d'exciter les craintes de ceux qui s'intéressent au port d'Anvers. Le banc mobile du Rug est le produit de l'érosion du flot dans le coude d'Austruweel, et marque la limite amont de cette fosse, il correspond à cette contre-courbe. Inutile de dire que là aussi des dragages fréquents devront toujours s'effectuer pour répondre aux exigences du port.

Il n'entre pas dans nos intentions de critiquer les principes qui ont présidé à l'établissement du tracé des premiers murs de quai d'Anvers ; constatons simplement que les exigences dérivant du parfait aménagement du port sont bien souvent en opposition avec celles qui résultent du bon maintien du fleuve. 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 les données de la technique moderne.

Enfin, une dernière irrégularité est due à la nature du fond

dans cette région du fleuve; c'est l'étranglement du cours d'eau devant Anvers, décelé anciennement par l'existence de la Tête de grue (Steen) et du bastion St-Michel (quai du même nom) formant saillants dans le fleuve. L'érection des premiers murs de quai, avançant en lit de rivière, a supprimé ces saillies, mais l'étranglement n'en est devenu que plus intense, surtout au droit de la Tête de Flandre où le fleuve mesure moins de 400 mètres de largeur. Cette circonstance est évidemment défavorable au creusement général du fleuve et provoque en outre des perturbations locales lors des variations des circonstances d'amont comme nous l'exposerons plus loin.

6° *Le stationnement des navires le long des murs de quai d'Anvers.* — La longueur de ces murs est de 5,500 mètres en rivière, occupée d'une façon presque permanente par une file de navires, le long desquels viennent stationner en outre, les élévateurs à grains, allèges et remorqueurs.

Si nous tenons compte de ce que les sections étranglées, au droit de ces murs, ont en moyenne 2,500 mètres carrés de superficie à marée basse et 4,000 mètres carrés à marée haute, et que la superficie de la section enlevée au courant par les bateaux peut atteindre 200 mètres carrés, nous pouvons dire que le stationnement de navires le long des murs enlève à la section mouillée du fleuve une notable partie de sa surface, et qu'il correspond à un véritable rétrécissement du fleuve sur une longueur de plusieurs kilomètres. Si l'on ajoute à cela les remous provoqués par le défaut de continuité de cette file de bateaux ou plutôt d'obstacles, nous devons avouer qu'il y a là un véritable frein à la puissance hydraulique du fleuve, qui doit être de nature à arrêter prématurément le phénomène du creusement général du cours d'eau.

Il est dangereux, à notre avis de laisser subsister cet arrêt dans le développement du fleuve, et il n'y a qu'un moyen de le supprimer, c'est l'élargissement du fleuve sur la rive gauche devant Anvers, malgré tous les inconvénients locaux qui peuvent en résulter.

Il ne nous semble pas possible de sacrifier dans ce domaine l'intérêt du fleuve en général aux exigences de quelques circonstances locales du port. Nous attribuons en partie l'excellent état dans lequel fut retrouvé le fleuve après la guerre malgré le défaut complet de dragages pendant quatre ans, au fait que pendant cet intervalle les murs de quai furent constam-

ment libres de tout navire, ce qui correspondit à un élargissement temporaire du fleuve.

7° *Le couloir dans l'argile de Boom.* — Quand, en remontant le fleuve, en sortant de ce couloir, l'on se trouve brusquement devant le magnifique épanouissement que présente le cours d'eau au delà de Steendorp, il n'est pas possible de se dissimuler, qu'à un certain moment, ce couloir a dû agir puissamment sur les causes qui provoquèrent le creusement général du cours d'eau. Toutefois, depuis que la section Bath-Anvers est devenue le véritable frein du fleuve, à la suite de la période des grandes perturbations, il ne nous semble pas que ce couloir soit encore de nature à constituer un sérieux obstacle au développement naturel du fleuve.

Il n'en serait plus de même cependant si, par des travaux de grande envergure, effectués à l'aval, l'on se décidait à permettre au fleuve d'utiliser d'une façon plus complète sa puissance hydraulique; dans ce cas des dragages nous semblent devoir s'imposer en certains endroits, pour attaquer le fond argileux de ce couloir.

8° Dans l'Escaut, en amont de l'embouchure du Rupel, il subsiste certaines irrégularités, peu importantes il est vrai pour l'ensemble du fleuve, mais qui sont cependant de nature à troubler localement ce qu'il est convenu d'appeler le régime du fleuve; nous citerons par exemple l'existence d'une île entre Mariekerke et St-Amand, des rétrécissements bien caractérisés à Oudenbriel, Briel et Baesrode, ainsi que quelques boucles néolithiques de peu de développement, qui n'ont pas été rectifiées par l'invasion de la marée ou amputées artificiellement.

Dans la Durme, les boucles néolithiques en amont de Hamme, semblent avoir résisté partout à l'invasion de la marée; dans le Rupel au contraire tout a été rectifié par les courants de marée.

