

# Le Problème d'Hydraulique de l'Escaut Maritime.

(*Suite et fin*) (\*).

R. HAENECOUR,

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées.

## CHAPITRE III.

### Examen des solutions dites théoriques du problème d'hydraulique de l'Escaut Maritime.

#### I. — INTRODUCTION.

Nous ne pouvons, dans cet ordre d'idées, que nous livrer à l'examen critique du vaste mémoire de M. Bonnet, actuellement Administrateur Inspecteur général des Services Maritimes de l'Escaut à Anvers, intitulé « *Contribution à l'étude théorique des fleuves à marée et application aux rivières à marée du bassin de l'Escaut Maritime* », « *Annales des Travaux Publics de Belgique* », fascicules 3, 4, 5 et 6 de 1922 et 1, 2, 3 et 4 de 1923.

Nous estimons toutefois qu'il est indispensable, non seulement d'examiner auparavant les conditions initiales du problème, comme nous l'avons fait dans nos études relatives à la formation de l'Escaut Maritime et de la côte adjacente, ainsi que dans le chapitre I<sup>er</sup> de la présente note, mais de scruter également la nature exacte du mouvement des eaux provoqué par l'attraction des astres dans les mers ouvertes. En effet, on risque sinon de confondre deux phénomènes très distincts l'un de l'autre, à savoir ce mouvement dit ondulatoire de la marée et celui des ondes dites de « translation ».

---

(\*) Pour le début voir fascicule 4 (août) 1945, p. 415, des *Annales des Travaux Publics de Belgique*.

Nous allons essayer de le faire brièvement ci-après.

Les ondes marée faisant le tour du globe n'ont des ondes que le nom ; leur surface est en effet toujours convexe vers le haut, c'est-à-dire elliptique, et elles ne prennent une forme sinusoïdale qu'à condition d'être développées suivant une horizontale ; elles se réduisent ainsi à deux ondes entières accolées qui se font suite autour du globe, et les forces qui les sollicitent (voir fig. 3 ci-après) ne sont plus dirigées vers l'astre attracteur, mais varient continuellement de direction en tournant dans le sens opposé à celui des aiguilles d'une montre, pour un mouvement ondulatoire dirigé de la gauche vers 'a droite. Cette dissymétrie dans la sollicitation prouve que ni la courbe elliptique formant la surface, ni la sinusoïde qui en constitue le développement, ne sauraient être régulières, et que les deux marées hautes et les deux marées basses qui se produisent à chaque instant doivent être différentes.

Le cas théorique envisagé d'un canal à section constante faisant le tour du globe suivant un parallèle n'existant pas, le phénomène ne peut être confirmé par l'observation, mais on constate cependant qu'en un point donné, les deux marées d'un même jour sont différentes, ce qui pourrait être une confirmation indirecte de cette manifestation.

Si nous envisageons maintenant les mers largement ouvertes qui font le tour du globe vers le 60<sup>o</sup> parallèle sud, étranglées toutefois entre le Cap Horn (57<sup>o</sup>) et les Shetland du Sud (62<sup>o</sup>), nous pouvons calculer exactement la longueur d'onde de la marée ainsi que sa célérité, c'est-à-dire sa vitesse de propagation.

En prenant comme rayon de la terre 6400 Km., on trouve pour la longueur du parallèle 60<sup>o</sup>, 20.000 Km., c'est-à-dire que la longueur d'onde mesure 10.000 Km. ; la célérité de l'onde est donc de 10.000.000 : 12 h. 25 m. 14 sec. ou 224 m. par seconde.

*Cette vitesse est indépendante de la profondeur de la mer.*

Si nous appliquons la formule de Lagrange  $V = \sqrt{g \cdot H}$ , nous obtenons, en supposant une profondeur moyenne de 4000 m.,  $V = 200$  m. par sec. environ ; étant donné l'incertitude qui règne au sujet de la valeur de  $H$ , cette formule donne peut-être une valeur très approchée de la valeur réelle calculée ci-dessus, mais elle ne constitue pas l'expression d'une loi qui régit le phénomène dans les mers australes. Pour le montrer, il suffit de faire observer que si le chenal continu de même profondeur moyenne existait le long d'un parallèle situé plus près de l'équateur par exemple, la longueur d'onde et par conséquent la célérité serait plus grande, alors que la formule donnerait la même célérité.

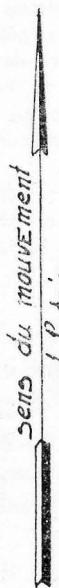
Considérons maintenant une mer transversale au globe, c'est-à-dire dirigée suivant un méridien, comme par exemple l'Atlantique, et demandons nous quel peut être l'effet direct des astres sur un tel dispositif.

Il ne faut pas scruter longtemps les conditions de cette sollicitation pour voir qu'une onde stagnante doit théoriquement se produire avec sommet vers l'équateur, flot dirigé du nord et du sud vers ce parallèle, et jusant s'en écartant, les mers australes et l'Océan Arctique jouant probablement le rôle de régulateur de marée. Rien de semblable toutefois ne se manifeste dans l'ensemble des observations de marée faites sur l'Atlantique, et l'on doit en conclure que les effets de cette onde stagnante, relativement peu importants sans aucun doute, se confondent avec ceux qui résultent de l'onde marée dérivée des mers australes qui parcourt l'Atlantique.

En effet, quand on consulte une carte des mers du globe donnant les courbes cotidiales (courbes le long desquelles les marées hautes se produisent au même instant), on constate que l'onde marée des mers australes est dérivée dans l'Atlantique et qu'elle s'y propage jusqu'au nord de l'Europe.

Du Cap de Bonne Espérance jusqu'aux Açores, la marée met 12 h. 1/2 à se propager ; comme la distance qui les sépare est d'environ 10.000 Km., on retrouve la valeur de 224 m. par seconde déjà obtenue dans les mers australes pour la célérité. Il y a là un

AXE INSTANTANÉ AUTOUR DU GLOBE  
ET FORCES SOLICITANTES DÉVELOPPÉES SUIVANT X.



