

347649

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

Administration des Ponts et Chaussées

PONTS ET CHAUSSEES

Direction du Service Spécial
DE L'ESCAUT MARITIME

Commission instituée par Arrêté Royal du 31 Mai 1907
pour l'étude des questions relatives à
L'AMÉLIORATION DE L'ESCAUT EN RADE ET EN AVAL D'ANVERS

NOTE

RELATIVE

aux conséquences de la réduction de la longueur du lit
de l'Escaut en aval d'Anvers

PAR

J.-A. PIERROT

INGÉNIEUR EN CHEF DIRECTEUR DES PONTS ET CHAUSSEES

ET

L. VAN BRABANDT

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSEES



BRUXELLES

IMPRIMERIE A. LESIGNE

Rue de la Charité, 27

1908

1^{re} Direction A
N° 31.

38

BIBLIOTHEEK
Borgerhout
Waterbouwkundig Laboratorium

NOTE

RELATIVE AUX CONSÉQUENCES DE LA RÉDUCTION DE LA LONGUEUR
DU LIT DE L'ESCAUT EN AVAL D'ANVERS

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

Administration des Ponts et Chaussées

Commission instituée par Arrêté Royal du 31 Mai 1907
pour l'étude des questions relatives à
L'AMÉLIORATION DE L'ESCAUT EN RADE ET EN AVAL D'ANVERS

NOTE

RELATIVE

aux conséquences de la réduction de la longueur du lit
de l'Escaut en aval d'Anvers

PAR

J.-A. PIERROT

INGÉNIEUR EN CHEF DIRECTEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

ET

L. VAN BRABANDT

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES



BRUXELLES

IMPRIMERIE A. LESIGNE

Rue de la Charité, 27

1908

AVANT-PROPOS

Lors de nos études sur le régime des rivières du bassin de l'Escaut maritime (1), nous n'avons envisagé que la situation actuelle de ces cours d'eau. On a objecté que le creusement de la Grande Coupure aurait pour résultat des perturbations de régime dues au raccourcissement du lit du fleuve. Nous avons cru utile d'examiner cette objection et nous donnons ci-après le résultat de nos études complémentaires.

(1) Voir *Recueil de documents relatifs à l'Escaut maritime*, page 127.

RÉDUCTION DE LA LONGUEUR DU LIT DE L'ESCAUT PAR SUITE DU CREUSEMENT DE LA GRANDE COUPURE.

En substituant, entre Anvers et Lillo, au lit actuel de l'Escaut, fort tortueux, un lit nouveau constitué par une courbe unique, on réduit la longueur de ce tronçon de rivière et on modifie les volumes d'eau en mouvement dans le fleuve.

Dans la présente note nous rendrons compte de l'étude que nous avons faite de l'influence que ces modifications pourraient exercer sur le régime du fleuve ainsi que des moyens à employer pour parer aux inconvénients que cette réduction de longueur pourrait occasionner. Avant d'exposer les recherches que nous avons faites, nous croyons devoir formuler les considérations suivantes, basées sur l'expérience acquise dans différents pays aussi bien qu'en Belgique.

Lorsque les Ingénieurs ont eu à résoudre le problème de l'amélioration d'une rivière maritime, ils ont tous été d'avis qu'il fallait faire disparaître ou réduire à un minimum les obstacles que rencontrait la propagation de l'onde marée ; parmi ces obstacles, les coudes à forte courbure ont toujours été considérés comme rentrant dans la catégorie de ceux à faire disparaître en premier lieu.

Or, tout redressement de coude entraîne la réduction de la longueur du lit, et, cependant, ces travaux ont toujours donné d'excellents résultats, notamment sur les rivières que nous allons énumérer : En Angleterre, la Clyde et la Tees ; en France, la Seine inférieure ; en Espagne, le Nervion ; dans les Pays-Bas, la Nouvelle Meuse ; en Allemagne, le Weser, etc. En Belgique, la Senne maritime a été améliorée d'après les mêmes principes. A l'Escaut, entre Gand et Termonde, on a exécuté et on exécute encore des travaux de ce genre. A Malines, on a creusé à la Dyle un nouveau lit bien aménagé et on a amélioré le lit actuel, vers l'aval, sur une longueur totale de 4 kilomètres.

Si le redressement des coudes n'a donné partout, même sur la partie amont de l'Escaut, que de bons résultats pour le régime des rivières maritimes, on doit se demander pourquoi cette opération, exécutée sur l'Escaut en aval d'Anvers, devrait ne pas avoir le même succès.

Si l'avantage attribué à l'allongement du lit produit par les courbes était réel, on améliorerait une rivière maritime en introduisant dans

son tracé de nouvelles courbes, c'est-à-dire en éloignant les ports de la mer et en rendant plus difficile la circulation de l'onde marée. Il n'est pas à prévoir que jamais pareil moyen d'amélioration soit préconisé.

Nous abordons maintenant l'examen de la question spéciale qui nous occupe, mais nous croyons utile de reproduire au préalable les définitions de différents termes hydrauliques et de les faire suivre de quelques considérations générales.

**Étales de courants. — Axes hydrauliques
ou courbes instantanées d'étales. — Lieux géométriques
des marées basses, des marées hautes et des étales.**

Plaçons-nous en un point M , dans la région nettement maritime d'une rivière à marée, représentée en profil longitudinal par la figure 1. Les hauteurs d'eau, les vitesses et les débits y varient à chaque instant.

Lorsque, à marée descendante, la flottaison atteint son point le plus bas, B , il y a encore courant de jusant dans la section MM ; celui-ci ne cesse que lorsque la flottaison a remonté jusqu'en un

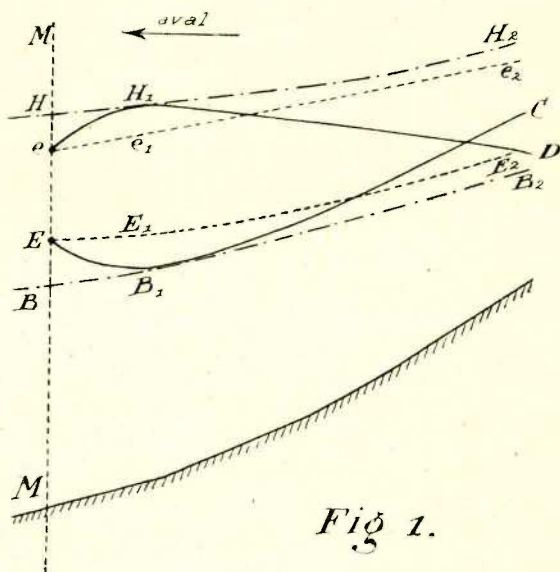


Fig 1.

point E ; à ce moment il y a *étale de jusant* ; l'axe hydraulique affecte la forme $E B_1 C...$ et il y a marée basse en B_1 . De même, l'*étale de flot* ne se produit qu'après la marée haute, lorsque la flottaison est tombée en e ; à ce moment l'axe hydraulique est représenté par la ligne $e H_1 D...$ et il y a marée haute en H_1 .

Les étales que nous avons en vue sont ceux qui correspondent aux *courants moyens*, c'est-à-dire qu'ils se produisent aux instants où les débits sont nuls.

En joignant par une ligne continue les points marquant respectivement la marée basse et la marée haute aux différentes stations de la rivière, on obtient le *lieu géométrique des marées basses* $B B_1 B_2...$ et le *lieu géométrique des marées hautes* $H H_1 H_2...$.

En faisant passer une ligne continue par les points marquant les flottaisons d'étales, on obtient le *lieu géométrique des étales de jusant* $E E_1 E_2...$ et le *lieu géométrique des étales de flot* $e e_1 e_2...$.

Volume emmagasiné. — Débits de flot et de jusant. Capacité de marée, son utilisation.

Le volume d'eau emmagasiné en amont de la section M pendant la durée du flot est équivalent à la somme algébrique des volumes compris, tant dans la rivière que dans ses affluents, entre les axes hydrauliques qui correspondent aux étales de jusant et de flot dans la section M .

Ce volume emmagasiné se compose de deux parties, l'une fournie par le *débit supérieur* des rivières, l'autre par le *débit total de flot* de la section M . De là une première expression de ce dernier débit.

Le débit total amené par le flot dans une section quelconque est encore équivalent à la quantité que l'on obtient :

- a) En faisant la somme des volumes compris entre les lieux géométriques des étales de jusant et de flot, tant dans la rivière que dans ses affluents, à l'amont de la section considérée ;
- b) En retranchant de cette somme celle des débits supérieurs latéraux pendant les durées respectives du flot aux points où ils sont amenés (1).