Il est nécessaire de signaler, au sujet de ce dernier affluent, qu'il amène notamment les eaux provenant des cours d'eau dévalant du plateau central de la Campine, composé en majeure partie des terrains quaternaires constituant un delta de la Meuse; ces cours d'eau sont encore dans leur partie amont, en véritable période d'érosion c'est-à-dire qu'ils transportent des matériaux sableux, d'une façon continue dans leurs parties à forte pente, d'une façon intermittente dans leurs sections

aval. Nous estimons que ces sables arrivent jusque dans le Rupel et qu'ils peuvent être entraînés ainsi dans le cycle des matériaux mobiles du fond de l'Escaut; le cheminement intermittent de ces sables peut parfaitement ne s'être fait sentir à l'embouchure du Rupel que dans le courant du siècle passé, de sorte que l'on pourrait chercher dans cette circonstance, le motif du comblement de la baie de Ste-Marguerite à l'entrée de cette rivière; dans cette baie hiverna, en 1806, toute une flotte de guerre française, pour se trouver éventuellement à l'abri des glaces. Les appréciations pessimistes de certains auteurs, basées sur la disparition de cette baie, ne nous semblent donc pas fondées.

VII. — Les lois des modifications du fond du fleuve en fonction des variations des circonstances d'amont et d'aval.

Les variations régulières des circonstances d'aval, se font suivant des cycles dont l'ampleur est de peu de durée; syzigies et quadratures provoquent respectivement les maxima et minima dans l'amplitude de la marée, qui passent en outre régulièrement par des paroxysmes à certaines époques de l'année; les perturbations dans les circonstances d'aval sont dues à des tempêtes régnant dans des directions déterminées et ne durent guère plus de deux marées.

Les variations régulières sont alternativement de sens opposé, de sorte que leurs effets tendent à se neutraliser et échappent par conséquent à des sondages ordinaires espacés par exemple d'un an; les perturbations peuvent également avoir des résultats de sens opposés mais ceux-ci ne se succèdent pas alternativement; ils échappent évidemment aux sondages périodiques ordinaires.

Nous n'avons pas connaissance de sondages effectués systématiquement dans le but de déterminer les effets des variations des circonstances d'aval; nous devons nous borner à signaler qu'il est communément admis que dans l'Escaut, les modifications dans les bancs de la partie aval du fleuve ont lieu principalement lors des fortes marées accompagnées de vent du N.-O.

En ce qui concerne les circonstances d'amont, il faut distinguer entre les variations plus ou moins régulières qui correspondent aux différentes saisons, et celles d'une durée beau-

coup plus longue, semblant constituer de véritables perturbations, mais formant en réalité dans leur ensemble, un cycle plus ou moins régulier d'années sèches et d'années humides.

Les variations saisonnières donnent lieu, comme celles des circonstances d'aval, à des modifications peu importantes et de sens opposé, qui échappent également aux sondages ordinaires. Il n'en est plus de même des perturbations de longue durée dans le débit d'amont, qui amènent des modifications profondes dans le fond du fleuve, et que des sondages annuels doivent nécessairement déceler.

Il convient avant tout d'exposer le mécanisme de l'action du débit d'amont sur le fond du fleuve; voici comment il faut l'envisager d'après nous.

Abstraction faite du limon fluviatile qui se dépose principalement pendant les crues dans la partie amont du fleuve maritime, les précipitations argileuses se font sous l'action de certains sels marins, et se déposent sous forme de terres de schorres, vases, etc.; il n'est plus question évidemment d'argile des polders puisque les espaces nécessaires à la formation de ce sédiment manquent actuellement par suite de l'absence de bassins de colmatage.

Le processus de la formation des terres de schorre est le suivant: le flot dépose sur la rive le sable qu'il a enlevé en aval dans les profondeurs du fleuve; ce dépôt cesse avant l'étale de flot, et cède la place aux précipitations argileuses qui vont cimenter les grains de sable fraîchement déposés. Ce ciment agit d'une manière plus intense quand le soleil vient durcir la croûte qui se forme à la surface des schorres. Le jusant vient ensuite balayer tout ou partie de ces dépôts et les retransporte dans les profondeurs en aval.

Examinons maintenant ce qui se passe quand le débit d'amont diminue fortement. La salure des eaux va en augmentant en chaque point du fleuve, et cette augmentation est la plus sensible dans la partie amont, là où l'eau est douce en temps ordinaire; ainsi, en 1921 l'eau des bassins de la ville d'Anvers, douce en temps normal, devint salée à tel point qu'elle ne put plus servir à l'alimentation des chaudières. Les précipitations argileuses se forment ainsi de plus en plus dans la région d'amont, et fixent pour ainsi dire sur les rives, les produits de l'érosion du flot; celle-ci continue donc à se faire

sentir, mais le mouvement inverse, dû au jusant, est annihilé ou fortement entravé.