ondulatoire

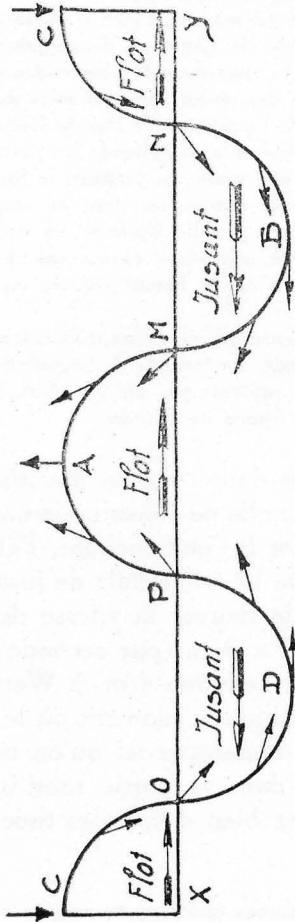
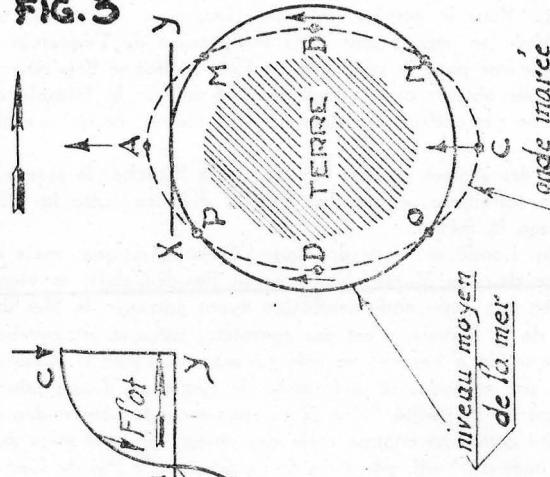


FIG. 3

SUITE UN PARALLELE



LUNE



ONDE MAREE  
DANS  
LES MERS AUSTRALES

R. H. MECOUR

indice sérieux d'interférence de deux ondes, car les résistances rencontrées par l'onde dérivée doivent logiquement diminuer progressivement sa longueur donc sa célérité; la zone de faible amplitude de marée qui s'étend dans les parages de la ligne joignant le Cap St-Roch (Brésil) au Cap Vert (Afrique) est d'ailleurs un autre indice du même phénomène. Pour le surplus, la marée haute de l'onde directe et la marée basse de l'onde dérivée se superposent dans les parages de l'équateur, puisque la marée met environ 6 heures pour se propager du Cap de Bonne Espérance au Cap Vert.

Enfin, pour obtenir cette vitesse de 224 m. par la formule de Lagrange, il faudrait admettre une profondeur supérieure à 4000 mètres, ce qui semble exagéré pour l'Atlantique.

Au delà des Açores jusqu'à l'entrée de la Manche, la marée se propage encore dans les mêmes conditions, c'est-à-dire que la distance entre les courbes cotidales horaires reste environ la même.

Plus loin, l'onde va se perdre dans l'Océan Arctique, mais une onde dérivée secondaire entre dans la Manche, traverse le Pas-de-Calais, et vient interférer au delà du détroit avec une autre onde semblable ayant parcouru la Mer du Nord.

L'onde de la Manche n'est pas complète, puisque les courbes cotidales extrêmes ne diffèrent que de 6 heures; sa célérité peut s'estimer à environ  $550.000 : 6 \times 60 \times 60$  ou 25 m. par seconde, et la formule de Lagrange donne pour  $H = 50$  m., chiffre se rapprochant de la réalité,  $V = 22$  m. par seconde; les ondes dérivées n'ont donc pas une célérité constante comme celle des ondes dans les mers australes.

Dans la mer du Nord, par suite de l'existence du Pas de Calais et de la Mer Baltique, le mouvement des marées est extrêmement compliqué; on peut toutefois le caractériser assez exactement en disant que l'onde marée se propage le long des côtes de l'Angleterre du nord au sud, pour remonter ensuite les rives du continent dans la direction nord-est. Il est évident que dans une pareille situation, la notion de longueur d'onde n'a plus de sens réel (1); on peut cependant encore calculer approximativement la célérité de l'onde le long des côtes en se basant sur les entredistances des courbes cotidiales.

On trouve ainsi que devant l'embouchure de l'Escaut Occidental, la célérité de l'onde marée est d'environ 18 m. par seconde. La formule de Lagrange donne cette vitesse pour une profondeur de 33 m., qui ne se présente pas sur nos côtes, mais ici également il y a interférence d'ondes, au large des bancs de Flandre.

L'onde marée qui s'engage dans l'Escaut Maritime est donc dérivée de l'onde de la Mer du Nord; elle ne constitue jamais une onde entière, puisque lors de l'étalement de flot à l'embouchure, l'étalement de jusant est à proximité de Wetteren, et que lors de l'étalement de jusant à l'embouchure, ce courant règne dans tout le fleuve; la vitesse de propagation de la marée haute est d'environ 8 à 9 m. par seconde à l'embouchure et diminue ensuite pour atteindre environ 4 m. à Wetteren.

L'étalement marquant par définition le moment où le débit de la section est nul, il convient de faire remarquer ici qu'on ne peut se baser sur les étalages superficiels, qui, dans la partie maritime et moyenne du fleuve, peuvent différer assez bien des étalages théoriques par suite du

(1) Dans la Mer du Nord, les courbes cotidiales convergent vers trois points où l'amplitude est nulle; ces points sont désignés sous le nom d'amphidromiques, comme nous l'avons exposé dans notre étude précédente.

mouvement secondaire. En effet, à l'étalement de jusant, il y a encore jusant à la surface et déjà flot dans le fond, donc l'étalement superficiel de jusant se place après l'étalement théorique, et à l'étalement de flot, il y a encore flot dans le fond et déjà jusant à la surface, donc l'étalement superficiel de flot se produit avant l'étalement théorique. La durée réelle du jusant, à considérer en théorie, est donc moindre que celle qui résulte des observations superficielles; pour le flot l'inverse a lieu. Des différences analogues se produisent du fait que, dans la partie aval du fleuve, un courant peut subsister dans une passe alors que dans un deuxième chenal le renversement du courant a déjà eu lieu, et que dans la partie moyenne le courant peut se maintenir sur une rive alors que le courant contraire s'est déjà établi sur l'autre.

Nous devons signaler enfin que, comme l'onde des mers australes, les ondes dérivées, même celle qui pénètre dans l'Escaut, ne présentent jamais de concavité vers le haut; leurs surfaces sont elliptiques, un simple calcul de flèche d'arc terrestre suffit pour s'en convaincre.

L'onde dérivée tertiaire qui pénètre dans l'Escaut est atrophiée sur son versant antérieur par la rencontre des eaux d'amont et du barrage terminal du fleuve, au point que la zone de flot se réduit à néant à quelque 4000 m. de cet ouvrage d'art (limite du flot); le versant postérieur de l'onde peut au contraire se développer plus librement.

Nous avons montré dans le premier chapitre de cette note, que la puissance hydraulique de l'Escaut est égale à environ 18 p. c. de l'énergie totale communiquée au fleuve, l'autre fraction soit 82 p. c. étant restituée à la mer; cette puissance est égale à l'énergie cédée par l'onde marée et le débit supérieur augmentée du travail moteur des forces extérieures.

Il ne faudrait pas conclure de ce fait que le fleuve ne se trouve pas dans de bonnes conditions de viabilité, au contraire, car le jusant ne peut exercer son action déblayante jusqu'à l'embouchure sans conserver jusqu'en ce point une vitesse suffisante; la restitution d'une grande partie de l'énergie communiquée est donc bienfaisante.

