

Redressement de l'Escaut en aval d'Anvers.

LE DEUXIÈME PRINCIPE

PAR

C.-J. VAN MIERLO,

Ingénieur honoraire des Ponts et Chaussées,
Ancien Ingénieur de la Marine de l'État Belge,
Ingénieur principal de la Compagnie Internationale des Wagons-Lits.

§ 1. — RAPPEL DU PREMIER PRINCIPE.

Avant d'entreprendre l'exposé du deuxième principe qui doit guider les ingénieurs s'occupant du redressement de l'Escaut — ou, d'une manière plus générale, de l'amélioration d'un fleuve à marée quelconque, — il peut être opportun, à mon sens, de rappeler un peu les longues discussions qu'il a fallu soutenir pour faire admettre le premier principe, le plus général, et pour un temps le plus contesté, à savoir la « loi sinusoïdale ».

Ce rappel est opportun parce qu'il est possible pour le deuxième principe, comme pour le premier, d'opposer une négation pure et simple à ceux qui le défendent. La science humaine, et principalement la science de l'Ingénieur, porte malheureusement à l'origine de chacune de ses branches un point faible qu'il faut admettre de bonne grâce parce que rien ne peut obliger un esprit chagrin ou prévenu à l'accueillir.

Si on le nie, on reste bien entendu entièrement dans son droit, seulement il n'y a plus de science possible ou, du moins, elle prend un aspect si inattendu que, si on persiste dans son opinion, on tombe de la science dans l'inconscience.

Nions le postulat d'Euclide et nous arrivons à cette curieuse géométrie non-euclidienne qui est une spéculation mathématique bien intéressante mais à l'existence réelle de laquelle il est prudent de ne pas croire.

Nions la loi de Hooke sur la proportionnalité entre les forces élastiques et les déformations, et toute la stabilité, telle qu'on nous l'a enseignée, tombe.

Nions l'hypothèse de Daniel Bernouilli sur le parallélisme des tranches — et cependant quelle apparence y a-t-il qu'en réalité elle se produise? — et il n'y a plus d'hydraulique.

C'est parce que, pendant quinze ans, on a nié le premier principe ou la loi sinusoïdale que la question de l'extension du port d'Anvers n'a pas fait un pas dans la direction de sa solution.

A vrai dire, avant 1895, on ne s'était pas beaucoup préoccupé de la question de savoir si la tendance au serpentement des fleuves, des grands fleuves surtout, était ou n'était pas un inconvénient : on savait bien que dans les parties courbes il y avait de grandes profondeurs et aux points d'inflexion des maigres ou des seuils ; mais comme, dans l'Escaut, même sur la plupart des seuils, il y avait assez d'eau pour que les plus grands bateaux puissent passer, on ne voyait dans le tracé sinusoïdal qu'un assez désagréable allongement du thalweg, entre la mer et le port.

En réalité la loi sinusoïdale était hors de discussion : personne ne la défendait parce que personne ne l'attaquait.

L'attaque se produisit le 1^{er} juillet 1895.

Le 6 novembre précédent, M. le Ministre des Travaux Publics de Belgique avait posé la question suivante à M. Franzius, le savant ingénieur qui venait de réussir de beaux travaux d'amélioration au Wésér.

« Quel tracé et quelle forme faut-il donner à l'Escaut en aval de l'Ecluse du Kattendyk pour satisfaire aux conditions suivantes :

« Amélioration du régime du fleuve; fixité de la passe
« navigable; facilité pour la grande navigation; extension de

« la rade dans la mesure des besoins du trafic; évacuation
« plus facile des glaces. »

Et la réponse principale du technicien allemand fut qu'il fallait « supprimer toutes les fortes courbures », cette suppression entraînant avec elle la fixation du lit mineur et la croissance graduelle des sections transversales du lit de l'amont à l'aval.

Cette réponse, contenue dans un rapport très circonstancié daté, comme je le disais, du 1^r juillet 1895, appuyé de toute l'autorité d'un homme tel que Franzius, devait produire et produisit, en effet, une profonde impression. Comme, de plus, on montrait ce qu'était le Wésér avant les travaux et ce qu'il était devenu par ces travaux, et qu'on voyait au premier coup d'œil combien le tirant d'eau avait augmenté, la proposition de M. Franzius paraissait confirmée expérimentalement et acquérait ainsi une importance capitale. La loi sinusoidale fut simplement laissée de côté et on put craindre un moment que la correction rectiligne ou presque rectiligne l'emporterait.

C'est dans ces circonstances que nos Annales voulurent bien accueillir une de mes notes (1) datée du premier mars 1896 dans laquelle j'expliquais que :

« La succession des courbes et contre courbes ou la loi
« sinusoidale forme l'âme de l'Escaut; partout où la zone
« des situations favorables a une grande étendue, la disposition
« est la même : une rive concave présentant des profondeurs et
« une rive convexe sur laquelle se trouve disposé un banc.
« Il semble donc que les efforts des ingénieurs devraient
« tendre non pas à contrarier la nature mais au contraire à
« l'aider c'est-à-dire à composer des courbes et contre courbes
« de manière à ce que les mouilles puissent se rejoindre et à
« disposer les rives de façon à ce que les bancs qui se formeront
« inévitablement, ne gênent ni la grande, ni la petite navigation
« et laissent le plus possible à l'eau un courant régulier. »

(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*, Tome XIX, 1896, 1^{re} livraison.

Cette proposition plut beaucoup à certaines personnes, mais elle déplut encore davantage à d'autres.

Tandis que l'Administration communale d'Anvers élevait les objections les plus sérieuses d'abord contre les dangers de l'exécution, puis contre le régime du nouveau fleuve, les travaux étant supposés terminés et préconisait, en plus de bassins et d'écluses, un lit sinusoïdal pour l'Escaut, le service de l'Etat, dans un rapport du 23 juin 1897, parlait de la « prétendue loi dite sinusoïdale » tout en se réclamant pour son propre projet d'une « suite de courbes et de contre courbes » qui — à son idée — étaient fort bien raccordées.

L'année suivante, l'administration communale d'Anvers demanda l'avis de deux ingénieurs hollandais M.M. Conrad et Welcker sur la question de la grande Coupure. Ces deux savants remirent le 22 mars 1899 un mémoire dans lequel ils montraient les dangers de la Coupure et recommandaient l'exécution de mon projet.

Il y eut une réplique de M. Franzius, une riposte de M. Conrad et finalement le nom de l'ingénieur français Fargue ayant été mêlé à la discussion, précisément sur le point de savoir s'il fallait préférer les longues lignes quasi droites ou bien les sinusoïdes, celui-ci exposa, le 27 avril 1900, ses idées dans une note où nous détachons le passage suivant :

« Pour nous, l'allure sinueuse des cours d'eau à fond mobile
« n'est ni un mal qu'il faut guérir ni un défaut à corriger; c'est
« un modèle à étudier et à imiter dans celles de ses parties qui
« sont les meilleures pour la navigation. Nous ne combattons
« pas les forces de la nature; nous cherchons à les faire tra-
« vailler dans le sens du résultat que nous nous proposons et
« nos travaux sont des travaux d'amélioration. »

« L'expérience, comme le raisonnement, nous a montré
« que la forme sinueuse est seule susceptible de donner des
« mouilles ou rades, c'est-à-dire des emplacements où les
« bateaux peuvent stationner. Pour les seuils, elle n'assure pas
« seulement leur fixité, elle leur donne, en outre, le minimum

« de longueur et le maximum de profondeur que comporte
« le régime de la rivière. »

La loi sinusoïdale avait, cette fois, trouvé en Fargue un champion en mesure de réduire ses adversaires au silence : ils se turent, en effet, pendant plus de cinq ans.

La brusque résurrection des corrections rectilignes ou quasi rectilignes, en 1905, l'attaque unanime, par beaucoup de techniciens, de ces corrections dans la presse, dans les revues techniques et au Parlement et l'encommissionnement de la Grande Coupure le 30 mars 1906 sont encore dans la mémoire de tous.

On se souvient de ce que les travaux de la commission commencèrent le 31 mai 1907 et durèrent jusqu'au 27 mars 1911, et la lecture des procès-verbaux des dernières séances laisse l'impression que la loi sinusoïdale aurait de nouveau perdu du terrain.

Vers le mois de décembre 1911 on commença, cependant, à entendre dire que le système sinusoïdal reprenait un certain avantage et, finalement, le 20 février 1912, un projet de loi présenté aux Chambres proposait un redressement de l'Escaut s'inspirant du tracé à courbes et contre courbes.

L'exposé des motifs du projet de loi (1) après avoir décrit le système coupuriste et le système sinusoïdal conclut que :

« Le tracé sinusoïdal permet d'atteindre *avec une certitude*
« *entière* (2), des résultats qui répondent mieux que la Grande
« Coupure à toutes les exigences non seulement du présent
« mais encore d'une longue période de rapide développement.

« Il permet, en outre, de pourvoir, dans un délai beaucoup
« plus court, aux nécessités les plus urgentes et les plus vive-
« ment réclamées savoir : l'extension des quais à accostage
« direct. »

Les Chambres, par des votes quasi unanimes admirent le

(1) Voir *Annales des Ingénieurs de Gand*. Année 1912, 5^e série, Tome V, 2^o fascicule.

(2) C'est moi qui souligne.

système sinusoïdal pour la rectification du fleuve et le premier principe triompha sur toute la ligne.

L'exposé des motifs contient un autre passage qui est plus contestable et que voici.

« Il est, d'autre part, difficile de soutenir que l'exécution
« des travaux d'amélioration, *quelle qu'en soit la conception*
« *générale* (1), puisse être exempte de certains aléas et ne puisse
« en aucun cas donner lieu à des mécomptes de nature à gêner
« momentanément la navigation. »

« Or, il est d'importance primordiale qu'en aucun cas
« l'accès des navires au port d'Anvers ne soit rendu impossible
« ni même difficile. C'est pourquoi le Gouvernement s'est
« engagé à créer une communication directe, facile et sûre
« entre les bassins et l'Escaut avant l'ouverture d'un lit nou-
« veau. »

Ceci est l'opinion de M. le Ministre; mais, comme ingénieur, je voudrais modifier le texte du premier alinéa comme suit :

« Il est, d'autre part, difficile de soutenir que l'exécution
« de travaux *d'amélioration*, si la conception générale en est
« bonne, puisse présenter certains aléas et puisse, en aucun
« cas, donner lieu à des mécomptes de nature à gêner momen-
« tanément la navigation. »

Je serais plutôt d'avis que si on prévoit que des travaux dénommés « d'amélioration » sont tels qu'ils puissent, dans certains cas, donner lieu à des mécomptes, c'est que la conception générale en est défectueuse — et dans ce cas là, on ne les fait pas.