Il en résulte dans le fleuve une situation qui équivaut à peu près à un véritable transport général de l'aval vers l'amont : schorres et rives se garnissent de dépôts, les schaaars de la région moyenne, relativement fixes, nettoient devant eux les fonds peu profonds du fleuve situés à proximité, les extrémités des fosses de jusant rétrogradent et se rapprochent des pointes des schaaars, les seuils se redressent transversalement au fleuve ; dans la partie amont les extrémités des fosses de flot se déplacent considérablement vers l'amont en même temps que la fosse de jusant se retire, entraînant le seuil vers l'amont.

En résumé, le fleuve s'approfondit et se rétrécit en même temps. Quand ensuite le débit d'amont augmente, des mouvements de sens opposé se produisent, le jusant acquiert à nouveau sa force d'érosion et balaye les dépôts de rive et de peu de profondeur, il creuse à nouveau les extrémités des fosses de jusant et les déplace vers l'aval. En ce qui concerne les seuils de la partie moyenne du fleuve, il se produit ainsi un mouvement de va-et-vient, peu important en général, mais parfaitement caractérisé. Le fameux mouvement pendulaire du seuil de Bath, attribué jusqu'à présent à un caprice du fleuve est simplement la manifestation des lois générales qui régissent le fond du cours d'eau.

Ces lois ne se manifestent pas partout avec la même netteté, et il faut tenir compte dans chaque cas des circonstances locales. Ainsi, par exemple, devant Anvers, du côté de la Tête de Flandre, où le flot en temps ordinaire a déjà une tendance au creusement, par suite du raccordement, en cet endroit, de deux courbes de même sens, il semble bien que les périodes sèches marchent de pair avec la formation d'une fosse sur la rive gauche, parce que d'un côté l'extrémité amont de la fosse de flot d'Austruweel est à peu près fixe et que, de l'autre côté, l'extrémité aval de la mouille d'amont longeant les murs de quai, subit un mouvement rétrograde très accentué. La fosse sur la rive gauche vient ainsi s'intercaler entre les deux fosses de la rive droite. Les étranglements que présente le fleuve agissent également d'une façon particulière en temps de sécheresse. En effet, il est admis que tout rétrécissement artificiel que l'on réalise dans une rivière à marée provoque, en dehors d'une fosse plus ou moins profonde et étendue à proximité du

rétrécissement, des dépôts plus ou moins importants en amont et en aval ; or, en temps de sécheresse, tout se passe comme si les différents points du fleuve étaient rapprochés de l'embouchure, c'est-à-dire comme si les sections transversales du fleuve étaient diminuées ; cette diminution est évidemment beaucoup plus sensible au droit des étranglements naturels ou existants, et l'on conçoit ainsi aisément que ceux-ci puissent jouer le rôle de rétrécissements artificiels. En temps de sécheresse, il doit donc se produire des dépôts anormaux à proximité des étranglements.

L'action du débit d'amont étant ainsi définie d'une façon générale, il convient encore d'en montrer la réalité par la constatation de la concordance entre les modifications du fond avec celles du débit d'amont ; les observations dans ce domaine sont évidemment encore peu nombreuses, et seul l'avenir pourra nous apporter la preuve décisive de l'influence de ce débit.

Nous devons donc nous contenter de relater les quelques faits suivants déjà probants à cet égard.

1° *Eroulement des fonds durs de l'extrémité aval de la mouille du Kruisschans.* — Cet événement qui doit avoir provoqué en 1880, l'allongement de la fosse de jusant de cette mouille, et un raccourcissement correspondant de la fosse de flot de la mouille d'aval (Liefkenshoek), nous semble incontestablement dû à la période humide qui débuta vers 1870, pour finir une quinzaine d'années plus tard, et dont l'intensité maximum se produisit en 1878 ; la quantité de pluie tombée en cette année à Bruxelles dépassa 1,000 mm., chiffre qui ne fut plus atteint par la suite qu'en 1916, année qui marqua le maximum de la période humide suivante.

2° *Balayage général du fleuve pendant la dernière période humide.* — Cette période, s'étendant approximativement de 1905 à 1920, présente une particularité frappante. En se basant toujours sur les quantités d'eau de pluie enregistrées à Bruxelles, l'on constate que pendant douze années consécutives, de 1909 à 1920 y compris, la quantité d'eau tombée ne descendit pas en dessous de la moyenne, qui s'élève à 735 mm. environ. La sécheresse extraordinaire de l'été de 1911, et celle qui marqua la fin de 1920, ne purent faire descendre le taux de ces années en dessous de la moyenne.

Il n'est donc pas étonnant qu'à la fin de la guerre, pendant laquelle aucun dragage ne fut effectué dans l'Escaut, l'on

retrouva le fleuve dans une situation excellente; il se maintint dans les mêmes conditions jusqu'en 1922 environ.