(1) Voir : *Recueil de documents relatifs à l'Escaut maritime. — Études sur le régime des rivières du bassin de l'Escaut maritime*, pages 162-163.

Au *jusant* il s'écoule en moyenne vers l'aval, par la section *M*, un *volume total* équivalent à celui qui a été emmagasiné pendant le flot, augmenté du débit supérieur pendant la durée du jusant.

La connaissance des axes instantanés, jointe à celle des débits supérieurs, permet de déterminer les débits à chaque instant et en chaque point (1).

Dans un tronçon de rivière, le volume compris entre les lieux géométriques des marées basses et des marées hautes, peut être appelé la *capacité de marée* de ce tronçon.

L'excès du débit total de flot dans la section aval sur le débit correspondant dans la section amont est inférieur à la capacité de marée du tronçon. Nous nommerons *coefficient d'utilisation* la fraction qui représente le rapport entre ces deux quantités. Bien entendu, si un affluent à marée débouche dans le tronçon, il faut, au préalable, faire déduction du débit de flot de cet affluent, à moins qu'on ne veuille considérer la somme des capacités du tronçon de rivière et de l'affluent.

Mouvements de propagation et mouvements réels.

Considérons (fig. 2) une rivière à marée, de son embouchure *X Y* jusqu'à la limite *X' Y'* de la marée. A un moment donné, l'axe hydraulique sera *m h b n* et la masse liquide comprise dans la rivière sera représentée par la surface *X m h b n X'*. Après un temps très faible, *dt*, l'axe hydraulique et la masse liquide seront respectivement *p h' b' q* et *X p h' b' q X'*. La masse en question peut être considérée comme composée de deux parties : l'une *X B B' X'*, dont le volume reste constant, l'autre *B m h b n B'*, dont le volume varie d'une manière continue. Cette deuxième partie constitue ce qu'appelle l'*onde marée*. Cette onde se déplace continûment vers l'amont en changeant de forme; en même temps son volume diminue pour s'annuler à la limite de la région maritime. Les vitesses de déplacement des diverses parties de l'onde sont appelées *vitesses de propagation*.

De ce qui précède, il ne faut nullement conclure que les vitesses dans la partie *X B B' X'* soient nulles ou simplement invariables; bien au contraire, toute la masse liquide participe au mouvement avec des vitesses qui changent constamment. En effet, la propagation

(1) Voir : *Recueil de documents relatifs à l'Escaut maritime. — Études sur le régime des rivières du bassin de l'Escaut maritime.*

de l'onde n'est qu'une translation apparente, résultant de déplacements réels beaucoup moins importants. Pour nous en rendre compte, plaçons-nous dans la section $M N$, où, d'après la figure, il y a environ mi-marée montante. Pendant l'intervalle de temps considéré dt , le flot amène dans cette section une certaine quantité d'eau, dont

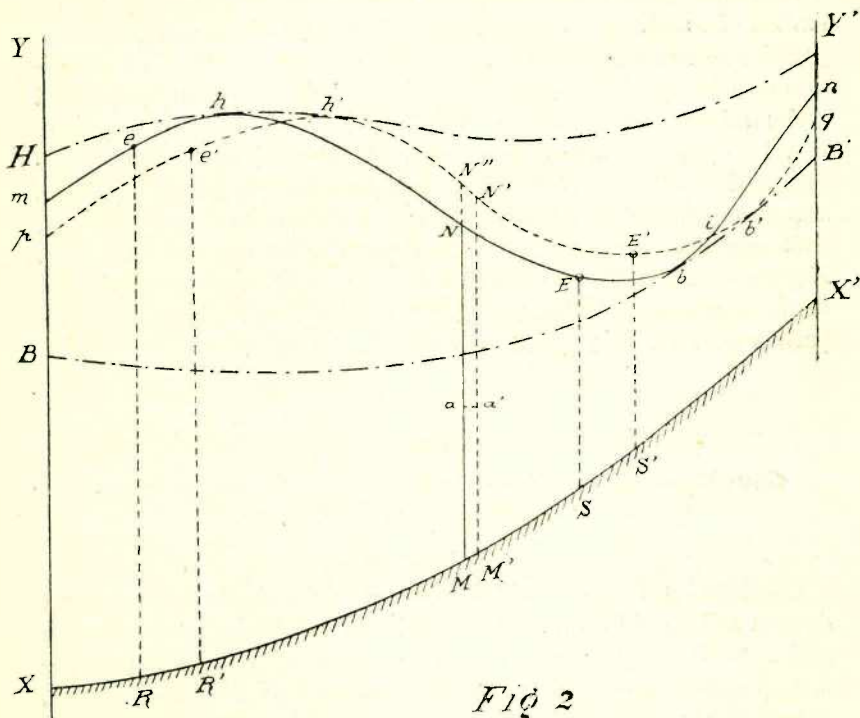


Fig. 2

l'impulsion se fait sentir sur toute la hauteur $M N$ et refoule vers l'amont toutes les molécules de cette verticale. Ces molécules viennent se placer, en moyenne, sur la verticale $M' N'$, en repoussant elles mêmes les molécules qui se trouvaient sur celle-ci, et ainsi de suite. C'est l'équilibre dynamique entre les forces et les résistances ainsi mises en jeu qui règle les variations des hauteurs d'eau dans les sections transversales ; les déplacements s'opèrent conformément à la loi de la moindre action. Le volume d'eau introduit par la section $M N$ est représenté soit par $M N'' N' M'$, soit par l'excès de $(N'' i b N - i b' q n)$ sur le débit supérieur.

De l'égalité entre ces volumes résulte que les distances $h h'$, $b b'$..., qui correspondent au déplacement apparent, sont beaucoup plus grandes que la longueur $a a'$, laquelle figure le déplacement réel des molécules d'eau de la section $M N$. Il en serait de même pour toutes les autres sections transversales.

Bien que toute l'eau contenue dans la rivière soit, comme nous l'avons dit, animée de vitesses, on ne saurait établir de considérations judicieuses sur *l'énergie de la masse totale en mouvement* qu'à condition d'envisager séparément les parties qui se meuvent dans un sens et celles qui se meuvent dans le sens opposé.

A l'origine de l'intervalle dt considéré, il y a étales de jusant dans une section telle que $E S$, étales de flot dans la section $e R$. Ces étales se propagent avec des vitesses qui, dans la région nettement maritime, sont entièrement comparables aux vitesses de propagation de l'onde. E passe donc en E' , e en e' et les masses totales animées de vitesses de *flot* sont successivement $R e h E S$ et $R' e' h' E' S'$. Dans les autres parties de la rivière règnent des courants de jusant.

Conséquences générales de la suppression théorique d'un tronçon de rivière.

Considérons l'onde marée à l'instant où l'étales de flot se produit dans la section M (fig. 3), N marquant toujours la limite amont de la région maritime (un barrage, dans le cas de la figure). Admettons que nous puissions retrancher de la rivière la partie $X Y$, de longueur R , et ramener le tronçon amont $Y N$ contre le tronçon aval $M X$. Nous réaliserons ainsi la situation représentée par la figure 4 ; au ressaut du plafond ne correspondront nullement des ressauts dans les lieux géométriques des marées basses et des marées hautes ni dans les courbes instantanées ; ces diverses lignes demeurent continues et gardent les mêmes allures qu'auparavant.