Il vaut mieux rechercher une autre conception — non défectueuse cette fois — qui n'aille pas à l'aventure mais qui procède suivant certains principes, — (en l'occurrence le 2^e principe que je vais exposer) — permettant de réduire les aléas.

Qu'une pareille direction ait manqué, jusqu'à présent, à beaucoup d'auteurs de projets, ce n'est pas discutable. Il suffit de considérer pendant quelque temps les tracés présentés

(1) C'est moi qui souligne.

par les divers auteurs ou même, ce qui est encore plus curieux, les divers tracés présentés par l'un ou l'autre des auteurs.

Tel qui, autrefois, corrigeait certain tournant par la rive droite, je veux dire en mettant le nouveau lit sur la rive droite de l'ancien, a subitement changé d'avis et défend maintenant un tracé par la rive gauche. Tel autre qui ne voulait pas d'autre solution qu'un prolongement par un arc de cercle à très grand rayon des quais en aval du Kattendyk nous montre un nouveau projet où ce rayon n'est plus que la moitié ou le quart de ce qu'il était à l'origine.

Nous avons vu (1) trois tracés partant de l'Ecluse du Kattendyk et aboutissant à la section Ste-Marie-Philippe, sans qu'aucune des trois solutions ainsi montrées ait au point de vue des courbes des rives, une particularité bien saisissante vis-à-vis des autres.

Le projet du Gouvernement est une nouvelle variante de la même idée et si on n'avait aucun guide pour s'orienter dans le choix à faire, on ne parviendrait pas, parmi tant de tracés, à découvrir celui qui vraiment convient au régime de l'Escaut.

En somme, la préoccupation dominante de presque tous les auteurs de projets a été de former des tracés présentant une suite d'arcs de cercle de rayons aussi grands que possible. Dans la plupart des schémas présentés les seuls chiffres que l'on voie sont les divers rayons de courbure. Ce n'est que lorsque l'un des arcs des cercles ainsi tracés tombait dans le bassin América, ou empiétait sur l'un des forts existants le long du Bas-Escaut qu'on désirait, un temps encore, conserver, que les courbes subissaient des modifications.

L'un des auteurs nous expliquait que « puisque chacun « s'évertue en concurrence avec le projet de la Grande Coupure « à dessiner des S plus ou moins *farguiennes*, plus ou moins « « agréables » il en avait fait une à son tour tenant le milieu « entre deux autres projets. »

(1) Procès-verbaux de la Commission de l'Escaut p. 1033.

Et effectivement, les 3 projets auxquels nous faisons allusion s'écartent l'un de l'autre de 500 à 600 m., et quelquefois encore plus, pour des raisons vagues ou qui n'ont rien de commun avec l'hydrographie.

Il est clair que c'est à des projets d'une conception générale semblable que l'on peut reprocher de ne pas être exempts de certains aléas ou, pour le mieux dire, d'avoir des aléas trop certains et de devoir conduire à des mécomptes beaucoup plus sérieux qu'on ne se l'imagine.

Et c'est faute d'avoir dans l'étude d'un projet aussi délicat des indications générales sur ce qui convient *d'abord*, au régime du fleuve, que l'on voit des erreurs, vingt fois réfutées déjà, se reproduire jusque dans les projets les plus récents et que l'on voit les courbes soumises au Parlement pour être votées subir des critiques qui, au dernier moment, les font abandonner ou modifier.

C'est cette indécision, dans laquelle on se trouve encore aujourd'hui, qui me conduit à exposer, en ce moment, le deuxième principe à suivre pour l'amélioration de l'Escaut. J'y avais déjà fait allusion dans un travail antérieur (1) mais jusqu'à ce jour je ne l'avais jamais détaillé parce que c'était inutile tant que le premier principe — celui de la loi sinusoïdale — n'était pas admis.

§ 2. LE DEUXIÈME PRINCIPE.

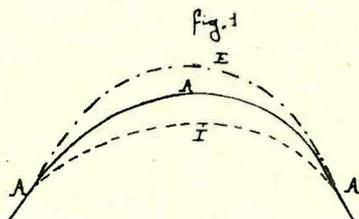
Comme de coutume, au lieu d'exposer les recherches qui ont conduit à ce deuxième principe — ce qui serait fort long — je vais l'énoncer comme un théorème quitte à en faire valoir les raisons après coup.

En voici donc l'énoncé :

Pour améliorer une boucle d'un fleuve à marée par le déplacement du lit, le nouvel axe doit se trouver dans la concavité de l'ancien.

(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*. Tome XXIII. 1900, 3^e livraison.

Soit AAA une ligne représentant l'axe d'un fleuve obéissant à la loi sinusoïdale, et imaginons que nous ayions à améliorer la boucle représentée. Le nouveau lit devra être de la forme, A. I. A ce qui constitue une correction par l'intérieur de la courbe primitive et non de la forme A E A ce qui serait une correction par l'extérieur.



Avant d'exposer les raisons qui justifient ce principe je dois faire remarquer que si la correction par l'intérieur est une condition *nécessaire* pour obtenir un bon résultat, ce n'est pas une condition suffisante. En s'y appliquant un peu, il sera possible, mais pas facile, de faire une correction par l'intérieur qui ne soit pas extrêmement favorable à certains points de vue et qui donne des résultats défectueux après achèvement.

En revanche, la correction par l'extérieur doit *toujours* donner des résultats nuisibles : on pourra, il est vrai, atténuer l'un ou l'autre des défauts qu'elle présente mais ce sera toujours en exagérant les inconvénients dont on n'aura pas poursuivi l'atténuation.

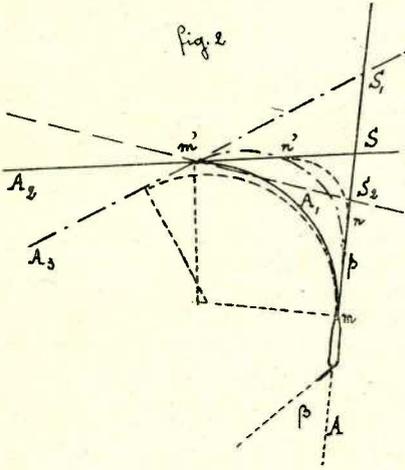
Enfin, il doit être bien entendu que ce deuxième principe suppose admise la loi sinusoïdale et qu'il ne pourrait s'appliquer à des déplacements de lits supprimant plusieurs boucles et que j'appellerai des corrections « à travers tout ». Celles-ci sont de loin les plus nuisibles de toutes — la Grande Coupure en était une — et on ne pourrait étendre l'exposé que nous allons faire à une coupure de ce genre.

Ces préliminaires étant posés, nous pouvons maintenant aborder les quatre raisons qui justifient les corrections par l'intérieur.

§ 3. RAISON GÉOMÉTRIQUE.

Soit $A A_1 A_2$ (fig. 2) la trajectoire à suivre par un bateau dans une courbe pour laquelle j'imagine en $A m.$ un élément recti-

ligne dû à la conformation des rives afin que le safran du gouvernail soit dans le longitudinal, et $m' A_2$ un second élément rectiligne où, la courbe franchie, le safran sera de nouveau dans sa même position.



Pour la simplicité et la facilité du raisonnement, je fais pour un moment abstraction des deux premières phases de la giration du bateau (manœuvre et mouvement varié) et j'admets donc que la courbe qu'il décrit soit une circonférence de cercle. Pour que

le navire franchisse la boucle, je devrai donner à la barre un angle β dont l'importance dépend principalement du rayon du cercle à décrire.

Imaginons maintenant que nous voulions améliorer le fleuve où cette trajectoire est décrite et que nous nous avisions de vouloir faire une correction par l'extérieur.

Si nous maintenons l'orientation des tangentes $A_2 S$ et $A S$, nous n'aurons qu'un seul moyen de faire une correction par l'extérieur, ce serait d'inscrire un cercle de rayon plus petit dans l'angle $A_2 S A$: le navire irait tout droit jusqu'en n et là devrait donner à tribord un coup de barre beaucoup plus violent que dans la situation primitive.

Personne n'a, naturellement, proposé une correction semblable pour une des boucles de l'Escaut.

Si, maintenant, nous conservons l'orientation d'une seule tangente $A m$ et un point m' de la seconde tangente nous n'aurons qu'un seul moyen de faire une correction par l'extérieur, ce serait d'adopter pour cette tangente une direction $A_3 S_1$ et la situation sera plus mauvaise qu'au paravant.

En effet, l'angle S_1 étant plus petit que S nous devons faire continuer notre navire tout droit de A en p jusqu'au moment où nous aurons

$$S_1 p = S_1 m'$$

et, par suite, nous aurons un cercle de rayon plus petit à faire décrire par le bateau; ceci demeure quelle que soit la forme que nous donnerons à la rive concave entre m' et p . Les uniques points déterminants sont la direction des tangentes et le point m' .

Une idée qui se présentera naturellement à l'esprit sera de faire partir un cercle du point m . et de le rendre tangent à $S_1 A_3$ mais comme la ligne $S_1 A_3$ est certainement sécante du cercle primitif nous devons adopter un rayon plus petit que celui du cercle primitif et ainsi nous aurons déjà une correction par l'intérieur. Ce sera même une des corrections peu favorables dont nous parlions au paragraphe précédent.

On pourrait croire, après l'exposé si simple de ce qui précède que personne, non plus, n'aurait proposé un déplacement du lit, avec la modification des tangentes en $A S_1$ et $S_1 A_3$.

Or, on en trouve deux parmi les projets les plus étudiés à savoir le projet Troost tel qu'il figure depuis une quinzaine d'années dans divers documents émanant de la ville d'Anvers et tel qu'il se trouve reproduit à la page 826 des procès-verbaux de la Commission de l'Escaut, en ce qui concerne le coude d'Austruweel et le projet Mavaut tel qu'il figure à la page 1033 de ces procès-verbaux en ce qui concerne le coude de Ste-Marie. Tous deux diminuent l'angle S_1 et demanderont à l'angle de barre dans l'hypothèse où je me suis placé une valeur plus grande que celle qu'il faudrait pour la courbe actuelle.

Le projet Lagasse tel qu'il figure sur la même page, échappe tout juste à ce défaut; c'est-à-dire qu'en faisant le tracé de la trajectoire par l'ancien lit et par le nouveau on trouve des angles de barre dont les valeurs sont pratiquement les mêmes: il en résulte que les travaux que M. Lagasse prévoit depuis le polder du Krankeloon jusqu'au fort de la Perle sur une étendue

de 3 kilomètres et demi (mesurés le long de la rive gauche) n'auront au point de vue du passage des bateaux, pas la moindre utilité.