Nous devons cependant reconnaître que, pendant la guerre, deux facteurs éminemment favorables au bon maintien du fleuve ont collaboré au même résultat : il y eut l'absence de tout navire le long des murs du quai d'Anvers, circonstance dont nous avons déjà relevé l'heureuse influence, et ensuite le degré de pureté, des eaux d'amont, résultant de l'arrêt complet de presque toutes les usines contaminant normalement ce débit. Au sujet de ce dernier point nous pouvons notamment signaler ce qui suit : l'Escaut dans la traverse de Gand et en amont, est en temps normal, un véritable égout à ciel ouvert dans lequel aucun poisson ne peut impunément s'aventurer, sauf en temps de crue; dès le commencement de 1915 les eaux devinrent claires, les poissons apparurent et l'on pêcha dans le fleuve, ce qui ne s'était plus vu de mémoire d'homme. Il n'est évidemment pas possible de déterminer l'importance relative de ces deux facteurs de guerre vis-à-vis de la cause générale qui a agi pendant toute la période humide.

3° *La sécheresse extraordinaire de 1921.* — Cette sécheresse qui avait déjà débuté à la fin de l'année précédente, constitua un phénomène météorologique absolument extraordinaire. L'eau tombée ne s'éleva guère à plus de la moitié de la normale ce qui constitua un minimum absolu enregistré jusqu'à présent. Les cubatures et jaugeages effectués dans le bassin de l'Escaut Maritime indiquèrent des débits presque nuls, de sorte que l'on peut dire que pendant plusieurs mois, le débit d'amont fut supprimé.

On ne peut guère contester que des dépôts anormaux se sont produits dans la partie amont du fleuve notamment dans la Durme, sur les rives, schorres, etc.

Dans la partie aval, à Bath, par exemple, le schaar du Nord a littéralement nettoyé devant lui la partie du lit où s'étendent d'habitude les bancs dénommés « Middelpaat » dont les produits doivent s'être fixés plus en amont dans le fleuve.

4° *Le retour à la situation normale après la sécheresse.* — Dès 1922, des dragages excessivement importants durent être effectués dans le fleuve au droit des seuils de la partie s'étendant entre Anvers et Bath, et même au delà; un balayage général des dépôts avait commencé dans la partie amont, très visible notamment au droit des embarcadères, et dont les pro-

duits allèrent encombrer les seuils de la partie moyenne du fleuve.

Nous montrerons notamment plus loin que les matériaux formant le seuil de Bath y furent apportés par courant de jusant.

Outre les phénomènes d'ordre principal que nous venons d'exposer résultant des variations du débit d'amont, il se produit encore des actions secondaires qui en certains endroits peuvent toutefois déterminer le déclenchement de perturbations graves dans le fond du fleuve. Ainsi, quand le jusant, après une période de sécheresse, augmente d'intensité, il trouve à certaines heures dans la région moyenne du fleuve, un passage plus facile par les fausses passes aboutissant aux schaaars que par les zones des seuils encore encombrés de dépôts; dans la région où les schaaars sont plus ou moins parallèles aux passes voisines, ce phénomène est peu important et en tout cas secondaire. Il n'en est plus de même à Bath où, par suite de la brisure que présente la forme générale du lit, le schaar dit « du Nord » est presque perpendiculaire à la passe principale.

Nous examinerons succinctement dans le paragraphe suivant les perturbations profondes que subit périodiquement la passe navigable du fleuve dans cette région.

VIII. — Le seuil de Bath.

Dans l'extrémité aval de la mouille de Saeflingen, qui débouche dans le creux de la passe de Bath, se produit de temps en temps un relèvement brusque et très sensible du fond, qui constitue ce qu'on appelle le seuil de Bath; il occasionne de graves inconvénients pour la navigation et nécessite des dragages excessivement onéreux. Il est à remarquer en outre, que la passe de Saeflingen, à l'extrémité de laquelle se produit ce seuil, est un élément presque rectiligne du fleuve qui présente même à certains moments un point d'inflexion; cette anomalie est due à la brisure que présente la forme générale du fleuve en cet endroit. La passe en question constitue la mouille de raccordement entre la dernière passe de l'Escaut occidental, celle de Bath, et la première passe de l'Escaut en amont, celle de Saintvliet.

Alors que sur les seuils plus en amont du fleuve, le brassage varie à peine de 1 à 2 mètres, sur le seuil de Bath, il

peut y avoir des variations de profondeur atteignant presque 4 mètres et cela dans l'espace de quelques mois.

Le seuil de Bath a été signalé pour la première fois, à notre connaissance, en 1858, puis en 1866, où la profondeur à marée basse se réduisit à 4^m.30, et ensuite en 1885, 1905, 1913, 1919 et 1923.

Voici quel est le processus de la formation de ce seuil : quand, après une sécheresse, le jusant reprend brusquement une plus grande intensité, il s'échappe en partie, et même totalement à certaines heures de la marée, par le goulet que le flot venant du schaar du Nord a pratiqué dans la région des bancs du Middelplaat. Ce jusant, ainsi brusquement dévié vers l'ouest par ce goulet baptisé du nom de Saeftingen, creuse incessamment la rive septentrionale de cette fausse passe et la déplace vers le nord. Quand la perturbation dans le débit d'amont n'a pas été très intense, le goulet meurt avant d'arriver au bout de son cycle qui est la passe de Bath ; le seuil, qui se forme toujours en aval du goulet, est dans ce cas peu important et commence à disparaître naturellement dès que le goulet entre en régression. Au contraire, quand la perturbation a été profonde, le goulet se creuse fortement et n'entre en régression que vers la fin de son parcours, au moment où il va se confondre avec la passe de Bath ; le seuil dans ce cas est de nature à compromettre la navigation et doit être fortement combattu par des dragages (1).