Si l'on veut comparer les deux situations, on doit tenir compte de ce qu'à l'amont de la section Y , toutes les phases de la marée (maxima, minima, étales, etc.) se produiront dans la situation modifiée plus tôt qu'auparavant ; corrélativement, aux diverses phases de la marée en aval correspondront à l'amont des phases qui se seraient produites plus tard dans la situation primitive. Au moment de l'étales de flot e

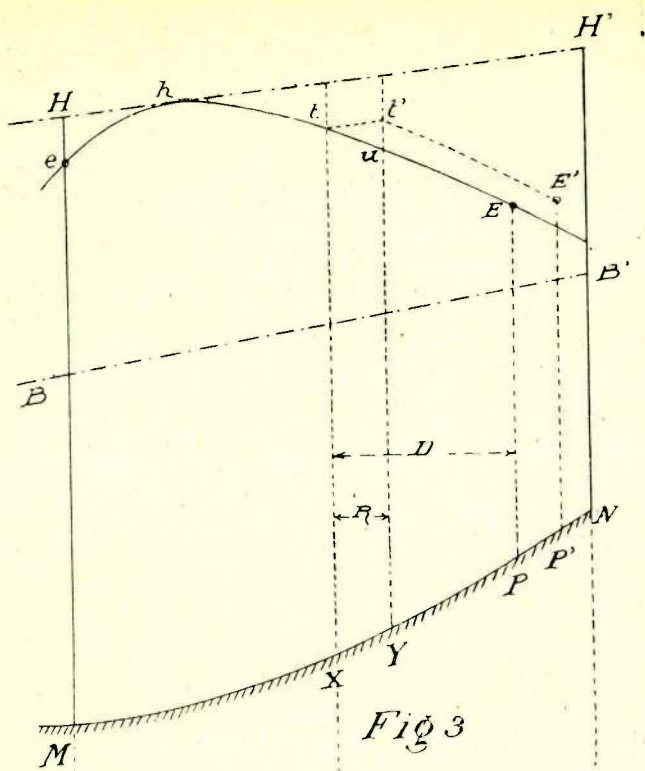


Fig 3

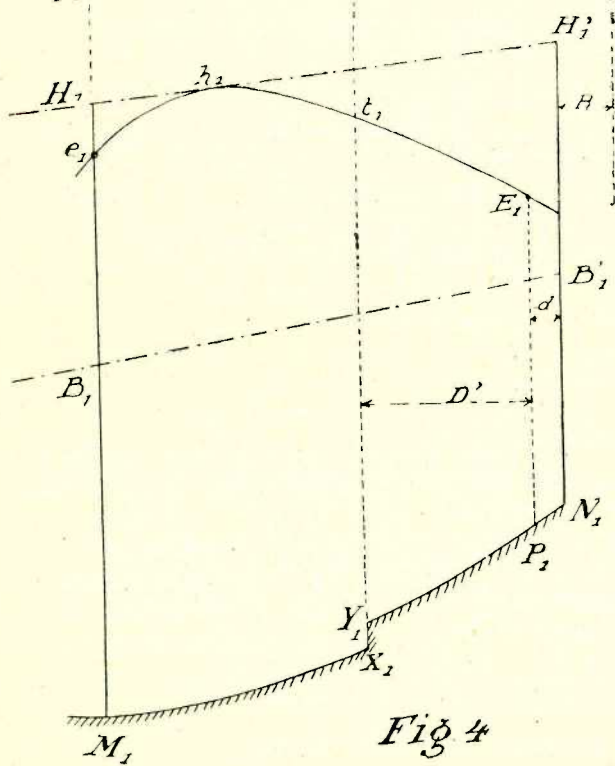


Fig 4

(fig. 3) dans la section M , l'étalement de jusant se produisait en E , à une distance D de la section X . A l'instant qui répond à la même étalement de flot e , en M (fig. 4) l'étalement de jusant se produira en E_1 , à une distance D' de la section Y_1 .

Lorsque l'étalement de flot se produit en M , les masses animées de vitesses de flot à l'amont de cette section sont respectivement $M e h E P$ (fig. 3) et $M_1 e_1 h_1 E_1 P_1$ (fig. 4).

Ces zones de flot diffèrent peu de longueur; mais, comme la partie $Y_1 t_1 E_1 P_1$ (fig. 4) se trouve située plus près de l'extrémité amont que la partie $X t E P$ (fig. 3), donc dans une région où les sections sont moindres, il en résulte que la masse totale, dont nous nous occupons, est devenue plus petite par le fait du raccourcissement.

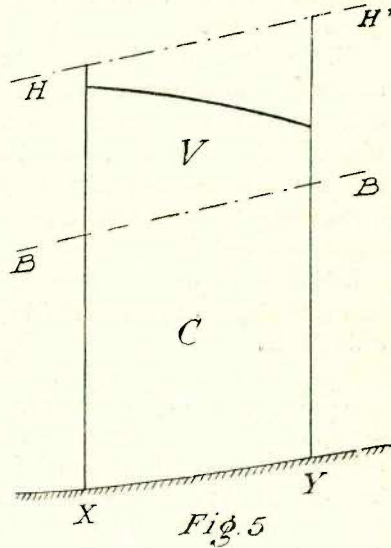
Dans la phase considérée, le volume $Y_1 t_1 E_1 P_1$ de la figure 4 ne diffère guère du volume $Y t' E' P'$ de la figure 3, c'est-à-dire, de celui qui correspond à l'instant où, dans la situation primitive, la hauteur t aurait été réalisée en t' dans la section Y . La diminution en question est donc représentée par $X t u Y - u t' E' P' P E$ (fig. 3). Il faut, en outre, ne pas perdre de vue que la force vive de la masse en mouvement dépend non seulement de son volume mais encore des vitesses de chacune de ses parties et que ces vitesses, après comme avant le raccourcissement, varient suivant une loi continue entre les points e et E , e_1 et E_1 , où elles sont nulles. Dès lors, on doit conclure que le raccourcissement du lit ne peut entraîner qu'une réduction de la puissance vive du fleuve bien inférieure à celle qu'on est conduit à admettre lorsqu'on ne tient pas compte des modifications qui se produisent dans le mouvement de la masse liquide à la suite d'une réduction de la longueur de la rivière. Ces modifications se ramènent finalement à celles qui se produisent dans les débits totaux de flot. Pour apprécier leur effet, on remarquera qu'à l'amont de Y chaque axe hydraulique primitif se retrouve sensiblement dans la situation modifiée, mais à un autre instant; en particulier, il en sera ainsi des courbes instantanées qui correspondent aux étalements en Y ou en tout autre point d'amont. Il en résulte que les débits de ces sections ne seront pas modifiés en quantité, mais seulement déplacés dans le temps.

Au contraire, dans la région d'aval, les débits totaux de flot seront diminués. Pour la section X , cette réduction est égale au volume compris entre les lieux géométriques des étalements dans le tronçon supprimé. En effet, le nouveau débit total de la section X_1 , (fig. 4) est le même que celui de la section Y dans la situation primitive (fig. 3). Il suffit

donc d'appliquer aux sections X et Y de la figure 3 la relation que nous avons énoncée plus haut entre le débit total de flot et les lieux géométriques des étales. (Le débit supérieur latéral peut être négligé pour le tronçon XY).

En résumé, lorsque dans une rivière à marée on supprime le tronçon XY (fig. 5) on supprime, en même temps, une partie du travail d'entretien réclamé à la puissance hydraulique de la masse liquide en mouvement.

La masse constante C , véhiculaire, en quelque sorte, de l'énergie de l'onde, disparaît en même temps que la portion du lit sur laquelle elle exerçait son action directe. La masse V , de volume variable, se retrouve plus loin mais déformée. Le résultat final est une diminution du débit total à l'aval du tronçon supprimé, diminution dont nous avons indiqué la valeur ci-dessus.



Conséquences générales du raccourcissement réel d'une rivière.

En réalité on ne peut raccourcir une rivière qu'en remplaçant, entre deux points donnés, le lit existant par un lit nouveau de moindre longueur; ce dernier est toujours plus régulier que le premier. Du fait du raccourcissement, les choses se passent comme il vient d'être dit.

Du fait de l'amélioration, l'onde se propage plus facilement et les débits totaux augmentent. Cette augmentation est absolue à l'amont de la coupure; elle est relative à l'aval, parce que, d'autre part, les débits y diminuent par suite du raccourcissement du lit. La durée du flot augmente également et celle du jusan diminue. Quant aux vitesses, elles subissent des modifications proportionnelles à celles des

débites et inversement proportionnelles à celles des sections transversales et à celles des durées du flot et du jusant. Enfin, il se produit un léger relèvement du lieu géométrique des marées hautes à l'amont du nouveau lit.

Si, tout en opérant un raccourcissement du fleuve, on améliore le lit de ce dernier à l'aval de la coupure, ces derniers effets ne feront que s'accroître.

Si, de plus, on exécute des travaux d'amélioration à l'amont, on abaissera dans cette région les lieux géométriques des marées basses et des marées hautes ; non seulement le relèvement de ce dernier lieu disparaîtra mais il se produira, en outre, un nouvel allongement et une nouvelle augmentation du volume de l'onde, en même temps qu'un accroissement absolu ou relatif des débits totaux dans toute la région maritime.

L'importance de ces effets est évidemment une question d'espèce ; leur examen, en ce qui concerne l'Escaut, fait l'objet de la suite de cette étude.

L'influence de la Grande Coupure sur le régime de l'Escaut dépendra donc des dimensions de son lit et des travaux qui auront été ou seront exécutés au fleuve, tant à l'aval qu'à l'amont de cette partie nouvelle du lit ; dans ces derniers, il faut comprendre les travaux aux affluents maritimes. Il importe donc de faire connaître les améliorations réalisées aussi bien que celles projetées dans le bassin de l'Escaut maritime.