Ce serait donc évidemment une erreur de désigner par puissance hydraulique du fleuve l'énergie cédée par l'onde marée fluviale seule, qui ne s'élève qu'à 48 p. c. environ de l'énergie totale cédée.

Nous pouvons aborder maintenant l'examen du mémoire de M. Bonnet.

## II. — MOUVEMENTS ONDULATOIRES DES EAUX COURANTES.

Nous résumerons premièrement, pour autant que ce soit nécessaire en vue de l'examen ci-après, l'exposé fait par M. Bonnet.

Dans l'avant-propos, l'auteur déclare (page 382, fascicule 3 de 1922) : « nous avons pu trouver une série de lois et de propriétés qui permettent de résoudre tous les problèmes qui peuvent se présenter sur un fleuve maritime, à l'exception de ceux qui concernent le tracé en plan du fleuve, la position et le profondeur des passes navigables dans le lit du fleuve ».

Or, ce sont précisément ces derniers problèmes qui intéressent au plus haut point la navigation et les ports, c'est-à-dire ce qu'il y a de plus essentiel dans la fonction d'un fleuve maritime.

Nous sommes donc fondés à déclarer dès l'abord que l'auteur ne peut apporter de solution aux problèmes urgents qui se posent, et nous aurions pu, au point de vue pratique que nous avons toujours envisagé dans nos études, ne pas nous livrer à la présente analyse, si une série de considérations particulières émises par l'auteur ne s'étaient révélées comme étant en contradiction formelle avec les principes mêmes de l'hydraulique des fleuves à marée tels que nous les avons développés ci-dessus.

Les mouvements ondulatoires sont classés en deux catégories : les ondes d'oscillation et les ondes de translation.

L'onde marée de la mer est une onde d'oscillation périodique, les ondes formées par une pierre tombant dans l'eau sont des ondes d'oscillation ordinaires.

Les ondes d'oscillation peuvent encore être classées en ondes houleuses, paraissant courir à la surface des eaux, et en ondes clapoteuses qui semblent rester sur place.

Les ondes de translation sont dues à une force horizontale ; à chaque action de cette force correspond une et une seule onde qui se propage entièrement au-dessus ou en dessous de la surface primitive de l'eau (1).

### A. — Ondes houleuses.

M. Boussinesq a établi théoriquement la célérité en négligeant les frottements ; lorsque la profondeur de l'eau est assez petite par rapport à la longueur d'onde, sa formule se ramène à celle de Lagrange  $V = \sqrt{g \cdot H}$  (2).

M. Boussinesq a encore démontré que l'énergie totale d'une onde d'oscillation est donnée par l'expression  $\rho \pi h^2 V^2$  dans laquelle  $\rho$  représente la densité,  $h$  la demi-amplitude et  $V$  la célérité.

M. Bonnet en déduit que pour la marée, dont l'énergie est constante dit-il,  $\rho \pi h^2 V^2 = C^{\text{te}}$  ou  $h V = C^{\text{te}}$ , et comme  $V = \sqrt{g H}$ ,  $h \sqrt{H} = C^{\text{te}}$ , formule donnée par M. Comoy.

### B. — Ondes de translation.

Si l'on considère un canal sans courant de profondeur  $H$ , et une onde dont la hauteur

(1) Les ondes de translation, contrairement aux ondes marée, ont des parties de leur surface concaves vers le haut; ce sont des ondes réelles bien délimitées.

(2) Nous avons montré que dans les mers faisant le tour du globe le long d'un parallèle, la célérité était indépendante de la profondeur.

en un point considéré est  $h$ , la célérité  $V$  et la vitesse  $u$  en ce point sont données par les formules :

$$V = \sqrt{g(H+h)} \quad u = V \frac{h}{H+h} \quad \text{ou bien} \quad u = \frac{h \sqrt{g}}{\sqrt{H+h}}$$

Ces vitesses varient donc d'une tranche à l'autre de l'intumescence, c'est-à-dire que celle-ci change de forme en se propageant; ces ondes tendent vers une forme stable qu'on appelle onde solitaire, dont les différents éléments ont la même célérité.

L'énergie totale d'une tranche d'onde de longueur égale à l'unité et de la largeur  $l$ , est, dit M. Bonnet, égale à  $\rho g l h^2$ ,  $h$  étant la hauteur moyenne de la tranche.

Nous avons montré au chapitre I<sup>er</sup> de quelle façon le travail de la pesanteur devait être calculé dans le cas de l'onde marée fluviale; nous ne pouvons que faire des réserves au sujet des expressions de l'énergie données ci-dessus, mais cette question sort du cadre de la présente étude.

### III. — ONDE MARÉE FLUVIALE.

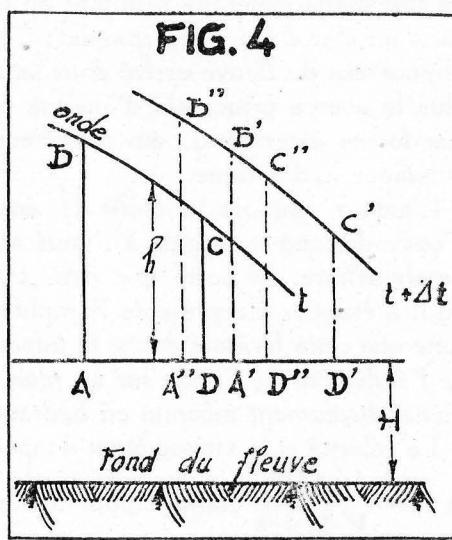
Les arguments mis en avant pour justifier l'assimilation de l'onde marée fluviale à une onde de translation ne sont pas pertinents; au contraire, l'auteur signale lui-même des discordances et des anomalies qui sont suffisantes pour écarter cette manière de faire.

Nous croyons beaucoup plus rationnel de considérer l'onde fluviale comme une onde marée dérivée tertiaire, incomplète, atrophiée, et par conséquent pouvant présenter des divergences notables dans les caractères du mouvement avec l'onde d'oscillation, mais on n'est pas encore parvenu ainsi à une formule analytique permettant de résoudre le problème.

L'on pourrait accepter la méthode proposée malgré cette assimilation peu justifiée, si réellement elle nous conduisait à des résultats pratiques et scientifiquement acceptables.

Nous regrettons toutefois de devoir déclarer d'emblée qu'il n'en est pas ainsi, et que même avant de commencer les calculs, l'auteur commet une erreur certaine en affirmant l'existence du courant de retour, qui constitue le principe fondamental se trouvant à la base de son étude.

En effet, si nous figurons en A B C D (voir fig. 4 ci-contre) la tranche d'onde d'une unité de longueur, de largeur  $l$  et de



hauteur moyenne  $h$ , celle-ci, au bout du temps  $dt$ , ne s'est pas déplacée en A' B' C' D' suivant la vitesse de propagation, mais s'est mise au contraire en A'' B'' C'' D'' suivant la vitesse réelle des molécules; hauteur, largeur et longueur de la tranche ont donc varié, et il n'est pas permis d'affirmer que  $l \times h$  ou le volume de l'élément d'onde est diminué à chaque instant (page 607, fascicule 4 de 1922); ce volume est évidemment demeuré invariable.

