

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE THÉORIQUE  
DES  
FLEUVES A MARÉE  
ET  
APPLICATION AUX RIVIÈRES A MARÉE  
DU  
BASSIN DE L'ESCAUT MARITIME

PAR

**L. BONNET**

Ingénieur en chef Directeur des Ponts et Chaussées.

---

PL. II.

---

(Suite).

Voir *Annales des Travaux Publics de Belgique*  
3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> fascicules de 1922



## CHAPITRE IV.

### CONSIDÉRATIONS SUR LES PROFONDEURS MOYENNES A MI-MARÉE ET LES DÉBITS D'AMONT MOYENS DES RIVIÈRES DU BASSIN MARITIME DU RUPEL.

Planche II.

#### § 1. — Profondeurs moyennes à mi-marée.

Pour étudier les rivières du bassin maritime du Rupel, nous nous sommes basé d'une façon générale, sur les documents qui ont servi à M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt, pour faire la cubature de la marée moyenne de la période de 1888-1895. Nous avons donc fait usage des mêmes profils en travers des rivières et des mêmes profondeurs moyennes à mi-marée que celles qui résultent de ces profils en travers, exception faite toutefois pour le Rupel et la Senne.

Pour le Rupel, nous n'avons pu reconstituer les profils en travers de la rivière de la période des observations marégraphiques 1888-1895 et par conséquent pas rétablir les profondeurs moyennes à mi-marée correspondantes. Nous avons donc été obligé de nous servir d'autres profils en travers existant dans le service des Ponts et Chaussées, notamment de ceux levés en 1910.

Quand on établit, d'après ces profils, les profondeurs moyennes à mi-marée, on trouve une profondeur moyenne générale de la rivière de 4<sup>m</sup>.14. Cette profondeur est un peu trop forte pour donner, par le calcul, des sections des amplitudes, des débits de marée, etc., concordant avec la réalité. Pour réaliser cette concordance sur le Rupel et plus loin sur la Dyle et la Nèthe, il faut admettre le chiffre de 3<sup>m</sup>.93 comme profondeur moyenne générale de la rivière. Quand on remarque que le Rupel est une rivière où l'on fait de fréquents dragages qui se maintiennent péniblement, et que, d'autre part, nous n'avons pas de données précises quant aux sections moyennes de la rivière qui ont existé pendant la période 1888-1895, nous croyons qu'on peut fixer la profondeur moyenne du Rupel à 3<sup>m</sup>.93 au lieu de 4<sup>m</sup>.14.

En ce qui concerne la Senne, M. l'Ingénieur en chef-Directeur

Van Brabandt a fait l'étude de la marée moyenne en se servant des profils d'exécution du projet d'amélioration de la Senne en aval de Hombeek.; il était parfaitement autorisé à faire usage de ces profils dans l'étude qu'il avait entreprise, car celle-ci était basée sur la cubature de la marée dans laquelle n'interviennent que les largeurs au-dessus de la marée basse et les amplitudes de la marée. Or, il est certain que ces éléments ne pouvaient pas avoir changé d'une manière appréciable depuis l'époque de l'amélioration de la Senne. La question se présente tout autrement quand on fait une étude qui est basée sur les profondeurs moyennes à mi-marée. Alors, on ne peut pas se servir des profils d'exécution, mais il faut considérer les profils qui ont réellement existé pendant la période des observations marégraphiques considérées. Or, il est presque certain que la profondeur moyenne réelle doit avoir été inférieure à celle qui résulte des profils d'exécution, car les profils d'exécution s'ensablent généralement plus ou moins. On remarque, par exemple, que la profondeur moyenne générale de la rivière à mi-marée résultant des profils d'exécution est de 2<sup>m</sup>.60, alors qu'elle n'était que de 1<sup>m</sup>.89 d'après des profils levés en 1919, les seuls profils levés existant dans le service des Ponts et Chaussées.

Quand on se sert de la profondeur de 2<sup>m</sup>.60, on obtient des sections, des amplitudes, etc., qui sont beaucoup trop grandes par rapport à la situation existante; si, au contraire, on se base sur la profondeur de 1<sup>m</sup>.89, on obtient des caractéristiques trop faibles. Cela est dû au fait que dans le premier cas la profondeur moyenne est trop forte, parce qu'elle ne tient pas compte des ensablements qui se sont produits après l'amélioration de la rivière et que dans le second cas on a une profondeur moyenne trop faible qui a été mesurée après une période de guerre de près de cinq ans, durant laquelle on n'a exécuté aucun travail d'entretien. On obtient des résultats concordant avec ceux de la réalité, en admettant comme profondeur moyenne générale 2<sup>m</sup>.04, soit une profondeur un peu plus grande que la profondeur moyenne observée en 1919. C'est ce chiffre que nous avons adopté dans nos études.

Pour la Nèthe inférieure, la Grande et la Petite Nèthe, la Dyle, nous avons maintenu les profondeurs moyennes à mi-marée telles qu'elles résultent des études de M. l'Ingénieur en chef-Directeur Van Brabandt.



Ci-dessous, nous avons résumé dans le tableau 29 les profondeurs moyennes admises et celles existant en réalité.

Tableau 29.

| RIVIÈRES.            | DÉTAILS SUR LES PROFONDEURS<br>MOYENNES ADMISES.   | Profondeurs<br>moyennes<br>générales<br>à mi-marée |                  |
|----------------------|--|--|------------------|
|                      |  | ad-<br>mises.                                      | exis-<br>tantes. |
|                      |  | Mètres.  | Mètres.          |
| Rupel.               | Profondeur moyenne à l'embouchure : 5 <sup>m</sup> .40;<br>à Boom : 3 <sup>m</sup> .40; à Rumpst : 3 <sup>m</sup> .4; entre dis-<br>tances : embouchure-Boom : 6060 <sup>m</sup> .; Boom-<br>Rumpst : 5415 <sup>m</sup> .; profondeur moyenne géné-<br>rale : $\frac{5,4 + 3,4}{2} \times 6060 + 3,40 \times 5415$<br>= X × 11475  | 3.93   | 4.14             |
| Nèthe<br>inférieure. | Profondeur moyenne à Rumpst : 3 <sup>m</sup> .40; au con-<br>fluent des deux Nèthes : 1 <sup>m</sup> .90; profondeur<br>moyenne générale : $\frac{3,4 + 1,90}{2} = . . .$  | 2.65   | 2.65             |
| Grande<br>Nèthe.     | Profondeur moyenne au confluent : 1 <sup>m</sup> .90; au<br>Boeck : 1 <sup>m</sup> .10; profondeur moyenne géné-<br>rale : $\frac{1,90 + 1,10}{2} = . . .$   | 1.50   | 1.49             |
| Petite<br>Nèthe.     | Profondeur moyenne au confluent : 1 <sup>m</sup> .90; à<br>3 <sup>km</sup> .24 en amont : 1 <sup>m</sup> .28; à Emblehem : 1 <sup>m</sup> .70;<br>distance entre le confluent et Emblehem :<br>4740 <sup>m</sup> .; profondeur moyenne générale :<br>$\frac{1,90 + 1,28}{2} \times 3240 + \frac{1,28 + 1,70}{2} (4740$<br>— 3240) = X × 4740   | 1.56   | 1.56             |
| Dyle.                | Profondeur moyenne à l'embouchure : 3 <sup>m</sup> .40;<br>à Malines : 2 <sup>m</sup> .09; à Rymenam : 1 <sup>m</sup> .20;<br>entre distances : Rumpst-Malines : 6 <sup>km</sup> .486;<br>Malines-Ryменam : 10 <sup>km</sup> .707; profondeur<br>moyenne générale : $\frac{3,40 + 2,09}{2} 6486 +$<br>$\frac{2,09 + 1,20}{2} 10707 \text{ m.} = X \times 17195$ X =  | 2.06   | 2.07             |
| Senne.               | Profondeur moyenne à l'embouchure : 3 <sup>m</sup> .16; à<br>4 <sup>km</sup> .4, en amont de l'embouchure : 1 <sup>m</sup> .5; à<br>Hombeek : 1 <sup>m</sup> .5; entre distances : embou-<br>chure jusque 4 <sup>km</sup> .4 en amont : 4 <sup>km</sup> .4; de ce der-<br>nier point à Hombeek : 2 <sup>km</sup> .395; profondeur<br>moyenne générale : $\frac{3,16 + 1,5}{2} 4400 + 1,5$<br>× 2395 = X × 6795 | 2.04   | 1.89             |

## § II. — Débits d'amont.

La seule étude quelque peu précise et quelque peu complète qui existe sur les débits d'amont moyens des rivières du bassin maritime du Rupel a été faite par M. l'Ingénieur en chef-Directeur Van Brabandt et est consignée dans le recueil des documents relatifs à l'Escaut maritime. Les résultats de cette étude sont donnés aux pages 146 et 147 du recueil. Le travail de cet ingénieur est basé principalement sur le produit moyen en eau de pluie qui tombe par jour-hectare sur le bassin hydrographique des rivières et en ordre secondaire sur des jaugeages de courte durée exécutés certaines années en quelques points des rivières. En partant de ces éléments, M. Van Brabandt a trouvé à l'embouchure du Rupel 37 mètres cubes et plus en amont les débits consignés au tableau 2 du présent mémoire. Quand on se base sur ces débits pour vérifier la pente de l'axe hydraulique moyen des rivières, on trouve que ceux-ci sont un peu trop faibles : en moyenne 8 p. c. La détermination de l'axe hydraulique moyen des diverses rivières du bassin maritime du Rupel montre que le débit moyen des eaux d'amont doit être d'environ 40 mètres cubes à l'embouchure du Rupel et 38<sup>m</sup>³.5 à Rumpst, au lieu de 37 mètres cubes et 35<sup>m</sup>³.5, chiffres indiqués par M. l'Ingénieur en chef-Directeur Van Brabandt. Ces nouveaux débits peuvent-ils correspondre à la réalité?

Le débit d'amont de 37 mètres cubes donné par M. Van Brabandt à l'embouchure du Rupel résulte principalement de jaugeages effectués au flotteur en juillet-août 1896 à l'embouchure du Rupel. Les mois choisis pour les opérations de jaugeage comptent précisément parmi les mois les plus secs de l'année et ne sont pas influencés par les pluies de la période hivernale. D'autre part, l'année 1896 a été une année relativement sèche pour le bassin de l'Escaut; cette circonstance a permis à M. l'Ingénieur en chef-Directeur Van Brabandt, d'écrire à la page 142 du recueil des documents précités :

« La hauteur de pluie tombée en Belgique pendant l'année 1896 est de 0<sup>m</sup>.765, donc sensiblement supérieure à la moyenne. Mais il y a lieu de faire remarquer à ce sujet, d'abord, qu'en septembre et octobre, il est tombé beaucoup d'eau, environ le tiers du total de l'année; or, les pluies qui tombent à la fin de l'été ne font guère monter le débit des



cours d'eau. Ensuite, la répartition des pluies entre le bassin de l'Escaut et le bassin de la Meuse n'a pas été normale : le premier a reçu une quantité inférieure à sa part habituelle, le second une quantité supérieure à la sienne. »

Ceci montre que les mois de juillet-août 1896 ont été relativement secs et que les débits d'amont des rivières de l'Escaut maritime ont dû être vraisemblablement en-dessous de la moyenne. Dans ces conditions, nous croyons que nous pouvons admettre comme exacts les chiffres de 40 mètres cubes et 38m<sup>3</sup>.5 donnés plus haut. La majoration de 8 p. c. trouvée pour le débit supérieur du Rupel ne se reporte pas uniformément sur tous les affluents et sous-affluents de cette rivière. Ainsi, le débit supérieur moyen probable entre Rumpst et Malines est bien 16m<sup>3</sup>.5, chiffre donné par M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt, mais il faut le partager de manière à avoir une diminution graduelle au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'amont. En partant de ce principe, nous avons été amenés à admettre comme débit supérieur : 15 mètres cubes à Rymenam, 16 mètres cubes à Malines et 17 mètres cubes à Sennegat.

C'est le débit supérieur des Nèthes qui doit subir la plus forte majoration. D'après l'étude du niveau moyen des rivières, les débits d'amont doivent être :

| Lierre :                                | Mètres cubes. |
|---|---------------|
| Embouchure Grande Nèthe. . . . .        | 5.50          |
| — Petite Nèthe . . . . .                | 6.00          |
| Nèthe Inférieure au confluent . . . . . | 11.50         |

M. l'Ingénieur en chef directeur Van Brabandt donne pour les mêmes débits :

| Lierre :                                | Mètres cubes. |
|---|---------------|
| Embouchure Grande Nèthe. . . . .        | 5.00          |
| — Petite Nèthe . . . . .                | 5.00          |
| Nèthe Inférieure au confluent . . . . . | 10.00         |

La majoration indiquée par l'étude des axes hydrauliques moyens des rivières est donc assez forte; avant de l'admettre, nous avons cru devoir consulter l'Ingénieur du service des

Ponts et Chaussées, qui a les Nèthes dans ses attributions. Celui-ci m'a fait savoir que le débit moyen des deux Nèthes devait être beaucoup plus important que 10 mètres cubes et que les jaugeages effectués semblaient indiquer qu'il devait se rapprocher de 15 mètres cubes. Ce chiffre est encore plus grand que celui indiqué par l'étude des axes hydrauliques moyens des rivières. Toutefois, comme il est le résultat de jaugeages faites à des époques différentes de l'année pendant des périodes plus ou moins longues, on ne peut lui donner une valeur trop absolue : il n'a aucun caractère de précision, il n'est qu'une indication sur la valeur possible du débit des eaux supérieures, il montre notamment que les chiffres donnés par M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt doivent être majorés. Nous croyons donc nous rapprocher beaucoup de la vérité en admettant les débits indiqués par la pente des axes hydrauliques moyens de la Grande Nèthe et de la Petite Nèthe, soient 5m<sup>3</sup>.5 pour la première rivière et 6 mètres cubes pour la seconde. Afin de tenir compte de l'augmentation du bassin hydrographique de la rivière à Rumpst, nous avons fixé le débit supérieur en ce dernier point à 12m<sup>3</sup>.5.