Travaux en aval de la Grande Coupure.

Le projet présenté par le Gouvernement prévoit la régularisation en même temps que le rétrécissement et l'approfondissement du lit mineur de l'Escaut, sur une certaine longueur en aval de la Grande Coupure ; pareil travail faisait partie de tous les projets comportant la Grande Coupure.

Pour rendre actuellement possible la navigation des grands navires, nous sommes forcés d'exécuter d'une manière continue des dragages dans le chenal, d'Anvers à Valkenisse (Pays-Bas), lesquels, depuis 1894, ont donné lieu à une dépense annuelle de 1 1/2 million de francs.

Les exigences de la navigation ne faisant qu'augmenter, les dragages coûteront de plus en plus cher; le seul moyen de les éviter consiste à fixer le lit suivant un tracé régulier, d'Anvers à un point de l'estuaire où la profondeur est stable et suffisante pour les plus grands navires.

Travaux en amont de la Grande Coupure.

ESCAUT. — En amont d'Anvers, l'Escaut devra être aménagé de manière à laisser passer au flot le volume d'eau qu'exigera le développement de l'onde marée dans la partie supérieure du fleuve et dans ses affluents.

Les améliorations réalisées, en cours d'exécution ou projetées à ce fleuve et à ses affluents sont les suivantes (voir pl. I).

Entre Gand et Termonde on a creusé onze coupures, remplaçant des parties fort tortueuses de la rivière; celle de Wichelen date de 1893, toutes les autres ont été faites de 1880 à 1890.

Ces coupures creusées, on a régularisé, élargi et endigué le fleuve de Gand à Schellebelle; pour la section comprise entre ce point et le pont de Schoonaerde, le projet de travaux analogues est dressé et les acquisitions des terrains sont en cours.

Les études du projet de régularisation de l'Escaut entre Schoonaerde et Termonde sont entamées. Lorsque cette section sera améliorée, on n'aura plus à faire que le même travail entre Termonde et Baesrode, lequel comportera des coupures à Moerzeke. En aval de Baesrode, on pourra se borner à des rectifications de rive et à des dragages; ceux-ci seront poussés jusque dans la coupure de Drij Goten, creusée en 1904, immédiatement à l'amont de l'embouchure de la Durme.

Sur la planche-annexe II figurent les lieux géométriques des marées hautes moyennes et des marées basses moyennes de l'Escaut respectivement pendant les périodes 1871 à 1880 et 1891 à 1900; la première de ces périodes est antérieure, la seconde postérieure au creusement des coupures en amont de Termonde, celle de Wichelen exceptée. L'examen de ces lieux géométriques fait constater que si la marée haute n'a pas diminué beaucoup en hauteur, la marée basse s'est abaissée sensiblement en amont de l'embouchure du Rupel et que, par conséquent, la capacité de marée de cette partie de l'Escaut s'est notablement accrue; l'exécution des travaux projetés sera suivie d'un

nouvel accroissement de la capacité d'emmagasinement, dont, en même temps, le coefficient d'utilisation augmentera.

Il est vrai que la capacité de marée a été réduite par suite du raccourcissement du lit; mais comme ce raccourcissement a été opéré sur la partie amont du fleuve, où la largeur est faible, cette réduction de capacité a été inférieure à l'augmentation résultant de l'abaissement des marées basses.

DURME. — Dès 1882, un avant-projet d'amélioration de cette rivière, figuré à la planche I, a été soumis au Département; en attendant son exécution, on a réglé l'ouverture des nouveaux ponts construits depuis lors sur la rivière dans l'hypothèse où ce tracé serait réalisé.

Ce projet pourrait être étendu davantageusement au Moervaert et à la Zuidleede; de cette manière, on améliorerait le régime de ces cours d'eau en même temps que celui de la Durme; dans les conditions nouvelles, le Moervaert et la Zuidleede se prêteraient beaucoup mieux qu'aujourd'hui à l'assèchement des prairies riveraines.

Bassin du Rupel. — SENNE. — A l'ancien lit, fort tortueux et de faible section, on a substitué, entre Sempst et Sennegat, un nouveau lit bien tracé et de bonne largeur, indiqué à la planche I; la partie maritime s'arrête au pont-barrage à Hombeek. Alors que jadis le débit total de flot n'atteignait pas 300,000 mètres cubes, il s'élève aujourd'hui à 520,000 mètres cubes.

En ce qui concerne les résultats produits par ces travaux, ils sont appréciés dans les termes suivants à la page 175 des procès-verbaux des séances du Conseil provincial d'Anvers, session de 1907 :

« Les inondations, qui étaient fréquentes autrefois dans la vallée de la Senne, ne se sont plus renouvelées depuis l'élargissement, la rectification et l'approfondissement de la rivière sur le territoire de la province d'Anvers. »

DYLE. — Un barrage à jeu de marée a été construit en amont de l'origine de l'ancienne dérivation à Malines. A l'aval de cet ouvrage, on a creusé une nouvelle dérivation et, au débouché de celle-ci, on a régularisé, élargi et approfondi la rivière, de manière à constituer un nouveau lit d'une longueur totale de 4 kilomètres, dans lequel l'onde marée peut se développer facilement. Les terrains sont acquis pour la continuation de ces travaux jusque près de l'embouchure de la rivière.

NÈTHES. — Un avant-projet d'amélioration de la Nèthe Inférieure a été présenté en 1901 ; il comporte le redressement et le creusement du lit de la Grande-Nèthe et de celui de la Petite-Nèthe, pour autant que l'exigeront le bon régime de la Nèthe Inférieure et l'assèchement des vallées.

Un avant-projet de canal reliant le canal de jonction de la Meuse à l'Escaut et la Nèthe Inférieure a été présenté également ; l'exécution de ce travail permettrait aux bateaux venant du bassin houiller de la Campine de pénétrer dans l'intérieur du pays sans faire le détour par les bassins et la rade d'Anvers.

RUPEL. — L'avant-projet d'amélioration de la Nèthe Inférieure s'étend jusqu'au pont-route de Boom.

Des études en cours portent sur l'amélioration de la partie inférieure du Rupel, en vue de faciliter aux navires l'accès du nouveau canal maritime vers Bruxelles.

Régime futur du fleuve.

Il existe un moyen de réduire à bien peu de chose, si pas à zéro, les effets qu'on pourrait craindre du raccourcissement du lit de l'Escaut, à résulter de l'exécution de la Grande Coupure ; son efficacité ne doit pas être démontrée par des considérations théoriques ; elle résulte de l'exposé même du procédé, que voici :

Supposons la Grande Coupure creusée de manière qu'en amont de Lille elle ait les dimensions du lit actuel du fleuve ; la partie $K A D L$ (fig. 6) sera devenue $K B C L$, donc le tronçon $B A D C$ aura disparu. Comme le contact persistera entre la section nouvelle du lit et la partie du fleuve non altérée en amont d'Anvers, le lit futur sera représenté schématiquement par la figure $M B B' P' Q' C' C N$.

Transformons maintenant le lit du fleuve en amont de la Grande Coupure, en creusant ses sections aux dimensions qu'on trouve actuellement à la distance $A B$ vers l'aval ; dès lors, le nouveau lit sera $M P_1 Q_1 N$. La seule modification apportée au fleuve consistera dans la suppression de la partie $P_1 P Q Q_1$, à son extrémité amont. A la suite du creusement des coupures de l'Escaut en amont de Termonde, fait suivant le principe qui vient d'être énoncé, il a été constaté qu'à un raccourcissement de l'espèce correspond un abaissement sensible du lieu géométrique des marées basses, lequel entraîne une augmenta-