Il se produit en outre, en vertu de la loi générale déjà indiquée, un déplacement de la passe navigable au droit du seuil de l'amont vers l'aval, autant que le permet la dénudation du talus nord-est du banc de Saeftingen ; la passe peut littéralement sauter à un certain moment de son ancien emplacement vers le nouveau, mettant en mouvement de grandes quantités de matières qui vont alors provoquer le relèvement du seuil le plus proche en aval, dit de Valkenisse.

(1) Pour la comparaison des documents hydrographiques de cette région il convient de signaler que le goulet de Saeftingen n'est dénommé ainsi que quand il a une certaine importance, vers le milieu de son parcours ; le banc qui le délimite au Nord est désigné sous le même nom, tandis que celui qui le limite vers le Sud dans la dernière moitié de son cycle est dénommé « Middelplaat ». Dès qu'un nouveau goulet est désigné sous le nom de Saeftingen après disparition du précédent, le Middelplaat devient banc de Saeftingen et ainsi de suite.

Les seuils de Bath se sont produits invariablement après une période de sécheresse, à savoir celles de 1857, 1864, 1883, 1904, 1911 et 1921. La perturbation de 1919 ne put arriver à son entier développement parce que la sécheresse de 1918, qui l'a précédée, ne fut que relative vis-à-vis des hauteurs anormales de pluie enregistrées en 1916 et en 1919 ; elle ne nécessita aucun dragage.

Les matériaux formant le seuil en 1923, dont le développement fut en rapport avec l'intensité extraordinaire de la perturbation dans le débit d'amont, en 1921, furent des sables de diverses grosseurs et des petits blocs de tourbe à peine roulés ; ces blocs sont donc arrachés de la rive à peu de distance, et il convient de rechercher leur origine.

De l'ancien fort Frédéric jusqu'à Bath, il n'y a pas de tourbe sur la rive droite de l'Escaut, par suite du déplacement du fleuve de l'Est vers l'Ouest depuis le creusement de l'Escaut occidental ; dans toute la région labourée par le goulet de Saeftingen, c'est-à-dire au droit du banc de ce nom et du Middelplaat, la tourbe a disparu depuis longtemps. En aval de Bath sur la rive droite l'existence de la tourbe est peu probable, mais les blocs qui y seraient éventuellement arrachés ne peuvent venir se déposer dans le seuil puisqu'ils seraient naturellement conduits vers l'Appelzak qui constitue un cul-de-sac pour ces matériaux. L'origine des blocs ne peut donc être que la rive gauche au droit de la terre submergée de Saeftingen, qui recule constamment vers les terres par suite de la rectification naturelle du coude du fleuve qui s'effectue en cet endroit. La rive Nord de cette terre, longeant le schaar du Nord, est attaquée par les courants de flot et les produits d'érosion vont se déposer en grande partie dans la région du seuil de Santvliet. La rive Est de cette même terre à proximité de la petite île de Saeftingen est attaquée au contraire par les courants de jusant quand, après une sécheresse qui a redressé l'extrémité aval de la mouille du Frédéric, ces courants viennent frapper cette rive sous un angle assez sensible ; les blocs ainsi arrachés vont se déposer directement en aval du goulet de Saeftingen, au droit du seuil de Bath, à certaines heures complètement abandonné par le courant de jusant ; en outre, quand le jusant augmente d'intensité, il déballe la région du seuil de Santvliet en allongeant l'extrémité aval de la mouille du Frédéric, et une partie des blocs de tourbe qui se

trouvaient déposés dans cette région peut également être reprise par les courants et déposée à nouveau au droit du seuil de Bath.

Si l'on tient compte maintenant du fait que le relèvement du seuil de Valkenisse suit chaque fois celui de Bath et coïncide avec le moment où la passe au droit de ce dernier seuil « saute » de l'amont vers l'aval, l'on peut caractériser comme suit le cycle des transports qui s'effectuent dans cette région :

1° Point de départ des matériaux : Schaar du Nord et région plus en aval, par circonstances d'aval prépondérantes; le dépôt s'effectue immédiatement dans la région du seuil de Santvliet.

2° Reprise des matériaux par fort courant de jusant consécutif à une sécheresse, et nouveau dépôt au droit du seuil de Bath.

3° Deuxième reprise en ce dernier endroit lorsque le goulet de Saeftingen entre en régression et dépôt dans la région de Valkenisse.

4° Troisième reprise et rentrée dans le cycle.

Les matériaux qui entrent dans ce cycle proviennent donc en partie de la rive gauche sur la terre de Saeftingen, le reste est introduit par l'amont et par l'aval; une grande partie des matériaux va engraisser la rive droite, et des transports vers l'aval ou l'amont peuvent évidemment se produire lors de certaines circonstances.