L'étude du niveau moyen de la Senne permet difficilement de déterminer avec quelque précision le débit moyen supérieur de la rivière, car il existe une grande incertitude quant à la profondeur moyenne réelle de la rivière. Or, le relèvement du niveau moyen dépend en grande partie de la profondeur moyenne quand l'amplitude de la marée devient faible, ce qui est le cas pour la Senne. Toutefois, en égard à ce qui se produit pour les autres rivières du bassin maritime du Rupel, nous pouvons dire que le chiffre de 8 mètres cubes donné par M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt est trop faible et que le chiffre moyen de 9m<sup>3</sup>.012 trouvé par jaugeage en 1895, doit se rapprocher davantage de la réalité. Eu égard à ces considérations, nous avons admis dans nos vérifications un débit supérieur de 9 mètres cubes.



Tableau 30.

Tableau récapitulatif des débits moyens des eaux d'amont les plus probables pour les affluents et sous-affluents du bassin maritime du Rupel.

| NOMS DES RIVIÈRES.                         | DÉBITS               |                      |
|--|----------------------|----------------------|
|  | PARTIELS.            | TOTAUX.              |
| Grande Nèthe . . . . . 5.50 m <sup>3</sup> | »                    | »                    |
| Petite Nèthe . . . . . 6.00                | »                    | »                    |
| Nèthe Inférieure à Lierre. . . . .         | 11.50 m <sup>3</sup> | »                    |
| Nèthe Inférieure à Rumpst . . . . .        | »                    | 12.50 m <sup>3</sup> |
| Dyle : Rymenam . . . . .                   | 15.00 m <sup>3</sup> | »                    |
| » Malines . . . . .                        | 16.00 m <sup>3</sup> | »                    |
| » Sennegat . . . . .                       | 17.00 m <sup>3</sup> | »                    |
| » Rumpst . . . . .                         | »                    | 17.00 m <sup>3</sup> |
| Senne . . . . .                            | »                    | 9.00                 |
| Rupel à Rumpst . . . . .                   | »                    | 38.50 m <sup>3</sup> |
| Rupel à l'embouchure. . . . .              | »                    | 40.00                |

## CHAPITRE V.

### ÉTUDE DU RUPEL.

#### § 1 — Calcul des sections à marée haute d'égale vitesse.

Avant de pouvoir commencer l'étude du Rupel, il faut déterminer la section d'équilibre à marée haute à l'embouchure, qui soit dans le même rapport avec l'énergie de l'onde marée, que la section à marée haute dans l'Escaut maritime immédiatement en amont du Rupel avec l'énergie de l'onde marée au même point. Cette détermination peut se faire de deux manières différentes :

1° En réalisant dans le Rupel la même amplitude que dans l'Escaut.

2° En réalisant la même constante pour la loi du débit dans le Rupel que dans l'Escaut.

1° *Par la condition de l'amplitude.* L'étude de M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt fournit à l'embouchure du Rupel les renseignements suivants relatifs aux volumes de remplissage de la marée :

Débit de l'onde marée de l'Escaut en amont du Rupel 29.520.940  
 «    «    «    du Rupel . . . . . 10.483.460

«    «    «    de l'Escaut en aval du Rupel 40.004.400

La section 6 à l'embouchure du Rupel, qui est à l'énergie de l'onde marée, comme la section dans l'Escaut en aval du Rupel, qui est de 3.155 mètres cubes, est à l'énergie de l'onde marée en ce même point, est donnée par la proportion :

$$6 = \frac{3.155 \times 10.483.460}{40.004.400} = 825^{m^2}$$

Moyennant la connaissance de cet élément, on peut déterminer la largeur théorique de la rivière de manière que l'amplitude de la marée soit la même que celle observée dans l'Escaut, soit 4m.20.

$$4,20 = \varphi \times 3,68 \times \frac{13}{5,4} \sqrt{\frac{5795 \times 825}{l \times 86000}}$$

Nous avons vu par l'étude de l'Escaut que  $\varphi = 0m.835$ . En remplaçant  $\varphi$  par sa valeur dans l'équation ci-dessus, nous obtenons :

$$4,20 = 7,40 \sqrt{\frac{55,65}{l}}$$

D'où :

$$l = 175 \text{ mètres.}$$

La section à marée haute est égale à :

$$175 (5,4 + 2,1) = 1297^{m^2,5}.$$

2° *Par la condition de la constante de la loi du débit.*

La constante de la loi du débit dans l'Escaut en amont du Rupel est égale à 39.300.



La section d'équilibre à l'embouchure du Rupel est égale à :

$$\ell = \frac{10.485.460 \times 4,20}{59500} = 1120 \text{ m}^2.$$

Les résultats obtenus sont assez différents, suivant qu'on opère par la condition de l'amplitude ou celle de la loi du débit. Mais il est à remarquer que l'amplitude observée diffère notablement de l'amplitude calculée qui est, comme nous avons vu par l'étude de l'Escaut maritime, de 4m.58. Si on détermine la largeur à l'embouchure du Rupel correspondant à l'amplitude de 4m.58, on obtient :

$$4,58 = 0,835 \times 3,68 \times \frac{13}{5,4} \sqrt{\frac{5795}{l}} \times \frac{825}{86000}$$

$$l = 145^{\text{m}}.$$

et pour section à marée haute :

$$\ell = 145,2 (5,4 + 2,29) = 1118 \text{ m}^2.$$

Soit sensiblement la section obtenue par la loi du débit.

Nous croyons donc que 1.120 mètres carrés doit être approximativement la surface de la section d'équilibre à l'embouchure du Rupel. C'est cette valeur que nous allons admettre dans nos calculs de vérification du Rupel.

*Profil des profondeurs moyennes à mi-marée.*

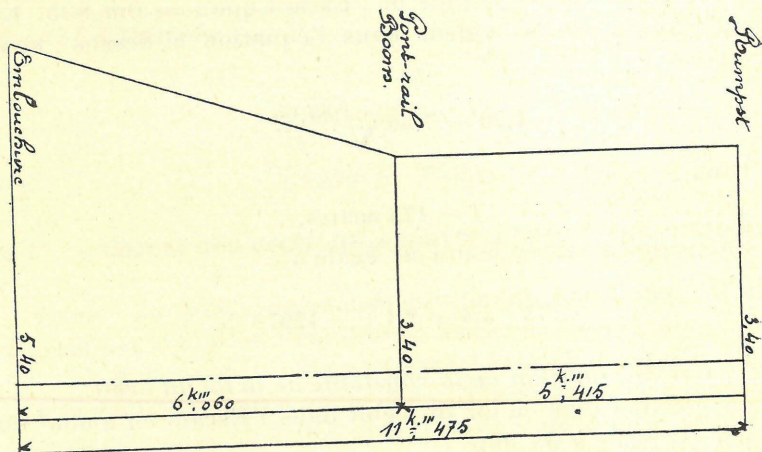


Fig. 21.

*Section à l'embouchure.*

$$\ell = 1120 \text{ m}^2 \quad \log 1120 = 3,04922.$$

*Section au pont-rail de Boom.*

$$a = \frac{5,4 - 5,4}{6,06} = 0,33$$

$$\log \ell = 3,04922 - \frac{0,688}{0,33} \left( \frac{1}{\sqrt{3,4}} - \frac{1}{\sqrt{5,4}} \right)$$

$$\log \ell = 3,04922 - 0,234 = 2,81522$$

$$\ell = 653,4 \text{ m}^2.$$

*Section à Rumpst.*

$$\frac{3}{3,4^2} = 6,269$$

$$\frac{0,344}{6,269} = 0,0548$$

$$\log \ell = 2,81522 - 0,0548 \times 5,415$$

$$\log \ell = 2,81522 - 0,297 = 2,51822$$

$$\ell = 529 \text{ m}^2, 80.$$

Les sections obtenues ci-dessus pour Boom et Rumpst sont beaucoup plus petites que celles qui existent réellement, soient 1.072 mètres carrés et 820 mètres carrés ; mais il est à remarquer que la constance de la vitesse moyenne générale du courant de marée n'existe pas sur cette rivière. M. l'Ingénieur en chef directeur Van Brabandt fournit à ce sujet les données suivantes :

Embouchure du Rupel : 0m.668

Rumpst embouchure de la Dyle : 0m.485.

Rumpst embouchure de la Nèthe, 0m.45.

Dans ces conditions, il faut appliquer les équations 32, 33 et 34 pour obtenir les sections réelles de la rivière. Nous verrons au paragraphe 3 comment on peut déterminer le terme supplémentaire de la loi logarithmique des sections.

## § 2. — Calcul des amplitudes de la marée.

Pour vérifier les amplitudes de la marée sur le Rupel, nous admettons, à l'embouchure, la section théorique de 1.120 mètres carrés, l'amplitude théorique de 4m.58 et la largeur théorique de 145m.5 qui correspondent à cette section.



*Largeur théorique à Rumpst.* L'amplitude moyenne observée est de 3<sup>m</sup>.49.

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{0,125}{0,33} \left( \frac{1}{3,4} - \frac{1}{5,4} \right) + \frac{0,125 \times 5,415}{3,4^2}} = 0,908$$

$$5,49 = 4,58 \times 0,908 \times \frac{5,4}{3,4} \sqrt{\frac{145,5}{l} \times \frac{329,8}{1120}}$$

$$l = 154^{\text{m}}.3.$$

Soit un peu moins que la largeur existante qui est de 160 mètres. Dès lors la section théorique à Rumpst est égale à :

$$\epsilon = 154,3 (3,4 + 1,745) = 794 \text{ m}^2.$$

La section existante mesure 820 mètres carrés.

*Considérations particulières.* L'abaissement du niveau de mi-marée, sous l'influence d'une diminution du débit d'amont, fait nettement sentir son effet dans le Rupel sur l'amplitude de la marée. Nous avons réuni dans le tableau ci-dessous, les cotes de mi-marée pour la période 1891-1900, ainsi que les amplitudes de la marée correspondante. Il résulte de l'examen de ce tableau que la hauteur de la marée est plus forte en été qu'en hiver, cela est surtout très marqué à Rumpst où l'influence du débit d'amont se fait nettement sentir.

| STATIONS          | ÉTÉ.               |           | HIVER.             |           |
|-------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|
|                   | Niveau de mi-marée | Amplitude | Niveau de mi-marée | Amplitude |
| Embouchure. . . . | 2,515              | 4.27      | 2 55               | 4.26      |
| Rumpst . . . .    | 2,905              | 3.67      | 2.99               | 3.34      |

### § III. — Détermination de la courbe des sections réelles à marée haute.

Si nous connaissions la variation réelle de la vitesse dans l'hypothèse où il n'y a pas de débit d'amont, nous pourrions déterminer directement le coefficient  $w'$  en partant de la loi des vitesses. Mais cette variation n'est pas connue, car toutes

les vitesses données sont influencées par l'évacuation du débit d'amont. Nous devons donc opérer comme nous avons fait pour la partie amont de l'Escaut maritime, c'est-à-dire en nous basant sur la largeur théorique qui correspond à l'amplitude observée à Rumpst. Nous avons vu au paragraphe précédent que cette largeur théorique donne à Rumpst une section à marée haute égale à 794 mètres carrés. Connaissant cet élément et sachant que la section à marée haute d'égale vitesse mesure 329<sup>m</sup> 8, nous pouvons calculer le coefficient  $w'$  du terme supplémentaire :

$$\log \left( \frac{1}{1 - w'x} \right)^2$$

$$\log 794 - \log 329.8 = \log \left( \frac{1}{1 - w' \times 11,475} \right)^2$$

$$w' = 0.05105.$$

### Section définitive à Boom (Pont rail).

Valeur du terme supplémentaire :

$$\log \left( \frac{1}{1 - 0.05105 \times 6,06} \right)^2 = 0,18127$$

$$\log \epsilon = 2,81522 + 0,18127 = 2,99649$$

$$\epsilon = 992 \text{ m}^2.$$

La section existante mesure 1.072 mètres carrés. Quand on porte sur le diagramme des sections celles obtenues par calculs à l'embouchure, à Boom et à Rumpst, on voit qu'il y a une concordance très satisfaisante entre la courbe des sections théoriques et le diagramme des sections existantes. (Voir planche II.)

### § IV. — Vérification de la loi du débit.

#### Embouchure

Volume de la marée : 10.483.460 mètres cubes.

Amplitude : 4m.20.

Section d'égale vitesse : 1.120 mètres carrés.

Valeur de la constante C.

$$c = \frac{10.483.460 \times 4 \ 20}{1120} = 39300.$$



Rumpst. L'ouvrage de M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt fournit les renseignements suivants relatifs aux volumes de marée :

1° Nèthe inférieure :

|   |           |
|---|-----------|
| Débit de flot                               | 1.945.860 |
| Débit supérieur : $(5 \times 3600 + 60) 11$ | 198.660   |
| Volume de remplissage.                      | 2.144.520 |

|   |           |
|---|-----------|
| Dyle.   | 1.289.130 |
| Débit de flot   | 423.500   |
| Débit supérieur : $24.5 (4 \times 3600 + 48 \times 60)$ |           |

Volume de remplissage. 1.712.630

Volume de la marée dans le Rupel en aval du confluent de la Dyle et de la Nèthe Inférieure :

$$2.144.520 + 1.712.630 = 3.857.150.$$

Amplitude de la marée : 3m.49.

Section à marée haute d'égale vitesse : 329m<sup>2</sup>.8.