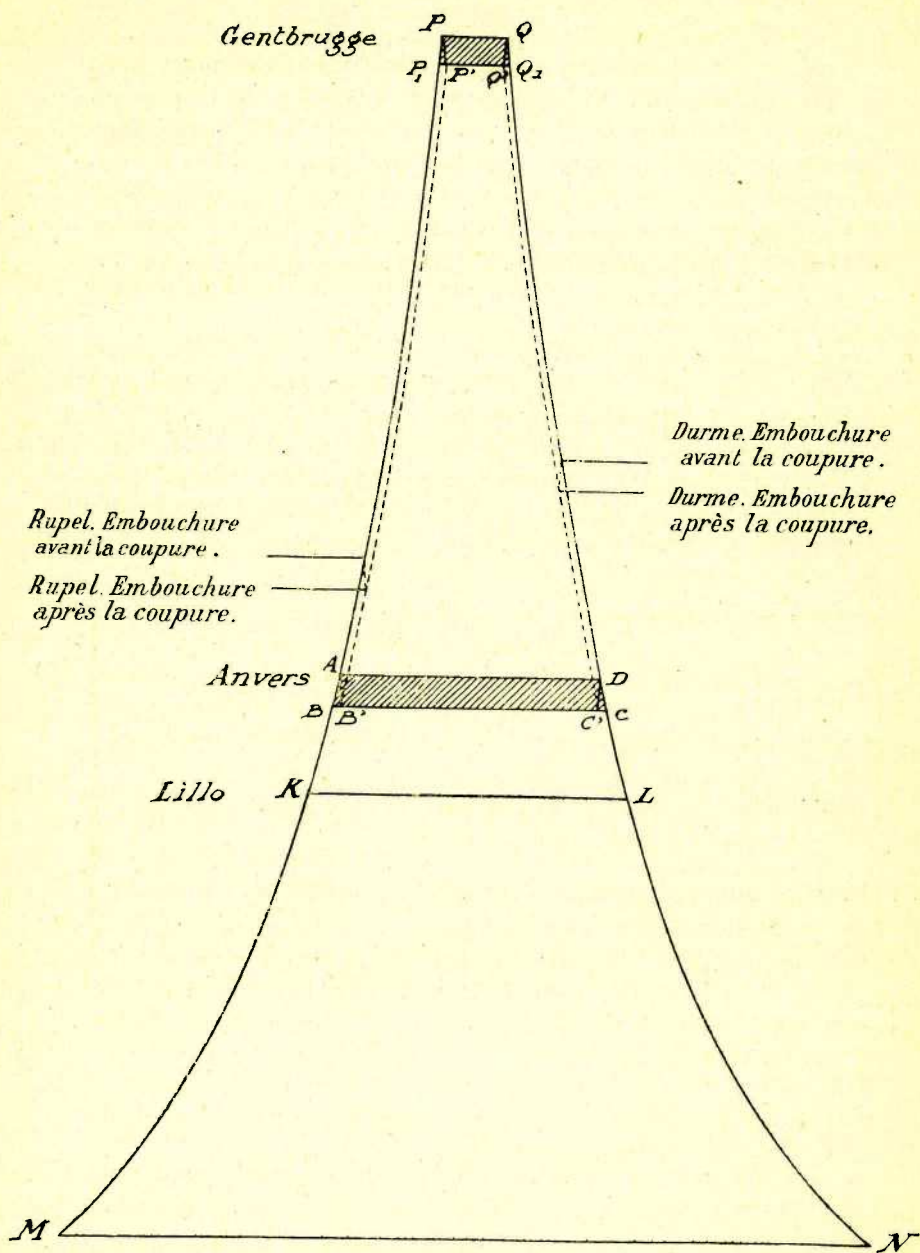


Fig. 6.

tion de la capacité de marée; le même effet se produira donc également dans le cas actuel. De plus, de par le fait même du raccourcissement, l'embouchure du Rupel et celle de la Durme seront plus rapprochées de la mer de la longueur AB , donc reportées en des points où l'amplitude de la marée est plus grande qu'aux embouchures actuelles; il en résultera que le débit de flot pénétrant dans ces affluents se trouvera augmenté.

Ces deux conséquences favorables compenseront largement l'effet à résulter de la disparition de la section $P_1 P Q Q_1$.

Cette solution est possible, mais elle entraîne la modification du lit sur toute sa longueur en amont d'Anvers; supposons qu'on y renonce et continuons l'examen de la question.

La Grande Coupure devra être creusée de manière que ses sections croissent régulièrement vers l'aval. Quant aux sections extrêmes, nous admettrons qu'elles pourront varier entre certaines limites qui dépendent des sections voisines du fleuve et auxquelles on peut assigner les valeurs suivantes :

	SECTIONS TRANSVERSALES	
	SOUS MARÉE BASSE.	SOUS MARÉE HAUTE.
Anvers	$s_0 = 2\ 800\text{ m}^2 \text{ à } 3\ 500\text{ m}^2$	$S_0 = 5\ 000\text{ m}^2 \text{ à } 5\ 700\text{ m}^2$
Lillo	$s_1 = 4\ 600\text{ m}^2 \text{ à } 5\ 300\text{ m}^2$	$S_1 = 8\ 000\text{ m}^2 \text{ à } 9\ 500\text{ m}^2$

Lorsqu'on voudra faire l'étude du régime qui se produira après le creusement d'une coupure dont les sections varient dans les limites et selon les conditions ci-dessus, le problème restera encore grandement indéterminé, parce que ces sections pourront être réalisées de nombreuses façons. Pour réduire cette indétermination, nous allons nous imposer de nouvelles conditions :

1° De nos récentes études du cours de l'Escaut, il résulte que, de Lillo à Hemixem, la section mouillée sous marée haute est à la section mouillée sous marée basse dans un rapport $\frac{S}{s}$ variant de 1.65 à 1.85; il y a lieu de ne pas s'éloigner de ces valeurs;

2° Dans chaque profil transversal, la section entre marée basse et marée haute doit être proportionnelle au débit total de flot qui passe par ce profil.

Soient Ω_0 et Ω_1 , V_0 et V_1 , respectivement ces sections et ces débits à Anvers et à Lillo ;

$\Delta \Omega$ et ΔV les accroissements de ces éléments entre ces deux stations ;

On aura :

$$\begin{aligned} S_0 - s_0 &= \Omega_0 ; \\ S_1 - s_1 &= \Omega_1 ; \\ \Omega_1 - \Omega_0 &= \Delta \Omega ; \\ V_1 - V_0 &= \Delta V . \end{aligned}$$

La condition énoncée s'écrit :

$$\frac{\Omega_0}{\Omega_1} = \frac{V_0}{V_1} \quad (1)$$

ou
$$\frac{\Delta \Omega}{\Omega_1} = \frac{\Delta V}{V_1} \quad (2)$$

Si d représente la distance future Anvers-Lillo, la capacité de marée de ce tronçon aura pour expression :

$$\frac{\Omega_0 + \Omega_1}{2} \times d$$

Le coefficient d'utilisation de la capacité de marée sera :

$$K = \frac{\Delta V}{\frac{\Omega_0 + \Omega_1}{2} \times d} \quad (3)$$

Si dans cette expression on remplace

Ω_0 par $\Omega_1 - \Delta \Omega$, et

ΔV par sa valeur tirée de l'équation (2), on trouve

$$\Delta \Omega = \frac{2K \Omega_1^2 d}{2V_1 + K \Omega_1 d} \quad (4)$$

D'une manière analogue, on trouverait

$$\Delta \Omega = \frac{2K \Omega_0^2 d}{2V_0 - K \Omega_0 d} \quad (5)$$

3° Une troisième condition est relative à la valeur numérique du coefficient d'utilisation de la capacité de marée dans la Grande Coupure.

Le tableau qui suit donne la valeur de ce coefficient pour les différentes sections du lit actuel du fleuve, entre Flessingue et l'embouchure de la Durme:

TRONÇONS DU FLEUVE	Longueurs suivant l'axe.	Capacités comprises, dans chaque tronçon, entre les lieux géomé- triques de la marée haute et de la marée basse.	Différences entre les débits totaux du flot à chaque extrémité du tronçon (déduction faite du débit des affluents).	Rapports d'utilisa- tion.
	Mètres.	Mètres cubes.	Mètres cubes.	
FLESSINGUE-TERNEUZEN . . .	18 500	419 493 750	353 230 900	0.84
TERNEUZEN-HANSWEERT. . .	15 300	302 499 250	269 037 400	0.89
HANSWEERT-BATH	16 100	280 008 500	268 937 200	0.96
BATH-LILLO	11 000	98 817 900	86 279 500	0.87
LILLO-FORT PHILIPPE	6 650	21 945 100	18 438 800	0.84
FORT PHILIPPE-ANVERS (Kattendyk).	7 200	18 557 700	14 608 600	0.79
ANVERS (Kattendyk)-HEMIXEM	12 375	22 299 750	17 608 650	0.79
HEMIXEM-TOLHUIS (Embou- chure du Rupel)	2 625	3 362 000	3 277 850	0.97
TOLHUIS (Emb. du Rupel)- THIELRODE (Emb. de la Durme)	40 500	13 727 030	12 790 940	0.93
			Moyenne. . .	0.88
Pour tout le tronçon Lillo-Anvers.				
LILLO-ANVERS (Kattendyk) .	13 850	40 502 800	33 047 400	0.82

De ce tableau il résulte qu'entre Lillo et Anvers la capacité de marée est fort mal utilisée; il n'en sera plus de même dans la Grande Coupure, à sections transversales variant d'une manière régulière et continue. D'autre part, l'examen d'un avant-projet de Grande Coupure que nous avons fait, en nous basant sur les lois de propagation de la

marée et sur les courbes instantanées de l'Escaut déduites de ces lois, nous a conduit à un coefficient d'utilisation de 0.87. Nous croyons donc n'exagérer nullement en adoptant dans ce qui suit, pour ce coefficient, la valeur 0.85.