IX. — La prévision des modifications temporaires du fond.

L'importance primordiale de cette prévision saute aux yeux. Si, comme nous l'avons affirmé, les modifications du fond du fleuve donnant lieu à d'importants dragages, sont provoquées par des variations dans les circonstances d'amont, variations de longue durée dont les conséquences ne se font pas sentir immédiatement, il est possible de prévoir ces modifications et de prendre des mesures efficaces pour combattre les entraves qui en résulteront pour la navigation; l'on pourra même dans certains cas atteindre la cause même du mal et aller prendre dans les zones de dépôt du fleuve les matériaux qui sinon iraient provoquer le relèvement des seuils.

Aussi loin que remontent les observations, l'on voit toujours la formation du seuil de Bath précédée, à un ou à deux ans

d'intervalle, d'une sécheresse prononcée. Celle-ci, il est vrai, peut n'être que relative, c'est-à-dire que la quantité d'eau tombée peut être supérieure à la normale comme il est arrivé en 1918; l'on se trouvait alors à la fin d'une longue période d'humidité intense qui avait balayé le fleuve jusqu'à l'estuaire et encombré ce dernier de ses dépôts; ces circonstances expliquent la rapidité avec laquelle se forma le seuil en 1919 et le peu d'ampleur avec laquelle il se manifesta.

Nous avons montré que la formation de ce seuil est provoquée par l'intermédiaire du « goulet de Saeftingen » qui absorbe à certaines heures, lors du déblayage consécutif à une sécheresse, tout le débit de jusant; ce goulet peut jouer un grand rôle dans la prévision des modifications au droit de ce seuil, et il est nécessaire dans ce but de préciser quelque peu le cycle qu'il parcourt.

Ce goulet se forme au Nord-Est de l'île de Saeftingen à l'endroit où les courants de flot sortant du schaar du Nord vont rejoindre la passe navigable; cette formation semble due à des circonstances d'aval momentanément prépondérantes. Le goulet se déplace ensuite vers le Nord en se creusant, pour aller se confondre au bout de quelques années, quatre à cinq en moyenne, avec la passe de Bath, quand bien entendu ce mouvement est favorisé par les courants de jusant d'une période de déblayage provoquant un seuil à Bath. Dans le cas contraire le goulet s'éteint en cours de route; celui, par exemple, correspondant au seuil de 1919 n'a pas atteint la passe de Bath et est mort « sur place » à proximité, vers 1920-1921, par suite de l'affaiblissement des courants de jusant provoqué par la sécheresse.

L'histoire des goulets de Saeftingen depuis 1906 peut s'écrire comme suit :

Le goulet correspondant au seuil de 1905 s'est confondu en 1907 avec la passe de Bath; la sécheresse de 1907 a favorisé la naissance d'un nouveau goulet qui s'est éteint en cours de route, en 1910, faute de jusant suffisamment fort dans cet intervalle; un nouveau goulet naît en 1909 et se trouvait en 1914 vers l'extrémité de sa course, il correspond au seuil de 1913; la sécheresse relative de 1913 favorise la naissance d'un goulet dont il n'est pas possible de suivre l'évolution au delà de 1914; en 1919 l'on retrouve un goulet à la même place qu'occupait en 1914 celui né en 1913, ce n'est évidemment plus le

même, et ce nouveau goulet va mourir sur place après avoir provoqué le seuil de 1919; dès 1920, le goulet qui va permettre la formation du seuil de 1923 existe.

On peut conclure de ce développement que l'étude approfondie de la marche des « goulets de Saeftingen », jointe à l'observation des hauteurs d'eau recueillies, peut conduire à la prévision des événements dans cette région; il convient d'y ajouter l'observation de la région du schaar de Waarde et de celle du schaar du Nord qui se bouchent par période humide et se nettoient lors des sécheresses.

Enfin, il y a lieu de signaler que le relèvement du seuil de Valkenisse coïncide avec la dernière période du seuil de Bath au moment où le goulet de Saeftingen entre en régression, et où les courants de jusant, abandonnant cette fausse passe, commencent le creusement en profondeur de la nouvelle passe qui doit remplacer celle obstruée par le seuil. Des observations hydrographiques répétées et des renseignements météorologiques complets et détaillés forment donc les bases de la prévision des modifications du fond.

En ce qui concerne les hauteurs de pluie, nous nous sommes basés uniquement sur les hauteurs totales annuelles enregistrées à Uccle; il est évident que pour l'application rigoureuse des méthodes que nous préconisons, il faudrait faire choix de divers postes d'observation dans le bassin de l'Escaut, et affecter de plus aux hauteurs d'eau recueillies pendant la saison d'été et d'hiver des coefficients de réduction judicieusement choisis, tenant compte de la quantité réelle d'eau qui arrive à la rivière. L'étude approfondie que nous avons faite des cours d'eau dénommés Schijns dont il a déjà été question ci-dessus, nous a permis de calculer pour ces cours d'eau les coefficients de rendement des terrains, c'est-à-dire les rapports entre les quantités d'eau évacuées pendant les crues et les volumes d'eau de pluie tombée sur le bassin hydrographique.