La valeur de la constante C est égale à :

$$c = \frac{3.857.150 \times 3,49}{329,8} = 40800.$$

Soit une valeur légèrement supérieure à celle obtenue pour l'embouchure.

Vérifions à présent la loi du débit pour quelques autres marées dont nous connaissons les volumes de remplissage par les travaux de M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt, notamment les marées du 8 au 9 avril 1890 et du 8 au 9 octobre 1890.

Comme le niveau de la mi-marée varie relativement peu quelle que soit la marée considérée, nous pouvons admettre avec un certain degré d'approximation que l'énergie des quatre marées envisagées varie suivant la même loi que celle de la marée moyenne. Nous pouvons dès lors représenter l'énergie de ces quatre ondes fluviales par les mêmes sections mouillées que celles qui ont été obtenues pour la marée moyenne. En opérant de cette manière, on peut dresser le tableau 31 ci-dessous :

Tableau 31.

| Indication des marées.                             | Stations.        | Débils de flot. | Débils supérieurs. | Débils totaux. | Amplitudes. | Sections proportionnelles à l'énergie. | Valeur de la constante. |
|--|------------------|-----------------|--------------------|----------------|-------------|--|-------------------------|
| Marée du 8-9 avril 1890<br>(1 <sup>er</sup> flot). | Embouchure.      | 12.345.900      | 714.000            | 13.059.900     | 4,65        | 1120 m <sup>2</sup>                    | 54.000                  |
|  | Rumpst . . .     | 4.494.900       | 622.160            | 5.117.060      | 4,01        | 329,8                                  | 62.000                  |
| Marée du 8-9 avril 1890<br>(2 <sup>e</sup> flot).  | Embouchure.      | 10.252.600      | 714.000            | 10.966.600     | 4,26        | 1120                                   | 41.650                  |
|  | Rumpst . . .     | 3.579.600       | 622.160            | 4.201.760      | 3,40        | 329,8                                  | 43.300                  |
| Marée du 8-9 oct. 1890<br>(1 <sup>er</sup> flot).  | Embouchure.      | 7.041.300       | 714.000            | 7.755.300      | 2,80        | 1120                                   | 19.400                  |
|  | Rumpst . . .     | 2.240.100       | 622.160            | 2.862.260      | 2,60        | 329,8                                  | 22.600                  |
| Marée du 8-9 oct. 1890<br>(2 <sup>e</sup> flot).   | Embouchure . . . | 8.002.100       | 714.000            | 8.716.100      | 3,56        | 1120                                   | 27.700                  |
|  | Rumpst . . .     | 2.631.000       | 622.160            | 3.253.160      | 3,06        | 329,8                                  | 30.200                  |



Celui-ci montre que la vérification de la loi du débit se fait d'une manière très satisfaisante pour les trois dernières marées considérées. Le seul écart important se produit pour le premier flot de la marée du 8-9 avril 1890. Mais il est à remarquer que nous nous trouvons en présence de marées isolées qui ont pu être influencées par des causes accidentelles et des phénomènes secondaires dont nous n'avons pas tenu compte dans notre théorie des marées fluviales. On peut donc considérer que la loi du débit se vérifie très bien même pour les marées isolées et exceptionnelles qui se propagent normalement.

En établissant la théorie des marées fluviales, nous avons dit quela constante C était, en chaque point d'une rivière, égale à une constante multipliée par le carré de l'amplitude de la marée. Nous avons déjà vu que cette propriété se vérifie pour l'Escaut maritime; voyons s'il en est encore de même pour le Rupel.

Tableau 32.

| Stations.        | Marée moyenne. |       |      | Marée du 8-9 avril 1890. |       |      |                |       |      | Marée du 8-9 octobre 1890. |       |      |                |       |      |
|------------------|----------------|-------|------|--------------------------|-------|------|----------------|-------|------|----------------------------|-------|------|----------------|-------|------|
|                  |                |       |      | Premier flot.            |       |      | Deuxième flot. |       |      | Premier flot.              |       |      | Deuxième flot. |       |      |
|                  | C              | $h^2$ | $r$  | C                        | $h^2$ | $r$  | C              | $h^2$ | $r$  | C                          | $h^2$ | $r$  | C              | $h^2$ | $r$  |
| Embouchure. . .  | 39300          | 17,65 | 2225 | 54000                    | 21,65 | 2495 | 41650          | 18,10 | 2300 | 19400                      | 7,83  | 2475 | 27700          | 12,67 | 2185 |
| Rumpst . . . . . | 40800          | 12,18 | 3360 | 62000                    | 16,05 | 3860 | 43300          | 12,57 | 3750 | 22600                      | 6,76  | 3340 | 30200          | 9,36  | 3225 |

La vérification se fait très bien à l'embouchure du Rupel. A Rumpst, la concordance est très bonne pour trois marées : la marée moyenne et les deux flots de la marée du 8-9 octobre 1890, mais il y a un certain écart pour les deux flots de la marée du 8-9 avril 1890. En somme, dans l'ensemble, on peut dire que la propriété se vérifie parfaitement.

## § 5. — Niveau moyen de la rivière.

Nous opérerons, comme pour l'Escaut maritime, sur des tronçons de rivière suffisamment courts pour que nous puissions substituer aux lois de variation vraie de la profondeur et de la largeur de la rivière, de l'amplitude de la marée et du débit supérieur, des lois exponentielles approchées. Nous pourrons alors appliquer les formules 62, 63, 64.

### A. — Relèvement dû au phénomène de la marée.

#### SECTION EMBOUCHURE-BOOM (PONT RAIL).

Amplitude de la marée à l'embouchure : 4m.20 ; à Rumpst : 3m.49.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 4,2 e^{-0,01616x}.$$

Amplitude de la marée à Boom :

$$h = 4,2 e^{-0,01616 \times 6,06} = 3m.81.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à l'embouchure : 5m.40 ; à Boom (pont rail) : 3m.40.

Loi de variation de la profondeur moyenne :

$$\lambda = 5,4 e^{-0,0739x}.$$

Largeur à l'embouchure : 145m.5 ; à Boom : 150 mètres.

Valeur moyenne du coefficient  $\frac{l}{l+2\lambda}$  :

$$\left[ \frac{145,5}{145,5 + 2 \times 5,4} + \frac{150}{150 + 2 \times 3,4} \right] : 2 = (0,93 + 0,956) : 2 = 0,943.$$

Valeur moyenne du coefficient  $b$  :

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,93 \times 5,4} \right) = 0,35$$

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,956 \times 3,4} \right) = 0,3875$$

Valeur moyenne :  $0,3875 : 2 = 0,369.$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_m = \frac{0,369 \times 0,093 \times 4,20^2 e^{-2 \times 0,01616x}}{0,943 \times 5,4^{5,2} \times e^{-5/2 \times 0,0739x}} dx.$$



Relèvement total à Boom :

$$\zeta_m = \frac{0,369 \times 0,095}{0,943 \times 0,15768} \times \frac{17,65}{68,08} \left( e^{0,15768 \times 6,06} - 1 \right) = 0^m,095.$$

SECTION BOOM-RUMPST.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 3,81 e^{-0,01616x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée constante : 3m.4.

Largeur à Boom : 150 mètres; à Rumpst : 154,3 mètres.

Valeur moyenne du coefficient  $\frac{l}{l+2\lambda}$  :

$$\left[ \frac{150}{150 + 2 \times 3,4} + \frac{154,3}{154,3 + 2 \times 3,4} \right] : 2 = (0,956 + 0,957) : 2 = 0,9565.$$

Valeur moyenne du coefficient  $b$  :

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,956 \times 3,4} \right) = 0,3875$$

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,957 \times 3,4} \right) = 0,3875$$

Valeur moyenne :  $\frac{0,3875}{0,3875}$ .

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0,3875 \times 0,095 \times 5,81^2 \times e^{-2 \times 0,01616x}}{0,9565 \times 3,4^{5/2}} dx.$$

Relèvement total à Rumpst :

$$\zeta_m = \frac{0,3875 \times 0,095}{0,9565 \times 0,05232} \times \frac{14,52}{21,33} \left( 1 - e^{-0,03232 \times 5,415} \right)$$

$$\zeta_m = 0^m,128.$$

Le relèvement total entre l'embouchure et Rumpst est donc égal à :

$$\zeta_m = 0^m,095 + 0,128 = 0^m,223.$$

B. — Relèvement dû au débit d'amont.

SECTION EMBOUCHURE-BOOM.

Débit à l'embouchure : 40 mètres cubes; à Rumpst, 38m<sup>3</sup>,5.

Loi de variation du débit :

$$q = 40 e^{-0,003335x}.$$

Débit à Boom :

$$q = 40 e^{-0,003335 \times 6,060} = 39^m,2.$$

Largeur à l'embouchure : 145m.5; à Boom : 150 mètres.

Loi de variation de la largeur :

$$l = 145,5 e^{+0,00503x}.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_a = \frac{0,369 \times 40^2 \times e^{-2 \times 0,003335x} \times dx}{145,5^2 \times e^{+2 \times 0,00503x} \times 5,4^3 \times e^{-3 \times 0,0759x} \times 0,943}.$$

Relèvement total à Boom :

$$z_a = \frac{0,369}{0,943 \times 0,2110} \times \frac{1600}{21160 \times 157,6} \left( e^{0,2110 \times 6,060} - 1 \right)$$

$$z_a = 0^m,0023.$$

SECTION BOOM-RUMPST.

Débit à Boom : 39m<sup>3</sup>,5; à Rumpst : 38m<sup>3</sup>,5.

Loi de variation du débit :

$$q = 39,2 e^{-0,003335x}.$$

Largeur à Boom : 150 mètres; à Rumpst : 154m.3

Loi de variation de la largeur :

$$l = 150 e^{+0,00522x}.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_a = \frac{0,3875 \times 39,2^2 \times e^{-2 \times 0,003335x}}{0,9565 \times 150^2 \times e^{+2 \times 0,00522x} \times 3,4^3} dx.$$

Relèvement total à Rumpst :

$$z_a = \frac{0,3875}{0,9565 \times 0,01711} \times \frac{1538}{22500 \times 39,55} \left( 1 - e^{-0,01711 \times 5,415} \right)$$

$$z_a = 0,0037 \text{ m.}$$

Le relèvement total entre l'embouchure et Rumpst est donc égal à :

$$z_a = 0^m,0023 + 0,0037 = 0^m,006.$$



C. — Relèvement dû à l'action combinée de la marée et du débit d'amont.

SECTION EMBOUCHURE-BOOM.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_{ma} = \frac{0,569 \times 2 \times \sqrt{0,095} \times 4,2 \times e^{-0,01616x} \times 40 \times e^{-0,003331x}}{0,945 \times 145,5 \times e^{0,00503x} \times 5,4^{11/4} \times e^{-11/4 \times 0,0759x}} \times dx.$$

Relèvement total à Boom :

$$\zeta_{ma} = \frac{0,569 \times 2 \times \sqrt{0,095}}{0,945 \times 0,1845} \times \frac{4,2 \times 40}{145,5 \times 105,75} \left( e^{0,1845 \times 6,06} - 1 \right)$$

$$\zeta_{ma} = 0,052 \text{ m.}$$

SECTION BOOM-RUMPST.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_{ma} = \frac{0,5875 \times 2 \times \sqrt{0,095} \times 3,81 \times e^{-0,01616x} \times 39,2 \times e^{-0,003331x}}{0,9565 \times 150 \times e^{0,00522x} \times 5,4^{11/4}} \times dx.$$

Relèvement total à Rumpst :

$$\zeta_{ma} = \frac{0,5875 \times 2 \times \sqrt{0,095}}{0,9565 \times 0,0246} \times \frac{3,81 \times 39,2}{150 \times 28,91} \left( 1 - e^{-0,0246 \times 5,415} \right)$$

$$\zeta_{ma} = 0,044 \text{ m.}$$

Le relèvement total entre l'embouchure et Rumpst est donc égal à :

$$\zeta_{ma} = 0^m,032 + 0,044 = 0,076 \text{ m.}$$

En tenant compte des trois phénomènes analysés ci-dessus, on trouve que le relèvement total général du niveau moyen à Rumpst est égal à :

$$r = \zeta_m + \zeta_a + \zeta_{ma} = 0^m,223 + 0,006 + 0,076 = 0^m,305.$$

Le relèvement moyen observé en 1880-1895 fut de 0<sup>m</sup>.34 et en 1901-1910 de 0<sup>m</sup>.37.

Le Rupel montre très clairement que le relèvement du niveau moyen de la marée est plus considérable pour les marées de syzygie que pour les marées de quadrature : nous avons vu par l'établissement de la théorie des marées fluviales que cela doit se présenter chaque fois que la diminution de profondeur dans la rivière pour les marées de quadrature est faible et sans influence sur le phénomène observé. Ainsi on observa de 1880 à 1895 entre l'embouchure et Rumpst un relèvement du niveau

moyen de 0<sup>m</sup>.40 pour les marées de syzygie et seulement de 0<sup>m</sup>.24 pour les marées de quadrature. En 1901-1910, on constata 0<sup>m</sup>.42 et 0<sup>m</sup>.31 pour les mêmes relèvements.

§ 6. — Vitesse de propagation de l'onde marée fluviale.

Les formules donnant la vitesse de propagation de la marée dépendent de la vitesse du courant à marée haute et de celle à marée basse. Ces vitesses ne sont pas connues, nous ne commettrons toutefois pas de grandes erreurs en admettant comme pour l'Escaut maritime les 0.8 de la vitesse moyenne générale du courant de marée. C'est ce que nous avons fait dans les calculs ci-après. Les vitesses moyennes du courant de marée pour les postes principaux du Rupel sont :

Embouchure 0 668.

$$\text{Rumpst} \quad \frac{0.485 + 0.45}{2} = 0.468.$$

En opérant par interpolation, nous pouvons admettre à Boom : 0.562.