Nous pouvons maintenant examiner les effets à résulter de l'exécution de la Grande Coupure dans des conditions bien déterminées.

I. — Sections transversales très grandes.

Si la Coupure est creusée à grandes sections, sa capacité de marée sera fort grande et l'effet du raccourcissement du lit du fleuve sur le débit de flot à Lillo sera ramené à un minimum.

Nous nous placerons successivement dans deux hypothèses.

A. — *Les travaux à exécuter à l'amont de Lillo ne s'étendent pas au-delà de la Grande Coupure.*

Admettons qu'on veuille conserver le débit actuel de flot à Lillo, soit

$$V_1 = 92\,400\,000 \text{ m}^3.$$

Dans ce cas, nous devons commencer nos opérations à Lillo; vu l'importance de ce débit de flot, nous adopterons pour sections sous marée haute et sous marée basse les valeurs limites supérieures admises ci-dessus, soient :

$$\begin{aligned} s_1 &= 5\,300 \text{ m}^2 \\ S_1 &= 9\,500 \text{ m}^2 \\ \text{d'où } \Omega_1 &= 4\,200 \text{ m}^2 \\ \text{et } \frac{S_1}{s_1} &= 1.79 \end{aligned}$$

La formule (4) nous donnera :

$$\Delta\Omega = \frac{2 \times 0.85 \times (4\,200 \text{ m}^2)^2 \times 11\,350 \text{ m}}{2 \times 92\,400\,000 \text{ m}^3 + 0.85 \times 4\,200 \text{ m}^2 \times 11\,350 \text{ m}} = 1\,500 \text{ m}^2$$

De là

$$\Omega_0 = 4\,200 \text{ m}^2 - 1\,500 \text{ m}^2 = 2\,700 \text{ m}^2.$$

La formule (3) nous permet d'écrire :

$$\Delta V = V_1 - V_0 = 0.85 \times \frac{2\,700\,m^2 + 4\,200\,m^2}{2} \times 11\,350\,m.$$

$$= 33\,300\,000\,m^3.$$

Or, le débit total de flot à Anvers est actuellement de 59,300,000 m³; comme l'onde maréc arrivera, après le creusement de la Coupure, plus facilement à Anvers que par le passé, ce débit sera augmenté; il n'y a rien d'exagéré à le fixer en chiffre rond, à

$$V_0 = 60\,000\,000\,m^3.$$

Dès lors, le débit à Lillo sera :

$$60\,000\,000\,m^3 + 33\,300\,000\,m^3 = 93\,300\,000\,m^3,$$

au lieu de 92 400 000 m³, c'est-à-dire qu'il sera augmenté de 900 000 m³. On voit donc que si la Coupure était creusée comme nous l'avons supposé, le débit de flot à Lillo ne serait pas réduit, mais légèrement augmenté. Cette conclusion est d'autant plus vraie que nous sommes partis d'un débit de flot à Lillo inférieur à celui de 93 300 000 m³, auquel nous avons abouti.

Examinons quelles seront les vitesses qui se produiront dans la Coupure.

A LILLO. — En admettant que dans la Coupure, à lit régulier, la propagation des diverses parties du gagnant de l'onde sera proportionnelle à la racine carrée des profondeurs d'eau, le calcul montre que la durée du flot à Lillo sera augmentée et celle du jusant diminuée, chacune d'environ 11 minutes.

En désignant ces durées respectivement par f et par j , on aura donc, après l'exécution de la Coupure,

$$f_1 = 6^h\,01^m = 21\,660\,sec.$$

$$j_1 = 6^h\,24^m = 23\,040\,sec.$$

De nos études il résulte que, dans l'Escaut, les vitesses moyennes v du flot et w du jusant sont données par les expressions

$$v = \frac{V}{f \times 1.1 \left(\frac{s + S}{2} \right)} \quad (6)$$

$$w = \frac{V + \text{débit supérieur par marée}}{j \times 0.93 \left(\frac{s + S}{2} \right)} \quad (7)$$

Pour $V_1 = 93\,300\,000\text{ m}^3$, on trouve

$$v_1 = \frac{93\,300\,000\text{ m}^3}{21\,660^s \times 1.1 \times \left(\frac{5\,300\text{ m}^2 + 9\,500\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m53$$

Pour simplifier, nous adopterons un même débit supérieur moyen à Anvers et à Lillo, savoir $4\,000\,000\text{ m}^3$ par marée. Dès lors, il vient

$$w_1 = \frac{97\,300\,000\text{ m}^3}{23\,040^s \times 0.93 \left(\frac{5\,300\text{ m}^2 + 9\,500\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m61$$

A ANVERS. — Des calculs dont il a été question plus haut il résulte que la durée du flot y sera augmentée de 19 minutes et celle du jusant diminuée d'autant.

Nous aurons donc :

$$\begin{aligned} f_o &= 5^h\,59^m = 21\,540\text{ sec.} \\ j_o &= 6^h\,26^m = 23\,160\text{ sec.} \end{aligned}$$

On a aussi :

$$V_o = 60\,000\,000\text{ m}^3.$$

Il reste à fixer les valeurs de s_o , ou de S_o , vu que Ω_o seul est connu.

Afin que les vitesses moyennes soient à peu près les mêmes dans toute la Coupure, posons

$$\frac{s_0}{s_1} = \frac{\Omega_0}{\Omega_1}$$

nous aurons également

$$\frac{S_0}{S_1} = \frac{\Omega_0}{\Omega_1}$$

Remplaçant maintenant s_1 , S_1 , Ω_0 et Ω_1 par leurs valeurs respectives, nous aurons :

$$s_0 = 5\,300\text{ m}^2 \times \frac{2\,700\text{ m}^2}{4\,200\text{ m}^2} = 3\,400\text{ m}^2$$

et $S_0 = 3\,400\text{ m}^2 + 2\,700\text{ m}^2 = 6\,100\text{ m}^2.$

Quant aux vitesses moyennes, les formules (6) et (7) donnent :

$$v_0 = \frac{6\,000\,000\text{ m}^3}{21\,540^s \times 1.1 \left(\frac{6\,100\text{ m}^2 + 3\,400\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m53$$

et $w_0 = \frac{64\,000\,000\text{ m}^3}{23\,160^s \times 0.93 \left(\frac{6\,100\text{ m}^2 + 3\,400\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m63.$

Comme on l'a prévu, ces vitesses moyennes seront sensiblement constantes entre Lillo et Anvers; mais elles seront inférieures aux vitesses moyennes actuelles, qui atteignent 0^m60 au flot et 0^m65 au jusant; or, ces moyennes constituent des limites au-dessous desquelles il convient de ne pas descendre; ajoutons qu'aux deux extrémités du tronçon ces moyennes sont dépassées sur des longueurs assez grandes.

Un autre inconvénient de cette solution est que la section à marée haute à l'extrémité amont de la Coupure ($6\,100\text{ m}^2$) sera trop grande pour pouvoir être raccordée convenablement aux sections de la rade actuelle.

B. — Des travaux sont exécutés à l'amont de la Coupure.

En donnant à la Coupure de grandes sections transversales dans les conditions qui viennent d'être définies, les débits totaux à Lillo et à Anvers sont tous deux légèrement augmentés. Nous supposons maintenant que l'augmentation de $700\,000\text{ m}^3$ à Anvers ne suffise pas aux améliorations que l'on veut réaliser à l'amont et que celles-ci exigent une nouvelle augmentation du débit total à Anvers, à concurrence de $4\,000\,000\text{ m}^3$.

Les sections restant les mêmes, nous trouvons les vitesses suivantes :
A LILLO :

$$v_1 = \frac{97\,300\,000\text{ m}^3}{21\,660^s \times 1.1 \left(\frac{5\,300\text{ m}^2 + 9\,500\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. } 55$$

$$w_1 = \frac{101\,300\,000\text{ m}^3}{23\,040^s \times 0.93 \left(\frac{5\,300\text{ m}^2 + 9\,500\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. } 64$$

A ANVERS :

$$v_0 = \frac{64\,000\,000\text{ m}^3}{21\,540^s \times 1.1 \left(\frac{3\,400\text{ m}^2 + 6\,100\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. } 57$$

$$w_0 = \frac{68\,000\,000\text{ m}^3}{23\,160^s \times 0.93 \left(\frac{3\,400\text{ m}^2 + 6\,100\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. } 66$$

Ces vitesses sont un peu plus grandes que celles trouvées dans le cas précédent, mais inférieures à celles qui existent actuellement aux deux extrémités du tronçon Anvers-Lillo.