Les seuls moyens de faciliter le passage des bateaux dans l'angle $A S A_2$ consisteraient à ouvrir cet angle suivant $m' S_2$ et à reculer vers A le point m où on donnera le coup de barre.

Ces deux moyens, pris isolément ou simultanément, auront pour effet de transporter la nouvelle trajectoire du bateau à l'intérieur du cercle $m A_1 m'$ et si nous voulons réaliser cette trajectoire, les obstacles que nous aurons à combattre proviendront *de la rive convexe et non de la rive concave* du coude.

On voit ainsi s'esquisser l'idée de la correction par l'intérieur de la courbe. Cette idée a été exposée presque au même moment, pour le coude d'Austruweel notamment, par M. Mavaut et par moi-même dans nos mémoires de l'année 1900. Les courbes envisagées partaient quasi des mêmes points (vers la gare du pays de Waes), aboutissaient aux mêmes points (entre le Boomke et Austruweel), et passaient à travers le coin du polder de Borgerweert. Toutefois il y avait entre les idées de M. Mavaut et les miennes cette différence essentielle qu'il considérait son tracé comme pouvant être réalisé tandis que j'estimais qu'il ne convenait pas de faire un travail semblable à cause du désavantage qui en résulterait pour Anvers sous certains points de vue (1).

C'eût été, en effet, la dépréciation de tout ce qui existe comme quais et écluses devant la ville d'Anvers et, par la suite, l'écluse Royers ayant été construite, M. Mavaut abandonna son idée de coupure par le polder de Borgerweert.

Avant de quitter ce sujet je dois faire observer que, dans la réalité des choses, on ne peut pas faire abstraction des deux premières phases de la giration des bateaux et on peut encore beaucoup moins faire abstraction du courant, particulièrement gênant quand il est dirigé dans le même sens que la mar-

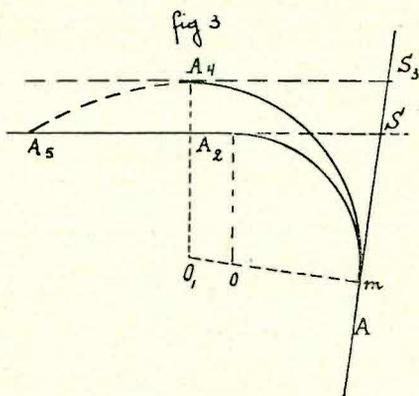
(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*. Tome XXIII, 1900, 3^e livraison.

che des bateaux, pour étudier le mouvement du navire dans les courbes du fleuve. On serait amené ainsi à refaire une étude dans le genre de celle que j'ai déjà publiée (1) mais beaucoup plus longue et plus compliquée car la courbe à étudier serait une épicycloïde dont chaque équation contiendrait deux termes en $\sin \varphi$ ou en $\cos \varphi$.

L'introduction de ces éléments, si elle complique l'étude de la question n'en modifie en aucune façon les conclusions comme on peut bien le pressentir et la correction sur faible étendue par l'extérieur n'a plus, je crois, en ce moment des défenseurs bien convaincus et n'en aura plus du tout après lecture de ce qui précède.

Mais la correction par l'extérieur a trouvé une autre voie pour se manifester et traduite géométriquement elle peut s'exprimer comme suit :

Après la trajectoire rectiligne $A m$ augmentons d'abord le rayon du cercle $m o$ jusqu'en o_1 , faisons reculer la tangente $S A_2$ en $S_3 A_4$ et nous obtiendrons ainsi une trajectoire que l'on pourra décrire moyennant un angle de barre plus petit que celui qu'il fallait pour effectuer le trajet primitif. La solution est à la fois si simple et si indiquée qu'elle a séduit tout le monde et la plupart des tracés ont visiblement été composés de cette manière, sauf qu'au lieu d'avoir un seul arc de cercle, on composait des courbes de plusieurs arcs de cercles ajustés bout à bout — ce qui est équivalent au point de vue spécial auquel nous nous plaçons ici.



(1) Les grands navires dans l'Escaut rectifié, 1907.

Au surplus, ce mode de dessiner un fleuve donne encore comme résultat de développer la rive concave dans chacune des boucles ce qui permettait de faire miroiter la perspective de quais s'allongeant de plus en plus. Tel fut l'engouement pour ce genre de tracé que l'on en vit — et on en voit encore — qui reculaient la future rive concave à plus de 2 kilomètres de l'ancienne à travers le polder. Ce qui suit montre combien un tel tracé est en discordance avec le régime du fleuve. Si on mesure entre Bath et Kruisschans la longueur de l'axe de l'Escaut d'un point d'inflexion au suivant on ne trouve jamais que 4 kilomètres environ. Rien que la condition géométrique dans laquelle se trouvent la plupart des tracés proposés aurait dû montrer aux auteurs que l'on se mouvait dans une voie dangereuse. Je ne dis pas encore qu'elle est mauvaise (1) mais, au moins, elle est déjà suspecte.

Voici quelles sont les longueurs approximatives des diverses courbes nouvelles d'une même concavité :

Projet de l'exposé des motifs Boomke-Austruweel.	5,000 m.
» » » » Boomke-La Perle .	6,000 m.
» B de M. Troost » . .	6,000 m.
» C de » » . .	8,000 m.
» de M. Mavaut Austruweel-St-Marie	6,200 m.
» de M. Lagasse » »	5,200 m.

Un allongement aussi démesuré (variant de 50 à 100 %) d'une boucle doit certainement introduire des modifications considérables — et d'ailleurs parfaitement inconnues jusqu'en ce moment — dans toute l'économie du fleuve. Nous nous trouvons donc en plein, maintenant, dans la région des aléas que nous signalait l'exposé des motifs du projet de loi.

Lors des discussions qui ont eu lieu à la Chambre dans les premiers jours du mois de mai dernier, on a parlé d'incurver plus profondément dans le polder de Krankeloon la courbe de l'exposé des motifs : il va sans dire que ce nouveau tracé,

(1) Je le dirai tout à l'heure.

quelle que soit la forme qu'on lui donnera, présentera à un degré plus accentué, le défaut déjà considérable du projet soumis à la législature au commencement de cette année.

Reprenant maintenant l'examen du tracé au point A_4 où nous l'avons laissé, nous voyons qu'à partir de ce point nous sommes obligés de nous rapprocher de l'ancien lit pour nous y raccorder.

Pour quelques uns des projets (Mavaut, Lagasse et Keelhoff), ce raccord a été possible et plus ou moins heureux, mais pour plusieurs autres (Troost, — Bovie-Dufourny — Exposé des motifs —) le tracé A_4, A_5 abordait l'ancien lit A_2, A_3 sous un angle trop ouvert pour qu'il fût opportun ou même possible de raccorder la nouvelle boucle avec l'ancien lit. Beaucoup d'auteurs ont donc été amenés — sans pouvoir l'éviter — à continuer sur la rive opposée le tracé A_4, A_5 et à englober dans leur correction la boucle suivante qu'ils traitaient comme la première.

Si la correction par l'extérieur d'une boucle donne lieu, déjà, au seul point de vue géométrique, aux remarques qui précèdent, on voit sans autres explications à quoi on peut s'attendre lorsqu'on aura deux boucles corrigées de semblable façon dont les effets se superposeront sans que personne ait jamais calculé ni estimé dans quelle mesure et suivant quelle direction.

Si on peut, dans des conditions raisonnables, apprécier l'allure des courants, des profondeurs, et des modifications là où un nouveau lit se détache d'un ancien, où l'on connaît la situation existante dans l'ancien lit et où l'on a quelque élément, tel que l'orientation ou la courbure du nouveau lit vis-à-vis de l'ancien, qui peut former une base à peu près sûre pour les études, on doit reconnaître qu'il en est tout autrement dans l'espace d'inflexion compris entre les deux courbes qu'on trace simultanément.

Pour prendre un exemple concret : dire comment le flot sortira de la courbe du Krankeloon et comment le jusant sortira de la courbe d'Austruweel (dans le projet du Gouvernement) est une chose qu'on ne peut entreprendre qu'au

moyen de phrases mais qu'on ne peut appuyer sur aucune donnée positive. Dès lors le tracé — même le tracé purement géométrique — de l'axe du fleuve est une opération dont trop d'éléments sont inconnus pour qu'on puisse la faire avec confiance et avec sécurité.

Et, dès lors, il est certain « que la conception générale ne sera exempte ni d'aléas ni de mécomptes. »

* * *

Mais il en est autrement pour les corrections par l'intérieur.

Ici, pas de répercussion de ce qui se passe dans une correction sur la correction d'une boucle voisine. Chaque déplacement du lit se trouve enserré entre deux longues zones conservées du fleuve; nous savons, et à l'amont et à l'aval de corrections de ce genre, ce qui se passe sur plusieurs kilomètres; nous avons le loisir de voir les courants modifiés par nos travaux se rétablir dans le cours séculaire du lit conservé. Nous sommes sûrs de plus que cette réadaptation se fait dans des parties de fleuve où le régime est stable depuis toujours.

Ici non plus, pas de développement exagéré d'une boucle non plus qu'un développement trop réduit : la longueur par le nouveau lit d'un point d'inflexion de l'axe à l'autre est en harmonie parfaite avec ce qui se passe dans les boucles conservées en aval du Kruisschans.

Ici non plus, pas de questions de difficultés nouvelles pour les bateaux ou de situations éventuellement moins favorables pour leur giration. La courbe nouvelle étant intérieure à l'ancienne, il est clair que son rayon de courbure non seulement est meilleur mais se présente mieux, les points m et m' (fig. 1), se rapprochant de A et A_2 et ceci permettant d'enserrer dans l'angle S — avec un même rayon de courbure minimum une ligne mieux concordante avec la trajectoire que les navires décrivent pendant les deux premières phases de la giration, trajectoire dont il ne peut être omis de tenir compte dans une

étude un peu sérieuse et dont la plupart des auteurs de projets n'ont pas fait la moindre mention.

Au point de vue géométrique donc, la correction par l'extérieur d'une boucle paraît toujours irrationnelle et c'est la correction par l'intérieur qui peut, seule, donner des résultats satisfaisants.

§ 4. RAISON HYDRAULIQUE.

Lorsque nous aurons ainsi, géométriquement, déterminé la forme de l'axe du lit nous devons nous inquiéter du point de savoir si les courants du fleuve pourront et voudront y passer.