L'assimilation de l'onde marée fluviale à une onde de translation a fait tomber l'auteur dans une erreur de relativité, par la confusion de la célérité avec la vitesse; nous le démontrerons mathématiquement plus loin.

*Le courant de retour est imaginaire et ne peut d'ailleurs exister puisqu'il est en opposition avec les hypothèses fondamentales des calculs : parallélisme des tranches et définitions des vitesses.*

On pourrait toutefois objecter que ce courant est une fiction destinée à corriger une hypothèse fausse, et à permettre ainsi des calculs qui conduisent scientifiquement à des résultats exacts; nous exposerons ci-après notre manière de voir à ce sujet.

#### IV. — THÉORIE DE LA MARÉE FLUVIALE.

##### A. — *Loi de l'énergie ou loi des sections à marée haute.*

Nous ferons observer avant tout que l'auteur ne tient compte que des frottements intérieurs et extérieurs et qu'il néglige les déplacements locaux de matériaux dus surtout au mouvement secondaire, ainsi que les transports généraux résultant du fait que le fleuve n'est pas encore dans un état d'équilibre complet; il se place donc sans le savoir dans l'hypothèse du fleuve arrivé dans sa situation d'équilibre. Il néglige de plus la source principale d'énergie pour le fleuve, à savoir le travail des forces extérieures, qui intervient pour 52 p. c. environ dans la puissance hydraulique.

L'auteur emploie la méthode énergétique et considère la tranche d'onde de longueur égale à l'unité se trouvant au sommet de l'onde à l'embouchure, de sorte que dans l'expression  $\rho g l h^2$  de l'énergie E qu'il a établie,  $h$  représente l'amplitude et  $l$  la largeur. Disons tout de suite que cette formule donne le travail de la pesanteur dans l'hypothèse de l'étalement de l'onde sur un plan horizontal à marée basse, phénomène absolument inconnu en hydraulique fluviale.

La célérité et la vitesse étant données par les relations  $V = \sqrt{g(H+h)}$  et  $u = \frac{h\sqrt{g}}{\sqrt{H+h}}$  établies pour les ondes de translation, on trouve en

posant  $(H + h) = \lambda_1$  :  $\frac{dE}{E} = -\frac{\varepsilon dx}{\rho \lambda_1 \frac{dx}{dt}}$  dans laquelle  $\varepsilon$  est un coefficient de frottement (page 615, fascicule 4 de 1922).

M. Bonnet remplace alors  $\frac{dx}{dt}$  par  $\sqrt{g \lambda_1}$ , qui est la célérité  $V$  de l'onde, alors que  $\frac{dx}{dt} = \frac{h \sqrt{g}}{\sqrt{\lambda_1}}$  qui est la vitesse  $u$ ; il commet donc une erreur de relativité. Il trouve finalement en posant  $\frac{\varepsilon}{\rho V g} = R$ ,  $\frac{dE}{E} = -\frac{R dx}{\lambda_1 \sqrt{\lambda_1}}$ . Cette formule lie l'énergie de la tranche d'onde uniquement à la profondeur à marée haute, et permet la continuation des calculs; elle est ensuite appliquée aux différents points du fleuve.

La relation exacte à laquelle on arrive est en réalité

$$\frac{dE}{E} = -\frac{R dx}{h \sqrt{\lambda_1}}$$

dans laquelle l'amplitude  $h$  intervient également; *elle ne permet pas de poursuivre les calculs comme le fait l'auteur.*

Faisons remarquer ici que  $h$  étant plus petit que  $\lambda_1$ , la diminution réelle de l'énergie de la tranche à marée haute est plus grande que celle indiquée par la formule de M. Bonnet; cette différence ne peut toutefois expliquer l'excès apparent de puissance hydraulique du fleuve que cet auteur signale à diverses reprises.

M. Bonnet admet ensuite que dans la partie aval du fleuve, la vitesse à marée haute est constante, et en déduit que

$$\frac{\rho g l h^2}{l (H + h)} = C^{te}$$

Le numérateur représente l'énergie de la tranche et le dénominateur, dit M. Bonnet, est la section à marée haute qu'il désigne par  $\varepsilon$ ; on obtient donc :

$$\frac{E}{\varepsilon} = C^{te}$$

et par conséquent :  $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = -R \lambda_1^{-\frac{3}{2}} dx$ .

Enfin M. Bonnet substitue purement et simplement la profondeur moyenne à mi-marée  $\lambda$  à  $\lambda_1$  qui est la profondeur à marée haute; il

spécifie que  $\lambda$  est le résultat de la division de la section à mi-marée par la largeur à mi-marée.

La formule finale de M. Bonnet est donc :

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = - R \lambda^{-\frac{3}{2}} dx.$$

$\lambda$  étant plus petit que  $\lambda_1$ , sa substitution à ce dernier augmente la valeur de  $\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$ , mais celle-ci reste plus petite que celle donnée par la formule exacte, un simple calcul de vérification en posant  $\lambda=13$  et  $h=3,68$  le montre; l'énergie dépensée pour vaincre les frottements reste donc plus forte que celle indiquée par M. Bonnet.

Cet auteur substitue encore à la vitesse à marée haute la vitesse moyenne du courant pendant une marée; l'expérience montre le danger de pareille substitution dans des calculs de l'énergie. M. Bonnet, dans son avant-propos (page 382), déclare toutefois que toutes ses simplifications « *n'ont jamais été maintenues que si une vérification sérieuse faite sur l'Escaut Maritime nous y autorisait* ».

Nous rappelons à ce propos que le fleuve étant dans la période d'oscillation précédent la phase d'équilibre et que même certaines de ses sections, comme celle de Bath, étant encore loin d'avoir atteint cette phase, une formule théoriquement exacte ne doit pas donner une concordance parfaite ou même approchée; une vérification qui obtient cette concordance est plutôt de nature à rendre suspects les calculs effectués.

M. Bonnet n'a d'ailleurs envisagé que l'énergie de la tranche d'onde d'unité de longueur à marée haute, et c'est celle-là qu'il proportionne à la section à marée haute, et pas l'énergie totale de l'onde de translation. Aucune relation analytique n'a été établie entre celle-ci et la section à marée haute, et c'est certainement à tort que la formule obtenue est présentée comme une loi de l'énergie.

M. Bonnet déclare bien (page 13, fascicule 4 de 1922) que « *Parmi toutes les tranches d'onde que l'on peut étudier, celle qui offre le plus d'intérêt est celle qui se présente à l'étale du plein; car c'est d'elle que dépend la section de marée haute et aussi celle de marée basse; dès que l'on connaît l'amplitude de la marée* ». Ces lignes, qui préjugent tout simplement des résultats des calculs qui vont s'avérer pour le surplus non fondés, ne justifient pas la façon de faire de l'auteur.