Embouchure. — Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(3,3 + 4,2)^2}} \sqrt{9,81 (3,3 + 4,2) + 0,8 \times 0,668} \right] \frac{3,3 + 4,2}{3,3 + 2 \times 4,2} = 5^m,77.$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{3,5^2}} \sqrt{9,81 \times 3,3 - 0,8 \times 0,668} = 4^m,81.$$

Boom. — (Pont rail). Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,495 + 3,81)^2}} \sqrt{9,81 (1,495 + 3,81) + 0,8 \times 0,562} \right] \frac{1,495 + 3,81}{1,495 + 2 \times 3,81}$$

$$W_{mh} = 4,37 \text{ mètres.}$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,495)^2}} \sqrt{9,81 \times 1,495 - 0,8 \times 0,562} = 2,47 \text{ m.}$$



Rumpst. — Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,655 + 3,49)^2}} \sqrt{9,81 (1,655 + 3,49) + 0,8 \times 0,468} \right] \frac{1,655 + 3,49}{1,655 + 2 \times 3,49}$$

$$W_{mh} = 4,35 \text{ m.}$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,655)^2}} \sqrt{9,81 \times 1,655 - 0,8 \times 0,468} = 2^m,84.$$

Tableau 33.

| STATIONS.    | Vitesse de propagation. |             | Vitesse moyenne de propagation. |             | Distances. | Temps de la propagation. |             | Heure de la marée calculée |             | Heure moyenne de la marée observée en 1901-1910 |            |
|--------------|-------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|------------|--------------------------|-------------|----------------------------|-------------|---|------------|
|              | Marée haute             | Marée basse | Marée haute                     | Marée basse |            | Marée haut.              | Marée basse | haute                      | basse       | haute   | basse      |
| Embouchure . | 5.77                    | 4.81        | 5.07                            | 3.64        | 6060       | 19'55"                   | 27'44"      | 3 h. 0'00"                 | 3 h. 35'    | 3 h. 0'0"                                       | 3 h. 35'0" |
| Boom . . . . | 4.37                    | 2.47        | 4.36                            | 2.655       | 5415       | 20'43"                   | 34'00"      | 3 h. 19'54"                | 4 h. 2'44"  | 3 h. 16'  | 4 h. 4'    |
| Rumpst . . . | 4.35                    | 2.84        |                                 |             |            |                          |             | 3 h. 40,37"                | 4 h. 36'44" | 3 h. 37'  | 4 h. 44"   |

Le tableau ci-dessus montre qu'il y a une concordance très satisfaisante entre les résultats du calcul et ceux de l'observation.

### § 7. — Vitesses moyennes des courants de flot et de jusant.

La section, qui a servi à M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabant pour déterminer les vitesses à l'embouchure du Rupel, a les caractéristiques suivantes :

Section à marée haute : 1.132 mètres carrés.

Section à mi-marée : 740 mètres carrés.

Section à marée basse : 380 mètres carrés.

Profondeur moyenne à mi-marée : 4<sup>m</sup>.23.

Largeur à mi-marée : 175 mètres.

M. Van Brabant n'a déterminé les vitesses moyennes de flot et de jusant qu'à l'embouchure du Rupel ; c'est donc dans

cette section que nous nous placerons pour vérifier par calcul les vitesses moyennes obtenues par cubature.

Données à l'embouchure.

Profondeur à marée basse : 4<sup>m</sup>.23 — 2.10 = 2<sup>m</sup>.13.

Largeur à mi-marée : 175 mètres.

Durée du flot : 5 × 3600 + 22 × 60 = 19320".

Durée du jusant : 7 × 3600 + 3 × 60 = 25380".

Débit du flot : 9.764.460 mètres cubes.

Débit du jusant : 11.418.360 mètres cubes.

Vitesse moyenne du flot :

$$v_f = \frac{9.764.460}{175 \left[ 2,15 + 2,10 \left( 1 + \frac{4800}{19320} \right) \right] 19320} = 0^m,608.$$

La vitesse moyenne obtenue par cubature mesure : 0<sup>m</sup>.631.

Vitesse moyenne de jusant :

$$v_3 = \frac{11.418.360}{175 \left[ 2,15 + 2,10 \left( 1 - \frac{4800}{25380} \right) \right] 25380} = 0^m,672.$$

La vitesse moyenne obtenue par cubature mesure : 0<sup>m</sup>.696.

## CHAPITRE VI.

### NÈTHE INFÉRIEURE.

#### § I. — Calcul des sections à marée haute d'égale vitesse

En amont de Rumpst, le Rupel se bifurque en deux bras : l'un de ceux-ci est la Nèthe Inférieure et l'autre la Dyle. La section extrême du Rupel à Rumpst se partage entre la Nèthe Inférieure et la Dyle proportionnellement aux énergies des ondes marées qui s'engagent dans les deux rivières maritimes. Comme l'amplitude de la marée à Rumpst est la même dans le Rupel, la Dyle et la Nèthe Inférieure, les énergies sont proportionnelles aux volumes de remplissage de la marée. Il suffit dès lors de partager la section extrême du Rupel, qui mesure 794 mètres carrés, proportionnellement aux volumes de remplissage de la Nèthe Inférieure et de la Dyle en amont de Rumpst, pour obtenir les sections d'équilibre à marée haute aux embouchures de la Dyle et de la Nèthe Inférieure. Nous avons



vu, § IV, chapitre V, 3<sup>e</sup> partie que les volumes de remplis-  
sages sont :

|                  |           |
|------------------|-----------|
| Nèthe Inférieure | 2.144.520 |
| Dyle             | 1.712.630 |
| Total.           | 3.857.150 |

Dès lors, les sections théoriques à marée haute à l'embou-  
chure de la Nèthe Inférieure et de la Dyle sont :

$$\text{Nèthe Inférieure : } \ell = 794 \times \frac{2.144.520}{3.857.150} = 441 \text{ m}^2$$

$$\text{Dyle : } \ell = 794 \times \frac{1.712.630}{3.857.150} = 353 \text{ m}^2.$$

Profils des profondeurs moyennes à mi-marée.

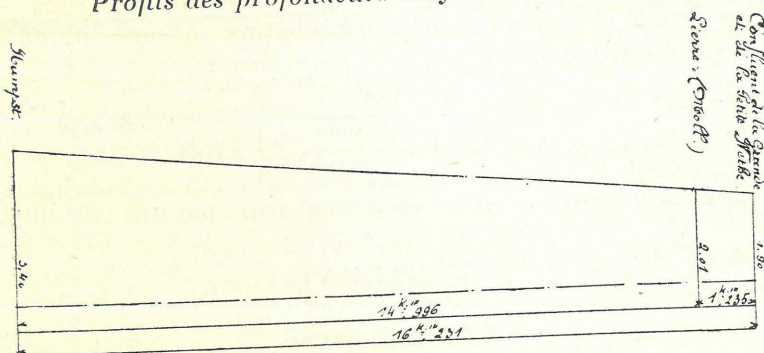


Fig. 22.

SECTION A L'EMBOUCHURE.

$$\ell = 441 \text{ m}^2 \quad \log 441 = 2,6444.$$

Coefficient de variation de la profondeur moyenne à mi-  
marée :

$$a = \frac{3,40 - 1,90}{16,231} = 0,0923.$$

Profondeur à Lierre (barrage de Moll) :

$$h = 3,4 - 0,0923 \times 14,996 = 2^{\text{m}},01.$$

Profondeur à 5 kilomètres en amont de l'embouchure :

$$h = 3,4 - 0,0923 \times 5 = 2^{\text{m}},94.$$

Profondeur à 10 kilomètres en amont de l'embouchure :

$$h = 3,4 - 0,0923 \times 10 = 2^{\text{m}},48.$$

SECTION A 5 KILOMÈTRES EN AMONT DE L'EMBOUCHURE.

$$\log \ell = 2,64444 - \frac{0,688}{0,0923} \left( \frac{1}{\sqrt{2,94}} - \frac{1}{\sqrt{3,4}} \right)$$

$$\log \ell = 2,64444 - 0,5024 = 2,54204$$

$$\ell = 219^{\text{m}^2},80.$$

SECTION A 10 KILOMÈTRES EN AMONT DE L'EMBOUCHURE.

$$\log \ell = 2,64444 - \frac{0,688}{0,0923} \left( \frac{1}{\sqrt{2,48}} - \frac{1}{\sqrt{3,4}} \right)$$

$$\log \ell = 2,64444 - 0,685 = 1,95944$$

$$\ell = 91^{\text{m}^2},08.$$

SECTION A LIERRE (BARRAGE DE MOLL).

$$\log \ell = 2,64444 - \frac{0,688}{0,0923} \left( \frac{1}{\sqrt{2,01}} - \frac{1}{\sqrt{3,4}} \right)$$

$$\log \ell = 2,64444 - 1,208 = 1,43644$$

$$\ell = 27^{\text{m}^2},52.$$

SECTION AU CONFLUENT DE LA GRANDE ET DE LA PETITE NÈTHE.

$$\log \ell = 2,64444 - \frac{0,688}{0,0923} \left( \frac{1}{\sqrt{1,9}} - \frac{1}{\sqrt{3,4}} \right)$$

$$\log \ell = 2,64444 - 1,365 = 1,28144$$

$$\ell = 19^{\text{m}^2},12.$$

Les sections obtenues ci-dessus sont beaucoup plus petites  
que celles qui existent réellement (voir le diagramme des sec-  
tions réelles de la Nèthe Inférieure (planche II). Cela provient  
de ce que la vitesse des courants de marée varie et suit  
notamment une loi décroissante. Ainsi, la cubature de la rivière  
donne les vitesses moyennes générales du courant de marée  
suivantes :

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Embouchure à Rumpst      | 0m.45 |
| Barrage de Moll à Lierre | 0m.28 |

Puisque la vitesse moyenne du courant de marée change,  
nous devons compléter les logarithmes des sections obtenues  
ci-dessus par un terme supplémentaire, qui tient compte de la  
variation de la vitesse, pour obtenir les sections réelles de la  
rivière.

Par suite de l'influence du débit d'amont, les vitesses  
ci-dessus ne peuvent pas servir pour déterminer le terme sup-



plémentaire à ajouter aux logarithmes des sections. Nous devons opérer comme nous avons fait pour le Rupel : c'est-à-dire chercher au préalable la largeur théorique qui correspond à l'amplitude observée au confluent de la Grande et de la Petite Nèthe ; puis calculer la section réelle au confluent et enfin déterminer la valeur de  $w'$ , qui figure dans le terme supplémentaire des sections réelles de la rivière, en partant de cette dernière section et de celle d'égale vitesse.

## § 2. — Calcul des amplitudes de la marée fluviale.

*Données à l'embouchure de la rivière.*

Section à marée haute : 441 mètres carrés.

Amplitude de la marée : 3<sup>m</sup>.49.

Profondeur à mi-marée : 3<sup>m</sup>.40.

Largeur de la rivière :

$$l = \frac{441}{3,40 + \frac{3,49}{2}} = 85^m,60.$$

*Barrage de Moll à Lierre.*

Amplitude observée : 2 mètres.

Coefficient de réduction  $\varphi$  :

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{0,125}{0,0923} \left( \frac{1}{2,01} - \frac{1}{3,4} \right)} = 0,785.$$

Largeur théorique de la rivière correspondant à l'amplitude observée :

$$2,00 = 0,785 \times 3,49 \times \frac{3,40}{2,01} \sqrt{\frac{85,6}{l} \times \frac{27,32}{441}}$$

$$l = 28,40 \text{ m.}$$

Soit un peu plus que la largeur existante qui est de 28 mètres. La largeur théorique ci-dessus correspond à une section à marée haute de :

$$\epsilon = 28,4 \left( 2,01 + \frac{2,00}{2} \right) = 85,5 \text{ m}^2.$$

La section existante mesure 93 mètres carrés.

*Confluent de la Grande et de la Petite Nèthe.*

Amplitude observée : 1<sup>m</sup>.79.

Coefficient de réduction  $\varphi$  :

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{0,125}{0,0923} \left( \frac{1}{1,9} - \frac{1}{3,4} \right)} = 0,76.$$

Largeur théorique de la rivière correspondant à l'amplitude observée :

$$1,79 = 0,76 \times 3,49 \times \frac{3,40}{1,9} \sqrt{\frac{85,6}{l} \times \frac{19,12}{441}}$$

$$l = 26^m,15.$$

Largeur existante : 29 mètres.

Largeur théorique ci-dessus correspond à une section à marée haute égale à :

$$\epsilon = 26,15 \left( 1,90 + \frac{1,79}{2} \right) = 73 \text{ m}^2.$$

soit un peu moins que la section réellement existante qui est de 75 m<sup>2</sup>.10.

Si on examine les amplitudes moyennes d'été et d'hiver, on remarque que par suite du relèvement du niveau moyen du fleuve en hiver sous l'action de l'évacuation des crues d'amont, l'amplitude de la marée est plus faible en hiver qu'en été. On a notamment au barrage de Moll, qui est le seul poste pour lequel on dispose de données :

Cote du niveau moyen d'hiver : + 3.685.

Amplitude moyenne d'hiver : 1<sup>m</sup>.81.

Cote du niveau moyen d'été : + 3.385 mètres.

Amplitude moyenne d'été : 2<sup>m</sup>.23.

## § 3. — Détermination de la courbe des sections réelles à marée haute.

Pour déterminer la valeur du coefficient  $w'$ , nous allons nous placer au confluent de la Grande et de la Petite Nèthe, où la section à marée haute d'égale vitesse mesure 19 m<sup>2</sup>.12 et la section à marée haute réelle 73 mètres carrés. La valeur de  $w'$  est fournie par la relation :

$$\log 73 - \log 19,12 = \log \left( \frac{1}{1 - w' \times 16,251} \right)^2$$

$$w' = 0,03016.$$



SECTION RÉELLE A 5 KILOMÈTRES EN AMONT DE RUMPST.