Il résulte, en effet, de l'orientation des idées que les projets par ripage sont provisoirement considérés comme inexécutable. Je crois avoir expliqué clairement les inconvénients et les impossibilités pratiques des ripages à grande distance dans une étude parue antérieurement (1).

On en est donc revenu à ce que j'ai appelé « les moyens désespérés » pour réaliser les projets. On reparle de faire des projets du genre de celui de l'exposé des motifs par coupure et on voit réapparaître toute l'ancienne discussion sur ce qui se passera lors de la coexistence des deux lits. Mais dans quelles conditions différentes de ce qui était en cause il y a quinze ans !

Alors, en effet, nous avons à nous préoccuper d'un lit notablement plus court à substituer à un lit existant plus long. Il y avait 2700 m. de moins d'Austruweel à Kruisschans par la Coupure que par Ste-Marie et on nous expliquait que ce raccourcissement était une cause déterminante pour que les courants passent par le nouveau lit au lieu de passer par l'ancien : c'est même le seul bon argument que possédaient les partisans de la Coupure.

Aujourd'hui, au contraire, on nous montre — dans toutes les corrections par l'extérieur des courbes — des tracés plus longs par le nouveau lit que par l'ancien.

(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*, 1912. Tome V, 2^e fascicule.

Et notablement plus longs comme le montre le tableau suivant :

PROJETS	COURBE	Longueur		différence
		actuel e	proposée	
Troost B	du Krankeloon	6500	4800	1700
» C	id.	7500	5500	2000
» B	d'Austruweel	3800	3500	300
» C	id.	3000	2800	200
Lagasse (p. 1033)	Austruweel-Ste-Marie	7800	7500	300
Mavaut (p. 1033)	id.	8300	7500	800
Bovie-Dufourny	Austruweel Draaiende Sluis	5000	4800	200
Exposé des motifs	du Krankeloon	4500	4100	400
»	d'Austruweel	4000	3800	200

On va donc pendant la coexistence des deux lits offrir à l'eau deux chemins : l'un, l'ancien, direct; et l'autre, le nouveau, détourné et on espère persuader aux courants de se diriger par le nouveau lit et d'y entretenir, aidés par des dragages, des passes convenables pour la grande navigation.

C'est tout bonnement contraire au sens commun. Il est évident que l'eau — au jusant surtout — suivra la ligne de plus grande pente et que le nouveau lit qui se présentera sur environ 8 kilomètres (d'Austruweel à La Perle) en concurrence avec l'ancien sera soumis à des ensablements intensifs.

Revenant sur ce que je disais plus haut au sujet des indications données au Parlement et d'après lesquelles on incurverait plus profondément le nouveau lit dans le polder de Krankeloon, on voit que si on essaie de faire une incurvation semblable on va se rapprocher très sensiblement du projet Troost-B et ceci nous montre une fois de plus avec quelles précautions il faut manier les corrections par l'extérieur : tandis que l'allongement relatif du projet de l'exposé des motifs n'atteint même pas 10% de la longueur primitive pour la courbe du Krankeloon, il dépasse 35% dans le projet Troost-B. Le mal est donc très rapidement croissant quand on augmente un peu l'ampleur des courbes.

C'est sur ce point là, surtout, que je voulais aujourd'hui

attirer l'attention car, pour ce qui concerne le grave inconvénient de l'allongement du nouveau lit par rapport à l'ancien, je n'ai trouvé personne qui le conteste.

Mais on espère y trouver un palliatif.

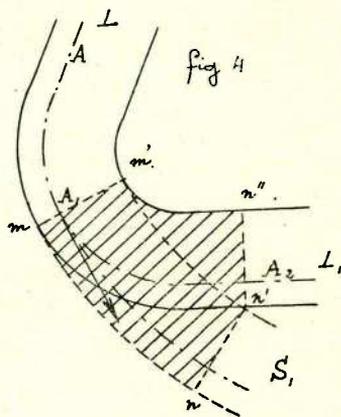
Il est purement théorique et consiste à compter sur l'inertie des eaux, pour qu'elles s'engagent dans le nouveau lit situé à l'extérieur du lit ancien.

On dit : soit $L L_1$, le lit coudé d'un fleuve et $A A_1 A_2$ la trajectoire d'une molécule liquide forcée de couler dans ce lit et de décrire une courbe analogue à celle de la rive concave.

Si à un moment donné, j'enlève cette rive, et que je présente à l'eau un autre chemin S_1 la molécule n'étant plus tenue de couler suivant une courbe en aval de A_1 , en vertu de son inertie elle tendra à s'échapper suivant la tangente en A_1 à la ligne $A A_1 A_2$ et elle se précipitera vers le nouveau lit.

Admettons d'abord que cette théorie soit exacte. Nous aurons donc une raison de croire (la pente superficielle plus forte) que la molécule ira vers L_1 et une raison de croire (l'inertie en A_1) que la molécule ira vers S_1 . Comme il n'est pas possible, pendant la coexistence des deux lits, de supprimer l'une ou l'autre de ces raisons nous verrons toute la nappe d'eau de la section $m m'$ s'épanouir en une section quasi double $n n' n''$ et les vitesses tomberont en $n n' n''$ à 50 % (environ) de leur valeur en $m m'$.

C'est donc en tout premier lieu la zone couverte de hâchures qui sera soumise à des atterrissements très considérables et cette zone est immense : si nous prenons comme exemple le projet de l'exposé des motifs nous lui trouvons une étendue de 120 hectares pour la partie voisine du fort Ste-Marie. On pourra vraisemblablement moyennant des travaux convenables re-



médier pour une certaine partie à ce gros inconvénient mais, malgré tout, il en subsistera une partie importante et des entraves tout aussi importantes pour les bateaux.

Mais en réalité la théorie de l'inertie de la masse d'eau n'est pas aussi bien définie que cela.

En effet, quand il s'agit d'ouvrir une nouvelle coupure S_1 , extérieure au tracé primitif L, le nouveau lit se détache toujours de l'ancien, au moins à l'une de ses extrémités, au sommet d'une courbe et fréquemment les deux raccordements amont et aval se font par les sommets. Nous n'avons jamais vu qu'il fût question de commencer à ouvrir le nouveau lit à des profondeurs supérieures à 8 ou 9 m. à mer basse; et précisément aux endroits où la bifurcation des lits doit se faire, la profondeur réelle actuelle est de 18 m. aussi bien à Ste-Marie qu'à Austruweel. Il y a donc là, dans les régions inférieures du lit de l'Escaut, une partie de la section transversale, mesurant plus de 1000 mètres carrés de superficie où les courants auront une tendance à se mouvoir comme ils l'ont toujours fait.

Quelle est l'allure de ces courants ? Quel est, en réalité, le trajet que suivent ces masses d'eau qui, ne l'oublions pas, sont à un kilomètre et demi de là de nouveau en superficie attendu qu'en ces endroits la profondeur maxima de l'Escaut n'est plus que de 9 m ? Quelle est effectivement leur vitesse qui est précisément la plus intéressante de toutes celles du fleuve puisque c'est sous son action, que se sont produites des profondeurs qui vont, par endroits, jusque près de 20 mètres.

Il semble extrêmement téméraire de ne pas en tenir compte. *Or, on ne les connaît pas !* Il n'existe pas, dans les services qui s'occupent de l'étude des courants, d'instruments qui permettent de mesurer la vitesse ou la direction des courants dans les grands fonds.

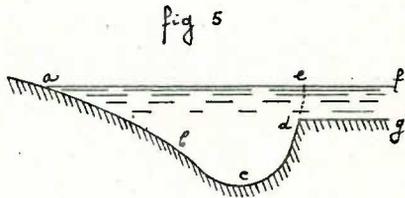
Ce n'est que très exceptionnellement et en un seul observatoire qu'on est, parfois, parvenu à obtenir une mesure de vitesse à 10 m. de profondeur et on peut dire que, pratiquement, nous ignorons tout ce qui concerne les courants de l'Escaut

à plus de 7 à 8 m. sous marée basse. De sorte que, pendant ce que le Lieutenant de vaisseau Petit appelait « le coup de chasse » du flot, moment où il y a 22 m. environ d'eau dans le tournant d'Austruweel, on peut affirmer que sur les deux tiers de la hauteur de la nappe liquide on n'a jamais fait tourner un moulinet de Woltmann.

Je sais bien qu'on peut estimer par des cubatures le volume d'eau qui passe par une marée dans une section et que l'on a fait certaines observations sur les vitesses de superficie. Mais celles-ci ne nous laissent préjuger en rien de ce que sont les vitesses au fond, et quant aux cubatures elles ne peuvent nous donner que des vitesses moyennes dans la section.

Or, les vitesses *moyennes* sont une chose et les vitesses *réelles* une autre chose; celle-ci est même la seule intéressante au point de vue qui nous occupe actuellement. C'est la vitesse réelle — et non la moyenne — qui entraînera les alluvions au fond du fleuve et il est très possible (avec les vitesses moyennes d'environ 1 m.) que les courants ont dans l'Escaut que nous ayons pendant tout un temps des vitesses réelles entièrement inattendues.

En réalité, nous en ignorons tout; et, dès lors, nous en sommes à estimer l'inertie d'une masse d'eau remplissant une section *a b c d e*, à laquelle nous ouvrons un passage *d e f g* par où la pente ne la sollicite pas et dont nous ne connaissons ni vitesse, ni direction, ni réactions sur le fond en dessous de la ligne *b d*.



Si on tient compte maintenant de ce que la partie vers *m'* (fig. 4) ou vers *a b* (fig. 5) ne sera pas le moins du monde sollicitée — même par l'inertie — vers le lit *S* (fig. 4) mais ira toujours vers *L₁*, on voit que de nouveau à ce point de vue nous nous trouvons en plein dans les aléas et dans les mécomptes auxquels l'exposé des motifs fait allusion.

Et il n'y a pas moyen d'en sortir pour le coude d'Austruweel corrigé d'après un système semblable à celui de la figure 3 : toujours le nouveau lit se détachera de la courbe là, où les profondeurs sont grandes et où par conséquent le déplacement du lit sera une opération extrêmement vétilleuse.

Pour Ste-Marie les projets Mavaut et Lagasse tels qu'ils figurent à la page 1033 des procès-verbaux de la commission de l'Escaut y échappent mais le projet de l'exposé des motifs, celui dont on a parlé aux Chambres et ceux de M. Troost (1) y sont en plein, et maintenant nous pouvons dire expressément que de tels tracés sont mauvais.

Reste encore, pour tous les projets corrigeant les coudes par l'extérieur, la redoutable question du barrage de l'ancien lit. Nous nous trouvons, de nouveau, devant la question de la rupture des batardeaux et devant l'établissement de nouveaux barrages, dans le lit de l'ancien Escaut comme c'était le cas pour la Grande Coupure.