Toutes ces considérations nous semblent donc de nature à faire reléguer sa relation au rang d'une formule empirique, bien que apparemment scientifiquement perfectionnée à certains égards.

Il est d'ailleurs évident à priori que la formule finale n'est qu'une simple relation analytique approchée qui lie les deux éléments  $\epsilon$  et  $\lambda$ , et qu'elle ne peut être l'expression d'une loi; l'amplitude doit certainement intervenir dans une loi de cette espèce, aussi voyons nous M. Bonnet (page 617) déclarer que « *Pour terminer la solution du problème, il faut se donner à présent la loi des profondeurs moyennes à mi-marée* ». Or, se donner celle-ci, c'est fixer en conséquence les amplitudes, puisque dans une section de forme donnée dans laquelle la superficie à marée haute est déterminée par la formule,  $\lambda_1$  ou  $(H + h)$  est également déterminé et que l'amplitude peut s'en déduire, car

$$\lambda = \lambda_1 - \frac{h}{2} \quad \text{donc} \quad h = 2(\lambda_1 - \lambda).$$

Dans les considérations particulières relatives à la loi de l'énergie, M. Bonnet écrit (page 784) : « *L'Escaut Maritime est donc un fleuve en équilibre dynamique, c'est-à-dire un fleuve maritime dont la puissance hydraulique est entièrement absorbée par les travaux résistants dus aux phénomènes de frottement, quand l'onde marée fluviale arrive à la fin de sa course.* » Nous ne pouvons que faire remarquer à cet égard que nous avons montré que les formules établies par cet auteur supposent l'équilibre du fleuve réalisé, et que par conséquent toute l'énergie communiquée par l'onde doit être consommée par les frottements puisque sa méthode ne tient pas compte de l'énergie restituée à la mer.

Le calcul auquel il se livre ensuite dans l'hypothèse de la disparition des schorres et bancs de sable de la région de Bath, est tout simplement fantaisiste; ses formules ne sont en effet plus applicables, les éléments du calcul ayant varié à l'embouchure par suite de l'adaptation de la marée à la nouvelle situation, et le fleuve n'étant plus en équilibre. Nous avons exposé cela longuement au chapitre II.

L'auteur ajoute encore (page 787, fascicule 5 de 1922) : « *Ceci montre que l'onde fluviale qui s'engage dans l'Escaut à Flessingue est trop puissante...* » et nécessite un amortisseur : « *Cet amortisseur d'énergies est le seuil de Bath. La situation troublée de Bath est donc un mal nécessaire, etc...* »

Nous ne voyons pas comment un seuil qui ne se manifeste que périodiquement et à de grands intervalles (sept fois depuis 1858) puisse amortir en permanence une énergie trop puissante; nous avons montré pour le surplus qu'une partie de l'énergie cédée au fleuve est absorbée par les transports locaux de matériaux dus au mouvement secondaire et que des paroxysmes dans ce dernier donnaient lieu au seuil, à cause

de la brisure dans le tracé du fleuve à Bath et de l'extinction naturelle et artificielle de l'Escaut Oriental.

On ne peut récupérer à Bath, grâce à une correction du fleuve, qu'une fraction assez petite de cette partie de l'énergie ainsi absorbée en cet endroit, et la récupération envisagée par l'auteur, ainsi que l'extension gigantesque de nos rivières maritimes, est une utopie basée sur une erreur flagrante.

X L'auteur finit ses considérations en montrant qu'un fleuve maritime est condamné s'il n'est pas entretenu par une énergie supplémentaire : dragage ou débit d'amont.

Cette conception commune à tous les partisans de l'ensablement inévitable des fleuves à marée est erronée, car un fleuve maritime ne peut naître et se développer, nous l'avons montré, que si un débit d'amont suffisant existe; si ce débit est annulé ou trop fortement diminué pour une cause quelconque, le fleuve est condamné à s'ensabler. C'est ce qui est arrivé au Zwyn, dont le débit d'amont a été supprimé par les affaissements inégaux du sol.

#### B. — *Loi de l'amplitude.*

L'auteur se base encore sur deux propriétés de l'onde de translation pour établir une relation analytique entre les amplitudes et les sections à marée haute; les résultats ainsi obtenus ne concordent pas avec la réalité, l'auteur emploie une fonction réductrice compliquée pour obtenir cette concordance. La formule obtenue est empirique et nous ne nous y arrêterons pas.

Les considérations particulières émises sur le coude et le seuil de Bath, basées sur des calculs effectués suivant les lois de l'énergie et de l'amplitude, n'ont aucune portée pratique ni théorique. Tout calcul effectué sur cette section de fleuve est d'ailleurs entaché d'erreur dès le début, les largeurs, les profondeurs, les sections et même les distances, étant des éléments dont la valeur réelle ne peut être déterminée par suite de la topographie des lieux et de l'irrégularité et de la variabilité du mouvement des eaux.

#### C. — *Loi du débit.*

Rappelons premièrement que pour établir la prétendue loi de l'énergie, M. Bonnet n'a pas employé l'expression de l'énergie totale d'une onde de translation, mais bien celle de l'énergie d'une tranche d'onde d'une unité de longueur se trouvant à l'embouchure au sommet de l'onde, donc à marée haute, et que c'est cette énergie-ci qu'il a cherché à rendre proportionnelle à la section à marée haute.

Cet auteur considère maintenant l'énergie totale de l'onde de translation  $E = \int h dM$ , formule dans laquelle  $h$  est l'ordonnée variable de l'onde, et  $M$  le volume total de celle-ci; il remplace la variable  $h$  par

une valeur moyenne constante  $\frac{h}{2}$  qui devient donc la demi-amplitude; il obtient ainsi:

$$E = \frac{M h}{2}$$

M. Bonnet déclare ensuite que la section à marée haute, proportionnelle à l'énergie de la tranche considérée pour l'obtention de la loi de l'énergie, sera également proportionnelle à l'énergie des autres tranches et par conséquent à l'énergie de l'ensemble de l'onde fluviale.

$$\frac{M h}{2 e}$$

est donc constant, et dans cette expression, dit encore M. Bonnet,  $M$  représente le volume de remplissage du fleuve pendant une marée, c'est donc le débit du flot augmenté du débit des eaux d'amont (page 626, fascicule 4 de 1922).

Nous ne pouvons que déclarer que la démonstration est inexiste et que les différentes tranches d'une unité de longueur ont des énergies variables qui ne peuvent être proportionnelles à la même section à marée haute; pour le surplus, rien ne prouve que ce volume de remplissage est égal au volume de l'onde de translation hypothétique utilisée dans les calculs, onde caractérisée par la profondeur  $H$  à marée basse et par une hauteur  $h$  égale à l'amplitude.

Il y a donc manifestement erreur à la base du calcul.