Pour réaliser les vitesses calculées, on devrait exécuter des travaux importants tant dans la Coupure qu'à l'amont, donc faire de grandes dépenses.

L'inconvénient signalé plus haut subsiste en ce qui concerne la difficulté de raccorder à Anvers la Coupure avec la rade actuelle.

De ce qui précède il résulte que, si l'on veut se borner exclusivement à récupérer le débit de flot que peut faire perdre le raccourcissement du lit, on n'arrive pas à une solution satisfaisante au point de vue des vitesses, alors que celles-ci constituent l'élément principal de la question.

II. — Sections transversales très petites

Si l'on donne à la Coupure des sections réduites, il convient, pour déterminer celles-ci, de commencer les opérations à l'extrémité amont; en effet, c'est surtout dans la rade future d'Anvers qu'il y a lieu de réaliser des sections suffisamment petites pour obtenir des vitesses en rapport avec la conservation de cette partie du lit.

On peut adopter comme sections minima :

$$s_o = 2\,800\text{ m}^2$$

$$S_o = 5\,000\text{ m}^2$$

d'où

$$\Omega_o = 2\,200\text{ m}^2$$

et

$$\frac{S_o}{s_o} = 1.79$$

A. — *Les travaux à exécuter à l'amont de Lillo ne s'étendent pas au delà de la Grande Coupure.*

Appliquons la formule (5) en y faisant :

$$V_o = 60\,000\,000\text{ m}^3$$

$$\Delta\Omega = \frac{2 \times 0.85 \times (2\,200\text{ m}^2)^2 \times 11\,350\text{ m.}}{2 \times 60\,000\,000\text{ m}^3 - 0.85 \times 2\,200\text{ m}^2 \times 11\,350\text{ m.}} = 950\text{ m}^2$$

d'où

$$\Omega_1 = 2\,200\text{ m}^2 + 950\text{ m}^2 = 3\,150\text{ m}^2$$

L'équation (3) donne

$$\begin{aligned} \Delta V = V_1 - V_o &= 0.85 \times 11\,350\text{ m.} \times \frac{2\,200\text{ m}^2 + 3\,150\text{ m}^2}{2} \\ &= 25\,800\,000\text{ m}^3 \end{aligned}$$

d'où

$$V_1 = 60\,000\,000\text{ m}^3 + 25\,800\,000\text{ m}^3 = 85\,800\,000\text{ m}^3$$

La diminution du débit total à Lillo sera donc :

$$92\,400\,000\text{ m}^3 - 85\,800\,000\text{ m}^3 = 6\,600\,000\text{ m}^3$$

Ce chiffre représente la plus grande valeur que pourra théoriquement atteindre la diminution dont il s'agit.

Quant aux vitesses, elles seront :

A ANVERS :

$$v_0 = \frac{60\,000\,000\text{ m}^3}{21\,540^s \times 1.1 \left(\frac{2\,800\text{ m}^2 + 5\,000\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. }65$$

$$w_0 = \frac{64\,000\,000\text{ m}^3}{23\,160^s \times 0.93 \left(\frac{2\,800\text{ m}^2 + 5\,000\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. }76$$

A LILLO :

Déterminons d'abord les sections sous marée basse et sous marée haute, en opérant de la même manière que ci-dessus :

$$s_1 = 2\,800\text{ m}^2 \times \frac{3\,150\text{ m}^2}{2\,200\text{ m}^2} = 4\,000\text{ m}^2$$

et

$$S_1 = 4\,000\text{ m}^2 + 3\,150\text{ m}^2 = 7\,150\text{ m}^2,$$

donc nécessairement

$$\frac{S_1}{s_1} = \frac{S_0}{s_0} = 1.79;$$

il en résulte que les vitesses ne pourront différer que fort peu de celles trouvées pour Anvers; la vérification donne

$$v_1 = \frac{85\,800\,000\text{ m}^3}{21\,660^s \times 1.1 \left(\frac{4\,000\text{ m}^2 + 7\,150\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m65$$

et

$$w_1 = \frac{89\,800\,000\text{ m}^3}{23\,040^s \times 0.93 \left(\frac{4\,000\text{ m}^2 + 7\,150\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m75.$$

Ces vitesses sont supérieures respectivement aux moyennes des vitesses moyennes de flot et de jusant dans les sections transversales entre Anvers et Lillo; elles approchent des valeurs maxima de ces dernières vitesses.

La solution qui précède comporte, à Lillo, des sections fort petites, qui exigeraient vers l'aval des travaux de raccordement très importants.

B. — *Des travaux sont exécutés à l'amont de la Coupure.*

Si l'on exécute des travaux d'amélioration à l'amont de la Coupure, le débit de flot augmentera et, par conséquent, les vitesses deviendront plus grandes. Pour calculer ces vitesses, nous devons nous donner le nouveau débit à Anvers.

En le portant à 65 000 000 m³, nous faisons une hypothèse très large, car elle entraîne une augmentation totale de 5 700 000 m³, donc des travaux importants à l'amont. Cependant la récupération du débit à Lillo ne sera pas encore complète.

Les sections transversales de la Coupure restant les mêmes que dans le cas qui vient d'être examiné, nous serons conduits aux vitesses moyennes suivantes :

A ANVERS :

$$v_0 = \frac{65\,000\,000\text{ m}^3}{21\,540^s \times 1.1 \left(\frac{2\,800\text{ m}^2 + 5\,000\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m70$$

$$w_0 = \frac{69\,000\,000\text{ m}^3}{23\,160^s \times 0.93 \left(\frac{2\,800\text{ m}^2 + 5\,000\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m82;$$

A LILLO :

$$v_1 = \frac{90\,800\,000\text{ m}^3}{21\,660^s \times 1.1 \left(\frac{4\,000\text{ m}^2 + 7\,150\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m68$$

$$w_1 = \frac{94\,800\,000\text{ m}^3}{23\,040^s + 0.93 \left(\frac{4\,000\text{ m}^2 + 7\,150\text{ m}^2}{2} \right)} = 0^m79.$$

Ces vitesses sont assez grandes mais elles ne paraissent pas incompatibles avec un bon régime du fleuve.

Il n'en est pas de même des sections transversales; celles-ci, fort petites par rapport aux débits à écouler, constitueront un obstacle à la propagation de l'onde marée. Pour ce motif, cette solution ne peut être admise.

De ce qui précède il résulte :

Qu'en donnant à la Coupure de grandes sections, le débit de flot n'est pas diminué à Lillo, même si l'on n'exécute aucun travail à l'amont d'Anvers ; mais les vitesses deviennent trop faibles dans la Coupure et celle-ci se raccorde mal à l'amont avec le lit actuel du fleuve ;

Qu'en donnant à la Coupure de petites sections le débit de flot est diminué à Lillo, à moins qu'on n'exécute des travaux importants dans la région amont, au fleuve et à ses affluents ; il est vrai que les vitesses dans la Coupure seront bonnes mais, par contre, la cunette, à sections très faibles, ne pourra être raccordée que difficilement avec le lit actuel ; de plus, elle portera entrave à la propagation de l'onde marée.

Entre ces solutions se place toute une série de solutions intermédiaires. Nous ne considérerons que celles qui ne comportent aucune réduction du débit de flot à Lillo.

Une partie de débit de flot récupéré pourra être emmagasinée dans la Coupure et le restant à l'amont d'Anvers, dans le fleuve et dans ses affluents. Plus les sections de la Coupure seront grandes, plus considérable sera le volume d'eau qu'on y logera mais aussi plus faibles seront les vitesses. Plus sera petit le volume d'eau qu'on devra emmagasiner à l'amont d'Anvers, moins importants seront les travaux à exécuter à l'Escaut et à ses affluents. Comme il se peut que ces derniers travaux ne soient pas achevés avant l'exécution de la Coupure, il faudra que pendant la période intermédiaire les vitesses dans cette Coupure ne tombent pas en dessous des limites admises ci-dessus, savoir les moyennes des vitesses actuelles entre Anvers et Lillo.

Dans cet ordre d'idées, nous avons essayé un grand nombre de solutions ; celle que nous donnons ci-après répond le mieux aux conditions que nous nous sommes imposées.