MM. Conrad et Welcker ont exposé d'une manière saisissante la grandeur du travail et ses difficultés dans les rapports qu'ils ont adressés à la ville d'Anvers, et il est inutile d'y revenir.

Les coupures proposées par les divers auteurs ont des longueurs comprises entre la moitié et les deux tiers de l'ancienne Grande Coupure et une partie importante des objections faites dans cet ordre d'idées subsiste (mais en proportions plus réduites) dans les projets envisagés ici.

* * *

Mais il en est autrement pour les corrections par l'intérieur.

Ici, pas de question de barrages à rompre ou à conserver (du moins en ce qui concerne mon projet) donc suppression de tout aléa de ce genre. Les digues que nous établissons ne séparent *jamais* une fouille de l'Escaut ni un espace soumis

(1) Il est vrai que M. Troost prévoyait l'exécution de son nouveau lit par ripages ce qui modifie la difficulté sans toutefois en faire disparaître ni l'origine ni l'essence.

à la marée d'un autre à l'abri de la marée avant que le passage par le nouveau lit soit entièrement établi.

Ici, non plus, rien à redouter des courants inconnus des grands fonds de l'Escaut. Je n'ai pas à estimer ni à deviner ce qui se passera dans des coudes ou des régions où il y a des éléments du régime qui ne sont pas clairement expliqués.

Les corrections par l'intérieur partent des points d'inflexion où la profondeur n'est pas en dehors des limites des instruments hydrographiques qu'on a en Belgique; elles interviennent dans les courants pour les modifier là où ils sont les plus réguliers c'est-à-dire là où il y a le moins de différence entre le courant sur la rive convexe et sur la rive concave.

Ici, non plus, pas de doute quant à l'influence de la correction sur la cours futur des eaux.

Les corrections par l'intérieur sont toujours plus courtes que l'ancien lit du fleuve donc la question de pente entraînera toujours les eaux plutôt vers le nouveau lit que vers l'ancien et, ceci spécialement en ce qui concerne mon tracé, l'inertie des masses d'eau, en jusant surtout, les entraîne vers la courbe d'Agnési.

Il est universellement admis, en effet, qu'aux environs du Draaiende Sluis le jusant se porte sur la rive droite de l'Escaut : c'est donc que l'inertie — si on veut — porte le fil de l'eau vers le Nord. Or c'est là justement que je présente à ce fil de l'eau un lit orienté suivant sa propre direction et où il sera entraîné par la question de pente. On pourrait faire un raisonnement analogue pour l'extrémité aval de la courbe d'Agnési.

Mon tracé réalise — et je crois bien qu'il est seul à le réaliser — la concordance entre les deux sollicitations qui sont contradictoires dans tous les autres projets.

Au point de vue hydraulique, la correction par l'intérieur d'une boucle peut donc seule donner à la fois l'harmonie entre les divers éléments qui interviennent pour mouvoir les volumes d'eau, elle donne seule la sécurité quant à la question des atterrissements et la correction par l'extérieur apparaît comme un moyen dangereux et inefficace de résoudre le problème.

§ 5. RAISON NAUTIQUE.

Les raisons de préférer les corrections par l'intérieur exposées dans les deux paragraphes précédents ont été vues, ou entrevues tout au moins, par certains des ingénieurs qui se sont occupés de l'Escaut.

Celle qui fait l'objet du paragraphe actuel a donné lieu aux appréciations les plus fausses. Il est vrai que c'est une question de navire assez étrangère aux préoccupations habituelles de ceux qui ont étudié le fleuve pour y apporter des améliorations.

Je trouve indiquée explicitement cette opinion fautive dans l'un des discours qui ont été prononcés dans la première Commission de l'Escaut (1).

« M. Troost. — Le projet B allonge le cours du fleuve de
« 2 kilomètres.

« M. Delvaux. — Deux kilomètres dites vous?

« M. Troost. — Oui, mais étant donnée la correction qu'il
« apporte au tracé et au lit du fleuve *les navires pourront y*
« *circuler avec des vitesses plus grandes qu'aujourd'hui* (2) de
« sorte que leur arrivée à Anvers ne sera guère retardée. »

Voilà l'erreur, et je vais la faire voir.

Tout le monde admet que la navigation en ligne droite est la plus facile et la plus sûre. Ce qui est toujours vrai.

Mais on admet, du même coup, implicitement ou explicitement, que la navigation suivant une trajectoire courbe est d'autant plus malaisée et d'autant plus dangereuse que le rayon de la courbe est plus petit. — Ce qui n'est plus toujours vrai.

Ce n'est vrai qu'en eau de profondeur infinie; c'est déjà moins vrai quand la profondeur de l'eau est suffisamment faible pour qu'on ne puisse plus la considérer comme infinie; et ce n'est plus du tout vrai quand — comme dans les fleuves — la courbure de l'axe du fleuve et par suite la courbure de la

(1) Procès-verbaux des séances, p. 839.

(2) C'est moi qui souligne.

trajectoire des bateaux a une influence sur la profondeur de l'eau.

Et il n'est surtout pas démontré que si un bâtiment peut circuler à une vitesse déterminée dans l'Escaut actuel, on pourra, parce qu'il y a des courbures moins accentuées dans le nouveau lit, « *y faire circuler ce bâtiment à des vitesses plus grandes* ».

Aucun ingénieur de Marine n'eût souscrit à une proposition rédigée en termes aussi absolus en présence de ce qu'on sait sur l'influence du fond sur la vitesse du navire.

Les essais faits en Angleterre avec les contre torpilleurs de la « River Class » en sont une preuve indéniable. J'ai rendu compte de ces essais dans les « Annales des Ingénieurs de Gand » (1), d'après un mémoire de M. Harold Yarrow.

Il s'agissait ici de faire courir des bâtiments de dimensions relativement réduites (225 pieds de long, 23 ½ pieds de large et 600 tonnes de déplacement seulement) dans une nappe d'eau pratiquement infinie dans tous les sens hormis celui de la profondeur; et, parmi les résultats de ces expériences, on a constaté « que les machines travaillant à 100 livres de pression « (6 atm. ½ environ) et le navire filant 19 nœuds, en passant « d'une profondeur de 55 pieds (17 m.) à une profondeur de « 24 (7^m30) la résistance a crû dans des proportions énormes (2) « ce qui est démontré par ce que les pressions étant constantes, « le nombre de tours est tombé de 278 à 250.

« Simultanément l'inclinaison se trouva augmentée de 2½ « pouces à près de 5 pouces pour une longueur de 20 pieds « (0^m013 par mètre à 0^m025 par mètre) et la hauteur de la « vague augmentait ».

Ainsi qu'on l'a constaté la courbe qui représente la puissance effective en chevaux vapeur en fonction de la vitesse du bateau a une forme assez inattendue dans les eaux peu profondes. Il paraîtra certainement extraordinaire à un ingénieur étranger

(1) Troisième série Tome V, 2^e fascicule 1906, pp. 81 et suivantes.

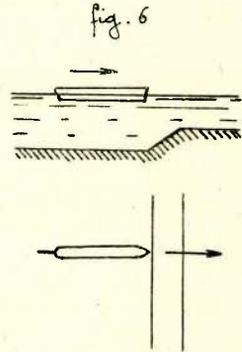
(2) C'est moi qui souligne.

aux choses de la marine que « pour faire courir un bateau de « ce type à une vitesse de 19 nœuds il faille *moins* de force « que pour faire courir le même bateau à la vitesse de « 18 nœuds et qu'il faut la même force pour le faire courir à « 18 nœuds ou à 20 nœuds.... pourvu que la profondeur de « l'eau soit de 45 pieds anglais. »

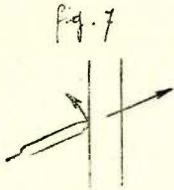
Il paraîtra encore beaucoup plus extraordinaire que cette anomalie n'existe plus, *pour ces vitesses*, quand la profondeur diminue ou augmente mais qu'elle se déplace sur le diagramme pour se manifester à d'autres vitesses avec les changements de la profondeur (1).

En tout cas le fait est bien établi par le raisonnement comme par l'expérience.

Cela étant, imaginons un bâtiment navigant dans une eau profonde et abordant un talus sous-marin perpendiculaire à sa direction (fig. 6). Le supplément de résistance qu'il rencontrera se traduira par une augmentation de son inclinaison d'avant en arrière et un subit ralentissement de la vitesse de translation; il n'y aura aucun autre phénomène particulier qui se produira dans la propulsion du bateau.



Imaginons, en second lieu, que la trajectoire du bateau

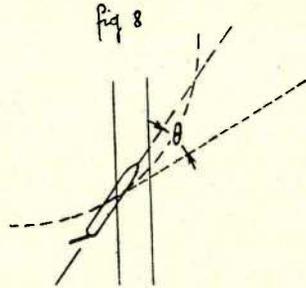


coupe le talus sous-marin sous un angle différent d'un angle droit (fig. 7). Dès lors la résistance supplémentaire qui se produira sera beaucoup plus importante sur tribord que sur bâbord puisque les masses d'eau mises en mouvement par le navire réagiront beaucoup plus fort contre la paroi du talus que contre l'espace indéfini qui s'étend à bâbord.

(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*. Troisième série. Tome V, 2^e fascicule, p. 83.

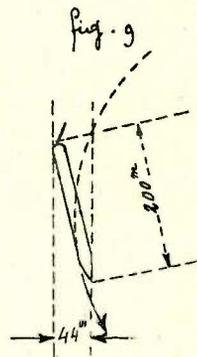
Le bâtiment embardera sur bâbord et le timonier devra donner un coup de barre pour remettre le bateau dans sa route.

Imaginons, enfin, que notre navire, au lieu de courir en ligne droite navigue en courbe. J'ai expliqué antérieurement (1) que les bateaux n'avaient plus dans ce cas leur axe tangent à la courbe qu'ils décrivent mais qu'ils ont un angle de dérive θ (fig. 8) dont la valeur peut atteindre plus de 7° . Au lieu d'aborder le talus sous-marin par la pointe de l'étrave, ils l'aborderont donc par le flanc et l'embarquée sera beaucoup plus considérable que dans le cas précédent,



d'autant plus que la barre étant (pour la giration du bateau) à tribord le navire ne demande qu'à abattre sur bâbord.