Dans les considérations particulières relatives au coude de Bath, M. Bonnet parle du degré de viabilité du fleuve (page 972, fascicule 6 de 1922); cette expression n'a aucun sens pour un fleuve en état d'équilibre, puisque celui-ci peut se maintenir indéfiniment si les circonstances ne varient pas.

#### D. — Niveau moyen du fleuve.

Les calculs sont basés sur l'existence du courant de retour que nous avons montré n'être qu'une simple fiction; nous croyons donc ne pas devoir nous y arrêter.

#### E. — Vitesse de propagation de l'onde marée fluviale.

M. Bonnet utilise la formule déjà donnée plus haut de la célérité d'une onde de translation  $V = \sqrt{g(H+h)}$ , à laquelle il applique un pre-

mier coefficient de correction à raison de l'influence des frottements et un deuxième à raison de l'existence du contre-courant.

L'auteur compare également les célérités en mortes eaux et en vives eaux; nous avons déjà fait remarquer d'une façon générale au par. I du chapitre II que les quadratures et les syzygies marquent les paroxysmes des perturbations périodiques que subit l'onde marée hypothétique moyenne considérée dans les calculs théoriques; les formules établies ne sont plus applicables dans ce cas, et c'est là la cause de certaines divergences constatées.

Nous signalons enfin (page 732, fascicule 4 de 1923) les calculs auxquels s'est livré M. Bonnet au sujet de la « Grande Coupure » en aval d'Anvers, projet grandiose qui donna lieu à des discussions acharnées vers le début de ce siècle; l'auteur applique ses formules en supposant que les travaux se limitent à la coupure proprement dite entre Lillo et Anvers, alors que le projet s'étendait à 20 Km. en aval. Les travaux devant nécessairement rompre l'équilibre existant dans le fleuve, les formules ne sont plus applicables.

Tout ce que l'on peut dire maintenant au point de vue hydraulique des travaux de la Grande Coupure, c'est que son débouché aval dans le schaar de Waarde était mauvais et se serait difficilement maintenu, et que la fixation du nouveau chenal navigable en aval de Lillo aurait exigé des sacrifices hors de proportion avec le but à atteindre; la science hydraulique n'était pas à même de formuler ces objections au début de ce siècle.

Nous ne pensons pas qu'il soit nécessaire ou opportun de pousser plus loin l'analyse du mémoire de M. Bonnet et nous conclurons en ces termes :

*Notre collègue M. Bonnet a été victime des embûches de la méthode énergétique, qui l'ont fait tomber notamment dans une erreur de relativité; ses formules sont empiriques bien que apparemment scientifiquement perfectionnées à certains égards. Les concordances obtenues par les vérifications, dont l'auteur fait constamment état, sont toutes naturelles, mais ne prouvent pas l'exactitude des formules ou des lois mises en évidence, elles sont le résultat de l'habile agencement des hypothèses, des simplifications faites, et des calculs effectués, ainsi que du choix judicieux des coefficients employés.*

Ces formules peuvent rendre des services dans certains problèmes plutôt secondaires, mais ne sont d'aucune utilité dans la question qui nous occupe, à savoir l'amélioration de l'Escaut en vue de faciliter la navigation maritime et l'extension des installations maritimes en aval d'Anvers.

Les considérations fausses auxquelles on est fatallement conduit par ces lois inexistantes sont funestes par leur application aux grands problèmes à résoudre.

Il était donc de notre devoir, croyons nous, d'éclairer les meilleurs compétents à ce sujet.

Tout ceci montre comment des spéculations purement mathématiques, ne traduisant pas exactement en formules les phénomènes de la nature, peuvent induire en erreur et faire croire même à des phénomènes imaginaires, tel le contre-courant en question. Une erreur cependant, n'est pas toujours stérile comme nous l'avons signalé plus haut, ainsi, il est plus que probable que sans le mémoire de M. Bonnet nous n'aurions pas trouvé la voie qui nous a menés aux calculs exposés dans le chapitre I<sup>er</sup>.

## CHAPITRE IV.

### Considérations finales.

Le problème de l'Escaut Maritime, tel que nous l'avons posé, n'est donc pas encore résolu. Nous avons suffisamment foi dans la science pour ne pas le déclarer insoluble. Il soulève d'autre part quelques problèmes accessoires qu'il convient de mettre en lumière, en même temps que certains principes adoptés ou proposés en hydraulique des fleuves à marée; nous allons rapidement passer en revue quelques-uns d'entre eux.

#### 1. — INFLUENCE DU DÉBIT SUPÉRIEUR.

L'influence de ce débit dans la partie aval du fleuve a été jusqu'ici niée, complètement à tort suivant nous, par la plupart des hydrauliciens. Nous avons montré dans nos études antérieures, que quand un fleuve maritime vient à naître, par une rupture de dunes par exemple, il lui faut pour se développer et atteindre une situation d'équilibre, rejoindre un cours d'eau existant à débit d'amont suffisamment grand.

Il y a donc une relation qui s'établit entre la grandeur des circonstances d'aval et celle du débit supérieur, c'est-à-dire qu'une loi doit exister, qui proportionne ces deux éléments en fonction des circonstances du lit de la situation d'équilibre.

L'onde marée fluviale est donc fonction du débit supérieur, ce qui met à néant la négation de l'influence de celui-ci dans la partie aval du fleuve.

Si une sécheresse survient, les circonstances d'aval deviennent prépondérantes, mais un transport général de matériaux vers l'amont s'effectue immédiatement, le fleuve s'encombre, l'onde marée fluviale varie, mais le fleuve n'est naturellement plus en équilibre.

Si au contraire une crue se produit, le jusant déblaye le fleuve et la situation d'équilibre se rétablit.

Nous n'avons pas hésité en conséquence, dans notre deuxième étude

déjà signalée, à qualifier de progression, la période actuelle du fleuve, puisqu'il est avéré à présent que les précipitations atmosphériques sur le bassin de l'Escaut augmentent notablement depuis au moins deux siècles, et que le creusement de la partie amont du fleuve a été arrêtée dans le temps par une série de perturbations que nous avons décrites dans notre premier mémoire.

Pour certains fleuves, comme par exemple le Nieuwe Waterweg de Rotterdam, où les apports solides de l'amont sont notables, se pose cependant la question de savoir s'il ne convient pas, pour améliorer les conditions de navigabilité dans la section aval, de diminuer artificiellement le débit supérieur; à notre connaissance, aucune décision dans ce sens n'a encore été prise.

## 2. — ENERGIE DE L'ONDE MARÉE FLUVIALE ET PUISSANCE HYDRAULIQUE DU FLEUVE.

Nous avons montré au chapitre I<sup>er</sup> que l'énergie restituée comprenait 82 p. c. de l'énergie totale communiquée, et nous avons appelé puissance hydraulique du fleuve la partie de l'énergie consommée par le travail des frottements et des transports de matériaux dans le fleuve.