Les sections de la Coupure à ses deux extrémités sont :

A LILLO :

$$s_1 = 4\,500 \text{ m}^2$$

$$S_1 = 8\,150 \text{ m}^2$$

d'où

$$\Omega_1 = 3\,650 \text{ m}^2$$

et

$$\frac{S_1}{s_1} = 1.81.$$

A ANVERS :

$$s_o = 3\,000\text{ m}^2$$

$$S_o = 5\,400\text{ m}^2$$

d'où

$$\Omega_o = 2\,400\text{ m}^2$$

et

$$\frac{S_o}{s_o} = 1.80.$$

De là

$$\Delta V = 0.85 \times \frac{2\,400\text{ m}^2 + 3\,650\text{ m}^2}{2} \times 11\,350\text{ m.} = 29\,200\,000\text{ m}^3.$$

Examinons les deux cas extrêmes qui pourront se présenter :

A. — *Les travaux exécutés ne s'étendent pas au-delà de la Grande Coupure.*

Dans ce cas :

$$V_0 = 60\,000\,000\text{ m}^3$$

$$V_1 = V_0 + \Delta V = 89\,200\,000\text{ m}^3.$$

Diminution du débit total à Lillo :

$$92\,400\,000\text{ m}^3 - 89\,200\,000\text{ m}^3 = 3\,200\,000\text{ m}^3.$$

Vitesses à LILLO :

$$v_1 = \frac{89\,200\,000\text{ m}^3}{21\,660^1 \times 1.1 \left(\frac{4\,500\text{ m}^2 + 8\,150\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. } 59$$

$$w_1 = \frac{93\,200\,000\text{ m}^3}{23\,040^s \times 0.93 \left(\frac{4\,500\text{ m}^2 + 8\,150\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. } 69$$

Vitesses à ANVERS ;

$$v_o = \frac{60\,000\,000\text{ m}^3}{21\,540^s \times 1.1 \left(\frac{3\,000\text{ m}^2 + 5\,400\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. } 61$$

$$w_o = \frac{64\,000\,000\text{ m}^3}{23\,160^s \times 0.93 \left(\frac{3\,000\text{ m}^2 + 5\,400\text{ m}^2}{2} \right)} = 0\text{ m. } 71$$

B. — *Les travaux exécutés à l'amont sont suffisants pour assurer la récupération totale de la perte de débit à Lillo.*

Dans ce cas :

$$V_1 = 92\,400\,000 \text{ m}^3.$$

Donc :

$$V_0 = V_1 - \Delta V = 63\,200\,000 \text{ m}^3.$$

Vitesses à LILLO :

$$v_1 = \frac{92\,400\,000 \text{ m}^3}{21\,660^s \times 1.1 \left(\frac{4\,500 \text{ m}^2 + 8\,150 \text{ m}^2}{2} \right)} = 0 \text{ m. } 61$$

$$w_1 = \frac{96\,400\,000 \text{ m}^3}{23\,040^s \times 0.93 \left(\frac{4\,500 \text{ m}^2 + 8\,150 \text{ m}^2}{2} \right)} = 0 \text{ m. } 71$$

Vitesses à ANVERS :

$$v_0 = \frac{63\,200\,000 \text{ m}^3}{21\,540^s \times 1.1 \left(\frac{3\,000 \text{ m}^2 + 5\,400 \text{ m}^2}{2} \right)} = 0 \text{ m. } 63$$

$$w_0 = \frac{67\,200\,000 \text{ m}^3}{23\,160^s \times 0.93 \left(\frac{3\,000 \text{ m}^2 + 5\,400 \text{ m}^2}{2} \right)} = 0 \text{ m. } 74$$

Dans les deux cas examinés, les vitesses répondent donc aux conditions du problème.

Les vitesses de flot ne dépassent guère la moyenne de leurs valeurs actuelles entre Lillo et Anvers. Quant aux vitesses de jusant, elles seront sensiblement égales aux valeurs moyennes qu'elles atteignent actuellement aux deux extrémités du tronçon dont il s'agit; de ce fait, le lit de la Grande Coupure se trouvera dans de meilleures conditions d'entretien naturel que le lit à abandonner. A l'aval de la Coupure, les vitesses décroîtront lentement de Lillo à Bath, mais cette décroissance sera plus petite qu'aujourd'hui, parce que le

lit du fleuve y sera rétréci et régularisé. Tout comme dans la Coupure, la prépondérance de la vitesse de jusan s'y trouvera accentuée, à cause de la diminution de la durée du jusan.

Dans le cas examiné en dernier lieu, les travaux à exécuter à l'amont d'Anvers feront gagner en débit.

$$63\ 200\ 000\ \text{m}^3 - 59\ 300\ 000\ \text{m}^3 = 3\ 900\ 000\ \text{m}^3.$$

Ce volume d'eau pourra être réparti de différentes manières entre l'Escaut à l'amont d'Anvers et ses affluents, en raison des modifications qu'on apportera à leur lit. Etant donnés les travaux exécutés ou en cours, ainsi que ceux projetés, la répartition suivante nous paraît admissible :

Escaut à l'amont du Rupel 1 200 000 m³.

Escaut entre l'embouchure de cette rivière et Anvers. Ce tronçon du fleuve devra être élargi et régularisé pour qu'il puisse livrer passage au supplément de débit de flot à envoyer dans la région amont, 1 200 000 m³.

Durme, Moervaert et Zuidleede, convenablement aménagés et éventuellement élargis. 300 000 m³.

Rupel, Dyle Inférieure, Nèthe Inférieure, Petite Nèthe et Grande Nèthe 1 200 000 m³.

Il va de soi que cette répartition n'a qu'un caractère tout provisoire et qu'elle pourra être modifiée suivant les résultats auxquels conduiront les études des projets spéciaux à exécuter aux différentes rivières.

Résumé et conclusions.

Le creusement de la Grande Coupure, sous des sections se raccordant avec celles du fleuve vers l'amont et calculées de manière à obtenir des vitesses convenables, aura pour résultat une réduction du débit de flot à Lillo.

La disparition du volume d'eau sous le lieu géométrique des marées basses, dans la partie supprimée du lit, n'entraînera aucune conséquence nuisible au régime du fleuve, car, en même temps, disparaîtra la partie correspondante du lit que cette masse liquide a charge d'entretenir au moyen de la force vive qu'elle reçoit de l'onde marée.

La réduction du débit de flot exercera des effets différents dans la région à l'aval de la Coupure et dans la région à l'amont de celle-ci.

Vers l'aval, on régularise le tracé du lit; les vitesses auront ainsi des valeurs telles que le chenal sera amélioré, malgré la diminution du débit. Dans la Coupure, l'onde marée se propagera dans des conditions meilleures que dans le lit actuel et il en résultera une certaine augmentation du débit à Anvers, accompagnée d'un léger relèvement du lieu géométrique des marées hautes. Ce relèvement disparaîtra moyennant l'exécution de quelques travaux d'amélioration à l'amont d'Anvers. La situation nouvelle ne sera donc de nature à inspirer aucune crainte justifiée; au contraire, la région d'amont, recevant des volumes d'eau plus grands, se trouvera dans des conditions meilleures qu'aujourd'hui.

Si l'on veut récupérer le débit de flot perdu à Lillo, cette récupération, pour être faite judicieusement, doit être opérée dans la Grande Coupure et dans la région amont. Le volume d'eau emmagasiné dans le fleuve à l'amont d'Anvers et dans ses affluents dépendra des travaux en cours à l'Escaut et à la Dyle et de ceux qu'on exécutera à la Durme, au Rupel et aux Nèthes.

En résumé, la récupération du débit de flot perdu à Lillo n'est pas nécessaire au bon régime de l'Escaut. D'autre part, si l'on exécute les travaux d'amélioration projetés à l'Escaut à l'amont d'Anvers et à ses affluents, le débit de flot à Lillo augmentera et atteindra sa valeur actuelle. Or, comme l'intérêt général aussi bien que celui des populations riveraines demandent que ces travaux soient exécutés, il y a lieu d'admettre, dès maintenant, le principe de cette récupération.

En conséquence, il faut donner à la Grande Coupure les dimensions voulues pour qu'elle puisse laisser passer les volumes d'eau correspondant aux situations que créera l'exécution progressive des dits travaux, tout en assurant aux courants des vitesses appropriées au bon entretien du lit du fleuve.

Anvers, le 20 décembre 1907.

L'Ingénieur,
LÉON VAN BRABANT,

L'Ingénieur en chef, Directeur,
J.-A. PIERROT.