On pourra se faire une idée de l'importance que peuvent acquérir les réactions qui se produiront ainsi en songeant que la largeur occupée par le bateau le long de sa trajectoire peut s'augmenter de 12% de sa longueur du chef de l'angle de dérive c'est-à-dire, pour le traduire en chiffres, qu'à cause de l'angle de dérive un navire de 20 m. de large et de 200 m. de long occupera une zone de 44 m. de largeur quand il naviguera en courbe dans la direction indiquée par la flèche dans la figure 9.

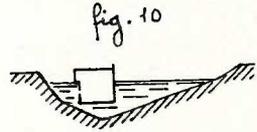


Ceci établi, appliquons maintenant ces données aux courbes de l'Escaut.

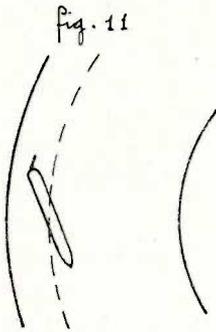
Les corrections par l'extérieur, quelles qu'elles soient, procèdent toujours par longues courbes à courbures constantes sur des étendues de plusieurs hectomètres et même de plusieurs

(1) Les grands navires dans l'Escaut rectifié (1907).

kilomètres. Les auteurs visent dans ces courbes des profondeurs modérées (10^{m.}, 11^{m.}, 12^{m.}) et il n'y aura pas beaucoup d'eau sous la quille des navires, à marée basse tout au moins. En tout état de marée, si nous faisons un plan et une coupe transversale dans l'Escaut à l'endroit où se trouve un navire nous aurons ce que représentent les fig. 10 et 11. C'est-à-dire un navire se présentant de travers dans ce fleuve à cause de l'angle de dérive (fig. 11) et situé au dessus du



versant du talus sous-marin du côté de la rive concave avec une faible nappe d'eau sous lui (fig. 10).



C'est dire que le bateau va éprouver sur tribord des réactions extrêmement vives, *d'autant plus accentuées que sa vitesse sera plus grande.* Comme dans les longues courbes des corrections par l'extérieur cette situation se prolongera pendant une période de temps considérable et que pendant tout ce temps,

la barre sera à tribord pour faire l'évolution nécessitée par le tracé des rives, on sera parvenu à réunir toutes les circonstances défavorables à la marche sûre du bateau car la tendance aux embardées sera poussée au maximum.

Elle sera particulièrement nuisible pour certains tracés, qui comme celui de l'exposé des motifs et d'autres, font suivre une courbe de 1600 m. de rayon par une autre de grande longueur à courbure beaucoup moins accentuée. Il faudra, là, diminuer l'angle de barre pour que le navire puisse continuer régulièrement sa route et comme, dès qu'on sera en courbe plus douce on se trouvera en des zones moins profondes, la tendance à l'embardée va s'accroître, pour une nouvelle raison, avec une intensité qu'on ne peut mesurer d'avance.

Que, par suite d'un incident quelconque (un autre bateau

à croiser, un schuit qui passe devant l'étrave, etc.), notre navire fasse un angle un peu trop fort avec la tangente à sa trajectoire cet angle augmentera rapidement dans la courbe adoucie et on ne pourra le combattre facilement parce qu'il faudrait mettre la barre sur le bord opposé pour pouvoir redresser la route ce à quoi la courbure générale de la rivière s'oppose.

Si le navire arrive à sa « vitesse critique » (1), il sera soumis subitement, suivant sa vitesse, le relief du fond, les inégalités plus ou moins accentuées du plafond, à des réactions instantanées particulièrement violentes et la conduite du bâtiment deviendra extrêmement malaisée et dangereuse.

Cette circonstance n'est pas la seule dont il faille tenir compte. Ce qui précède suppose, en effet, une nappe d'eau indéfinie dans le sens horizontal mais dans le problème qui nous occupe nous n'avons pas seulement à compter avec le plafond de l'Escaut mais aussi avec les rives et ici un nouvel élément intervient.

J'ai, antérieurement (2) rendu compte des études du professeur R. Haack et des expériences de Schütte et je reprendrai en premier lieu le calcul de ce dernier relatif au déplacement des eaux par un transatlantique.

On sait, d'après ces expériences, que le S.S. Kaiser Wilhelm der Grosse, lorsqu'il file 24 nœuds met en mouvement une masse d'eau de 242 m. de large et de 89 mètres de profondeur et que ce n'est qu'au delà de ces distances que le repos de l'eau n'est pas troublé par le passage du bateau.

C'est maintenant la distance de 242 m. qui va retenir notre attention. Ce chiffre (121 m. sur chaque bord) décroît naturellement avec la vitesse; et, comme pour toute les parties courbées de l'Escaut, du moins dans la zone Austruweel Kruisschans que nous considérons, le chenal se trouve rejeté contre la rive concave, on voit que, du côté convexe, on peut

(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*, Troisième série, Tome V, 2^e fascicule.

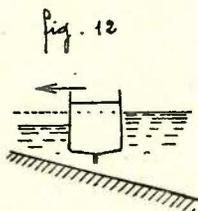
(2) *Annales des Ingénieurs de Gand*, Troisième série, Tome II, 3^e fascicule.

considérer l'Escaut comme pratiquement infini à ce point de vue.

Il en est autrement du côté de la rive concave. Si les bâtiments de mer restent bien à une centaine de mètres de la laisse de basse mer, on ne peut tout de même pas négliger l'action du talus sous-marin sur une partie importante de cette largeur.

Il résulte des études et des expériences faites que le bâtiment se mouvant hors de l'axe d'une rivière crée entre lui même et les rives une dépression des eaux, dépression d'autant plus forte que l'on est plus rapproché des rives, et qui, dans le cas spécial d'un grand navire à double hélice, sera encore augmentée à tribord (fig. 11) parce que le courant de décharge de l'hélice tribord est libre tandis que celui de l'hélice bâbord vient donner contre le safran du gouvernail.

Cette dépression que nous représentons sur la fig. 12 aura pour effet d'attirer l'arrière du navire vers la rive concave, et elle viendra donc d'ajouter à l'effet de l'angle de dérive et de la tendance aux embardées pour faire venir le navire sur bâbord.



De sorte que finalement on voit que, contrairement à ce que l'on pourrait croire tout d'abord, le danger dans les courbes, dans les longues courbes surtout, où l'effet de la dérive et de la dépression ne se produit pas alternativement sur chaque bord comme dans les sinusoïdes, ne réside pas sur la rive concave, mais bien sur la rive convexe aussi bien pour les embardées qui se produiront toujours vers la rive convexe par suite de l'existence de l'angle de dérive qu'à cause de cet angle même qui peut devenir extrêmement dangereux dans le cas où l'on voudrait — ou bien dans le cas où l'on devrait — accélérer l'allure du bâtiment.

Il ne peut donc pas être question, comme on l'a fait, de décider tout d'une fois, parce qu'on a changé le cours du fleuve, de « faire circuler les navires à une vitesse plus grande » pour qu'ils n'aient pas de retards dans leur arrivée à Anvers.

La chose demande un examen beaucoup plus serré que celui qu'on a fait jusqu'à présent.

Ce que l'on peut dire, dès à présent, sans examen autre que les études déjà faites, c'est que les deux éléments capitaux qui doivent intervenir au moment où on doit redresser partiellement ou totalement la barre d'un navire sont :

1°) la profondeur d'eau sous la quille.

2°) la grandeur de la section transversale du fleuve dans le cas où (comme dans l'Escaut) elle n'est pas illimitée.

Ce sont ces deux éléments qui auront une influence prépondérante sur la sécurité de manœuvre dans les courbes et sur la vitesse que les navires pourront prendre dans le fleuve.

La vitesse critique, dont j'ai parlé antérieurement, est extrêmement sensible à la question des profondeurs non seulement au point de vue de la grandeur de la vitesse mais aussi quant aux résistances que le navire rencontrera de la part des eaux limitées. Le diagramme publié dans les *Annales* (1) montre qu'on peut prendre quatre nœuds de plus quand la profondeur augmente à peine de 4^m50 pour de petits torpilleurs de 600 tonnes filant 16 nœuds. On peut donc se représenter quelles irrégularités on aurait à redouter quand il s'agirait de navires de 10.000 à 20.000 tonnes, ou peut être encore plus grands.

Les surprofondeurs que l'on trouve dans les coudes un peu accentués de l'Escaut présentent donc ici une utilité incontestable quoiqu'on n'en ait pas fait mention jusqu'à présent et la théorie soutenue par M. de Smet de Naeyer et d'autres que « dans les courbes sinusoïdales les mouilles atteindront « des profondeurs trop grandes, inutiles et nuisibles » est certainement renversée quand on se place au point de vue nautique. Quelques uns des échouements survenus dans certains fleuves et pour lesquels on a dit que « le navire n'obéissait plus au gouvernail » n'ont d'autre cause qu'une déviation ou une embardée de ce genre.

(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*, Troisième série, Tome V, 2^e fascicule, page 83.

La gouverne est toujours moins facile et surtout moins sûre (on ne commande pas aux embardées qui se produisent quasi instantanément) dans les longues courbes à courbure constante, même quand elle est relativement faible que dans une série de courbes et contre courbes à rayons de courbures présentant des variations convenablement étudiées.

Il n'y a pas une seule correction par l'extérieur qui échappe à cette objection et, en réalité, il est matériellement et pratiquement impossible qu'elles y échappent quand on commence à les tracer comme le montre la fig. 3 ci-dessus. Je peux signaler comme spécialement défectueux à ce sujet le projet Lagasse qui montre une courbe de 5400 m. de rayon développant un arc de près de 5000 m.

Finalement, je peux faire observer que ces grands rayons de courbure sont parfaitement superflus pour le passage en vitesse des grands navires car j'ai montré antérieurement (1) que le rayon de giration d'un bateau ne croît pas avec la vitesse du bâtiment.

* * *

Il me reste maintenant à faire voir que les corrections par l'intérieur ne prêtent pas le flanc à de pareilles objections.

Et d'abord, ces corrections partent de points d'inflexion de l'Escaut et non de sommets de courbes comme les corrections par l'extérieur. On ne doit donc, déjà, pas aborder le nouveau lit avec la barre sur un bord. Elle pourra être — elle sera même si la manœuvre est bien faite — steady au moment où le bateau s'engagera dans le nouveau lit ce qui est une sécurité et une facilité pour les manœuvres à faire ultérieurement, un navire étant naturellement beaucoup plus sensible à une inclinaison de barre allant de 0° à 5° qu'à une qui va de 20° à 25° quoique le déplacement angulaire du safran du gouvernail soit le même.

(1) Les grands navires dans l'Escaut rectifié.