Il est évident qu'une loi doit également exister qui lie ces énergies et cette puissance en fonction de toutes les circonstances du fleuve; il en est évidemment de même pour l'énergie latente du fleuve.

Quand on érige en principe qu'il faut augmenter l'énergie de l'onde marée, on ne songe pas qu'une modification du lit qui obtiendrait ce résultat peut parfaitement laisser au fleuve une puissance hydraulique moindre et insuffisante pour le nouveau lit; en effet, il ne suffit pas d'augmenter l'énergie communiquée au fleuve, il faut encore que l'énergie cédée soit suffisante. Ce principe est donc mauvais.

Il est au contraire irréprovable d'avancer qu'il faut « faciliter la propagation de la marée », ce qui signifie qu'il faut utiliser avec le moins de pertes possibles la puissance hydraulique du fleuve, en supprimant les irrégularités de toute nature et en donnant au lit et aux chenaux des formes et des positions bien appropriées.

## 3. — FORME EN PLAN DU LIT.

Le principe relatif à ce problème fut formulé au Congrès de Navigation de Paris en 1892 dans ces termes :

« *Les moyens essentiels et efficaces pour l'amélioration des fleuves à marée sont la formation d'un lit unique et régulier, se rétrécissant progressivement de l'aval vers l'amont et réglé de façon à ne gêner en rien le jeu des marées, la suppression des îles et des bancs de sable, le ras-*

*semblement des eaux dans un lit mineur encaissé dans des digues basses et l'ouverture du lit le plus grand possible pour l'introduction des hautes mers. »*

Nous avons montré que dans l'Escaut Maritime, si l'on considère des chenaux limités par des courbes à la cote ( $-8,00$ ), ces passes ou mouilles se suivent dans le lit de la partie amont comme indiqué par les lois de Fargue et sont séparées par des seuils au droit des points d'inflexion; que dans la partie moyenne les mouilles chevauchent les unes sur les autres, l'extrémité de la mouille d'amont venant déboucher dans la mouille daval et que finalement dans l'estuaire il y a deux chenaux, serrant chacun une rive, et dont le plus important longe naturellement la rive concave, la mouille d'amont venant déboucher approximativement dans le creux de la mouille daval à proximité du sommet de la courbe.

Ces dispositifs doivent être considérés comme résultant d'une loi qui régit le fleuve, lequel a pu creuser librement ses chenaux entre les digues largement espacées en suivant vraisemblablement la tendance au moindre effort.

Est-ce à dire que cette loi naturelle ne peut jamais être enfreinte et que l'Ingénieur, dans ses projets, doit se plier servilement à ses prescriptions? Il n'en serait certes pas ainsi si l'on pouvait réaliser un lit à l'abri des érosions; dans ce cas le lit unique serait admissible, et constituerait probablement une solution plus avantageuse que le lit naturel au point de vue de la navigation. Mais il n'est pas possible de réaliser un pareil lit dans l'Escaut Maritime, et la loi ne peut être enfreinte que localement en cas de nécessité impérieuse, toutes dispositions étant prises pour maintenir là le flot et le jusant dans le lit unique.

Dans nos études antérieures nous avons cité un exemple d'amélioration de l'Escaut où la loi en question n'a pas été observée; c'est la construction des murs de quai en rivière à Anvers, où il existait anciennement entre les deux courbes de même sens d'Austruweel et de Hoboken, une petite mouille de sens opposé au droit de la Tête de Flandre.

La construction des murs de quai, en attirant et en fixant les courants de flot et de jusant, a provoqué la disparition de cette mouille intermédiaire, en opposition avec la loi naturelle du fleuve, mais pour le plus grand bien du port d'Anvers.

Quand une sécheresse un peu prononcée survient, l'ancienne mouille manifeste encore son existence à la Tête de Flandre par l'apparition d'une fosse peu étendue à la cote ( $-8,00$ ) près de la rive gauche, preuve que le courant de flot a encore toujours une certaine tendance à suivre la loi naturelle; cette tendance ne peut se manifester en temps

ordinaire, le jusant qui balaye les rives et comble les profondeurs venant effacer les effets du flot, ce qu'il ne peut plus faire en temps de sécheresse.

Nous avons prévu une disposition analogue dans notre nouveau projet d'adaptation du fleuve et des installations maritimes d'Anvers aux exigences de la navigation; ce projet est exposé dans notre deuxième mémoire sur l'Escaut Maritime; il comporte la réunion en une seule courbe des trois mouilles de Santvliet, Saeftingen et Bath, ainsi que la fixation des courants de flot et de jusant par des murs de quai et des parois directrices.

Nous avons vu au chapitre I<sup>er</sup> qu'il y avait une différence de 40 p. c. entre l'énergie des eaux du fleuve donnée par les formules (1), (2) et (4), et celle calculée par les formules que nous avons établies, donnant le travail théorique de la pesanteur; ces différences ne peuvent exister, et c'est en réalité la deuxième qui devrait être augmentée d'environ 40 p. c., pour tenir compte du travail supplémentaire de la pesanteur dû au défaut de parallélisme des tranches.

Tous les dispositifs applicables au fleuve, qui tendent à mieux assurer ce parallélisme et notamment le lit unique, sont de nature à diminuer cette différence, c'est-à-dire à augmenter le travail théorique de la pesanteur, et par conséquent à augmenter l'amplitude, ce qui peut être considéré généralement comme bienfaisant pour la navigation.

Le principe du Congrès de Paris est donc admissible en théorie, mais son application générale créerait une situation en opposition avec la tendance vers la situation d'équilibre et nécessiterait des exhaussements de digues et des défenses générales du lit contre les érosions. Les premières digues ayant été élevées par le fleuve même, il se conçoit facilement que la nature n'ait pu réaliser le lit unique avec plus grande amplitude de marée, qui exige de hautes digues préexistantes, et que le tendance au moindre effort l'a emporté, créant un large estuaire avec double chenal.

Il est à remarquer que la différence de 40 p. c. en question n'est pas comprise dans la puissance hydraulique, elle ne semble pas constituer une perte c'est-à-dire une consommation d'énergie, mais l'on peut se demander s'il ne s'agit pas ici d'une nouvelle embûche.

Quoi qu'il en soit, il y a dans ce domaine une ample moisson en perspective pour les chercheurs perspicaces, que n'effrayent pas les embûches de la méthode énergétique et les difficultés de ses calculs.

SAMENVATTING :

HET HYDRAULISCH PROBLEEM  
VAN DE ZEE-SCHELDE.

(Slot) (\*).

HOOFDSTUK III.

Onderzoek omtrent de zoogezegde theoretische oplossingen  
van het probleem.