Ces coefficients sont, pour une crue ordinaire d'hiver : 0.5, pour une crue d'hiver plus faible 0.3, pour une crue ordinaire d'été 0.4; pour une crue extraordinaire le coefficient approche évidemment de l'unité, tandis que pour la majeure partie des précipitations, il est de beaucoup inférieur aux chiffres que nous avons trouvés. En l'absence de données suffisantes pour établir les coefficients de réduction, l'on pourrait se contenter d'ajouter au total des hauteurs de pluies enregistrées pendant

les six mois d'hiver, celui des hauteurs de la saison chaude affecté d'un coefficient de correction; celui-ci pourrait être pris égal à $\frac{4}{5}$ étant donnés les coefficients de rendement trouvés pour les crues ordinaires d'été et d'hiver.

Les totaux ainsi obtenus peuvent servir de base pour la prévision des modifications du fond; pour le calcul des quantités d'eau réellement évacuées par la rivière, nous estimons qu'il faudrait encore réduire ces quantités d'environ 75 p. c.

X. — Les travaux d'entretien et d'amélioration.

En attendant que des recherches systématiques dans les différents domaines que nous avons signalés, puissent venir fournir des bases certaines quant aux règles à suivre pour les travaux d'entretien et d'amélioration, il est possible d'émettre déjà quelques considérations générales en ce qui concerne ces travaux.

Pour l'entretien des seuils de la partie moyenne du fleuve en territoire belge, non sujets à des modifications importantes en plan et en hauteur, les méthodes actuelles ne semblent pas susceptibles de beaucoup de modifications; l'on pourrait toutefois examiner s'il ne serait pas possible, avant que commence le déblayage du cours d'eau après une sécheresse, de capter, en amont de la région des seuils, les matériaux transportés, de façon à tarir une source certaine de matériaux pour le relèvement des seuils. Cette solution, qui augmenterait sans aucun doute le cube total à draguer, aurait toutefois l'énorme avantage de ne pas encombrer les passes navigables par le matériel de dragages, de rapprocher les endroits à draguer des lieux de dépôt et de permettre une utilisation permanente, moins intensive et plus économique, de ce matériel.

En ce qui concerne les seuils de la région de Bath, dans lesquels nous avons esquissé le cycle que suivent les matériaux de transport, il convient d'examiner s'il ne faudrait pas, à certaines époques, entamer des dragages dans la zone de dépôt du seuil de Santvliet, pour diminuer les possibilités de relèvement des seuils en aval. On ne peut évidemment espérer pouvoir supprimer ainsi d'une façon complète les dragages à Bath et à Valkenisse, mais il est probable que le phénomène du déplacement brusque de la passe devant Bath, avec tous les inconvénients qui en résultent, notamment le relèvement

Conclure

Concorde
Blomst
conclusion
Van Mier

rapide du seuil de Valkenisse pourraient être grandement atténués.

Le problème de l'entretien du fleuve dans cette région est intimement lié à celui de l'amélioration, et l'on ne peut songer à notre avis, à s'opposer à la formation des seuils en barrant des schaaars et des fausses passes, et en cherchant à fixer des bancs; ces tentatives seraient destinées à sombrer, au grand détriment des finances publiques et de la navigation, soit qu'elles entraveraient l'évolution naturelle du fleuve, soit qu'elles seraient de nature à provoquer un changement brusque dans la forme générale du lit du fleuve en cet endroit. Les travaux à effectuer éventuellement dans cette région doivent tendre uniquement à hâter la rectification naturelle du fleuve, qui s'accomplit en cet endroit; des endiguements intensifs sur la rive droite entre Santvliet et Bath nous semblent le plus à conseiller.

L'amélioration générale du fleuve doit tendre évidemment à utiliser d'une façon plus complète sa puissance hydraulique; elle doit viser dans ce but à la suppression des obstacles et des irrégularités que nous avons signalés dans la région moyenne du cours d'eau.

A ce point de vue les observations marégraphiques viennent corroborer d'une façon décisive notre thèse. En effet, quand on examine le plan n° 21 joint à la « Note » sur les étales de courant dans l'onde-marée, etc., par Léon van Brabandt, ingénieur des Ponts et Chaussées, *Annales des Travaux Publics de Belgique*, avril 1908, l'on constate :

1° Dans les courbes de jusant, un élément à forte pente dans les profils instantanés entre Hemixem et l'embouchure du Rupel, à tous les stades de la marée; cette forte pente est due à l'insuffisance relative du lit dans cette section, vis-à-vis du bassin d'emmagasinement de la marée que constitue la partie du lit situé en amont, et à l'afflux des eaux du Rupel.