Quand on commencera à donner de la barre, au lieu de devoir tout à coup comme dans le projet de l'exposé des motifs compter avec un rayon de 1400 ou de 1600 m. et ultérieurement avec des courbures moindres, on pourra partir avec un très faible angle de barre et l'augmenter petit à petit progressivement jusqu'au moment où on atteindra le sommet de la courbe. Il suffira que le coup d'œil du pilote s'accoutume à la diminution graduelle du rayon de courbure — et cela se voit très bien de la passerelle d'un navire — pour qu'il puisse aussi graduer lentement l'angle de barre et ceci est particulièrement intéressant parce qu'un navire n'embarde jamais pendant qu'on augmente l'angle de barre.

Comme — je parle maintenant surtout pour mon projet — les variations de courbure sont continues et n'ont qu'une seule période régulière de montée et de descente dans toute l'étendue de la correction que je donne au fleuve, on ne pourra se figurer une circonstance quelconque qui amènerait une seule embardée dans tout le parcours modifié.

Comme, aussi, la profondeur va en croissant à mesure que le rayon de courbure diminue, ainsi que le montrent les sections transversales (1), et que de plus, les sections, au sommet de la courbe sont de 30% plus grandes, à marée basse qu'au point d'inflexion voisin en amont, on se trouve dans les meilleures conditions pour que l'angle de dérive et les réactions du fond soient le moins à craindre.

Au point d'inflexion la barre est droite et le navire se trouve au milieu de la rivière; au sommet de la courbe il y a 5^m40 de profondeur en plus qu'au point d'inflexion et la section est de près d'un tiers plus ample, de sorte que les réactions de l'eau sont atténués dans une large mesure.

Enfin, au sortir de la courbe, en diminuant lentement l'angle de barre le redressement naturel qui en résulte pour le navire en mouvement permet seul — à cause de la dimension appro-

(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*, Tome XXIII, 1900, 3^e livraison.

priée de la courbe — de laisser le navire revenir à la gouverne steady pour le point d'inflexion suivant; et la navigation en remonte est aussi aisée que celle en descente à cause de la symétrie de la courbe d'Agnési.

Ce sont là des qualités nautiques que l'on chercherait vainement dans des projets de corrections par l'extérieur.

Ici donc encore, comme pour les raisons précédentes la correction par l'intérieur présente une meilleure disposition à la fois pour la gouverne et pour la vitesse des navires que la correction par l'extérieur et d'autant plus que cette dernière est plus longue comme développement et plus uniforme comme courbure.

§ 6. RAISON ÉCONOMIQUE.

La préférence qu'il convient de donner aux corrections par l'intérieur et surtout les nuisances qui résultent d'une correction par l'extérieur d'après tout ce qui précède montrent maintenant comment et pourquoi j'ai obstinément conservé intact — ou à peu près — le coude d'Austruweel.

Certains ont découvert que l'entaille que je voulais faire au coin de Borgerweert donnerait un banc se reformant toujours. Comme cette correction ne doit servir qu'au dessus du niveau de marée basse et plus spécialement vers marée haute, ainsi que je l'ai expliqué depuis 1896 (1) cette découverte cadrerait exactement avec ce que j'ai dit et ceci me dispense d'entrer dans de nouvelles explications.

Si on veut bien aussi se reporter à la fig. 9 de ma « Note sur le nouveau projet du Gouvernement » (2) on verra que la correction maxima que je disais admissible pour le coude d'Austruweel, cadre précisément avec la tolérance que peuvent donner les tangentes A S et A₂ S de la fig. 2 de la présente note, de sorte qu'on peut résumer pour ce coude en une phrase

(1) *Annales des Ingénieurs de Gand*, Tome XIX, 1^{re} livraison 1896

(2) » » » » V, 2^e fascicule 1912

lapidaire la vraie conception « sans aléas et sans mécomptes », dont parlait M. le Ministre des Travaux publics en disant :

« Ou bien, on désaffectera une partie importante des
« installations actuelles d'Anvers à l'Escaut suivant un tracé
« tel que Mavaut ou moi l'avons esquissé en 1900, ou bien tout
« ce qu'on fera au coude d'Austruweel pour en changer nota-
« blement la forme sera nuisible. »

Si on additionne le nombre de millions que représente ce qu'on devrait désaffecter, le nombre de millions que coûtera ce qu'il faut réédifier pour remplacer les éléments désaffectés, les frais, pertes, dépréciations de toute nature qui en résulteraient, je crois pouvoir dire que personne n'insistera pour exécuter, (même abstraction faite des questions techniques et au seul point de vue économique), des travaux semblables à ceux qui résulteraient d'une correction par l'intérieur du coude d'Austruweel.

Mais ceci ne constitue pas une raison pour vouloir bon gré, mal gré, faire une correction par l'extérieur où les déboires seront encore bien autrement supérieurs aux avantages que dans le cas d'une courbe par l'intérieur.

Passant maintenant à la correction d'un coude tel que celui de Ste-Marie, on voit par toutes les considérations qui précèdent que, malgré tout, la question des rayons de courbure minima ou de ces rayons dans toute l'étendue de la correction, domine implicitement ou explicitement la question.

On peut, par suite, aborder à ce point de vue, le problème un peu autrement et se dire : donnons nous pour corriger une boucle sinusoïdale un rayon minimum R . Quel est le travail qui nous donnera le moins de dépenses et par suite la plus grande célérité d'exécution?

Je vais comparer à ce point de vue un certain nombre de tracés en mettant en regard les longueurs des coupures mesurées suivant leur axe entre les digues du lit actuel de l'Escaut

et en limitant la comparaison au seul tournant de Ste-Marie.

PROJETS	Longueur du nouveau lit	Rayon de courbure minimum
Lagasse	ne corrige pas	1300 m.
Mavaut	ne corrige pas	1300 m.
Courbe d'Agnési	1.400 m.	1600 m.
Bovie-Dufourny	1.720 m.	1300 m.
Exposé des motifs	3.000 m.	1600 m.
Troost B	5.200 m.	2000 m.
Troost C	6.100 m.	2000 m.

On voit donc combien la courbe d'Agnési est plus favorable que tous les autres projets et elle l'est encore beaucoup plus qu'elle ne le paraît par ces chiffres.

Car, en réalité, on ne pourrait pas comparer la courbe d'Agnési qui n'a qu'un seul point avec un rayon de courbure de 1600 m. avec les autres projets qui ont leur minimum sur des centaines de mètres d'étendue. Il paraîtra plus équitable — au point de vue qui nous occupe maintenant — de comparer les autres projets avec le tracé circulaire tel qu'il figure dans nos Annales (1) et où nous voyons que la courbe d'Agnési remplace une circonférence de cercle de 2400 m. de rayon. Donc plus grands rayons et moindre longueur d'axe.

La vraie comparaison montre qu'au point de vue des travaux et à rayons équivalents la correction par l'intérieur l'emporte de très loin sur tout tracé — bon ou mauvais — qu'il est possible de faire par l'extérieur.

Pour arriver à de moins bons résultats aux points de vue géométrique — hydraulique — nautique, il faudra dépenser deux ou trois fois plus d'argent et de temps pour une correction par l'extérieur que pour une correction par l'intérieur.

La chose est si évidente que nous avons pu voir, dans les documents parlementaires M. le Sénateur Coppieters, estimer à 17,000,000 de francs l'économie résultant des seuls terras-

sements si on adoptait mon tracé au lieu de celui du Gouvernement, et chiffrer à près de 30,000,000 de francs l'économie totale à réaliser ainsi, ce qui vaut certainement la peine qu'on s'y arrête un instant. Encore faut-il ne pas oublier que pour le tracé du Gouvernement certains travaux comme les 3.300 m. de quais en terre ferme à 5,000 fr. le mètre courant ne paraissent pas pouvoir être réalisés à ce prix.

Mais l'économie principale est celle du temps.

M. Coppieters estimait qu'on n'aurait avec le projet du Gouvernement l'écluse du Kruisschans qu'en 1923 et que les quais du Kruisschans seraient exploitables en 1919 et ceux d'Austruweel en 1928 seulement ! ce qui est certainement beaucoup trop tard, eu égard aux nécessités commerciales, pour les trois dates et surtout pour la dernière. Il a, d'autre part, estimé que mes quais d'Austruweel pourraient être finis de 1915 à 1918, mes quais du Kruisschans en 1918 et mes écluses du Kruisschans (à cause de leurs dimensions moindres que celles du Gouvernement) en 1920.

Ce sont là des chiffres fournis par un homme pratique, habitué aux grands travaux hydrauliques et qui méritent d'être retenus. Il n'est que fort rarement arrivé que des travaux fussent achevés avant la date prévue et on doit se demander si on peut encore faire attendre le commerce d'Anvers pendant onze ou seize ans au moins l'achèvement des quais à accostage direct.

L'engagement pris par M. le Ministre de « créer une communication directe facile et sûre entre les bassins et l'Escaut « avant l'ouverture d'un lit nouveau », fait qu'on ne peut vraiment pas penser à entamer le déplacement du lit dans le projet du Gouvernement ou le projet plus incurvé que l'on a fait entrevoir pour Ste-Marie avant que les écluses soient achevées et mises en service au Kruisschans.

Et s'il y a un mécompte visible dès maintenant pour le commerce d'Anvers, c'est assurément celui-là. Il n'est pas besoin de commencer les travaux pour l'apercevoir clairement.

Tout projet corrigeant un coude par l'extérieur participe dans une mesure plus ou moins étendue à ce défaut.

La situation du port d'Anvers exige maintenant des travaux aussi assurés que possible comme conception, et aussi courts que possible comme délai d'exécution.

Et ces conditions, seules les corrections par l'intérieur peuvent les réunir. Ce sont elles, seules, qui donnent des nouveaux lits assez courts pour pouvoir les faire vite, ce sont elles, seules, qui maintiennent au fleuve de longues parties comme celle d'Austruweel à Draaiende Sluis, qui sont bonnes pour la navigation, et en diminuant ainsi l'étendue des travaux, les zones douteuses, les questions vécilleuses comme la traversée de l'ancien fleuve par le nouveau, éludent dans la plus grande mesure possible les retards, les dépenses et les difficultés.

§ 7. VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE.

Maintenant que nous avons expliqué théoriquement la manière dont on doit améliorer chaque boucle d'un fleuve sinusoïdal on pourra, peut être, regretter qu'il n'y ait pas quelque expérience qui vienne corroborer ce qui précède. J'ai dit, moi-même, à diverses reprises, qu'il ne fallait user des comparaisons entre les rivières à marée qu'avec les plus grandes précautions et dans des conditions tout à fait étudiées. Aussi bien, il est extrêmement difficile de trouver matière à comparaison entre d'autres fleuves qui peuvent avoir des particularités importantes qui nous échappent et l'Escaut où il y a certainement de ces particularités (par exemple les courants dans les grands fonds).