Valeur du terme supplémentaire :

$$\log \left( \frac{1}{1 - 0.03016 \times 5} \right)^2 = 0,14145$$

$$\log \epsilon = 2,54204 + 0,14145 = 2,48549$$

$$\epsilon = 304\text{m}^2,45.$$

SECTION RÉELLE A 10 KILOMÈTRES EN AMONT DE RUMPST.

$$\log \left( \frac{1}{1 - 0.03016 \times 10} \right)^2 = 0,31027$$

$$\log \epsilon = 1,95944 + 0,31027 = 2,26971$$

$$\epsilon = 186\text{m}^2,10.$$

SECTION RÉELLE AU BARRAGE DE MOLL A LIERRE.

$$\log \left( \frac{1}{1 - 0.03016 \times 14.996} \right)^2 = 0,52504$$

$$\log \epsilon = 1,45644 + 0,52504 = 1,96148$$

$$\epsilon = 91\text{m}^2,51.$$

Quand on porte les sections théoriques obtenues ci-dessus par calculs, sur le diagramme des sections (planche II) on voit que la courbe des sections calculées suit parfaitement l'allure du diagramme des sections existantes et que la superposition des deux figures se fait surtout très bien pour la partie amont de la rivière.

§ 4. — Vérification de la loi du débit.

SECTION D'EMBOUCHURE A RUMPST.

Volume de remplissage de la marée (voir § IV, chapitre V, 3<sup>e</sup> partie) 2.144.520.

Amplitude de la marée : 3<sup>m</sup>.49.

Section d'équilibre à marée haute : 441 mètres carrés.

Valeur de la constante C :

$$c = \frac{2.144.520 \times 3,49}{441} = 17000.$$

*Barrage de Moll à Lierre.* D'après le travail de M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt, le volume de remplis-

sage de la marée est :

|   | Mètres cubes |
|---|--------------|
| Débit de flot . . . . .                               | 139.310      |
| Débit d'amont. $(2 \times 3.600 + 59 \times 60) 10 =$ | 107.400      |
| Total. . . . .  | 246.710      |

Amplitude de la marée : 2 mètres.

Section d'égale vitesse à marée haute : 27m<sup>2</sup>.32.

Valeur de la constante C :

$$c = \frac{246.710 \times 2,00}{27,32} = 18060.$$

*Confluent de la Grande et de la Petite Nèthe.*

Volume de remplissage de la marée. (Voir le travail de M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt.)

|  | Mètres cubes. |
|--|---------------|
| Débit de flot . . . . .                            | 99.970        |
| — d'amont : $(2 \times 3.600 + 33 \times 60) 10 =$ | 91.800        |
| Total. . . . .                                     | 191.770       |

Amplitude de la marée : 1m.79.

Section d'égale vitesse à marée haute : 19m<sup>2</sup>.12.

Valeur de la constante C :

$$c = \frac{191.770 \times 1,79}{19,12} = 17950.$$

Les calculs ci-dessus montrent que la loi du débit se vérifie d'une manière très satisfaisante pour les trois sections considérées de la rivière. Voyons s'il en est de même pour les quatre marées isolées, étudiées par M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt. Nous admettons comme pour le Rupel que les sections d'égale vitesse calculées ci-dessus représentent les énergies des ondes marées considérées. En nous aidant du travail de cet ingénieur, nous pouvons dresser le tableau 34 ci-dessous :



Tableau 34.

| Indication des marées.                             | Stations.                                | Débites de flot.                | Débites d'amont.             | Débites totaux.                 | Amplitudes.          | Sections proportionnelles à l'énergie de l'onde marée | Valeur de la constante.    |
|--|--|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|---|----------------------------|
| Marée du 8-9 avril 1890<br>(1 <sup>er</sup> flot). | Embouchure.<br>Barrage Moll<br>Confluent | 2.818.900<br>226.900<br>171.200 | 198.660<br>107.400<br>91.800 | 3.017.560<br>334.300<br>263.000 | 4,01<br>2,65<br>2,37 | 441<br>27,32<br>19,12                                 | 27.420<br>32.440<br>32.800 |
| Marée du 8-9 avril 1890<br>(2 <sup>e</sup> flot).  | Embouchure<br>Barrage Moll<br>Confluent  | 2.282.400<br>146.300<br>100.500 | 198.660<br>107.400<br>91.800 | 2.481.060<br>253.700<br>192.300 | 3,40<br>2,03<br>1,82 | 441<br>27,32<br>19,12                                 | 19.450<br>18.850<br>18.300 |
| Marée du 8-9 oct. 1890<br>(1 <sup>er</sup> flot).  | Embouchure.<br>Barrage Moll<br>Confluent | 1.514.400<br>89.800<br>57.400   | 198.660<br>107.400<br>91.800 | 1.712.760<br>197.200<br>148.900 | 2,60<br>1,70<br>1,52 | 441<br>27,32<br>19,12                                 | 10.110<br>12.260<br>11.830 |
| Marée du 8-9 oct. 1890<br>(2 <sup>e</sup> flot).   | Embouchure.<br>Barrage Moll<br>Confluent | 1.753.100<br>124.300<br>86.000  | 198.660<br>107.400<br>91.800 | 1.954.760<br>231.700<br>177.800 | 3,06<br>1,85<br>1,66 | 441<br>27,32<br>19,12                                 | 13.570<br>15.680<br>15.420 |

Il résulte de l'examen du tableau ci-dessus que la loi se retrouve pour chacune des marées considérées. La vérification se fait surtout très bien pour le second flot de la marée du 8-9 avril 1890 et pour le premier flot de la marée du 8-9 octobre 1890.

Il nous reste à vérifier la propriété que la constante C, en chaque point de la rivière, est égale à une constante  $\Gamma$  multipliée par l'amplitude de la marée au point considéré.

Tableau 35.

| STATIONS.              | Marée moyenne. |       |          | Marée 8-9 avril 1890. |       |          |                       |       |          | Marée 8-9 octobre 1890. |       |          |                       |       |          |
|------------------------|----------------|-------|----------|-----------------------|-------|----------|-----------------------|-------|----------|-------------------------|-------|----------|-----------------------|-------|----------|
|                        |                |       |          | 1 <sup>er</sup> flot. |       |          | 2 <sup>me</sup> flot. |       |          | 1 <sup>er</sup> flot.   |       |          | 2 <sup>me</sup> flot. |       |          |
|                        | C              | $h^2$ | $\Gamma$ | C                     | $h^2$ | $\Gamma$ | C                     | $h^2$ | $\Gamma$ | C                       | $h^2$ | $\Gamma$ | C                     | $h^2$ | $\Gamma$ |
| Embouchure . . . . .   | 17000          | 12,18 | 1396     | 27420                 | 16,04 | 1710     | 19150                 | 11,56 | 1660     | 10110                   | 6,76  | 1495     | 13570                 | 9,36  | 1449     |
| Barrage Moll . . . . . | 18060          | 4,00  | 4515     | 32440                 | 7,02  | 4620     | 18850                 | 4,12  | 4580     | 12260                   | 2,89  | 4240     | 15680                 | 3,42  | 4580     |
| Confluent . . . . .    | 17950          | 3,20  | 5610     | 32800                 | 5,62  | 5830     | 18300                 | 3,31  | 5520     | 11830                   | 2,31  | 5300     | 15420                 | 2,76  | 5580     |

Le tableau ci-dessus montre que la vérification se fait très bien au barrage de Moll et au confluent de la Grande et de la Petite Nèthe. A l'embouchure, nous avons une discordance pour les deux flots de la marée du 8-9 avril 1890, mais pour les autres marées considérées, dont une marée moyenne, la valeur de  $\Gamma$  oscille entre 1.400 et 1.500. On peut donc dire que la propriété se vérifie d'une manière suffisamment satisfaisante pour lui accorder une grande valeur pratique.

### § 5. — Niveau moyen de la rivière.

#### A. — Relèvement dû au phénomène de la marée.

#### SECTION EMBOUCHURE A RUMPST-BARRAGE DE MOLL A LIERRE.

Amplitude de la marée à l'embouchure : 3<sup>m</sup>.49 ; au barrage de Moll : 2 mètres.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 3,49e - 0,0371x$$



Profondeur moyenne à mi-marée à l'embouchure : 3<sup>m</sup>.40 ;  
au barrage de Moll : 2<sup>m</sup>.01.

Loi de variation de la profondeur moyenne :

$$\lambda = 3,40e - 0,0331x$$

Largeur à l'embouchure : 85<sup>m</sup>.60 ; au barrage de Moll :  
28<sup>m</sup>.40.

Valeur moyenne du coefficient  $\frac{l}{l+2\lambda}$  :

$$\left[ \frac{85,6}{85,6+2 \times 3,4} + \frac{28,4}{28,4+2 \times 2,01} \right] : 2 = (0,926 + 0,876) : 2 = 0,901$$

Valeur moyenne du coefficient  $b$  :

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,926 \times 3,4} \right) = 0,391$$

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,876 \times 2,01} \right) = 0,479$$

$$\text{Valeur moyenne : } 0,870 : 2 = 0,435.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_m = \frac{0,435 \times 0,095 \times 3,49^2 \times e^{-2 \times 0,0371x}}{0,901 \times 3,4^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,0331x}} dx$$

Relèvement total au barrage de Moll :

$$z_m = \frac{0,435 \times 0,095}{0,901 \times 0,0135} \times \frac{12,18}{21,38} \left( e^{0,0135 \times 14,996} - 1 \right) = 0^m,425.$$

*Barrage de Moll-confluent.*

Amplitude de la marée au barrage de Moll : 2 mètres ; au  
confluent : 1<sup>m</sup>.79.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 2e - 0,0898x.$$

Profondeur moyenne à mi-marée au barrage de Moll :  
2<sup>m</sup>.01, au confluent : 1<sup>m</sup>.90.

Loi de variation de la profondeur moyenne :

$$\lambda = 2,01e - 0,0436x.$$

Largeur au barrage de Moll : 28<sup>m</sup>.40 ; au confluent :  
26<sup>m</sup>.15.

Valeur moyenne du coefficient  $\frac{l}{l+2\lambda}$  :

$$\left[ \frac{28,4}{28,4+2 \times 2,01} + \frac{26,15}{26,15+2 \times 1,9} \right] : 2 = (0,876 + 0,872) : 2 = 0,874.$$

Valeur moyenne du coefficient  $b$  :

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,876 \times 2,01} \right) = 0,479$$

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,872 \times 1,9} \right) = 0,491$$

$$\text{Valeur moyenne : } 0,970 : 2 = 0,485.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_m = \frac{0,485 \times 0,095 \times 2^2 \times e^{-2 \times 0,0898x}}{0,874 \times 2,01^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,0436x}} dx$$

Relèvement total au confluent :

$$Z_m = \frac{0,485 \times 0,095}{0,874 \times 0,0656} \times \frac{4}{7,22} \left( 1 - e^{-0,0656 \times 1,235} \right) = 0^m,045.$$

B. — *Relèvement dû au débit d'amont.*

SECTION EMBOUCHURE A RUMPST — BARRAGE DE MOLL A LIERRE.

Débit d'amont à Rumpst : 12<sup>m3</sup>.5 ; au confluent de la  
Grande Nèthe et de la Petite Nèthe : 11<sup>m3</sup>.3.

Loi de variation du débit d'amont :

$$q = 12,5 e^{-0,00314x}.$$

Débit à Lierre :

$$q = 12,5 e^{-0,00314 \times 14,996} = 11,57^m3.$$

Largeur à Rumpst : 85<sup>m</sup>.60 ; à Lierre (Barrage de Moll) :  
28<sup>m</sup>.40.

Loi de variation de la largeur :

$$l = 85,60 e^{-0,0736x}.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_a = \frac{0,435 \times 12,5^2 \times e^{-2 \times 0,00314x} \times dx}{0,901 \times 85,6^2 \times e^{-2 \times 0,0736x} \times 3,4^3 \times e^{-3 \times 0,0331x}}$$



Relèvement total au barrage de Moll.

$$\tilde{\tau}_a = \frac{0.455}{0.901 \times 0.24220} \times \frac{156.25}{7750 \times 59.55} \left( e^{0.2422 \times 14.996} - 1 \right) = 0^m.058.$$

SECTION : BARRAGE DE MOLL-CONFLUENT DES DEUX NÈTHES.

Débit d'amont au barrage de Moll :  $11^m.57$ ; au confluent des deux Nèthes :  $11^m.5$ .

Loi de variation du débit d'amont :

$$q = 11.57e - 0.00514x.$$

Largeur au barrage de Moll :  $28^m.40$ ; au confluent des deux Nèthes :  $26^m.15$ .