Paragraaf I. — *Dit hoofdstuk is gewijd aan een critisch onderzoek van de verhandeling die door den heer Bonnet, Administrateur Inspecteur Général van de Zeediensten der Schelde te Antwerpen, werd gepubliceerd in de toen nog ééntalige « Annales des Travaux Publics de Belgique », — afleveringen 3, 4, 5 en 6 van 1922 en 1, 2, 3 en 4 van 1923, — onder den titel : « Contribution à l'étude théorique des fleuves à marée et application aux rivières à marée du bassin de l'Escaut maritime ».*

*De zoogenaamde golvende beweging van het getij mag niet worden verward met het verschijnsel gekend onder den naam van « translatie-golven ».*

*In de zuidelijke zeeën, de eenige welke zich in een onafgebroken geheel rondom de aarde uitstrekken in de richting van de apparente beweging der aantrekkende hemellichamen, is de voortplantingssnelheid van de golfbeweging of de celeriteit onafhankelijk van de diepte, en bereikt zij 224 m. per seconde. De in de Schelde binnendringende getijgolf is een tertiaire afgeleide golfbeweging, voortvloeiende uit deze van de zuidelijke zeeën; deze laatste verwekt inderdaad de golfbeweging in den Atlantischen Oceaan, welke op haar beurt aanleiding geeft tot deze in de Noordzee, waardoor ten slotte de getijgolf in den Scheldestroom wordt teweeggebracht.*

---

(\*) Voor den aanvang zie aflevering nr 4 (Augustus) 1945, blz. 444, van het Tijdschrift der Openbare Werken van België.

## Paragraaf II. — De golvende bewegingen der stroomende waters.

*De particuliere beschouwingen, vervat in de verhandeling van den heer Bonnet, blijken ten stelligste in tegenstrijd met de principes zelf van de hydraulica der tijrivieren.*

*De golvende bewegingen zijn samengesteld uit de oscillatiegolven, waaronder het getij, en de translatiegolven, voortgebracht door een horizontale kracht, en die zich volledig boven of beneden het oorspronkelijk wateroppervlak bevinden.*

*De heer Bonnet bepaalt de energie van een translatiegolf door toepassing van de methode die door den heer Boussinesq voor de deiningsgolf (oscillatiegolf) werd uitgewerkt; deze berekeningen geven dan ook aanleiding tot het stelligste voorbehoud.*

## Paragraaf III. — De getijgolf in de rivier.

*De gelijkstelling van de getijgolf in een rivier, met een translatiegolf is niet te rechtvaardigen; bovendien geeft zij bij den steller aanleiding tot het begaan van een relativiteitsfout, door het verwarren van de celeriteit met de snelheid.*

*De retourstrooming, waarop de studie van den heer Bonnet in feite is gesteund, berust slechts op de inbeelding en kan trouwens onmogelijk in werkelijkheid bestaan.*

## Paragraaf IV. — De theorie van het riviergetij.

*De steller plaatst zich zonder het te beseffen in de veronderstelling dat de stroom zijn evenwichtstoestand reeds heeft bereikt; hij verwaarloost den arbeid van de uitwendige krachten, die nochtans voor 52 % in het hydraulisch vermogen tusschenkomt. Hij maakt gebruik van de energetische methode en beschouwt slechts de golfsnede die zich, bij hoog getij, aan de uitmonding bevindt; de uitdrukking van de energie van deze snede levert den arbeid van de zwaartekracht, in de veronderstelling dat de golf zich, bij laag getij, volgens een horizontaal vlak zou uitstrekken, verschijnsel dat in de hydraulica der waterloopen onbekend is.*

*In zijn formules, vervangt de heer Bonnet daarenboven nog de snelheid door de celeriteit, en elimineert hij aldus het tijverschil, wat toelaat de berekeningen verder door te drijven; hij stelt vervolgens de gemiddelde diepte bij halftij in de plaats voor deze bij hoog getij, en komt zodoende een analytische formule, waardoor de doorsneden bij hoog getij met de gemiddelde diepten bij halftij worden verbonden.*

Hij legt zich daarna de wet op der gemiddelde diepten bij halftij, wat neerkomt op het van te voren opgeven der tijverschillen.

De bewering van den steller, dat de riviergolf die in de Schelde bin-  
nendringt te krachtig is, dat zij volstrekt door een geschikte belemme-  
ring, — in dit geval den drempel van Bath, — moet worden gedempt,  
en dat de verwarde toestand in dit gebied dus een noodzakelijk euvel  
uitmaakt, berust op totaal onjuiste grondslagen en volkomen valsche  
begrippen.

Als conclusie mag worden gezegd dat de heer Bonnet het slachtoffer  
is geweest van de hinderlagen eigen aan de energetische methode, en  
dat zijn formules slechts een empirische waarde hebben; de door veri-  
ficatie vastgestelde overeenstemmingen bewijzen geenszins de juistheid  
van de zoogezegde, naar voren gebrachte wetten; zij zijn het gevolg  
van de handige aaneenschakeling der hypothesen, de ingevoerde ver-  
eenvoudigingen en de oordeelkundige keuze van de verbeteringscoëf-  
ficienten.

De verkeerde overwegingen, waartoe men door deze onwezenlijke  
wetten onvermijdelijk wordt gevoerd, kunnen noodlottige gevolgen  
hebben, wanneer zij voor de oplossing van belangrijke problemen wor-  
den aangewend.

Een vergissing kan ook soms vruchten afwerpen; deze, waarvan  
hierboven sprake, heeft de onderzoeken op het spoor geleid van  
de in hoofdstuk I uiteengezette berekeningen.

## HOOFDSTUK IV.

### Slotbeschouwingen.

Het bovenstroomsch debiet laat zijn invloed gelden over gansch de  
stroombedding. Er bestaat een wet die de medegedeelde en geresti-  
tueerde energieën, — dus ook het hydraulisch vermogen, — verbindt,  
in functie van al de diverse omstandigheden welke den stroom ken-  
merken.

De theoretische aanwinst van latente energie gedurende den vloed,  
moet met 40 % worden verhoogd om overeen te stemmen met de  
waarde van dit element, die uit de vergelijkingen steunende op het  
parallelisme der sneden kan worden afgeleid. Dit verschil spruit voort  
uit het gebrek aan parallelisme van de sneden.

Het plattegrondsverloop van de bedding, met een dubbele geul in

het mondingscomplex, kwam gansch natuurlijk tot stand volgens de neiging naar de kleinste krachtinspanning; één enige kunstmatige bedding zou van aard zijn om het gebrek aan parallelisme te verminderen en dientengevolge de theoretische latente energie, — dus het tijverschil, — te vergroten, maar haar verwezenlijking zou noodzakelijkerwijze moeten gepaard gaan met een algemeene verdediging van de bedding tegen de erosie, wat practisch gesproken niet uitvoerbaar blijkt.

De natuurlijke wet, welke het plattegrondsverloop van een stroom beheerscht, mag slechts plaatselijk worden verbroken, en dan nog wanneer de noodzakelijkheid er van zich volstrekt opdringt, bij voorbeeld met het oog op den behoorlijken samenhang van maritieme haveninrichtingen.