Cependant, en cherchant bien, nous avons trouvé un terme de comparaison — pas très concordant, peut être, pas très explicite non plus, mais particulièrement homogène.

Nous avons vu dans les procès-verbaux de la Commission de l'Escaut qu'on avait parlé (1) des coupures faites à Heusden, Schellebelle et Appels, entre Termonde et Gentbrugge. J'ai obtenu finalement une note (2) qui les décrit avec des détails suffisants pour qu'il soit possible d'en faire usage.

(1) M. Maillet, p. 1037 des Procès-verbaux.

(2) Les coupures exécutées à l'Escaut en amont d'Anvers.

Il faut d'abord observer que la largeur de l'Escaut varie de 40 m. à 80 m. là où l'on a fait les coupures et que la profondeur moyenne à marée basse est de 3^m75 à 5^m00 et exceptionnellement de 6 m.

Le rapport de la profondeur à la largeur variait donc en chiffres ronds d'un dixième à un seizième. Il n'y a, bien entendu, plus de bancs, ni de schaars, ni rien de ce qui caractérise la rivière vraiment maritime. C'est dire que le courant de l'eau ne peut pas divaguer — ou ne le peut qu'à peine.

Dans l'Escaut que nous avons à améliorer, nous devons compter 700 m. de large et à peine 7 m. de profondeur moyenne sur cette largeur de sorte que le rapport que nous avons en vue est à peine un centième, ce qui forme déjà des conditions différentes.

Il y a lieu, ensuite, de tenir compte de ce que les coupures de la partie Termonde-Gentbrugge ont été faites dans un tout autre ordre d'idées comme tracé et comme but que celles que l'on veut faire dans la partie Anvers-Kruisschans.

Enfin, comme travaux de terrassements, directions de courants, digues, perrés, elles sont pratiquement négligeables vis-à-vis des coupures en aval d'Anvers.

Mais elles ne sont pas négligeables comme indications dans leurs résultats. Afin de les montrer clairement nous les avons réunies en un tableau.

COUPURES DE	Sections sous marée basse			Profondeur moyenne sous marée basse		
	creusées	après les travaux	plus tard	avant travaux	après travaux	plus tard
	m ²	m ²	m ²	m.	m.	m.
Klaverken	95	106	74	3.75	3.51	2.80
Heusden-Melle	92	88	75	4.06	3.20	2.83
Zwaenhoek	100	102	76	3.75	3.84	2.78
Wetteren amont	128	125	101	4 00	3.61	3 65
Wetteren aval	141	113	"	5.00	3.84	"
Schellebelle	160	153	"	5 04	3.87	"
Paardenweide	187	192	"	6.01	5.12	"
Appels	295	220	"	5.46	3.90	"

Au point de vue hydrographique ce n'est certes pas un succès : je ne nie pas que la navigation ne se trouve mieux actuellement de la situation réalisée que du temps du fleuve sauvage parce que les courants sont moins forts et le trajet plus court.

C'est là une chose qu'on pouvait réaliser parce qu'on avait de la profondeur de trop pour le genre de bateaux qui fréquentent cette partie de l'Escaut.

Mais cela n'empêche pas qu'on a perdu dans et par ces coupures, environ 25% de la section qu'on avait cru utile de creuser et à peu près la même proportion de la profondeur moyenne. On nous promet bien que lorsque le lit sera aménagé en entier il y aura du mieux dans la situation actuelle; mais ceci, nous ne le voyons pas encore clairement.

Ce que nous voyons clairement, et c'est là la chose la plus redoutable, c'est que des coupures relativement vieilles comme celle du Klaverken, ont encore subi des ensablements énormes. (comparativement à leur étendue) jusqu'en 1908 et qu'il en est de même dans plusieurs des suivantes.

L'expérience, in globo, des coupures de l'Escaut est donc mauvaise.

Si des aventures semblables devaient arriver dans l'Escaut en aval d'Anvers, nous aurions, à proprement parler, un désastre. Nous relevons, en effet, des coupures (Heusden-Melle et Zwaenhoek) où les profondeurs moyennes réalisées depuis les travaux sont *plus petites que les seuils les plus secs* qui existaient avant le creusement des nouveaux lits !

Or la « Note sur les coupures exécutées en amont d'Anvers », nous dit explicitement « qu'on crut prudent de ne pas réaliser « d'emblée les sections calculées afin d'éviter les ensablements » et « qu'en vue de prévenir ou du moins d'atténuer « les ensablements on n'a pas réalisé les sections admises en « principe : on a élargi et régularisé la cunette prévue au dessus « de la côte (+ 2.30). Mais en dessous de cette côte on a admis « des talus ayant seulement la moitié de l'inclinaison définitive sur l'horizontale. »

Malgré cette prudence et ces précautions les coupures se sont comblées comme le montre le tableau ci-après où les colonnes 3 et 4 montrent ce qu'on a gagné ou perdu en % de la section creusée, le signe — précédant les pourcentages figurant des ensablements et le signe + figurant des creusements.

COUPURES DE	Période de	Différence relative des sections mouillées sous marée	
		basse	haute
1	2	3	4
Klaverken	1902 — 1908	— 30 ‰	— 20 ‰
Heusden-Melle	1905 — 1908	— 22.7 ‰	— 14 ‰
Zwaenhoek	1900 — 1908	— 23 ‰	— 14 ‰
Wetteren amont	1903 — 1908	— 24.6 ‰	— 19.1 ‰
Wetteren aval	1898 — 1908	— 20 ‰	— 12.3 ‰
Schellebelle	1885 — 1908	— 4.3 ‰	— 3 ‰
Paardenweide	1888 — 1908	+ 2.5 ‰	+ 1.6 ‰
Apfels	1883 — 1908	— 25 ‰	— 11 ‰

Ces résultats nous font entrevoir que, si dans une rivière de profondeur relative aussi grande ($\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{16}$) que l'Escaut entre Gand et Termonde, on ne peut obtenir que les sections réalisées suivant une loi parabolique (1) adoptée pour toute cette partie du fleuve se maintiennent, il convient pour un fleuve de profondeur relative dix fois moindre de réunir toutes les conditions possibles pour que l'on n'ait pas de surprises dans le genre de celles qui, déjà, se sont manifestées sur la partie amont du fleuve.

Dans celle-ci les coupures effectuées sont toutes de celles que j'ai appelées au paragraphe 2 des coupures « à travers tout ». Elles ont réalisé à peu près tout ce que l'on nous a

(1) Les sections des coupures ont été réalisées suivant l'équation

$$\omega = 150 + 2,50x + 0,25x^2$$

dans laquelle ω représente la surface de la section mouillée sous la cote (+ 4,50) et x la distance en kilomètres de cette section au barrage de Gentbrugge.

expliqué dans le temps, être les vraies bases de l'amélioration des rivières à marées, à savoir :

les grands rayons de courbure se poursuivant sur des centaines de mètres de longueur,

les abaissements de niveau de marée basse et par suite une augmentation du volume de l'onde marée,

la suppression de beaucoup de courbes raides et par suite une plus facile propagation de cette onde,

un calibrage des sections suivant une loi régulière les faisant croître de l'amont vers l'aval.

Si malgré ces propriétés favorables ou soi-disant telles et malgré les précautions qu'on a prises de ne pas creuser entièrement la section théorique prévue par le calcul, on a eu des ensablements qui ont atteint jusqu'un quart de la section réalisée dans les coupures, c'est qu'il y a eu dans la conception de la manière dont il fallait les faire des défauts qui contrebalancent les avantages qui peuvent résulter des précautions et des propriétés énoncées.

Pour ne pas avoir des défauts semblables dans l'Escaut en aval d'Anvers, qui y est bien plus exposé que le fleuve en amont de Termonde et pour ne pas refaire un jour dans l'hydrographie maritime la même vérification que nous sommes obligés de constater maintenant dans l'hydrographie fluviale, il ne sera pas trop de réaliser toutes les conditions favorables que réunissent les corrections par l'intérieur aux divers points de vue que j'ai repris dans les paragraphes 3, 4, et 5, de cette note.

L'expérience, comme le raisonnement, montre donc qu'il faut faire autre chose que ce que la plupart ont jugé opportun de faire maintenant et quelle que faible et incomplète que soit l'expérience dont nous disposons, il serait téméraire de la négliger.

§ 8. CONCLUSIONS.

Il ne faut donc pas adopter des tracés où l'on peut dès aujourd'hui entrevoir des luttes entre l'ancien lit et le nouveau, des irrégularités dans les courants pendant les travaux, des

conditions nautiques défavorables, des conditions géométriques défectueuses et des délais d'exécution prolongés.

Tout ou partie de ces dangers se trouvent dans les corrections par l'extérieur, dans *toutes* les corrections par l'extérieur et il s'en trouve parmi eux qui ne sont évitables à aucun prix ni moyennant aucun délai.

Le deuxième principe que « le nouvel axe doit se trouver « dans la concavité de l'ancien » *doit* supprimer d'un seul coup la plus grande partie de ces aléas et des mécomptes qui en résulteront et, appliqué convenablement, il *peut* les supprimer tous.

On ne peut, évidemment, dans un projet qui coûtera des dizaines de millions et exigera des travaux gigantesques, espérer n'avoir pas un seul incident désagréable. Mais au moins, le deuxième principe étant observé, un accident survenant n'aura jamais, quoiqu'il arrive, l'ampleur d'une catastrophe dans les chantiers ou d'un désastre pour la navigation. Les conséquences d'une mésaventure, même grave, seront toujours enserrées dans des limites étroites et auront un caractère local.

Avec un projet tel que celui de l'Exposé des motifs ou un tracé plus incurvé à Krankeloon, ou pressent telles circonstances qui peuvent chaque jour survenir et qui seraient une véritable calamité pour l'entreprise et pour Anvers.

Je devrais donc, pour terminer cette note, exprimer le vœu que le deuxième principe soit adopté comme le premier (la loi sinusoïdale) l'a été. Mais les ingénieurs et les hommes de chiffres en général n'attachent qu'une assez mince valeur à des souhaits de ce genre.

Il m'e suffira donc d'exprimer l'opinion qu'il serait vraiment opportun, pour l'avenir, et même déjà pour le présent du port d'Anvers qu'il ne faille pas dix-sept ans pour adopter le deuxième principe, comme ce fut le cas pour le premier.

Et cela, d'autant plus qu'après le deuxième, il y en a encore un troisième.....

Ostende, le 7 septembre, 1912.