Loi de variation de la largeur :

$$l = 28.4e - 0.0668x.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\tilde{\tau}_a = \frac{0.485 \times 11.57^2 \times e^{-2 \times 0.00514x} \times dx}{0.874 \times 8.4^2 \times e^{-2 \times 0.0668x} \times 2.01^3 \times e^{-3 \times 0.0436x}}$$

Relèvement total au confluent des deux Nèthes :

$$\tilde{\tau}_a = \frac{0.485}{0.874 \times 0.2601} \times \frac{154}{807 \times 8.12} \left( e^{0.2601 \times 1.235} - 1 \right) = 0^m.06.$$

C. — Relèvement dû à la marée et au débit d'amont.

SECTION RUMPST-BARRAGE DE MOLL.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\tilde{\tau}_{ma} = \frac{0.455 \times 2 \times \sqrt{0.095} \times 5.49 \times e^{-0.0371x} \times 12.5e^{-0.00514x}}{0.901 \times 85.6 \times e^{-0.0736x} \times 3.4^{11/4} \times e^{-11/4 \times 0.0351x}} dx.$$

Relèvement total au barrage de Moll :

$$\tilde{\tau}_{ma} = \frac{0.455 \times 2 \times \sqrt{0.095}}{0.901 \times 0.1226} \times \frac{5.49 \times 12.5}{85.6 \times 28.96} \left( e^{0.1226 \times 14.996} - 1 \right) = 0^m.224.$$

SECTION BARRAGE DE MOLL-CONFLUENT DES DEUX NÈTHES.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\tilde{\tau}_{ma} = \frac{0.485 \times 2 \times \sqrt{0.095} \times 2 \times e^{-0.0898x} \times 11.57 \times e^{-0.00514x}}{0.874 \times 28.4 \times e^{-0.0736x} \times 2.01^{11/4} \times e^{-11/4 \times 0.0436x}} dx.$$

Relèvement total du niveau moyen au confluent des deux

Nèthes :

$$\tilde{\tau}_{ma} = \frac{0.485 \times 2 \times \sqrt{0.095}}{0.874 \times 0.0927} \times \frac{2 \times 11.57}{8.4 \times 6.8} \left( e^{0.0927 \times 1.235} - 1 \right)$$

$$\tilde{\tau}_{ma} = 0^m.055.$$

Tableau comparatif des relèvements calculés et des cotes de mi-marée calculées et observées.

| STATIONS.                  | Relèvements partiels calculés dus |                   |                         |         | Cotes de mi-marée |                         |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|---------|-------------------|-------------------------|
|                            | à la marée.                       | au débit d'amont. | marée et débit d'amont. | totaux. | calculées         | observées en 1901-1910. |
| Embouchure Rupel . . . . . | 0.216                             | 0.006             | 0.076                   | 0.298   | m 2.58            | m 2.58                  |
| Rumpst . . . . .           | 0.425                             | 0.038             | 0.224                   | 0.687   | 2.878             | 2.95                    |
| Barrage Moll . . . . .     | 0.043                             | 0.016             | 0.053                   | 0.112   | 3.572             | 3.64                    |
| Confluent des deux Nèthes. |                                   |                   |                         |         | 3.687             | 3.75                    |

La concordance est parfaite en amont de Rumpst. Ainsi l'observation donne un relèvement de  $0^m.69$  entre Rumpst et le barrage de Moll et  $0^m.11$  entre le barrage de Moll et le confluent des deux Nèthes, alors que le calcul donne pour ces mêmes éléments :  $0^m.687$  et  $0^m.112$ .

## § 6 — Vitesses de propagation de l'onde marée fluviale.

Les vitesses moyennes du courant de la marée à considérer, sont, d'après le recueil des documents relatifs à l'Escaut maritime :

Embouchure à Rumpst :  $0^m.45$ .

Barrage de Moll à Lierre :  $0^m.28$ .

Confluent des deux Nèthes :

$$\frac{0^m.349 + 0.408}{2} = 0^m.378.$$

Embouchure :

Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0.70}{(1.655 + 3.49)^2}} \sqrt{9.81 (1.655 + 3.49)} + 0.8 \times 0.45 \right] \frac{1.655 + 3.49}{1.655 + 2 \times 3.49}$$

$$W_{mh} = 4.34 \text{ m.}$$



Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,655)^2}} \sqrt{9,81 \times 1,655 - 0,8 \times 0,45}$$

$$W_{mb} = 2,825 \text{ m.}$$

*Barrage de Moll :*

Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,01 + 2,00)^2}} \sqrt{9,81 (1,01 + 2,00)} + 0,8 \times 0,28 \right] \frac{1,01 + 2,00}{1,01 + 2 \times 2,00}$$

$$W_{mh} = 3,12 \text{ m}$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{1,01^2}} \sqrt{9,81 \times 1,01 - 0,8 \times 0,28}$$

$$W_{mb} = 1,644 \text{ m.}$$

*Confluent :*

Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,005 + 1,79)^2}} \sqrt{9,81 (1,005 + 1,79)} + 0,8 \times 0,578 \right] \frac{1,005 + 1,79}{1,005 + 2 \times 1,79}$$

$$W_{mh} = 3,11 \text{ m.}$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,005)^2}} \sqrt{9,81 \times 1,005 - 0,8 \times 0,578} = 1,553 \text{ m}$$

Tableau 36.

| STATIONS.                  | Vitesse de propagation. |             | Vitesse moyenne de propagation. |             | Distances. | Temps de la propagation. |             | Heure de la marée calculée. |           | Heure moyenne de la marée observée en 1901-1910. |          |
|----------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|------------|--------------------------|-------------|-----------------------------|-----------|--|----------|
|                            | Marée haute             | Marée basse | Marée haute                     | Marée basse |            | Marée haute              | Marée basse | haute                       | basse     | haute  | basse    |
| Embouch. Rupel             |                         |             |                                 |             |            |                          |             | 3h.0'00"                    | 3h. 35'   | 3h.0'00"   | 3 h. 35' |
| Rumpst . . .               | 4.34                    | 2,825       |                                 |             |            | 1 h. 7' 00"              | 1 h. 51'40" | 3h.40'37"                   | 4h.36'44" | 3 h. 37'   | 4 h. 44' |
| Barrage Moll .             | 3.12                    | 1.644       | 3.73                            | 2.235       | 14996      | 6' 37"                   | 12'52"      | 4h.47'37"                   | 6h.28'24" | 4 h. 33'   | 6 h. 48' |
| Confluent des deux Nèthes. | 3.11                    | 1.553       | 3.115                           | 1.599       | 1235       |                          |             | 4h.54'14"                   | 6h.41'16" | 4 h. 38'   | 6 h. 59' |

La marée haute se propage un peu plus vite que ne l'indique le calcul, la marée basse avance moins rapidement.

## § 7. — Vitesses moyennes des courants de flot et de jusant.

### SECTION A L'EMBOUCHURE DE LA NÈTHE INFÉRIEURE.

Profondeur à marée basse : 1<sup>m</sup>.20.

Largeur à mi-marée : 73<sup>m</sup>.8.

Durée du flot :  $5 \times 3.600 + 60 = 18.060''$ .

Durée du jusant :  $7 \times 3.600 + 24 \times 60 = 26.640''$ .

Débit du flot : 1.945.860 mètres cubes.

Débit du jusant : 2.437.560 mètres cubes.

Vitesse moyenne du flot :

$$v_f = \frac{1.945.860}{73,8 \left[ 1,20 + 1,745 \left( 1 + \frac{4800}{18060} \right) \right] 18060} = 0,427 \text{ m.}$$

Vitesse moyenne du jusant :

$$v_j = \frac{2.437.560}{73,8 \left[ 1,20 + 1,745 \left( 1 - \frac{4800}{26640} \right) \right] 26640} = 0,47 \text{ m.}$$

### SECTION AU BARRAGE DE MOLL.

Profondeur à marée basse : 1<sup>m</sup>.29.

Largeur à mi-marée : 28 mètres.



Durée du flot :  $2 \times 3.600 + 59 \times 60 = 10.740''$ .  
 Durée du jusant :  $9 \times 3.600 + 26 \times 60 = 33.960''$ .  
 Débit du flot : 139.310 mètres cubes.  
 Débit du jusant : 586.310 mètres cubes.  
 Vitesse moyenne du flot :

$$v_f = \frac{139.310}{28 \left[ 1,29 + 1 \left( 1 + \frac{4800}{10740} \right) \right] 107.40} = 0,169 \text{ m.}$$

Vitesse moyenne du jusant :

$$v_j = \frac{586.310}{28 \left[ 1,29 + 1 \left( 1 - \frac{4800}{33960} \right) \right] 33960} = 0,287 \text{ m.}$$

*Confluent (Embouchure de la Grande Nèthe).*

Profondeur à marée basse :  $0^m.73$ .  
 Largeur à mi-marée :  $14^m.3$ .  
 Durée du flot :  $2 \times 3.600 + 33 \times 60 = 9.180''$ .  
 Durée du jusant :  $9 \times 3.600 + 52 \times 60 = 35.520''$ .  
 Débit du flot : 49.900 mètres cubes.  
 Débit du jusant : 273.400 mètres cubes.  
 Vitesse moyenne du flot :

$$v_f = \frac{49.900}{14,3 \left[ 0,73 + 0,895 \left( 1 + \frac{4800}{9180} \right) \right] 9180} = 0,182 \text{ m.}$$

Vitesse moyenne du jusant :

$$v_j = \frac{273.400}{14,3 \left[ 0,73 + 0,895 \left( 1 - \frac{4800}{35520} \right) \right] 35520} = 0,358 \text{ m.}$$

*Confluent (Embouchure de la Petite Nèthe).*

Profondeur à marée basse :  $0^m.74$ .  
 Largeur à mi-marée :  $14^m.70$ .  
 Durée du flot :  $2 \times 3.600 + 33 \times 60 = 9.180''$ .  
 Durée du jusant :  $9 \times 3.600 + 52 \times 60 = 35.520''$ .  
 Débit du flot : 50.070 mètres cubes.  
 Débit du jusant : 273.570 mètres cubes.

Vitesse moyenne du flot :

$$v_f = \frac{50.070}{14,7 \left[ 0,74 + 0,895 \left( 1 + \frac{4800}{9180} \right) \right] 9180} = 0,177 \text{ m.}$$

Vitesse moyenne du jusant :

$$v_j = \frac{273.570}{14,7 \left[ 0,74 + 0,895 \left( 1 - \frac{4800}{35520} \right) \right] 35520} = 0^m,346.$$

Tableau 37. — Tableau récapitulatif des vitesses calculées et des vitesses obtenues par cubature.

| STATIONS.                            | Vitesse<br>calculées. |                  | Vitesse<br>par cubature. |                   |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------|-------------------|
|                                      | flot.                 | jusant.          | flot.                    | jusant.           |
| Embouchure Nèthe Inférieure . .      | $\frac{m}{0.427}$     | $\frac{m}{0.47}$ | $\frac{m}{0.412}$        | $\frac{m}{0.476}$ |
| Barrage de Moll . . . . .            | 0.169                 | 0.287            | 0.163                    | 0.317             |
| Confluent (Embouchure Grande Nèthe)  | 0.182                 | 0.358            | 0.18                     | 0.467             |
| Confluent (Embouchure Petite Nèthe). | 0.177                 | 0.346            | 0.154                    | 0.400             |

Le tableau comparatif ci-dessus montre qu'il y a une très bonne concordance entre les résultats du calcul et ceux fournis par l'opération de la cubature; il n'y a d'exception que pour les vitesses du jusant au droit du confluent des deux Nèthes. Mais il faut remarquer que nous nous rapprochons en ce point de la limite de la partie maritime de la rivière où toutes les caractéristiques de la marée sont difficiles à établir avec exactitude et où une légère erreur d'estimation a une influence considérable sur le phénomène principal à analyser. Dans ces conditions, nous pouvons dire que les formules données pour les vitesses moyennes de flot et de jusant conservent leur valeur pratique et qu'elles sont de nature à rendre de précieux services dans toute étude d'amélioration d'une rivière maritime.



## CHAPITRE VII.

### GRANDR NÈTHE.

La Nèthe Inférieure est formée par le confluent de la Grande Nèthe et de la Petite Nèthe. En aval du point de jonction, les sections des deux Nèthes sont juxtaposées et ne constituent qu'une seule section, qui est celle de la Nèthe Inférieure. Il faut donc partager celle-ci, proportionnellement aux énergies des deux ondes marées, qui s'engagent dans chacune des deux Nèthes, pour obtenir la section d'équilibre à marée haute dans la Grande Nèthe et la Petite Nèthe. Comme l'amplitude de la marée est la même dans la Grande Nèthe que dans la Petite Nèthe, on peut dire que les sections à l'embouchure des deux rivières sont proportionnelles aux volumes de remplissage de la marée dans les deux rivières. Les volumes de remplissage de la marée sont, d'après le travail de M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt :

|                       |                                      |                      |
|-----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| <i>Grande Nèthe :</i> |                                      |                      |
| Débit de flot         | .                                    | 49.900m <sup>3</sup> |
| Débit d'amont         | $(2 \times 3600 + 33 \times 60) 5 =$ | 45.900               |
| Total.                | .                                    | 95.800m <sup>3</sup> |

|                       |                                      |                      |
|-----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| <i>Petite Nèthe :</i> |                                      |                      |
| Débit de flot         | .                                    | 50.070m <sup>3</sup> |
| Débit d'amont         | $(2 \times 3600 + 33 \times 60) 5 =$ | 45.900               |
| Total.                | .                                    | 95.970m <sup>3</sup> |

Comme nous voyons, les volumes de remplissage sont sensiblement égaux. Dans ces conditions, la section extrême amont de la Nèthe Inférieure, qui mesure 73 mètres carrés, doit être partagée par moitié entre la Grande et la Petite Nèthe. La section d'équilibre à marée haute à l'embouchure de chacune des deux rivières mesure donc : 36m<sup>2</sup>. 5. Le profil en long des profondeurs moyennes à mi-marée de la Grande Nèthe est figuré ci-dessous. Le coefficient de variation  $a$  de la profondeur moyenne est égal à :

$$a = \frac{1,9 - 1,1}{6,866} = 0,1166.$$

Section à l'embouchure : 36m<sup>2</sup>.5;  $\log 36,5 = 1,56229$ .

Largeur de la rivière à l'embouchure :  $l = \frac{56,5}{1,9 + 0,895} = 15m,08$ .

SECTION A MARÉE HAUTE D'ÉGALE VITESSE A BOECKT.

$$\log \hat{c} = 1,56229 - \frac{0,688}{0,1166} \left( \frac{1}{\sqrt{1,1}} - \frac{1}{\sqrt{1,9}} \right)$$

$$\hat{c} = 1,66m^2.$$

*Amplitude de la marée à Boeckt.*

Largeur moyenne à mi-marée : 16m.45.