2° Un deuxième élément à pente assez forte en aval d'Anvers faisant suite à un élément presque horizontal en amont, dans les mêmes courbes, le plus accentué vers la mi-marée, dû aux étranglements devant et en aval d'Anvers.

3° Dans les courbes de flot un élément horizontal, passant même à la contre-pente vers la marée-haute, entre Bath et Anvers, dû aux irrégularités du fleuve que nous avons signalées dans cette section.

4° Un deuxième élément presque horizontal, dans les mêmes courbes, depuis la marée basse jusque vers la mi-marée, entre l'embouchure du Rupel et Thielrode, dû à l'insuffisance du lit mineur de l'Escaut et de la Durme en amont, à cause notamment des rétrécissements et des boucles néolithiques que nous avons décrits.

Outre la suppression des entraves au passage des courants, il faudra permettre à la marée d'exercer son action dans un champ plus étendu en amont de la région améliorée.

Nous ne croyons pas cependant, à la possibilité pratique de transformer un cours d'eau à pente en rivière à marée, au delà de la zone où la cote du terrain du lit majeur atteint celle de la marée haute; pour le bassin de l'Escaut, seules les Nèthes semblent se prêter à une extension assez considérable de l'action de la marée; si un jour l'on se résout à agir dans ce sens, il conviendra d'établir le long des rives de ces rivières des espaces libres considérables destinés à servir d'emplacements pour les terres de schorre, de façon à arrêter la venue des sables du massif central de la Campine et d'empêcher leur invasion dans le Rupel amélioré; la limite de l'eau douce, actuellement Rupelmonde en temps normal, devrait dans ce but pouvoir être reculée fortement, par exemple jusque près de Lierre. La fixation parfaite de ces sables sera toutefois un problème difficile à résoudre, à cause de la nature des eaux du bassin des Nèthes.

Hasselt, mars 1926.

TABLE DES MATIÈRES.

Fascicule n° 2 de 1927.

	Pages.
PRÉFACE	183
INTRODUCTION :	
Situation générale du fleuve et limites de la marée. . .	187

CHAPITRE PREMIER.

FORMATION DU COURS D'EAU AVANT L'INVASION DE LA MARÉE.

Paragraphe	I. Creusement de la vallée pendant la période géologique dite ère quaternaire ou pléistocène	189
—	II. Les concrétions quaternaires de la vallée en aval de Burght.	191
—	III. Les deux seuils scaldisiens du fleuve quaternaire devant Anvers	196
—	IV. Les hauts-fonds et les gouffres du fleuve quaternaire en aval d'Anvers.	199
—	V. L'Escaut pendant l'ère dite moderne, jusqu'aux temps historiques.	201
—	VI. Les tertres et les weelen	207
—	VII. Le tracé probable de la rivière néolithique devant Anvers	209
—	VIII. Les tertres d'Oorderen et de Wilmarsdonck	212
—	IX. Le tracé de la rivière dans la lagune néolithique.	214
—	X. La formation de l'embouchure sous la domination romaine	215

CHAPITRE II.

L'INVASION DE LA MARÉE ET LA TRANSFORMATION
DE LA RIVIÈRE EN FLEUVE MARITIME.

Paragraphe		Pages
	I. La loi du déplacement des embouchures.	357
—	II. L'invasion de la marée à la suite de la formation de l'Escaut oriental .	359
—	III. La loi du déplacement des confluent vers l'amont dans la zone d'irruption du courant de flot	361
—	IV. Le dépôt de l'argile inférieure des polders.	364
—	V. Le tracé définitif de l'Escaut en aval du Rupel	368
—	VI. L'île quaternaire au droit de l'embouchure de l'Escaut occidental . .	370
—	VII. Le Zwyn	372
—	VIII. Les Wielingen	374
—	IX. L'amplitude de la marée à la côte et la deuxième embouchure du Zwyn.	376
—	X. Le percement du Hont et la deuxième invasion de la marée.	382
—	XI. Le déplacement du confluent de la Durme	387
—	XII. Le tassement du sol, du XIII ^e siècle à nos jours	390
—	XIII. Les effets de la propagation de la marée à Gand.	391
—	XIV. Les endiguements sur la rive droite de l'Escaut en aval d'Anvers . .	395
—	XV. La mort du Zwyn	399

CHAPITRE III.

LA SITUATION ACTUELLE DE L'ESCAUT MARITIME;
SON ENTRETIEN ET SON AMÉLIORATION.

Paragraphe		Pages
	I. Les conditions initiales du problème à résoudre.	501
—	II. La période des grandes perturbations.	506
—	III. La régularisation du fleuve	509
—	IV. L'action de la marée sur le fond du fleuve	511
—	V. Les lois inhérentes à la situation d'équilibre.	515
—	VI. Les irrégularités du fleuve	518
—	VII. Les lois qui expriment les modifications du fond du fleuve en fonction des variations des circonstances d'amont et d'aval.	526
—	VIII. Le seuil de Bath.	531
—	IX. La prévision des modifications temporaires du fond	534
—	X. Les travaux d'entretien et d'amélioration.	537

PLANCHES I ET II.