Valeur du coefficient  $\varphi$  :

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{0,425}{0,1166} \left( \frac{1}{1,1} - \frac{1}{1,9} \right)} = 0,71$$

$$h = 0,71 \times 1,79 \times \frac{1,9}{1,1} \sqrt{\frac{15,08}{16,45} \times \frac{1,66}{36,5}} = 0,42 m.$$

Cette amplitude est beaucoup plus grande que celle qui fut relevée par observations directes durant la période 1888-1895; en effet, le travail de M. l'Ingénieur en chef-Directeur Van Brabandt donne comme amplitude moyenne de la marée : 0.18. Par contre, elle concorde parfaitement avec l'amplitude moyenne relevée par marégraphe pendant la période 1901-1910, qui est de 0m.49. Comme les observations marégraphiques sont beaucoup plus exactes que celles faites directement, nous croyons que l'amplitude moyenne de 0.18 de

la période 1888-1895 est entachée d'erreurs et qu'il faut admettre le chiffre de la période 1901-1910 pour procéder à

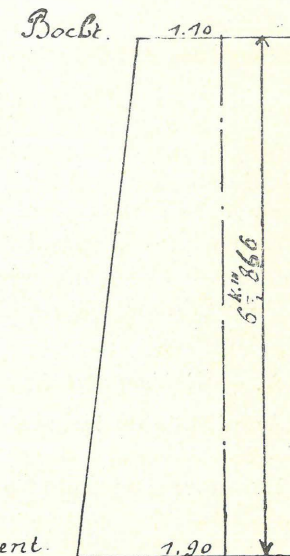


Fig. 23.



une vérification des lois de la marée fluviale. En admettant donc l'amplitude de 0.49 de la période 1901-1910, nous voyons que la loi de l'amplitude se vérifie jusqu'à la limite extrême de la marée pratiquement observable. L'amplitude théorique calculée ci-dessus correspond à une section à marée haute égale à :

$$16,45 \left( 1,1 + \frac{0,42}{2} \right) = 21,55 \text{ m}^2.$$

La section existante mesure  $29 \text{ m}^2.20$ , mais en amont de Boeckt elle diminue rapidement, au point qu'à 500 mètres plus en amont la section à marée haute ne mesure plus que  $17 \text{ m}^2.6$  et 500 mètres plus loin encore  $16 \text{ m}^2.6$ .

Le tracé de la courbe des sections définitives de la rivière peut se faire en calculant le coefficient  $w'$  du terme supplémentaire qui doit être ajouté au logarithme de chaque section d'égale vitesse. Ce coefficient peut être déterminé en se plaçant dans la section de Boeckt où nous connaissons la section à marée haute d'égale vitesse :  $1 \text{ m}^2.66$  et la section réelle  $21 \text{ m}^2.55$ .

$$\log 21,55 - \log 1,66 = \log \left( \frac{1}{1 - w' \times 6,866} \right)^2$$

$$w' = 0,1052.$$

Moyennant la connaissance de cet élément, nous pouvons calculer les sections intermédiaires et tracer la courbe des sections réelles. Cela a été fait planche II. Le dessin montre que la courbe des sections épouse parfaitement la forme du diagramme des sections existantes.

Déterminons maintenant le relèvement du niveau moyen de la rivière.

A. — *Relèvement dû au phénomène de la marée.*

Amplitude de la marée à l'embouchure :  $1 \text{ m}^2.79$  ; au Boeckt :  $0 \text{ m}^2.42$ .

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 1,79 e^{-0,2113x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à l'embouchure :  $1 \text{ m}^2.90$  ; au Boeckt :  $1 \text{ m}^2.10$ .

Loi de variation de la profondeur moyenne :

$$\lambda = 1,9 e^{-0,0797x}.$$

Valeur moyenne du coefficient  $\frac{l}{l + 2\lambda}$  :

$$\left[ \frac{13,08}{13,08 + 2 \times 1,9} + \frac{16,45}{16,45 + 2 \times 1,1} \right] : 2 = (0,773 + 0,882) : 2 = 0,827.$$

Valeur moyenne du coefficient  $b$  :

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,773 \times 1,9} \right) = 0,518$$

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,882 \times 1,1} \right) = 0,641$$

Valeur moyenne :  $1,159 : 2 = 0,58.$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_m = \frac{0,58 \times 0,093 \times 1,79^2 \times e^{-2 \times 0,2113x}}{0,827 \times 1,9^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,0797x}} dx.$$

Relèvement total au Boeckt :

$$\zeta_m = \frac{0,58 \times 0,093}{0,827 \times 0,2231} \times \frac{3,2}{4,978} \left( 1 - e^{-0,2231 \times 6,866} \right) = 0 \text{ m}^2.147.$$

B. — *Relèvement dû au débit d'amont.*

Largeur de la rivière à l'embouchure :  $13 \text{ m}^2.08$  ; au Boeckt :  $16 \text{ m}^2.45$ .

Loi de variation de la largeur :

$$l = 13,08 e + 0,0334x.$$

Débit de la rivière :  $5 \text{ m}^3.5$ .

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_a = \frac{0,58 \times 5,5^2 \times dx}{13,08^2 \times e^{2 \times 0,0334x} \times 1,9^3 \times e^{-3 \times 0,0797x} \times 0,827}.$$

Relèvement total au Boeckt :

$$\zeta_a = \frac{0,58}{0,827 \times 0,1723} \times \frac{30,25}{171 \times 6,865} \left( e^{0,1723 \times 6,866} - 1 \right) = 0 \text{ m}^2.239.$$

C. — *Relèvement dû à la marée et au débit d'amont.*

Loi de variation de la profondeur moyenne :

$$\lambda = 1,9 e^{-0,0797x}.$$

Loi de variation de la largeur :

$$l = 13,08 e + 0,0334x.$$



Loi de variation de l'amplitude de la marée :

$$h = 1,79 e^{-0,2113x}$$

Débit de la rivière :  $5.50 \text{ m}^3$ .

Valeur moyenne du coefficient :  $\frac{l}{l + 2\lambda} = 0.827$ .

Valeur moyenne du coefficient  $b$  : 0.58.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\tau_{ma} = \frac{0,58 \times 2 \times \sqrt{0,095} \times 5,5 \times 1,79 \times e^{-0,2113x}}{0,827 \times 13,08 \times e^{0,0334x} \times 1,9^{11/4} \times e^{-11/4 \times 0,0797x}} dx.$$

Relèvement total au Boeckt :

$$\tau_{ma} = \frac{0,58 \times 2 \times \sqrt{0,095}}{0,827 \times 0,0254} \times \frac{5,5 \times 1,79}{13,08 \times 5,841} \left( 1 - e^{-0,0254 \times 6,866} \right)$$

$$\tau_{ma} = 0,550 \text{ m.}$$

Relèvement total du niveau moyen de la rivière depuis le confluent jusqu'au Boeckt :

$$r = 0^{\text{m}}.147 + 0.259 + 0.550 = 0^{\text{m}}.756.$$

Les observations marégraphiques quelque peu précises sur le niveau moyen de la rivière ont été faites pendant la période 1901-1910. Le recueil décennal qui réunit les observations de cette époque donne entre le barrage de Moll et le pont de Boeckt un relèvement de 0.85. Si on admet que le relèvement du niveau moyen entre le barrage de Moll et le confluent soit celui calculé plus haut, ou  $0^{\text{m}}.115$ , le relèvement théorique entre le barrage de Moll et le pont de Boeckt doit être  $0.736 + 0.115 = 0^{\text{m}}.851$ , soit à peu près le chiffre observé.

*Vitesses de propagation.* — Les vitesses moyennes du courant à considérer sont de 0.408 à l'embouchure et 0.316 au pont de Boeckt.

*Embouchure.*

Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,005 + 1,79)^2}} \sqrt{9,81 (1,005 + 1,79)} + 0,8 \times 0,408 \right] \frac{1,005 + 1,79}{1,005 + 2 \times 1,79}$$

$$W_{mh} = 3,12 \text{ m.}$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,005)^2}} \sqrt{9,81 \times 1,005 - 0,8 \times 0,408} = 1^{\text{m}},53.$$

*Boeckt.*

Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(0,89 + 0,42)^2}} \sqrt{9,81 (0,89 + 0,42)} + 0,8 \times 0,316 \right] \frac{0,89 + 0,42}{0,89 + 2 \times 0,42}$$

$$W_{mh} = 2^{\text{m}},12.$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(0,89)^2}} \sqrt{9,81 \times 0,89 - 0,8 \times 0,316} = 1^{\text{m}},517.$$

Tableau 38.

| Stations.                   | Vitesse de propagation. |              | Vitesse moyenne de propagation. |              | Distances. | Temps de la propagation. |              | Heure de la marée calculée. |              | Heure moyenne de la marée observée en 1901-1910. |          |
|-----------------------------|-------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|------------|--------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|--|----------|
|                             | Marée haute.            | Marée basse. | Marée haute.                    | Marée basse. |            | Marée haute.             | Marée basse. | Marée haute.                | Marée basse. | Haute.   | Basse.   |
|                             |                         |              |                                 |              |            |                          |              |                             |              |  |          |
| Embouchure<br>Rupel . . . . | m                       | m            | m                               | m            | m          | —                        | —            | 3 h. 0                      | 3 h. 35'     | 3 h. 0'  | 3 h. 35' |
| Rumpst . . . .              | —                       | —            | —                               | —            | —          | —                        | —            | 3 h. 40'37"                 | 4 h. 36'44"  | 3 h. 37'   | 4 h. 44' |
| Barrage Moll .              | —                       | —            | —                               | —            | —          | —                        | —            | 4 h. 47'37"                 | 6 h. 28'24"  | 4 h. 33'   | 6 h. 48' |
| Confluent . . .             | 3,12                    | 1,53         | 2,62                            | 1,423        | 6866       | 42'40"                   | 1 h. 20'20"  | 4 h. 54'14"                 | 6 h. 41'16"  | 4 h. 38'   | 6 h. 59' |
| Boeckt. . . . .             | 2,12                    | 1,317        | 2,62                            | 1,423        | 6866       | 42'40"                   | 1 h. 20'20"  | 5 h. 36'54"                 | 8 h. 3'36"   | 5 h. 27'   | 9 h. 17' |

La concordance est assez satisfaisante pour la marée haute, elle l'est moins pour la marée basse. Mais il est à remarquer que nous nous trouvons dans la partie extrême de la partie maritime, où il n'est pas toujours aisé, pour nombre de marées, de déterminer l'instant précis de la marée haute ou de la marée basse.



# CHAPITRE VIII.

## PETITE NÈTHE.

Nous avons établi plus haut, chapitre VII, 3<sup>e</sup> partie, que la section d'équilibre à marée haute à l'embouchure de la Petite Nèthe mesure 36<sup>m²</sup>.5 et nous avons dit que le profil en long des profondeurs moyennes à mi-marée correspondait au profil ci-contre.

Emblehem.

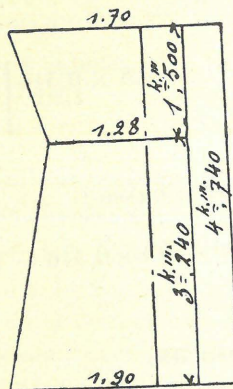


Fig. 24.

pour la Grande Nèthe, si nous voulons trouver les sections réelles de la rivière.

SECTION A 1<sup>K</sup>,5 D'EMBLEHEM.

$$a = \frac{1,90 - 1,28}{3,24} = 0,1915.$$

$$\log \epsilon = 1,56229 - \frac{0,688}{0,1915} \left( \frac{1}{\sqrt{1,28}} - \frac{1}{\sqrt{1,9}} \right)$$

$$\log \epsilon = 1,00020 = \log 10 \text{ m}^2.$$

SECTION A EMBLEHEM.

$$a = \frac{1,7 - 1,28}{1,5} = 0,28$$

$$\log \epsilon = 1,00020 - \frac{0,688}{0,28} \left( \frac{1}{\sqrt{1,28}} - \frac{1}{\sqrt{1,7}} \right)$$

$$\log \epsilon = 0,71270 = \log 5,161 \text{ m}^2.$$

Amplitude de la marée: La largeur moyenne de la rivière aux abords de l'écluse d'Emblehem mesure 18 mètres.

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{0,125}{0,1915} \left( \frac{1}{1,28} - \frac{1}{1,90} \right) + \frac{0,125}{0,28} \left( \frac{1}{1,28} - \frac{1}{1,70} \right)} = 0,797$$

$$h = 0,797 \times 1,79 \times \frac{1,9}{4,7} \sqrt{\frac{13,08}{18} \times \frac{5,161}{36,5}}$$

$$h = 1,596 \sqrt{0,4027} = 0,51 \text{ m}.$$

L'écluse d'Emblehem marque la limite de la partie maritime. En ce point, l'onde marée doit se relever jusqu'à ce que l'énergie cinétique soit entièrement transformée en énergie potentielle. Comme l'énergie cinétique est égale à l'énergie potentielle, l'amplitude de la marée réellement observée doit être environ le double de celle obtenue ci-dessus par calcul, soit : 1<sup>m</sup>.02. L'amplitude observée avec grande précision par des appareils marégraphiques, durant la période 1901-1910, est de 0<sup>m</sup>.93, soit une dizaine de centimètres en moins que le résultat obtenu par calcul.

L'amplitude obtenue ci-dessus correspond à une section réelle à marée haute de :

$$18 (1,70 + 0,51) = 39 \text{ m}^2 \text{ 80}.$$

Cette section est plus grande que celle qui existe en réalité et qui n'est que d'environ 30 mètres carrés. Mais quand on trace avec cette section la courbe des sections réelles, on obtient une courbe qui épouse très bien le diagramme des sections existantes. Calculons notamment la section intermédiaire à 1<sup>K</sup>,5 d'Emblehem.

Valeur du coefficient  $w'$  :

$$\log 39,8 - \log 5,161 = \log \left( \frac{1}{1 - w' \times 4,74} \right)^2$$

$$w' = 0,135.$$

Terme supplémentaire à ajouter au logarithme de la section à 1<sup>KM</sup>,5 d'Emblehem.

$$\log \left( \frac{1}{1 + 0,135 \times 3,24} \right)^2 = 0,49831$$

$$\log \epsilon = 1,00020 + 0,49831 = 1,49851$$

$$\epsilon = 31 \text{ 51 m}^2.$$



*Relèvement du niveau moyen de la rivière.*  
A. *Relèvement dû au phénomène de la marée.*

1<sup>re</sup> SECTION.

Amplitude de la marée à l'embouchure : 1<sup>m</sup>.79; à Emblehem, 1<sup>m</sup>.02.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 1,79e - 0,1184x.$$

Amplitude de la marée à 1<sup>km</sup>,5 d'Emblehem.

$$h = 1,79 \times e - 0,1184 \times 3,24 = 1^m,22.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à l'embouchure : 1<sup>m</sup>.90; à 1<sup>km</sup>,5 d'Emblehem : 1<sup>m</sup>.28.

Loi de variation de la profondeur moyenne :

$$\lambda = 1,9e - 0,1219x.$$

Largeur à l'embouchure : 13<sup>m</sup>.08; à Emblehem : 18 mètres.

Loi de variation de la largeur :

$$l = 13,08e + 0,0672x.$$

Largeur à 1<sup>km</sup>,5 d'Emblehem.

$$l = 13,08e + 0,0672 \times 3,24 = 16^m,28.$$

Valeur moyenne du coefficient  $\frac{l}{l+2\lambda}$  :

$$\left[ \frac{13,08}{13,08 + 2 \times 1,9} + \frac{16,28}{16,28 + 2 \times 1,28} \right] : 2 = (0,773 + 0,864) : 2 = 0,819.$$

Valeur moyenne du coefficient  $b$  :

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,5}{0,773 \times 1,9} \right) = 0,548$$

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,864 \times 1,28} \right) = 0,595$$

Valeur moyenne :  $1,113 : 2 = 0,556.$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0,556 \times 0,093 \times 1,79^2 \times e^{-2 \times 0,1184x}}{0,819 \times 1,9^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,1219x}} dx.$$

Relèvement total à 1<sup>km</sup>,5 d'Emblehem.

$$\zeta_m = \frac{0,556 \times 0,093}{0,819 \times 0,868} \times \frac{3,2}{4,978} \left( e^{0,068 \times 3,24} - 1 \right) = 0^m,147.$$

2<sup>e</sup> SECTION.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 1,22 e^{-0,1184x}.$$

Profondeur à 1<sup>km</sup>,5 d'Emblehem : 1<sup>m</sup>.28; à Emblehem : 1<sup>m</sup>.70.

Loi de variation de la profondeur moyenne :

$$\lambda = 1,28 e + 0,1892x.$$

Largeur à 1<sup>km</sup>,5 d'Emblehem : 16<sup>m</sup>.28; à Emblehem : 18 m.

Valeur moyenne du coefficient  $\frac{l}{l+2\lambda}$  :

$$\left[ \frac{16,28}{16,28 + 2 \times 1,28} + \frac{18^m}{18 + 2 \times 1,7} \right] : 2 = (0,864 + 0,84) : 2 = 0,852.$$

Valeur moyenne du coefficient  $b$  :

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,864 \times 1,28} \right) = 5,95$$

$$b = 0,28 \left( 1 + \frac{1,25}{0,84 \times 1,7} \right) = 5,25$$

Valeur moyenne :  $1,120 : 2 = 0,560.$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0,56 \times 0,093 \times 1,22^2 \times e^{-2 \times 0,1184x}}{0,852 \times 1,28^{5/2} \times e^{5/2 \times 0,1892x}} dx.$$

Relèvement à Emblehem.

$$\zeta_m = \frac{0,56 \times 0,093}{0,852 \times 0,7098} \times \frac{1,49}{1,854} \left( 1 - e^{-0,7098 \times 1,5} \right) = 0^m,045.$$

Relèvement total à Emblehem :  $0^m,147 + 0^m,045 = 0^m,192.$

B. — *Relèvement dû au débit d'amont :*

1<sup>re</sup> SECTION.

Débit d'amont : 6 mètres cubes.

Pour les autres données, voir ci-dessus.

Relèvement élémentaire :

$$d\zeta_a = \frac{0,556 \times 6^2}{0,819 \times 13,08^2 \times 1,9^3} e^{(-2 \times 0,0672 + 3 \times 0,1219)x} \times dx.$$



Relèvement total à 1<sup>K</sup>,5 d'Emblehem :

$$\tilde{\gamma}_a = \frac{0,556}{0,2313 \times 0,819} \times \frac{36}{171 \times 6,85} \left( e^{0,2313 \times 3,24} - 1 \right) = 0^m,103.$$

2<sup>me</sup> SECTION.

$$d\tilde{\gamma}_a = \frac{0,56 \times 6^2 \times dx}{0,852 \times 16,28^2 \times 1,28^3} e^{(-2 \times 0,0672 - 3 \times 0,1892)x}$$

Relèvement total en C :

$$\tilde{\gamma}_a = \frac{0,56}{0,852 \times 0,7020} \times \frac{36}{265 \times 2,096} \left( 1 - e^{-0,7020 \times 1,5} \right) = 0^m,04$$

Relèvement total à Emblehem :

$$0^m,103 + 0,04 = 0^m,143.$$

C. — Relèvement dû à la marée et au débit d'amont :

1<sup>re</sup> SECTION.

Pour les données, voir plus haut.

Relèvement élémentaire :

$$d\tilde{\gamma}_{ma} = \frac{0,556 \times 2 \times \sqrt{0,095} \times 1,79 \times e^{-0,1184x \times 6}}{0,819 \times 15,08 \times e^{0,0672x \times 1,911/4} \times e^{-11/4 \times 0,1219x}} dx.$$

Relèvement total à 1<sup>K</sup>,5 d'Emblehem :

$$\tilde{\gamma}_{ma} = \frac{0,556 \times 2 \times \sqrt{0,095}}{0,819 \times 0,1494} \times \frac{1,79 \times 6,00}{15,08 \times 5,851} \left( e^{0,1494 \times 3,24} - 1 \right)$$

$$\tilde{\gamma}_{ma} = 0^m,242.$$

2<sup>me</sup> SECTION.

Relèvement élémentaire :

$$d\tilde{\gamma}_{ma} = \frac{0,56 \times 2 \times \sqrt{0,095} \times 1,22 \times e^{-0,1184x \times 6,00}}{0,852 \times 16,28 \times e^{0,0672x \times 1,2811/4} \times e^{11/4 \times 0,1892x}} dx.$$

Relèvement total à Emblehem :

$$\tilde{\gamma}_{ma} = \frac{0,56 \times 2 \times \sqrt{0,095}}{0,852 \times 0,7056} \times \frac{1,22 \times 6,00}{16,28 \times 1,2811/4} \left( 1 - e^{-0,7056 \times 1,5} \right)$$

$$\tilde{\gamma}_{ma} = 0,084 \text{ m.}$$

Relèvement total à Emblehem :  $0^m,242 + 0^m,084 = 0^m,326$ .

Relèvement total du niveau moyen de la rivière depuis le confluent jusqu'à Emblehem.

$$\tilde{\gamma} = \tilde{\gamma}_m + \tilde{\gamma}_a + \tilde{\gamma}_{ma} = 0^m,192 + 0,143 + 0,326 = 0^m,661.$$

En 1901-1910, on a observé un relèvement de 0<sup>m</sup>.65, soit un peu moins que le résultat du calcul.

Vitesse de propagation : Les vitesses moyennes du courant moyen de marée à considérer sont : 0<sup>m</sup>.349 à l'embouchure ; 0<sup>m</sup>.204 à Emblehem et 0<sup>m</sup>.245 à 1<sup>K</sup>,5 d'Emblehem.

Embouchure.

Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,005 + 1,79)^2}} \sqrt{9,81 (1,005 + 1,79)} + 0,8 \times 0,349 \right] \frac{1,005 + 1,79}{1,005 + 2 \times 1,79}$$

$$W_{mh} = 3,10 \text{ m.}$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,005)^2}} \sqrt{9,81 \times 1,005} - 0,8 \times 0,349 = 1,58 \text{ m.}$$

A 1<sup>K</sup>,5 d'Emblehem :

Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(0,67 + 1,22)^2}} \sqrt{9,81 (0,67 + 1,02)} + 0,8 \times 0,245 \right] \frac{0,67 + 1,22}{0,67 + 2 \times 1,22}$$

$$W_{mh} = 2,31 \text{ m.}$$

Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(0,67)^2}} \sqrt{9,81 \times 0,67} - 0,8 \times 0,245 = 0,808 \text{ m.}$$

Emblehem.

Vitesse de propagation à marée haute :

$$W_{mh} = \left[ \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,19 + 1,02)^2}} \sqrt{9,81 \times (1,19 + 1,02)} + 0,8 \times 0,204 \right] \frac{1,02 + 1,19}{1,19 + 2 \times 1,02}$$

$$W_{mh} = 2,90 \text{ m.}$$



Vitesse de propagation à marée basse :

$$W_{mb} = \frac{1}{1 + \frac{0,70}{(1,19)^2}} \sqrt{9,81 \times 1,19 - 0,8 \times 0,204} = 2 \text{ 125 m.}$$

Tableau 39.

| Stations.                   | Vitesses de propagation. |              | Vitesses moyennes de propagation. |              | Distances. | Temps de la propagation. |              | Heures calculées de la marée |             | Heures moyennes de la marée observée en 1901-1910. |          |
|-----------------------------|--------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|------------|--------------------------|--------------|------------------------------|-------------|--|----------|
|                             | Marée haute.             | Marée basse. | Marée haute.                      | Marée basse. |            | Marée haute.             | Marée basse. | haute.                       | basse.      | haute.   | basse.   |
| Embouchure<br>Rupel . . . . | —                        | —            | —                                 | —            | —          | —                        | —            | 3 h. 0'                      | 3 h. 35'    | 3 h. 0'  | 3 h. 35' |
| Rumpst . . . .              | —                        | —            | —                                 | —            | —          | —                        | —            | 3 h. 40'37"                  | 4 h. 36'44" | 3 h. 37'   | 4 h. 44' |
| Moll . . . . .              | —                        | —            | —                                 | —            | —          | —                        | —            | 4 h. 47'37"                  | 6 h. 28'24" | 4 h. 33'   | 6 h. 48' |
| Confluent . . .             | 3,10                     | 1,58         | 2,705                             | 1,194        | 3240       | 19'56"                   | 45'10"       | 4 h. 54'14"                  | 6 h. 41'16" | 4 h. 38'   | 6 h. 59' |
| A 1k.5<br>d'Emblehem.       | 2,310                    | 0,808        | 2,605                             | 1,467        | 1500       | 9'35"                    | 17'22"       | 5 h. 14'10"                  | 7 h. 26'26" | 5 h. 50'   | 8 h. 23' |
| Emblehem. . .               | 2,900                    | 2,125        |                                   |              |            |                          |              | 5 h. 23'45"                  | 7 h. 43'48" |  |          |

(A suivre.)

## CHRONIQUE

### ALLEMAGNE.

**Reconstruction du pont dit « Luitpoldbrücke » à Augsburg.** — La ville d'Augsbourg a fait procéder, en 1921, au remplacement d'un ancien pont de bois sur la rivière « Wertach » par un pont en béton armé qui présente certaines dispositions originales.

La hauteur disponible étant fort réduite, on a préféré au pont en arc surbaissé, un pont sur poutres continues avec consoles, représenté en coupe longitudinale par la figure 1.

Les poutres extérieures sous garde-corps affectent la forme en arc pour des raisons d'aspect, mais les poutres sous-voies sont limitées inférieurement par des droites. Les poutres reposent sur quatre appuis, la travée centrale n'ayant que 2<sup>m</sup>.70 de portée. Cette disposition a été choisie dans le but de permettre la construction aisée du pont en deux moitiés. Le débit de la Wertach à évacuer en temps de crue est, en effet, considérable et on ne pouvait songer à barrer le lit entier à l'aide des bois de charpente nécessaires à la mise en place du coffrage.

On édifia donc en premier lieu l'une des grandes travées du pont. Puis, après enlèvement des cintres, on construisit l'autre travée. Il fallait, enfin, établir la continuité des poutres. Pour cela les armatures de la première moitié des poutres pénètrent dans la seconde moitié et sont reliées aux armatures de cette dernière à l'aide de tendeurs à vis. (Voir fig. 2 et 3).

La proximité des appuis du milieu a également permis de donner à la pile

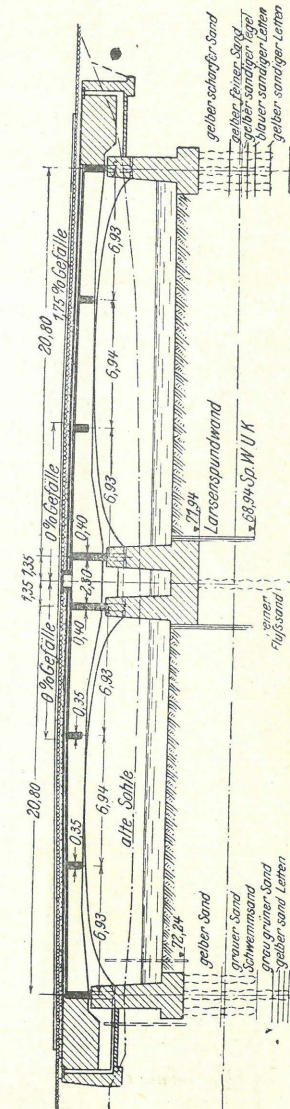


Fig. 1.